

**ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ
МАГМАТИЧЕСКИХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

МОСКВА-1978

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

МЕЖДУВЕДОМСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМЕ „ НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ
ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ“
ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ
МАГМАТИЧЕСКИХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

2890



МОСКВА-1978



Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов
Международный совет по проблеме "Научные основы
геохимических методов поиска месторождений полезных ископаемых"
Академия наук СССР

Министерство геологии СССР

Ответственные редакторы

С.В.ГРИГОРЯН

М.Ф.КУЗИН

© ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ. 1978г.

С. В. Григорян,
В. В. Рясов,
М. Ф. Кузин

МЕТОДИКА ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПОДСТАДИИ ОБЩИХ ПОИСКОВ В ПЕЧЕНГСКОМ И АНАЛОГИЧНЫХ РУДНЫХ РАЙОНАХ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Действующие методические указания Министерства геологии СССР требуют проведения данной подстадии поисковых работ в пределах геологических структур, выделенных в результате геологической съемки масштаба 1:200 000–1:25 000, перспективных на выявление полезных ископаемых, характерных для данной геологической обстановки.

Общие поиски имеют целью выявление площадей и участков, перспективных на нахождение месторождений, а также месторождений полезных ископаемых с оценкой их общих перспектив.

Для Печенгской рудной зоны характерно сложное сочетание складчатых и разрывных деформаций, крайне разнообразный состав протерозойских образований, представленных многочисленными разновидностями кристаллических сланцев, амфиболитов и осадочно-вулканогенных пород. Интрузивные тела и связанные с ними медно-никелевые месторождения локализируются в различных породах. Метаморфические и гидротермально-метасоматические преобразования пород, имевшие прямое отношение к формированию сульфидных медно-никелевых руд, еще больше усугубили и без того сложную геолого-структурную обстановку района исследований.

Чрезвычайная сложность геологического строения Печенгской рудной провинции и недостаточность целенаправленных геохимических исследований в ходе геологического картирования, геофизических и геолого-поисковых работ требуют до производственных геохимических поисков в этих районах проведения значительного объема опытно-методических геохимических исследований. Учитывая, что выходящие на поверхность богатые медно-никелевые рудные тела в основном уже выявлены как в данном, так и в аналогичных рудных районах, главное внимание должно быть уделено разработке геохимических критериев и признаков скрытого оруденения. Очевидно, что такие критерии и признаки могут быть установлены только путем выявления и изучения первичных ореолов оруденения.

На значительной площади Печенгской рудной зоны к настоящему времени опытно-методические работы проведены и составлена геохи-

мическая основа для прогнозной карты масштаба 1:25000, т.е. здесь можно начать производственные геохимические поиски. Но в прилегающих районах и аналогичных рудных районах и провинциях опытно-методические геохимические исследования остаются необходимыми и обязательными.

В связи с последним обстоятельством в настоящей статье основное внимание уделяется методике проведения именно опытно-методических геохимических исследований. Принимая во внимание сложность и разнообразие геологического строения рудных провинций и районов подобного типа, здесь представляется целесообразным начинать опытно-методические геохимические исследования на стадии геологического картирования и заканчивать их на подстадии общих поисков с детальностью применительно к масштабу 1:25 000. Производственные геохимические поиски, по-видимому, эффективнее проводить на последующих подстадиях и стадиях геологоразведочного процесса, но и в этих случаях хотя бы небольшие объемы предварительных опытно-методических исследований остаются необходимыми, и прежде всего для максимально точной увязки геохимических параметров с деталями геолого-структурной обстановки рудопроявлений и данными геофизических, минералогических и других специальных работ. В отдельных случаях при более или менее однородном геологическом строении района работ на обширной территории после получения достаточно достоверных, проверенных геохимических критериев и признаков для части района допустимо и целесообразно проведение производственных геохимических поисков уже тогда, когда для всей исследуемой территории геологоразведочные работы находятся на подстадии общих поисков в масштабе 1:25000.

Методика геохимических исследований существенно зависит от условий размещения месторождений, их морфологии, минерального состава и геохимических особенностей руд и околорудного пространства.

Известные медно-никелевые месторождения Печенгской рудной зоны группируются в двух линейно-вытянутых рудных узлах центральной ее части — Западном и Восточном. В первом месторождения приурочены к верхам, а во втором — к низам продуктивной толщи. Месторождения Западного узла представлены нижними, а Восточного, вероятно, верхними не охонтуренными полностью на глубину частями рудных залежей. Большинство известных рудных тел выходит на поверхность, но обнаружены также и не выходящие на поверхность ру-

дые тела, располагающиеся глубже известных рудных залежей на 100–150 м в субпараллельной зоне. Залежи локализуются в участках, наиболее насыщенных интрузиями основного–ультраосновного состава, преимущественно в зоне нижних экзо- и эндоконтактов крупных дифференцированных массивов. Рудные тела контролируются обычно межпластовыми разрывными нарушениями и часто имеют пластообразную и линзообразную форму, но на отдельных месторождениях (чаще в филлитах) распространены также рудные тела сложной формы, в виде совокупности мелких жилкообразных и плоских линзообразных залежей различных по составу руд, а также и столбообразные рудные тела.

Размеры рудных тел варьируют в широких пределах: длина — от первых метров до свыше 1500 м, мощность — от 0,2 до 100 м и более. По падению отдельные рудные тела прослежены на глубину несколько более 600 м без видимого выклинивания.

По составу сульфидные медно–никелевые руды Печенгских месторождений представлены двумя главными типами:

1) сравнительно бедными вкрапленными рудами в перидотитовых дифференциатах интрузий основного–ультраосновного состава (вероятно, сингенетическими);

2) богатыми сульфидными рудами (наложенными, очевидно, эпигенетическими) в виде оруденелых тектонических брекчий и сульфидных жил в измененных метаморфических и гидротермально–метасоматических процессах оливинитах и вулканогенно–осадочных породах.

Помимо указанных типов руд встречаются также прожилково–вкрапленные руды в сланцах, которые хотя и не имеют самостоятельного промышленного значения, но должны учитываться при определении методики геохимических поисков.

Рассеянно–вкрапленные руды широко развиты (доля таких руд в Печенгских месторождениях составляет 70–90%) в интрузивах основного–ультраосновного состава, преимущественно в нижних, реже — в средних частях перидотитовых дифференциатов, степень рудоносности которых увеличивается в зависимости от интенсивности серпентинизации, хлоритизации и оталькования. Количество сульфидов в рудах не превышает 30%. Их общий минеральный состав (в %): пирротин — 40–70, пентландит — 5–20, халькопирит — I–15, магнетит — 10–15. Иногда наряду с рассеянно–вкрапленными рудами на некоторых месторождениях встречаются и относительно богатые "густо-

вкрапленные" руды с содержанием сульфидов, достигающим 60-70%. Обычно такие руды концентрируются в низах рудоносных массивов, на контакте которых (в лежачем боку) с филлитами, как правило, развиты зоны тектонических нарушений с богатыми сплошными и брекчиевидными рудами того же состава.

Встречаются также маломощные массивы интенсивно измененных перидотитов, представляющие собой рудные тела богатых вкрапленных руд, сопровождающиеся прожилково-вкрапленными рудами как в самом интрузивном теле, так и во вмещающих руды сланцах.

Не имеющие самостоятельного значения, прожилково-вкрапленные руды в сланцах, развитые в узкой зоне экзоконтакта оруденелых интрузивов, распространяются вдоль тектонических зон с богатыми брекчиевидными и сплошными рудами. Содержание в таких рудах сульфидов обычно не превышает 20% (редко 50-60%). В их составе преобладают пирротин и халькопирит с незначительной примесью сфалерита, галенита, арсенидов никеля, а также рутила, графита и самородной меди.

Брекчиевидные и сплошные руды локализуются обычно в единых рудных телах с постепенными взаимными переходами по простиранию и падению, отличаясь лишь количеством обломков вмещающих пород. Эти руды приурочены к зонам рассланцевания и дробления, проходящим вдоль подошвы интрузивов, иногда секущим перидотиты и продолжающимся во вмещающие породы. Такие оруденелые зоны прослеживаются по простиранию и падению на сотни метров. Как брекчиевидные, так и сплошные руды состоят из обломков силикатных пород размером до 1 м, но в сплошных рудах их количество не превышает 20%. Количество сульфидов в брекчиевидных рудах колеблется от 20 до 80%, а в сплошных составляет более 80% руды. Минеральный состав сульфидов разнообразен; пирротин составляет обычно 55-90%, пентландит 10-20%, халькопирит 5-10%. Иногда в число главных минералов руд входят магнетит и пирит. Выявлены некоторые закономерности минеральной зональности залежей. Фронтальные части рудных залежей обычно обогащены халькопиритом и пирротинном. По мере удаления от рудоносного массива возрастает количество пирита, затем устанавливаются только кварц-карбонатные прожилки с пиритом, которые еще дальше сменяются кварцевыми прожилками с гнездами кальцита.

Выявленная геохимическая зональность в рудных залежах в общем отражает минеральную, но проявлена более контрастно. Четко

выявляется уменьшение содержания никеля и увеличение содержания меди на флангах рудных тел по мере их выклинивания. Отмечается также увеличение содержания никеля по отношению к кобальту на участках выклинивания и некоторое их уменьшение на флангах рудных тел. Никель по отношению к кобальту концентрируется в центральной и более верхней частях рудного тела.

Установленные соотношения меди с никелем и кобальтом позволили вывести мультипликативный коэффициент зональности рудных тел $-\frac{Cu^2}{Ni \cdot Co}$, применение которого облегчает изучение зональности, благодаря увеличению ее контрастности. Значения этого коэффициента возрастают на флангах в 6-10 раз, а на участке выклинивания рудных тел в 25-300 раз.

Использование выявленной геохимической зональности позволяет эффективно корректировать проходку буровых скважин и горных выработок на всех стадиях разведочных работ. При выработке рациональной методики геохимических поисков приходится учитывать не только основные рудные элементы, но и некоторые второстепенные элементы руд, которые могут явиться индикаторами оруденения. Удалось установить, что различные типы сульфидных медно-никелевых руд Печенгских месторождений характеризуются сходным элементным составом, но отличаются количественными соотношениями элементов. Содержания не только никеля, меди, кобальта, но и серебра, свинца и ванадия в богатых сплошных и брекчиевидных рудах превалируют над содержаниями этих элементов в бедных вкрапленных рудах. В общем это характерно и для хрома, хотя и не всегда. Обратная зависимость наблюдается для титана и марганца. Содержание цинка в бедных вкрапленных рудах выше, чем в богатых прожилково-вкрапленных, но ниже, чем в сплошных и брекчиевидных. Содержание олова меняется менее контрастно, но уменьшение его в богатых рудах достаточно заметно.

Одним из важнейших вопросов для Печенгских месторождений является выявление геохимических критериев отбраковки зон, вмещающих непромышленную пирротиновую минерализацию, от сульфидных медно-никелевых рудных тел. Геолого-структурный анализ, проведенный на многих участках, показал, что чисто пирротиновая минерализация всегда связана с медно-никелевыми рудными телами, представляя фронтальные и фланговые части этих тел (иногда удаленные от них на сотни метров), которые являются как бы ореолами богатых рудных залежей и имеют сходный с ними элементный состав, но отлича-

ются количественными соотношениями ряда элементов. Для пирротиновой минерализации отмечаются существенно пониженные содержания никеля, кобальта, хрома, марганца и обычно повышенные количества олова, бария, цинка и титана.

Изучение зональности оруденения показало, что во фронтальных частях богатых рудных тел содержание меди, серебра, свинца, олова, молибдена, мышьяка, цинка, а иногда бария и титана значительно выше, чем в средне- и нижнерудных горизонтах.

При проектировании опытно-методических геохимических исследований на подстадии общих поисков в Печенгской и аналогичных рудных провинциях необходимо не только учитывать все имеющиеся поисковое значение геолого-структурные, геофизические и другие данные, но и предусматривать проверку этих данных геохимическими методами. Сопоставление информативности и относительной достоверности различных поисковых методов позволит разработать экономически эффективный комплекс методов, оптимальный для выявления скрытых медно-никелевых месторождений в данной и аналогичных рудных провинциях.

В ходе проектирования определяется необходимый объем опытно-методических геохимических исследований, намечаются конкретные участки работ, число и направление профилей геохимического опробования общее число проб (для определения числа проб всегда необходимо учитывать реальные возможности их оперативного анализа). Производительность опытно-методических работ устанавливается опытным путем с учетом сложности геологического строения конкретных участков геохимического опробования.

Проектом предусматривается следующая последовательность выполнения работ.

1. Геохимическое опробование с первичной обработкой проб, сопровождаемое геолого-минералогической документацией пунктов отбора проб и геологическим описанием по линиям профилей опробования.

2. Аналитические исследования.

3. Выявление геохимических аномалий и расчет их параметров.

4. Оценка геохимических аномалий и составление прогнозных карт.

5. Разработка практических рекомендаций по проверке выявленных геохимических аномалий и проведению производственных геохимических поисков.

Геохимическое опробование. После рекогносцировки на местности производится разбивка профилей геохимического опробования. Профили располагаются параллельно на расстоянии 250 м (применительно к масштабу 1:25000), при этом главнейшим требованием является пересечение каждым профилем возможно большего числа разновидностей горных пород, особенно измененных гидротермально-метасоматическими процессами, экзо- и эндоконтактов интрузий и зон тектонических нарушений. Соблюдение такого требования не означает, однако, что можно нарушать параллельность и прямолинейность профилей опробования; расстояния между профилями не должны различаться больше, чем на 50 м. Если необходимо опробовать отдельные пункты, удаленные от профиля на расстояние больше допустимого, целесообразно пройти небольшой дополнительный профиль.

Как правило, профили задаются вкрест простирания основных рудовмещающих и рудоконтролирующих структур. В конкретных условиях Печенгской рудной провинции в большинстве случаев, особенно при опытно-методических работах, прежде всего обращается внимание на расположение контакта основных-ультрасосновных рудоносных интрузий, вкрест простирания которого и должно быть направлено большинство профилей геохимического опробования. Геологическое описание и документация пересекаемых профилем горных пород производится в масштабах крупнее 1:25000, выбор масштаба документации определяется сложностью геологической обстановки на конкретных участках. Пробы отбираются по общепринятому для изучения первичных ореолов методу пунктирной борозды при длине борозды 1-2 м, вес пробы 150-200 г. Опробование горных выработок и керна буровых скважин при опытно-методических работах производится с минимальными интервалами между пробами, а в зонах изменения горных пород, тектонических нарушений и в минерализованных зонах непрерывно по всей длине стенки горной выработки или колонки керна буровой скважины. При этом все разновидности пород следует опробовать отдельно, а в случаях их малой мощности допустимо увеличить ширину борозды или, что предпочтительнее, взять несколько дополнительных проб из параллельных пунктирных борозд. По мелким минерализованным трещинам и прожилкам должны быть отобраны отдельные пробы методом сплошной заборки. Правильный выбор интервала опробования в существенной степени определяет эффективность опытно-методических геохимических исследований. Высокая информативность геохимического опробования будет обеспечена, если

интервал опробования определяется в соответствии с геологическим строением участка и с учетом конкретной задачи опробования, которая в данном случае заключается в выявлении и оконтуривании первичных ореолов медно-никелевого оруденения. Кроме того, интервал опробования должен строго укладываться в контуры распространения каждой разновидности горных пород, отличающейся величинами фонового распределения элементов-индикаторов оруденения.

Требование достаточной достоверности опробования диктует необходимость получения во всех случаях не менее трех проб каждой разновидности горных пород. Методика опробования потенциально рудоносных зон, рекомендуемая для отбора проб из керна буровых скважин и по горным выработкам, должна в полной мере соблюдаться и когда эти зоны обнажаются на поверхности. Однако подход к геохимическому опробованию неизменных коренных горных пород на поверхности и в горных выработках или буровых скважинах должен быть различным. Материал керна буровых скважин и горных пород, вскрываемых горными выработками, имеет особую ценность, так как характеризует глубокие горизонты участков, недоступные для площадных геохимических исследований. Кроме того, в большинстве случаев горные и буровые выработки пройдены в непосредственной близости к рудным объектам, где выявление первичных ореолов оруденения особенно вероятно. Следовательно, целесообразно, особенно при опытно-методических работах, во всех случаях предельно уменьшать интервал опробования по колонкам керна буровых скважин и стенкам горных выработок, даже если в скважинах и выработках не обнаруживается видимой смены разновидностей горных пород, тектонических нарушений, зон изменений и т.п. Интервал опробования, как правило, не должен превышать длины пунктирной борозды, т.е. 1-2 м. На участках же потенциальной рудоносности и высокой степени вероятности выявления первичных ореолов оруденения опробование должно быть, как это указано выше, непрерывным.

При опробовании монотонных толщ коренных горных пород, обнажающихся на поверхности, интервал опробования может быть существенно увеличен. При мощности толщи свыше 100 м интервал должен составлять 25 м, а при мощности в несколько десятков метров - 5-10 м с соблюдением требования - не менее трех проб из каждой разновидности горных пород. При меньшей мощности величина интервала соответственно уменьшается.

Необходимо также учитывать, что медно-никелевое оруденение

на Печенгских месторождениях локализуется в мощных зонах, в которых интенсивно проявились гидротермально-метасоматические изменения, часто с утратой первоначального облика пород. В то же время в строении этих зон может наблюдаться зональность, выраженная перемежаемостью образований различного минерального состава (зоны и участки хлоритизации, амфиболитизации, серпентинизации, оталькования и т.п.). Для таких зон интервал опробования определяется с расчетом получения раздельной геохимической характеристики каждого типа метасоматитов.

Геологические зарисовки пунктов отбора проб на поверхности и в горных выработках выполняются обычно в масштабе 1:25, а по керну буровых скважин - 1:10. Отдельные детали текстур могут быть зарисованы и в более крупном масштабе. При описании особое внимание уделяется сульфидной минерализации, наличию тектонических нарушений и гидротермально-метасоматических изменений. Особо отбираются пробы для исследования фонового распределения химических элементов во всех опробуемых разновидностях горных пород. Для получения в этом случае достаточно представительной выборки, с учетом того, что в неизмененных породах коэффициент вариации содержания элементов не превышает 100% (при соблюдении удовлетворительной точности подсчета средних величин их концентраций), по каждой самостоятельно проявленной разновидности пород должно быть отобрано не менее 25-30 проб.

Аналитические исследования. Подготовка проб к анализу производится непосредственно в поле и в кратчайший срок после их отбора. Составляются ведомости в трех экземплярах. Пробы в ведомостях группируются по участкам, разрезам, разновидностям пород, отдельным интрузивам и их дифференциатам, рудным телам и т.п. Отдельно выделяются пробы, отобранные с целью определения фоновых содержаний. В ведомостях указываются сведения о топографической привязке профилей, приводятся краткая геолого-минералогическая характеристика и перечень элементов, на которые следует анализировать пробы. Один экземпляр ведомости остается для контроля у исполнителей, а два направляются в лабораторию; впоследствии один из двух направленных в лабораторию возвращается исполнителям с результатами анализа.

Обработка проб производится в соответствии с действующей инструкцией при строгом соблюдении очистки дробильного оборудова-

ния. По крайней мере часть операций по дроблению проб желательно выполнить в полевых условиях, что удешевит их транспортировку и ускорит получение результатов анализа. Важным моментом при подготовке проб к анализам является определение перечня анализируемых элементов. Опытно-методические расчеты, проведенные в Печенгской рудной провинции, выявили, что элементами-индикаторами медно-никелевого оруденения являются: никель, медь, кобальт, серебро, свинец, хром, цинк, барий, олово, молибден, бор, титан, ванадий и марганец. Все эти элементы удовлетворительно определяются спектральным приближенно-количественным анализом, которому, учитывая его экспрессность и достаточную точность, и следует отдать предпочтение для целей изучения первичных ореолов оруденения. При проведении специальных исследований гидротермально-метасоматических преобразований, рудопроявлений не медно-никелевого состава и т.п. применяются соответствующие методы анализа на элементы, определяющие состав изучаемых объектов. При постановке опытно-методических работ на медно-никелевых месторождениях в других аналогичных районах и провинциях до выявления элементов-индикаторов оруденения пробы должны подвергаться приближенно-количественному спектральному анализу на максимально возможное число элементов. Во всех случаях применение количественных методов анализа допустимо лишь для малого числа проб (для решения специальных задач или контроля).

Чтобы выявить зональность известных рудных тел, можно ограничиться определением только трех элементов: меди, никеля и кобальта. Это позволит вычислить достаточно информативный для указанной цели мультипликативный коэффициент $\frac{Cu^2}{Ni \cdot Co}$.

Выявление геохимических аномалий и расчет их параметров. Геохимические аномалии выявляют сравнением содержаний элементов-индикаторов медно-никелевого оруденения в пробах с фоновыми их содержаниями в соответствующих горных породах (когда такие элементы неизвестны, их предварительно устанавливают по общепринятой методике).

Фоновые и минимально-аномальные содержания элементов-индикаторов определяют для опытно-методических работ при трех уровнях значимости (обычно 15,9%, 2,3%, 0,1%). Далее на вероятном трафарете устанавливают три величины минимально-аномальных содержаний, соответствующие трем различным уровням вероятности их появления в фоновой выборке с учетом величины стандартного от-

клонения (S) содержания элемента в ней:

$$\begin{aligned}Ca_1 &= C\Phi + S && \text{с вероятностью } 84,1\%; \\Ca_2 &= C\Phi + 2S && \text{" } 97,7\%; \\Ca_3 &= C\Phi + 3S && \text{" } 99,9\%.\end{aligned}$$

Для обчета фоновых выборок могут быть применены ЭВМ.

Необходимо иметь в виду, что получение представительных достоверных фоновых выборок в районах Печенгских и аналогичных месторождений чрезвычайно затруднено из-за широкого проявления здесь метаморфогенно-гидротермальных процессов, и требуется предварительное тщательное изучение, включая и микроскопическое, каждой пробы, используемой для определения фоновых содержаний.

После определения фоновых и минимально-аномальных содержаний выделяют аномальные концентрации химических элементов в геохимических пробах. Удобнее всего делать это непосредственно в ведомости результатов анализа, форма которой должна быть приспособлена для такой операции. При опытно-методических работах ее выполняют с тремя уровнями значимости.

Полученные данные наносятся на копии карт разрезов и фактического материала, а также в журналы геологической документации керна буровых скважин и горных выработок.

При дальнейшей обработке результатов анализа суммируют элементы-индикаторы и таким образом выявляют слабо выраженные аномальные концентрации, т.е. существенно повышают чувствительность метода обнаружения первичных геохимических ореолов оруденения. На подстадии общих поисков, имеющих целью выделение участков, перспективных для проведения детальных поисков, это обстоятельство имеет особенно большое значение, так как дает возможность предполагать, где на глубине скрыты рудные тела, проявляющиеся на поверхности относительно ослабленными первичными ореолами.

Опыт показал, что наиболее эффективным для этой цели является мультипликативный метод суммирования, позволяющий получать наиболее контрастные результаты. Выявление аномальных участков начинается с операции подсчета мультипликативных величин фоновых содержаний элементов-индикаторов по всем типам пород. Для Печенгской рудной провинции такими являются никель, медь, кобальт, серебро, барий, цинк, свинец и хром. В каждой пробе фоновой выборки перемножаются содержания указанных восьми элементов, а полученная таким образом мультипликативная фоновая выборка обрабатывается по обычной методике, т.е. рассчитываются средние фоновые

и минимально-аномальные содержания. Выделение мультипликативных аномалий проводится так же, как и моноэлементных с последующей группировкой на картах, планах и разрезах аномальных точек и оконтуриванием (с учетом геолого-структурных особенностей) территории опробования.

Благодаря тому, что для Печенгских месторождений удалось достаточно надежно выделить элементы-индикаторы надрудных и верхнерудных сечений первичных ореолов (Ag, Pb, Ba, Zn), а также элементы, образующие максимальные концентрации в первичных ореолах на уровне рудных тел (Ni, Co, Cu, Cr), стало возможным получение более надежных и информативных результатов путем выделения аномалий двумя мультипликативными показателями, отдельно по каждой группе. После выделения контуров аномалий каждой из этих групп общий аномальный контур получается путем их совмещения. Для установления в ультраосновных массивах участков с пониженным содержанием рудогенных элементов для мультипликативного показателя $Ni \cdot Cu \cdot Co \cdot Cr$ рассчитываются величины - $Ca_1, - Ca_2, - Ca_3$.

Для оценки выявленных геохимических аномалий необходимы расчеты различных количественных геохимических параметров.

Прежде всего рассчитываются линейные продуктивности элементов-индикаторов и их мультипликативных групп по аномальным полям, колонкам буровых скважин и разрезам. При проведении расчетов показателей зональности необходимо принять все возможные меры для исключения влияния друг на друга сравнительно близко расположенных рудоносных интрузивов или рудных тел, что из-за господствующего на Печенгских месторождениях кулисообразного расположения рудных тел не всегда возможно полностью достигнуть.

Чтобы выбрать наиболее информативные элементы-индикаторы зональности, проводится сравнительная оценка показателей зональности ореолов для различных элементов. Для этого строятся графики изменения средних содержаний или - лучше - линейных продуктивностей по различным сечениям рудовмещающей зоны, а затем подбираются соответствующие пары элементов и строятся по падению или восстановлению рудного тела графики изменения коэффициентов контрастности (отношений продуктивностей пар элементов). Анализ графиков позволяет вывести ряд осевой зональности. Элементы в ряду зональности располагаются в соответствии с убыванием величины коэффициента контрастности.

В качестве коэффициентов контрастности можно использовать

отношения величин линейной продуктивности одного и того же элемента на верхнем (надрудном) и на нижнем (подрудном) сечении. При изучении зональности первичных ореолов Печенгских сульфидных медно-никелевых месторождений был выведен коэффициент зональности. Он представляет собой частное от деления произведений линейных продуктивностей ореолов двух групп элементов: в числителе - бария, свинца, цинка, серебра (индикаторов фронтальных частей ореолов), в знаменателе - меди, никеля, кобальта, хрома (индикаторов более глубоких частей ореолов). Вычисление этого показателя по нескольким сечениям ореола позволяет проследить характер его изменения с глубиной (подробнее см. стр. 36 настоящего сборника).

Во избежание искажений при построении мультипликативных ореолов необходимо уделять особое внимание точности расчетов мультипликативных фоновых и минимально-аномальных содержаний для группы элементов.

Аналогичным образом рассчитываются мультипликативные показатели, характеризующие различные дифференциаты интрузий, поперечную и продольную зональности первичных ореолов, и другие параметры, необходимые для всесторонней оценки выявленной геохимической аномалии.

Оценка геохимических аномалий и составление прогнозных карт.

При оценке перспективности геохимических аномалий на подстадии общих поисков последовательно решаются следующие основные задачи: 1) установление природы геохимической аномалии; 2) определение уровня эрозионного среза выявленных первичных ореолов оруденения; 3) прогнозная оценка масштабов скрытого оруденения.

Первостепенное значение для оценки выявленных аномалий имеет выделение среди них тех, которые связаны с промышленными рудными месторождениями. В условиях Печенгской рудной провинции можно встретить аномалии, обусловленные петрогенными процессами. Так, например, концентрация различных акцессорных минералов может привести к образованию на эрозионном срезе этих пород геохимических аномалий. Такие аномалии относительно легко выделяются по составу, резко отличному от состава первичных ореолов промышленных медно-никелевых месторождений. Многие элементы-индикаторы, типичные для первичных ореолов месторождений, в таких аномалиях, как правило, отсутствуют или присутствуют явно в иных соотношениях.

Сложнее установить природу геохимических аномалий, связанных с проявлениями непромышленного оруденения, представленного преимущественно пирротином с резко подчиненным количеством минералов никеля и меди. Это связано прежде всего с тем, что первичные ореолы пирротиновых руд в настоящее время геохимически изучены относительно слабо.

Первоначально при проведении геохимических поисков такие "пирротиновые" аномалии, особенно в полях развития аномалий медно-никелевого оруденения, полностью игнорировались. Однако проведенные нами опытно-методические работы показали, что пирротиновое оруденение характерно для фланговых и фронтальных частей богатых медно-никелевых рудных тел и ему свойствен комплекс элементов-индикаторов надрудных сечений первичных ореолов медно-никелевого оруденения. Следовательно, такие аномалии заслуживают дополнительного изучения как путем детализации геохимических работ, так и путем специального геолого-структурного исследования с привлечением других методов поисков.

После выделения рудогенных геохимических аномалий, являющихся первичными ореолами медно-никелевого оруденения, необходимо решить очень важный вопрос об уровне эрозионного среза таких ореолов, т.е. о положении этого среза по отношению к верхнему уровню ожидаемого рудного тела. Основным методическим приемом при этом является использование коэффициента зональности.

Как уже отмечалось выше, для первичных ореолов медно-никелевого оруденения Печенгских месторождений зональное строение является весьма характерным (см. стр. 36 настоящего сборника). Пока не удалось изучить полный вертикальный разрез этих ореолов, так как недостаточно данных об элементах-индикаторах нижнерудных и, особенно, подрудных срезов первичных ореолов, не вскрытых горными выработками или буровыми скважинами. Это обстоятельство не позволяет составить полный эталонный разрез с определенными значениями мультипликативного коэффициента зональности для каждого уровня среза. Нижним пределом вскрытия первичных ореолов является их среднерудный срез. В связи с этим при оценке положения уровня эрозионного среза представляется возможным использовать коэффициент зональности только в пределах среднерудных - надрудных частей первичных ореолов.

Для обеспечения оптимальной информативности коэффициента зональности его расчет производился по каждой геохимической пробе

0682

с аномальными концентрациями элементов—индикаторов, располагающейся в общем контуре рудогенной аномалии. В пределах каждой аномалии пространственно тяготеющие друг к другу точки с одинаковыми или близкими значениями коэффициента зональности группировались по трем градациям. Выделяются градации, характерные для близрудных, верхнерудных – надрудных и надрудных – удаленных сечений. Выделение таких градаций для первичных ореолов Печенгских месторождений носит в известной степени условный характер. Это связано с тем, что вблизи рудных тел значения коэффициента зональности в любых породах минимальные – ниже значений такого коэффициента в фоновых выборках и, следовательно, оценку градаций приходится производить с учетом вариаций значений коэффициента в фоновых выборках различных пород. Кроме того, низкие величины коэффициента зональности сечений ореола, условно названные "близрудными", обусловлены иногда только относительно интенсивным проявлением медно-никелевой минерализации и могут в таких случаях устанавливаться и на значительном удалении от промышленного оруденения по восстающим рудовмещающим зонам.

Участки с точками, в которых значения коэффициента зональности соответствуют выделенным градациям, оконтуриваются. Отдельно выделяются участки с повышенными значениями мультипликативного показателя $Ni \cdot Cu \cdot Co \cdot Cr$. В большинстве случаев они наблюдаются там, где значения коэффициента зональности понижены (соответственно градации близрудных сечений).

Таким образом в пределах общего контура аномалии удается выделить участки с повышенным содержанием элементов рудогенной группы и величинами коэффициента зональности, указывающие на вероятное надрудное положение уровня аномалии по отношению к ожидаемому рудному телу.

Если уже при определении природы геохимической аномалии и уровня ее по отношению к ожидаемому оруденению невозможно обойтись без всестороннего учета геолого-структурных факторов, то при прогнозной оценке масштабов скрытого оруденения знание геологических критериев и поисковых признаков оруденения приобретает первостепенное значение.

В настоящее время неизвестны надежные геохимические критерии для прогнозной оценки масштабов скрытого оруденения, выявление таких критериев является важнейшей задачей будущих опытно-методических исследований. Некоторую помощь при такой оценке мо-

жет оказать мультипликативный показатель $Ni \cdot Cu \cdot Co \cdot Cr$. В пределах одного рудного поля, где разведаны отдельные рудные тела, иногда возможно установить коэффициент зависимости данного мультипликативного показателя на определенных уровнях первичного ореола от величины запасов руд, с которыми связан этот ореол. Успешное использование такого коэффициента возможно пока только для оценки скрытого оруденения на том же месторождении, где этот коэффициент был определен, при условии привлечения всех геологических, геофизических, минералогических и других данных.

Опытно-методические геохимические исследования на подстанции общих поисков завершаются составлением геохимической основы для прогнозной карты масштаба 1:25000. Окончательная прогнозная карта составляется с учетом материалов геолого-поисковых и геофизических работ и всей суммы знаний о металлогении исследуемой и прилегающей территории. На прогнозную карту (с геологической основой) наносятся контуры выявленных геохимических аномалий, признанных после их оценки первичными геохимическими ореолами промышленного медно-никелевого оруденения. В условиях Печенгской рудной провинции целесообразно наносить на карту контуры аномалий мультипликативного показателя, в который входят содержания 8 элементов-индикаторов медно-никелевого оруденения: никеля, кобальта, меди, хрома, серебра, свинца, цинка, бария. В контурах суммированных геохимических аномалий, являющихся по существу первичными ореолами рудных тел, выделяются контуры полей с самыми низкими и высокими величинами коэффициента зональности первичных ореолов. Первые характеризуют близрудные уровни ореолов, а вторые соответствуют их более удаленным надрудным уровням. Степень распространения и расположение таких контуров относительно друг друга анализируются с учетом геологического строения территории поисков. На этой основе выделяются аномалии различной перспективности и разрабатываются практические рекомендации по их детализации и проверке.

Разработка практических рекомендаций по проверке выявленных геохимических аномалий и методике проведения производственных геохимических поисков. Проверка перспективных геохимических аномалий в условиях Печенгской рудной провинции заключается в основном в проходке глубоких буровых скважин по определенным профилям. В случае недостаточной достоверности оценки аномалии предварительно проводятся детализационные геохимические исследования,

по результатам которых и делаются окончательные выводы о целесообразности проверки данной аномалии буровыми работами. Проведение этих работ относится уже к следующим подстадиям поисков и подробно здесь не рассматривается.

Практические рекомендации, в зависимости от перспективности аномалий, должны предусматривать определенную очередность их проверки буровыми работами. На перспективных аномалиях, требующих дополнительного изучения из-за недостаточности коренных обнажений, может быть рекомендовано картировочное бурение для проведения геохимического опробования коренных пород.

Опытно-методическими работами, проведенными в Печенгской рудной зоне по вышеизложенной методике, удалось выявить несколько участков, перспективных на медно-никелевое оруденение. Установлено, что наряду с продуктивной толщей перспективные первичные ореолы широко развиты и в перекрывающей ее четвертой вулканогенной толще. Это свидетельствует о перспективности на медно-никелевое оруденение глубоких горизонтов также и этой толще.

В настоящее время уже пробурено несколько скважин, которые по падению перспективных зон первичных ореолов на глубине 500 м выявили рудные тела с богатым сульфидным медно-никелевым оруденением.

Результаты опытно-методических работ в Печенгской рудной провинции позволяют рекомендовать широко проводить здесь производственные геохимические поиски как на подстадии общих поисков, так и на всех последующих подстадиях и стадиях геологоразведочного процесса по методике, изложенной в настоящей статье, но несколько упрощенной: могут быть увеличены интервалы опробования, определение фоновых и минимально-аномальных содержаний достаточно производить на одном уровне значимости с учетом величины стандартного отклонения $2s$. На первых же этапах обработки результатов анализа и их интерпретации целесообразно использовать мультипликативные показатели, прибегая к построению моноэлементных ореолов только для решения специальных задач. При производственных поисках можно уменьшить детальность геологической документации за счет схематизации описания деталей геологического строения, не имеющих отношения к признакам медно-никелевого оруденения.

В заключение следует подчеркнуть, что при геохимических поисках скрытого медно-никелевого оруденения в Печенгской и анало-

гичных рудных провинциях необходимо строго соблюдать утвержденную последовательность геологоразведочного процесса. Практически это означает, что до полного завершения общих поисков масштаба 1:25000 нельзя начинать детальные поиски и поисково-оценочные работы. Нарушение этого положения может привести к тому, что в результате распыления сил и средств по второстепенным объектам задержится детализация и разведка наиболее перспективных объектов, достоверная оценка которых выясняется только после полного завершения общих поисков.

В. В. Рябов,
О. В. Олифиренко

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ИНТРУЗИЯХ ОСНОВНОГО-УЛЬТРАОСНОВНОГО СОСТАВА

Сульфидные медно-никелевые рудные тела пространственно и генетически связаны с интрузиями основного-ультраосновного состава. При этом некоторые элементы-индикаторы сульфидного медно-никелевого оруденения образуют резко повышенные по сравнению с другими породами концентрации в тех или иных дифференциатах этих интрузий.

При разработке методов поисков медно-никелевых месторождений важным является выявление геохимических критериев, позволяющих распознавать рудоносные интрузии, давать оценку перспектив их рудоносности.

Эффективные геохимические критерии и их количественные показатели для решения этих задач могут быть разработаны на основе изучения закономерностей распределения химических элементов в отдельных дифференциатах и интрузии в целом. Было изучено несколько таких интрузий из различных участков Печенгской рудной зоны.

Наиболее полные данные получены по дифференцированной интрузии, вскрытой семью буровыми скважинами по разрезу 55 месторождения Семилетка. Интрузия имеет значительную мощность и протяженность. Она сложена тремя разновидностями пород, образовавшимися в результате дифференциации (сверху вниз): габбро, пироксенитами, перидотитами. Мощность верхней части от 20 до 60 м, а средней, иногда имеющей вид изолированных линзовидных тел, — 10 — 15 м. Мощность нижней части перидотитов на отдельных участках интрузии достигает 100 м. В нижнем эндоконтакте интрузии в перидотитах прослеживается линейно вытянутая зона сульфидных медно-никелевых руд с содержаниями никеля и меди до 0,7%.

Анализ геохимических разрезов по дифференцированной интрузии и особенно средневзвешенных содержаний химических элементов в отдельных дифференциатах (табл. I) показывает, что все исследованные элементы распределены в интрузии неравномерно. В то же время достаточно четко проявляются определенные закономерности. Выделяется группа элементов, более высокие содержания которых приурочены к габбро, — верхнему дифференциату интрузии. К ним относятся барий, ванадий, титан и молибден, хотя содержания после-

дногo в дифференциатах меняются незначительно. В перидотитах обнаруживаются более высокие концентрации никеля, меди, кобальта, серебра, цинка, хрома, марганца, свинца.

Исходя из распределения максимальных концентраций элементов в дифференциатах, был выведен следующий ряд вертикальной зональности (сверху вниз): барий-ванадий-титан-молибден-марганец-кобальт-цинк-свинец-хром-медь-никель-серебро.

Распределение элементов в дифференцированных интрузивах изучалось также по трем разрезам Западного фланга Печенгоской рудной зоны (участок Западного Каула) и нескольким разрезам Центральной и Восточной части зоны (участки месторождения Семилетка, Кнерджи-пор, Пульгуярви и др.).

Для всех изученных дифференцированных интрузивов основного-ультраосновного состава устанавливается в общем идентичная вертикальная (поперечная) зональность. Однако для аналогичных дифференциатов различных участков зоны значения средних содержаний некоторых элементов существенно варьируют. Это явление ниже будет рассмотрено особо.

Помимо изучения вертикальной (поперечной) зональности, определено связанной с процессами дифференциации, была сделана попытка выявить продольную или осевую зональность указанных интрузивов. Было установлено, что для дифференцированного интрузива по разрезу 55 ряды продольной зональности, выведенные на основании средних градиентов концентрации, для габбро и перидотитов в общем совпадают и близки к ряду зональности для интрузива в целом. Последний имеет следующий вид (от наиболее глубоких вскрытых частей интрузива к фронтальной части): свинец-цинк-никель-хром-кобальт-серебро-титан-марганец-ванадий-молибден-олово-барий.

Для дифференцированной интрузии по разрезу СТ-3, имеющей мощность до 70 м и протяженность более 2000 м, ряд продольной зональности выглядит следующим образом: кобальт-медь-свинец-молибден-никель-серебро-цинк, барий-олово-марганец-титан-ванадий-хром. Т.е. эти ряды существенно отличаются друг от друга. С ними имеют мало общего и аналогичные ряды, рассчитанные нами по трем-четырем сечениям интрузивов, вскрытых на меньшую глубину.

Различные дифференциаты отличаются минеральным составом и химизмом и в основном формировались еще в магматическом очаге, а не в процессе остывания интрузива. Поэтому естественно, что продольная зональность проявлена менее контрастно, чем поперечная

Т а б л и ц а 1

Распределение элементов в дифференциатах интрузии № 3, по разрезу 55 месторождения Семидетка

Породы	Число проб	Средневзвешенные содержания химических элементов ¹											Ba·V·Ti		Ba·Ti·V·Mo	
		Ni	Co	Cu	Ag	Zn	Pb	Ti	V	Cr	Ba	Mn	Mo	Ni·Cu·Ag	Ag·Ni·Cu·Co	
Габбро	31	23,2	8,2	13,2	0,1	8,3	0,32	1355,0	57,0	41,0	15,6	207,0	10,5	0,4·10 ⁸	0,5·10 ⁴	
Пироксениты	24	30,7	12,0	44,0	0,41	7,5	0,26	350,0	27,5	135,0	3,7	250,0	5,4	0,6·10 ²	0,3·10 ²	
Перидотиты	48	248,0	17,3	105,0	2,4	23,8	0,93	236,0	9,7	212,0	0,7	321,0	6,3	0,25·10 ⁻¹	0,1·10 ²	

¹ Ag и Mo даны в п.10⁻⁵%, остальные - в п.10⁻³%.

Т а б л и ц а 2

Распределение химических элементов в продуктах метаморфического и метаморфогенно-гидротермального преобразования гипербазитов

Порода	Число проб	Среднее содержание ¹											
		Ni	Cu	Cr	Co	Mn	Zn	Mo	B	Ag	Pb	Ti	V
Антигоритизированные перидотиты	80	230	28	200	21,0	240	10	7,5	12	0,35	0,058	210	9,8
Серпентиниты	84	132	21	130	19,0	170	7,8	6,3	8,2	0,30	0,068	215	9,0
Актинолитизированные серпентиниты	22	75	24	110	19,5	122	5,9	5,2	6,8	0,32	0,065	205	10,0
Хлоритовые апосерпентиниты	15	125	20	135	19,1	170	9,0	6,3	7,4	0,31	0,062	250	9,0
Тремолитизированные апосерпентиниты	14	96	13	120	19,0	155	7,3	5,6	6,9	0,28	0,058	210	8,5
Хлорит-тремолит-карбонат-гальвовые апосерпентиниты	10	98	27	123	20,0	172	7,5	7,5	3,5	0,35	0,074	300	9,5

¹ Средние содержания Ag и Mo даны в п.10⁻⁵%, остальных элементов - в п.10⁻³%.

Таблица 3

Параметры распределения элементов в породах Печенгской рудной зоны (анализы сделаны в Бронницкой ГТЗ)

Химичес- кие эле- менты	Содержание элементов ¹						Стан- дартное откло- нение S	Коэф- фици- ент откло- нения V	Содержание элементов						Стан- дартное откло- нение S	Коэф- фици- ент вари- ации V
	сред- нее (фонов- ное)C _ф	минимально-аномальные			S	V			сред- нее (фонов- ное)C _ф	минимально-аномальные			S	V		
		Ca ₁ (с вероят- ностью 84,1%)	Ca ₂ (с вероят- ностью 97,7%)	Ca ₃ (с вероят- ностью 99,9%)						Ca ₁ (с вероят- ностью 84,1%)	Ca ₂ (с вероят- ностью 97,7%)	Ca ₃ (с вероят- ностью 99,9%)				
	Филлиты (183) ²								Песчаники (86)							
Ni	5	12	30	70	6,3	80	3	7	16	40	6	117				
Cu	9	15	25	40	7,05	56	7,4	14	25	50	18,2	113				
Co	2	4	8	15	1,87	68	1,5	3,3	8	17	2,5	100				
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Pb	0,3	0,6	1,2	2,4	0,36	76	0,16	0,32	0,7	1,4	0,283	9,3				
Ba	13	25	55	110	15	73	10	21	54	130	13,5	62				
Zn	7,5	16	32	70	8,1	64	5,5	13	30	70	7,23	80				
Cz	10	30	80	280	11,7	70	8	17	32	70	11,8	88				
Mn	42	90	180	380	38	64	54	98	170	300	64,9	75				
Mo	25	70	200	540	47,5	100	9,5	16	30	50	20,2	123				
Sr	0,17	0,3	0,55	1,1	0,14	66	0,17	0,3	0,5	0,8	0,165	70				
V	10	15	21	40	6,6	51	5	10,5	22	50	5,93	53				
Ti	360	550	800	1100	166,6	35	380	560	800	1000	161,7	33				
B	0,8	1,3	2,5	5	0,62	60	0,6	0,95	1,5	2,5	0,46	58				
	Диабазы третьей толщи (282)								Диабазы четвертой толщи (44)							
Ni	4	7	11	19,5	1,56	47	3	5	9	15	1,9	53				
Cu	14	21	40	70	9,2	53	11	16	21	30	5,5	37				
Co	3,1	4,8	7	10	1,38	38	3,2	5	7,5	10,5	1,44	34				
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Pb	0,11	0,4	1,3	3,9	0,36	124	0,12	0,5	2	8	0,77	197				
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Zn	6,1	8,5	14,5	20	3,2	43	10	15	20	30	5,6	47				
Cz	4,1	9,5	19	38	5	83	3	6,5	13	25	3,8	83				
Mn	130	190	280	360	58,6	39	130	190	280	350	92,6	63				
Mo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Sr	0,17	0,7	2,1	7	0,72	153	0,3	0,5	0,8	1,3	0,02	5				
V	22	35	55	85	11,4	45	30	39	50	65	11,8	36				
Ti	550	880	1400	2000	219	37	700	900	1100	1300	181	24				
B	0,6	1,8	5,6	16	2,06	167	1,1	1,6	2,5	3,5	0,63	45				

Продолжение табл.3

			Туфы пикритов (35)								Габбро-диабазы (44)			
Ni	9	20	45	100	10,6	79	9	16	30	60	5,8	48		
Cu	5,8	10	17	30	4,6	59	18	27	41	60	8,7	41		
Co	2,3	5	12	25	1,9	61	3,5	5	7	10	1,48	37		
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Pb	0,1	0,3	1	3	0,28	78	0,1	0,25	-	-	-	-		
Ba	7	15	30	65	11,3	90	-	-	0,7	2	0,28	140		
Zn	12	21	48	85	20,9	110	6	8,5	-	-	-	-		
Cr	21	64	180	600	19,8	68	15	40	12	17	2,5	36		
Mn	75	140	250	440	62,1	61	130	180	120	300	26,1	93		
Mo	10	26	70	170	19,8	104	-	-	270	380	66,75	47		
Sn	0,2	0,6	1,6	4,2	0,068	28	0,28	0,4	-	-	-	-		
V	7,5	11	15	20	4,1	44	24	31	0,7	1,2	0,17	50		
Ti	500	610	820	1100	135,5	25	500	650	45	60	9,5	34		
B	0,28	0,75	2	5,5	0,45	64	2	4,8	950	1300	178,5	33		
									9,5	18	13,2	220		
			Габбро (24)								Перidotиты (84)			
Ni	3	6	11	20	4,5	90	160	250	380	650	100	48		
Cu	7	10	14	20	4,3	48	18	40	85	200	91	113		
Co	8	10	12	15	2,4	27	14	18	23	30	4,57	26		
Ag	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,65	1,4	3	0,42	72	
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Ba	10	17	32	65	11	80	-	-	-	-	-	-		
Zn	3	6	12	25	5,5	110	14	20	-	-	-	-		
Cr	14	25	40	70	16,1	91	110	150	30	45	4,8	28		
Mn	120	140	170	200	28,6	22	110	150	200	300	50,7	36		
Mo	12	22	40	70	13,6	92	-	-	200	300	58,4	40		
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
V	27	33	48	65	9,4	30	6,8	9	-	-	-	-		
Ti	850	1000	1300	1500	222	26	220	350	12	16	2,6	36		
B	2	4,3	10	23	4,3	180	4	11	550	800	150	48		
									35	120	3,87	68		

¹ Содержания серебра и молибдена даны в $\cdot 10^{-5}$, остальных элементов - $\cdot 10^{-3}$.

² В скобках указано число проб в фоновой выборке.

(вертикальная). Кроме того, геохимические наблюдения и специальные исследования, проведенные нами совместно с сотрудниками лаборатории геохимии КФАН СССР А.А.Предовским и А.А.Жантуровым, показали, что отмеченные различия связаны с влиянием метаморфических и гидротермально-метасоматических процессов и зависят от степени изменения интрузива этими процессами. Были сделаны выборки из интрузивных пород основного-ультраосновного состава, наименее измененных и измененных в различной степени, представляющих минеральную ассоциацию, образовавшуюся в определенную стадию метаморфического или гидротермально-метасоматического процесса. Пробы анализировались в Бронницкой ПТЭ методом приближенно-количественного спектрального анализа. Чтобы лучше оценить надежность определения того или иного элемента, отобранные пробы анализировались также количественным методом. Полученные данные приведены в табл.2, из которой видно, что содержание никеля в метасоматических породах поздних стадий резко уменьшается по сравнению со слабо измененными перидотитами. В хлорит-тремолит-карбонат-гальковых апосерпентинитах среднее содержание никеля на 0,1%-0,15% ниже, чем в антигоритизированных перидотитах. В этом же направлении заметно уменьшаются содержания хрома, марганца, бора. Резким уменьшением содержаний бора в гипербазитах на поздних стадиях их преобразования, по-видимому, объясняется наличие контрастных околорудных ореолов этого элемента, выявленных на некоторых участках Печенгской рудной зоны.

Полученные данные не дают четкой картины поведения кобальта при метаморфогенно-гидротермальных процессах. Однако области резкого уменьшения содержания кобальта в измененных перидотитах по ряду разрезов были установлены. Как видно из табл.2, при актинолитизации серпентинитов заметно уменьшается содержание в них цинка. Практически не меняются в различных минеральных ассоциациях содержания серебра, свинца, молибдена, титана, ванадия. Содержание меди в продуктах поздних гидротермально-метасоматических преобразований уменьшается только на 0,01%.

Эти данные несколько уточнены при изучении геохимических особенностей различных дифференциатов, вскрытых карьером на месторождении Фланговое и по ряду разрезов. Было замечено, что в габбро на отдельных участках значительно уменьшаются содержания ванадия и титана и растут содержания не свойственных для этих пород элементов: никеля, меди, хрома. Обычно это происходит, ког-

да со стороны всяческого бока дифференцированного массива развиты тела богатых сульфидных медно-никелевых руд. Такое рудное тело находится вблизи всяческого бока описанной выше дифференцированной интрузии (разрез 55). Поэтому приведенные в табл. I значения средних содержаний элементов в габбро нельзя считать среднефоновыми.

Для того, чтобы иметь представление о первичном распределении элементов в дифференциатах, мы, совместно с сотрудниками Лаборатории геохимии КФАН СССР, провели специальные работы. Были составлены выборки наименее измененных вторичными процессами габбро и перидотитов. Практически из каждой пробы был сделан шлиф, который изучался под микроскопом, с тем, чтобы исключить пробы гидротермально-метасоматически измененных пород. Чтобы лучше оценить надежность определения того или иного элемента, отобранные пробы анализировались не только приближенно-количественным и количественным методом. Фоновые и минимально-аномальные содержания элементов приведены в табл. 3. Так как устанавливаются очень низкие содержания типоморфных элементов, которые невозможно объяснить процессом дифференциации, рассчитывались не только положительные, но и отрицательные значения минимально-аномальных содержаний (табл. 4).

Таблица 4

Минимально-аномальные содержания^I элементов-индикаторов, установленные на месторождении Семилетка по разрезу 436

Содержания элементов	Элементы					
	Ni	Co	Cr	Mn	Cu	Ni·Co·Cu·Cr
	Перидотиты					
Сф	160	14	110	110	18	0,3·10 ⁷
-Са _I	100	11	80	80	8,5	0,1·10 ⁷
-Са ₂	65	8,7	60	60	4	0,2·10 ⁶
-Са ₃	40	7	42	45	1,8	0,5·10 ⁵
	Габбро					
Сф	3	8	14	120	7	0,1·10 ⁴
-Са _I	1,7	6,5	8,5	95	5	0,1·10 ³
-Са ₂	1	5,5	5	80	3,8	0,8·10 ¹
-Са ₃	0,55	4,5	3	65	2,7	0,7

^I Содержания даны в тех же единицах, что и в табл. I-3

Была сделана попытка выявить в массивах участки существенного накопления и обеднения типичных для интрузивов элементов и характер взаимоотношений этих участков.

Детально был опробован рудоносный интрузив месторождения Фланговое, вскрытый карьером. Как видно из табл.3 и 4, среднефоновое содержание никеля в перидотитах 0,16% (значения содержания в фоновой выборке варьируют от 0,1 до 0,25%). В упомянутом массиве устанавливается чередование сравнительно маломощных зон субмеридионального простирания с резко повышенными и с пониженными содержаниями никеля. Максимальные концентрации достигают 0,5-1% и более и соответствуют прожилково-вкрапленным рудам, а минимальные существенно ниже величины $-Ca_2$ и равны 0,008-0,01%, т.е. ниже среднефоновых в 16-20 раз.

Аналогичные зоны с пониженными по сравнению со среднефоновыми содержаниями устанавливаются для кобальта, хрома, марганца, меди. Для кобальта они в 1,5-2 раза ниже среднефоновых, а для хрома и марганца - в 2,5-3. Участки пониженных содержаний меди имеют небольшую мощность и протяженность; содержания ниже среднефоновых обычно в 2, а иногда в 5-9 раз ($-Ca_2$; $-Ca_3$; см.табл.4).

Зоны пониженных содержаний никеля, кобальта, хрома, меди и некоторых других элементов выявлены также по ряду разрезов различных дифференцированных интрузий основного-ультраосновного состава Печенгского рудного поля. На рис.1 приведен один из таких разрезов. Мощность интрузива до 200 м: по 80 м приходится на габброиды и перидотиты и до 30 м на разделяющие их пироксениты. На верхнем сечении (скв.1629) пироксениты выклиниваются. В нижней части перидотитовых дифференциатов по скв.1629 и 1641 выявлена зона прожилково-вкрапленных сульфидных медно-никелевых руд с содержанием никеля до 0,5-0,6%. Мощность зоны - до 38 м. Протяженность вскрытой части интрузива 1000 м. Верхняя часть интрузива эродирована и перекрыта моренными отложениями. Распределение химических элементов в интрузиве неравномерное. На верхних сечениях содержания выше среднефоновых, а на подрудном (скв.1623) они в подавляющем большинстве проб и габбро, и перидотитов существенно ниже среднефоновых для этих пород. В целом по сечению устанавливается область пониженных (в 2-3 раза ниже среднефоновых) содержаний никеля. По направлению к головной части интрузии мощность таких зон резко падает и соответственно увеличивается мощность зон с повышенными содержаниями никеля, вплоть до промыш-

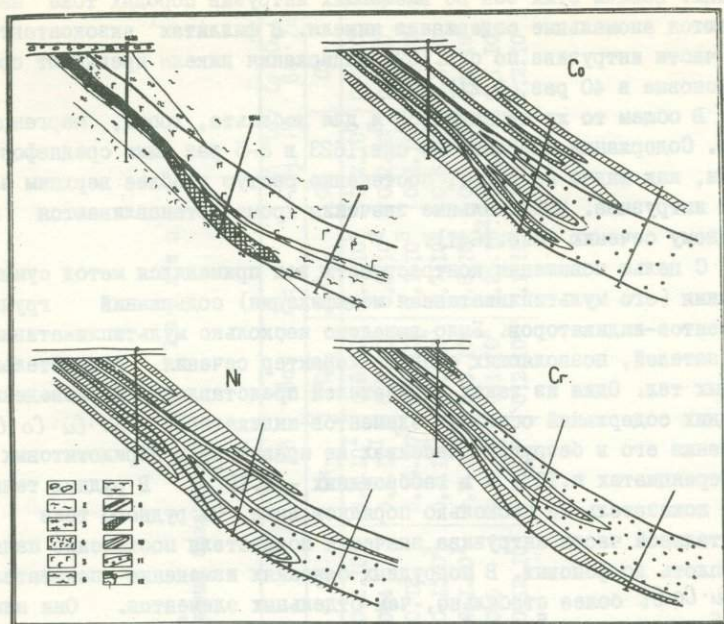


Рис.1. Распределение элементов в дифференцированном интрузиве и вмещающих породах. Разрез по линии I9

I - моренные отложения; 2 - филлиты; 3 - песчаники; 4 - габбро-диабазы; 5 - габбро; 6 - пироксениты; 7 - перидотиты; 8 - границы дифференцированного интрузива; 9 - прожилково-вкрапленные руды; 10-11 - минимально-аномальные содержания: выше (10) и ниже (11) фоновых; 12 - буровые скважины.

Минимально-аномальные содержания элементов в породах (в %):

	диабазы	филлиты	габбро	перидотиты
никеля	0,005-0,015	0,012-0,07	0,006-0,2	0,25
меди	0,016-0,03	0,015-0,025	0,01-0,05	0,04
кобальта	0,005-0,01	0,004-0,012	0,01-0,011	0,013
хрома	0,01-0,06	0,035-0,2	0,03-0,3	0,15
бария	-	0,025-0,04	не опр.-0,2	до 0,02
ванадия	0,039-0,04	0,015-0,04	0,003-0,05	до 0,02
титана	0,9-1,0	0,55-0,8	0,5-1,5	до 1,2

ленных. Вблизи этих зон во вмещающих интрузив породах тоже наблюдаются аномальные содержания никеля. В филлитах экзоконтактовой части интрузива по скв. I629 содержания никеля превышают среднефоновые в 40 раз (0,2%).

В общем то же наблюдается и для кобальта, хрома, марганца, меди. Содержания кобальта по скв. I623 в 3-5 раз ниже среднефоновых и, как видно из рис. I, постепенно растут к более верхним частям интрузива. Максимальные значения хрома устанавливаются по среднему сечению (скв. I64I).

С целью повышения контрастности зон применялся метод суммирования (его мультипликативная модификация) содержаний группы элементов-индикаторов. Было выведено несколько мультипликативных показателей, позволяющих оценить характер сечения относительно рудных тел. Один из таких показателей представляет произведение средних содержаний основных элементов-индикаторов - $Ni \cdot Cu \cdot Co \cdot Cr$. Значения его в безрудных массивах не превышают в перидотитовых дифференциатах $п. 10^6$, а в габброидных - $п. 10^3$. В рудных телах этот показатель на несколько порядков выше. От рудного тела к фронтальной части интрузива значения показателя постепенно падают вплоть до фоновых. В подрудных сечениях изменение показателя $Ni \cdot Cu \cdot Co \cdot Cr$ более стабильно, чем отдельных элементов. Они ниже $п. 10^6$ (обычно $п. 10^5$ - $п. 10^4$) в перидотитах и $п. 10^2$ в габбро (табл. 5).

Таким образом, надрудные сечения рудоносных интрузий основного-ультрасоснового состава характеризуются величинами показателя $Ni \cdot Cu \cdot Co \cdot Cr$, превышающими в перидотитовых дифференциатах $п. 10^6$, в габброидных - $п. 10^3$. В подрудных сечениях рудоносных массивов преобладают значения этого показателя, не превышающие и обычно значительно ниже $п. 10^6$ для перидотитовых и $п. 10^2$ для габброидных дифференциатов.

Для верхнерудных и надрудных сечений характерно также увеличение значений мультипликативного показателя $Ag \cdot Pb \cdot Ba \cdot Zn$ (в перидотитах > 3). На основании приведенных материалов может быть выведен дополнительный критерий поисков сульфидных медно-никелевых рудных тел, залегающих в массивах основного-ультрасоснового состава или вблизи них.

В вертикальном разрезе дифференцированных интрузий основного-ультрасоснового состава, как отмечалось, химические элементы распределены неравномерно. На основе этой вертикальной (поперечной) зональности был выведен показатель, изменение величины ко-

Таблица 5

Средние и минимально-аномальные значения мультипликативных показателей
в породах Печенгской рудной зоны

Породы	$Ni \cdot Cu \cdot Co \cdot Cr$				$Ag \cdot Pb \cdot Ba \cdot Zn$				$\frac{Ni \cdot Cu \cdot Co \cdot Cr}{Ag \cdot Pb \cdot Ba \cdot Zn}$	
	СФ	Ca_I	Ca_2	Ca_3	СФ	Ca_I	Ca_2	Ca_3	СФ	Ca_I
Перидотиты	$0,3 \cdot 10^7$	$0,2 \cdot 10^8$	$0,5 \cdot 10^8$	$0,3 \cdot 10^9$	$0,2 \cdot 10^1$	$0,3 \cdot 10^1$	$0,6 \cdot 10^1$	$0,2 \cdot 10^2$	$0,2 \cdot 10^8$	$0,4 \cdot 10^8$
Габбро	$0,1 \cdot 10^4$	$0,2 \cdot 10^5$	$0,2 \cdot 10^6$	$0,3 \cdot 10^7$	0,4	$0,2 \cdot 10^1$	$0,7 \cdot 10^1$	$0,2 \cdot 10^2$	$0,2 \cdot 10^5$	$0,4 \cdot 10^5$
Габбро-диабазы	$0,2 \cdot 10^4$	$0,2 \cdot 10^5$	$0,12 \cdot 10^6$	$0,12 \cdot 10^7$	0,12	$0,15 \cdot 10^3$	$0,4 \cdot 10^3$	$0,1 \cdot 10^3$	$0,1 \cdot 10^5$	$0,1 \cdot 10^6$
Филлиты	$0,5 \cdot 10^3$	$0,7 \cdot 10^4$	$0,4 \cdot 10^5$	$0,5 \cdot 10^6$	$0,1 \cdot 10^2$	$0,1 \cdot 10^3$	$0,1 \cdot 10^3$	$0,7 \cdot 10^4$	$0,8 \cdot 10^6$	$0,3 \cdot 10^7$
Песчаники	$0,1 \cdot 10^3$	$0,1 \cdot 10^4$	$0,3 \cdot 10^5$	$0,4 \cdot 10^6$	$0,1 \cdot 10^1$	$0,7 \cdot 10^2$	$0,3 \cdot 10^3$	$0,8 \cdot 10^4$	$0,4 \cdot 10^5$	$0,2 \cdot 10^6$
Диабазы 3	$0,1 \cdot 10^3$	$0,4 \cdot 10^3$	$0,1 \cdot 10^4$	$0,5 \cdot 10^4$	0,5	$0,12 \cdot 10^2$	$0,1 \cdot 10^2$	$0,25 \cdot 10^2$	$0,7 \cdot 10^4$	$0,1 \cdot 10^5$
Диабазы 4	$0,5 \cdot 10^2$	$0,5 \cdot 10^3$	$0,5 \cdot 10^4$	$0,5 \cdot 10^5$	$0,12 \cdot 10^1$	$0,5 \cdot 10^1$	$0,2 \cdot 10^2$	$0,1 \cdot 10^3$	$0,8 \cdot 10^4$	$0,2 \cdot 10^5$

того в различных дифференциатах более отчетливо фиксирует их геохимические особенности. Числитель показателя представляет собой произведение средних содержаний (или продуктивностей) бария, ванадия, титана, то есть элементов наиболее характерных для габбро, а знаменатель — никеля, меди, серебра, концентрирующихся в перидотитах. Значения показателя в слабо измененных габбро варьируют от $\text{п.}10^8$ до $\text{п.}10^7$, в перидотитах от $\text{п.}10^5$ до $\text{п.}10^0$, а на участках развития руд в последних до $\text{п.}10^{-1}$ — $\text{п.}10^{-4}$.

Обращает на себя внимание изменение величины показателя и содержаний ряда элементов по отношению к фоновым в габбро на участках, где вблизи них развиты сульфидные медно-никелевые рудные тела. В табл.6 приведены значения коэффициента, рассчитанные для более 20 выборок габбро из различных участков Печенгской рудной зоны. Породы в разной степени изменены, с чем, вероятно, и связаны существенные (на четыре порядка) колебания величины этого показателя; от среднефоновых он отличается на два порядка. В большей части проб и содержания никеля отличаются от среднефоновых (см.табл.3). С ростом содержаний никеля в выборках уменьшаются значения коэффициента. Однако зависимость эта не совсем прямая.

На приведенном фрагменте разреза по месторождению Семилетка со стороны висячего бока дифференцированной интрузии находится сульфидное медно-никелевое рудное тело (рис.2). Оно сложено прожилково-вкрапленными рудами в серпентинитах. Около рудного тела и по восстанию вмещающей его зоны в филлитах и диабазах развиты повышенные, по сравнению с фоновыми для этих пород, содержания элементов-индикаторов сульфидного медно-никелевого оруденения — никеля, меди, кобальта и др.

Вместе с тем в габбро нижележащей дифференцированной интрузии по восстанию зоны над рудным телом также установлены существенно превышающие фоновые и минимально-аномальные содержания никеля, меди, кобальта, хрома (см.рис.2, скв.1704; табл.3). Например, фоновые значения никеля в габбро Печенгской рудной зоны равны 0,002–0,006% (среднефоновые 0,003), тогда как в габбро по скв.1704 содержания никеля достигают 0,05–0,2%.

Следует отметить, что в определенных сечениях рудовмещающей зоны в силу зонального строения ореолов содержания никеля могут увеличиваться не так контрастно. В то же время на этих уровнях наблюдаются существенные отличия от среднефоновых содержаний

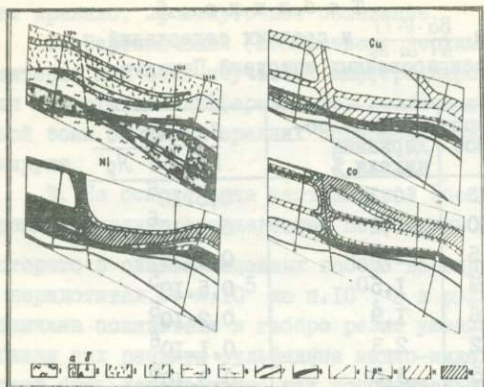
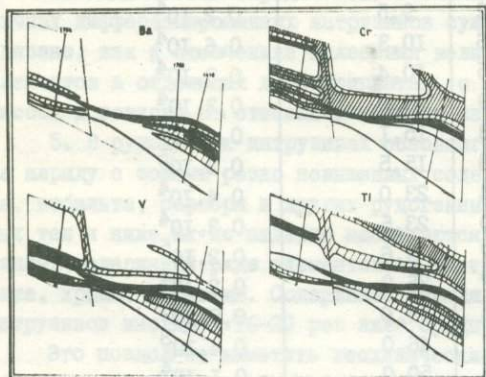


Рис.2. Распределе-
ние элементов в диф-
ференцированном инт-
рузиве и вмещающих
породах, месторожде-
ние Семилетка, разрез
436

I - филлиты; 2 - ту-
фы основного состава
(а), диабазы (б); 3 - га-
ббро-диабазы; 4 - габ-
бро; 5 - пироксениты;
6 - перидотиты; 7 -
границы дифференци-
рованного интрузива;
8 - границы рудного
тела; 9 - разрывные
нарушения; 10 - буров-
ые скважины; II -
Ca₁, I2 - Ca₂ (см.
табл.4)



других элементов. Например, содержания ванадия, титана, бария в рассматриваемом интервале по скв. I702 уменьшаются (см.рис.2).

Очень контрастно (на несколько порядков) меняются в этом интервале величины приведенного выше показателя. Они равны п. 10^5 - п. 10^4 , т.е. соответствуют значениям его в перидотитах.

Таким образом, первичные ореолы богатых рудных тел развиваются не только в вулканогенно-осадочных породах, но и в габброидных дифференциатах никеленосных интрузивов, что может быть использовано как дополнительный критерий при геохимических поисках рудных тел этого типа.

Т а б л и ц а 6

Изменение коэффициента $\frac{Ba \cdot V \cdot Ti}{Ni \cdot Cu \cdot Ag}$ и средних содержаний никеля в габбро дифференцированных интрузий Печенги

Участок	Номера скважин	Число проб	Средние содержания никеля, %	$\frac{Ba \cdot V \cdot Ti}{Ni \cdot Cu \cdot Ag}$
Семилетка	I410	13	0,3	$0,5 \cdot 10^6$
Кьерджибор	I623	10	1,2	$0,2 \cdot 10^6$
Семилетка	I701	5	1,5	$0,2 \cdot 10^5$
Зап. Каула	I435	9	1,5	$0,5 \cdot 10^5$
Семилетка	I403	6	1,9	$0,2 \cdot 10^5$
Зап. Каула	I450	12	2,3	$0,1 \cdot 10^6$
Семилетка	I588	5	3,0	$0,3 \cdot 10^6$
Кьерджибор	2271	19	4,6	$0,3 \cdot 10^5$
Семилетка	I379	15	5,3	$0,5 \cdot 10^4$
Зап. Каула	I457	12	9,5	$0,2 \cdot 10^4$
"	I437	6	10,3	$0,6 \cdot 10^4$
"	I456	15	10,4	$0,3 \cdot 10^4$
СТ	2300	29	15,0	$0,3 \cdot 10^4$
Кьерджибор	I638	13	15,1	$0,4 \cdot 10^4$
"	I634	8	15,5	$0,2 \cdot 10^5$
"	I621	4	23,0	$0,4 \cdot 10^4$
"	I641	10	23,5	$0,3 \cdot 10^4$
Зап. Каула	I433	7	24,6	$0,2 \cdot 10^5$
Кьерджибор	I629	7	25,2	$0,2 \cdot 10^4$
"	I605	4	35,0	$0,9 \cdot 10^3$
"	I386	7	46,0	$0,4 \cdot 10^3$
"	I704	5	50,0	$0,1 \cdot 10^4$

В В О Д Ы

I. В интрузиях основного-ультрасоснового состава наблюдается геохимическая дифференциация элементов, выражающаяся в том, что более высокие содержания определенной группы элементов приурочены к габбро (верхнему дифференциату интрузий). К этой группе относятся барий, ванадий, титан и молибден. В перидотитах (нижних дифференциатах) обнаруживаются более высокие концентрации никеля, меди, кобальта, серебра, свинца, цинка, хрома, марганца. Величины средних содержаний элементов в пироксенитах занимают,

как правило, промежуточное положение.

2. Вертикальная (поперечная) геохимическая зональность характерна для всех изученных дифференцированных интрузий. Однако для аналогичных дифференциатов различных участков Печенгской рудной зоны значения средних содержаний элементов существенно варьируют.

3. На основе ряда вертикальной (поперечной) зональности интрузивов выведен определенный показатель $\Pi = \frac{Ba \cdot V \cdot Ti}{Ni \cdot Cu \cdot Hg}$, значения которого в слабоизмененных габбро варьируют от $p \cdot 10^6$ до $p \cdot 10^7$, в перидотитах от $p \cdot 10^5$ до $p \cdot 10^0$, а в рудах от $p \cdot 10^{-1}$ до $p \cdot 10^{-4}$. Величина показателя в габбро резко уменьшается на участках, где вблизи них развиты сульфидные медно-никелевые рудные тела, что может быть использовано как дополнительный критерий при геохимических поисках последних.

4. Ряды осевой (продольной) геохимической зональности различных дифференцированных интрузивов существенно отличаются. Это связано, как и отмеченные колебания величин средних содержаний элементов в отдельных дифференциатах, с явлением вторичных процессов и зависит от степени изменения интрузива этими процессами.

5. В рудоносных интрузивах основного-ультраосновного состава наряду с зонами резко повышенных содержаний никеля, меди, хрома, кобальта, серебра и других рудогенных элементов вблизи рудных тел и ниже их по падению наблюдаются зоны существенно пониженных содержаний ряда элементов, в частности, никеля, меди, кобальта, хрома, марганца. Содержания никеля на некоторых участках интрузивов иногда в 16–20 раз ниже среднефоновых.

Это позволяет наметить геохимические критерии оценки различных сечений интрузивов относительно оруденения. Для близрудных сечений в пределах интрузивов характерны значения показателей $Ni \cdot Co \cdot Cu \cdot Cr > p \cdot 10^6$ и $Ag \cdot Pb \cdot Ba \cdot Zn > 3$. Значения показателя $Ni \cdot Co \cdot Cu \cdot Cr < p \cdot 10^6$ по определенному сечению интрузива свидетельствуют о неперспективности его глубоких горизонтов.

6. Изученные зоны прожилков различного состава с пирротином представляют собой внешние (надрудные) части первичных ореолов сульфидных медно-никелевых рудных тел.

7. Для богатых рудных тел характерно зональное строение, которое отчетливо выявляется при обработке данных производственного опробования. В направлении вектора зональности наблюдается контрастное изменение величины показателя $\frac{Cu^2}{Ni \cdot Co}$.

С. В. Григорян,
В. В. Рябов,
О. В. Олифиренко

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ-ИНДИКАТОРОВ
В ПЕРВИЧНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛАХ
СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУДНЫХ ТЕЛ ПЕЧЕНГИ

В породах, вмещающих рудоносные интрузии и рудные тела Печенгской рудной зоны, отчетливо устанавливаются (по данным приближенно-количественного спектрального анализа) аномальные концентрации никеля, меди, кобальта, хрома, серебра, свинца, цинка, бария, олова, молибдена, титана, ванадия, бора, марганца. Работами геохимической партии Мурманской ГРЭ вблизи рудных тел выявлены также контрастные аномалии мышьяка, но надежно этот элемент может определяться только специальным анализом, и это не позволяет использовать его при массовом геохимическом опробовании. В отдельных пробах вблизи рудных залежей устанавливались аномальные содержания и некоторых других элементов, например, стронция, галлия, кадмия, ртути, висмута. Однако при геохимических поисках данного типа месторождений работать с этими элементами нецелесообразно, так как они образуют слабо контрастные, маломощные, прерывистые аномальные зоны.

Зоны повышенных содержаний химических элементов во вмещающих породах носят линейный характер, распространяясь по восставшим рудоконтролирующим зонам в виде серии полос над рудными телами и рудоносными интрузивами или параллельно их контактам. Мощность зон от первых метров до 150 м (в среднем 20–40 м), тогда как длина их превышает несколько сот метров. В качестве примера приводится сложно построенная рудовмещающая зона (рис. I), являющаяся одним из типичных объектов, на которых проводились опытно-методические работы. Зона вскрыта и прослежена рядом буровых скважин глубиной до 627 м. Она имеет пологое залегание и сложена в основном фидлитами, среди которых, кулисно располагаясь по падению зоны, залегают медно-никелевые рудные тела различного типа и другие рудоносные образования.

В пределах зоны развито четыре довольно крупных интрузивных тела, несущих медно-никелевое оруденение. Все они имеют линзовидную форму и вытянуты по падению зоны. Наиболее крупное интрузивное тело (Ш), мощность которого достигает 180 м, по падению зоны прослежено более чем на 1000 м. Интрузия сложена тремя разно-

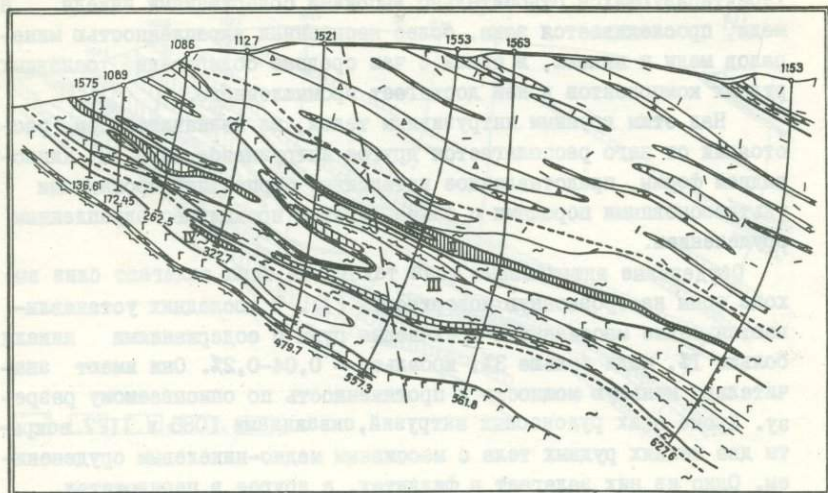


Рис. I. Месторождение Семилетка, геологический разрез 55
 I - диабазы; 2 - туфы основного состава; 3 - туффиты алевро-пелитовые, пелитовые; 4 - туфогенно-осадочные породы продуктивной толщи (филииты); 5 - габбро-диабазы; 6 - габбро; 7 - нироксениты; 8 - перидотиты; 9 - массивные и брекчиевые руды; 10 - промышленные прожилково-крашениные руды; 11 - контуры интрузий основного-ультрасоснового состава; 12 - буровые скважины; 13 - неопробованные интервалы; 14 - тектонические нарушения; 15 - контуры участков рудомещающей зоны, которые включались в подсчеты (среднеарифметических содержаниях, показателей зональности и т.п.)

видностями пород. Верхний дифференциат представлен габбро, средний — пироксенитами и нижний — перидотитами. Среди последних, характеризующихся относительно высокими содержаниями никеля и меди, прослеживается зона, более насыщенная вкрапленностью минералов меди и никеля, в связи с чем среднее содержание основных рудных компонентов в ней достигает промышленного.

Над этим крупным интрузивным телом, на незначительном расстоянии от него располагается другое интрузивное тело (II) линзовидной формы, представленное интенсивно серпентинизированными ультраосновными породами с более богатым прожилково-вкрапленным оруденением.

Оруденелые интрузивные тела такого же типа залегают близ выхода зоны на эрозионную поверхность (I). В последних устанавливаются также массивные и брекчиевые руды с содержаниями никеля больше 1%, меди больше 3%, кобальта — 0,04–0,2%. Они имеют значительно меньшую мощность и протяженность по описываемому разрезу. Кроме этих рудоносных интрузий, скважинами I086 и II27 вскрыты два мелких рудных тела с массивным медно-никелевым оруденением. Одно из них залегает в фьллитах, а другое в перидотитах.

Таким образом, в этой рудовмещающей зоне располагается несколько рудных тел разного типа и размера, что весьма затруднило изучение распределения химических элементов вокруг какого-либо одного из них. В связи с этим первоначально были выявлены и изучены поля аномальных концентраций элементов, образующиеся около группы рудных тел.

Рассмотрим особенности распределения некоторых элементов в околорудном пространстве в пределах зоны.

Участки с аномальными по сравнению с фоновыми концентрациями никеля, основного рудообразующего элемента в пределах изученной рудовмещающей зоны, имеют форму линейно-вытянутых, часто сближенных, субпараллельных полос (рис. 2) мощностью от первых метров до 30–40 м. Увеличение их количества наблюдается в верхней части рудовмещающей зоны, вблизи выхода на эрозионную поверхность. Полосы аномальных концентраций распространяются как в лежачем, так и в висячем боках интрузий, а также на удалении от рудных тел и рудоносных интрузий. Среднее содержание никеля в полосах (зонах) изменяется от 0,029 до 0,07%; в отдельных случаях достигает десятых долей процента.

В плоскости изученного разреза, за пределами рудовмещающей

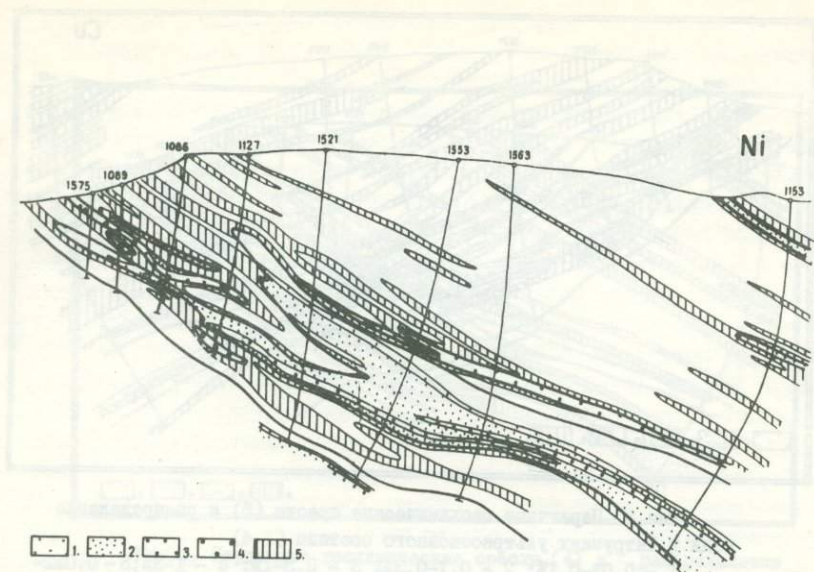


Рис.2. Первичные геохимические ореолы (5) и распределение никеля в интрузиях ультраосновного состава (I-4)
 I - 0,03-0,1%; 2 - 0,1-0,3%; 3 - 0,3-1%; 4 - 1%; 5 - 0,029-0,07%

зоны, также выявляется несколько таких участков с аномальными концентрациями никеля. Они, как правило, приурочиваются к тектонически нарушенным и ослабленным зонам, в которых иногда залегают маломощные и малопротяженные интрузивные тела основных или ультраосновных пород. Детальное изучение условий залегания полос показывает, что их распространение контролируется нарушениями различного типа.

Медь в аномальных концентрациях в рудовмещающей зоне обнаруживается также в виде полос, вытянутых по восстанию и падению рудоносных интрузий и рудных тел (рис.3). Их расположение, протяженность и мощность близки к аномальным зонам никеля. Содержание меди в отдельных аномальных полосах варьирует от 0,021 до 0,1%. Области распространения аномальных содержаний меди, так же как и никеля, контролируются тектоническими нарушениями. На отдельных участках разреза встречаются аномальные зоны меди за пределами распространения рудоносных интрузий и рудных тел. В плоскости ра-

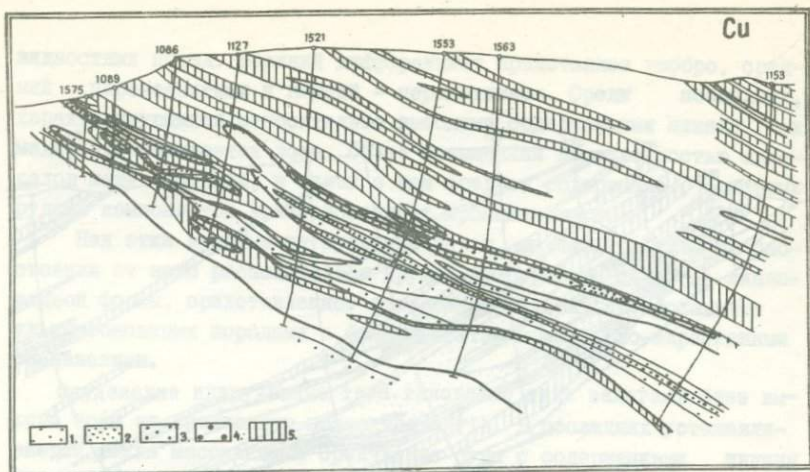


Рис.3. Первичные геохимические ореолы (5) и распределение меди в интрузиях ультраосновного состава (I-4)

I - 0,03-0,1%; 2 - 0,1-0,3%; 3 - 0,3-1%; 4 - 1-3%; 5 - 0,022-0,3%

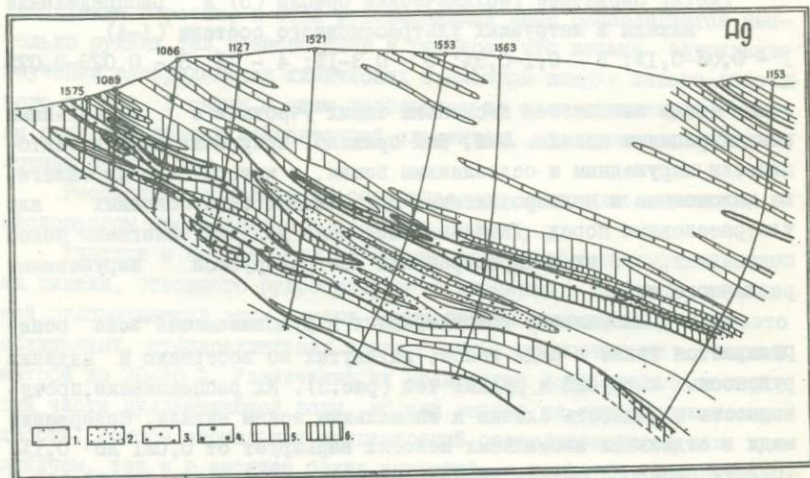


Рис.4. Первичные геохимические ореолы (5-6) и распределение серебра в интрузиях ультраосновного состава (I-4)

I - 0,000005-0,00001%; 2 - 0,00001-0,00003%; 3 - 0,00003-0,0003%; 4 - 0,0003-0,0015%; 5 - 0,000005-0,00001%; 6 - 0,00001-0,00002%

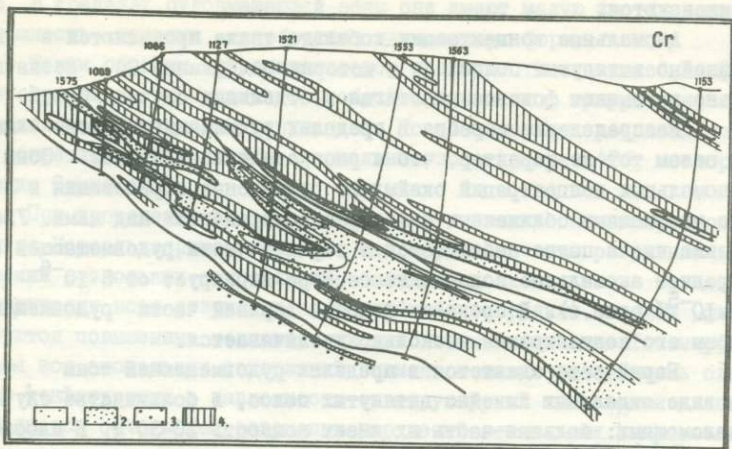


Рис.5. Первичные геохимические ореолы (4) и распределение хрома в интрузиях ультраосновного состава (1-3)

1 - 0,03-0,1%; 2 - 0,1-0,3%; 3 - 0,3-0,6%; 4 - 0,028-0,8%

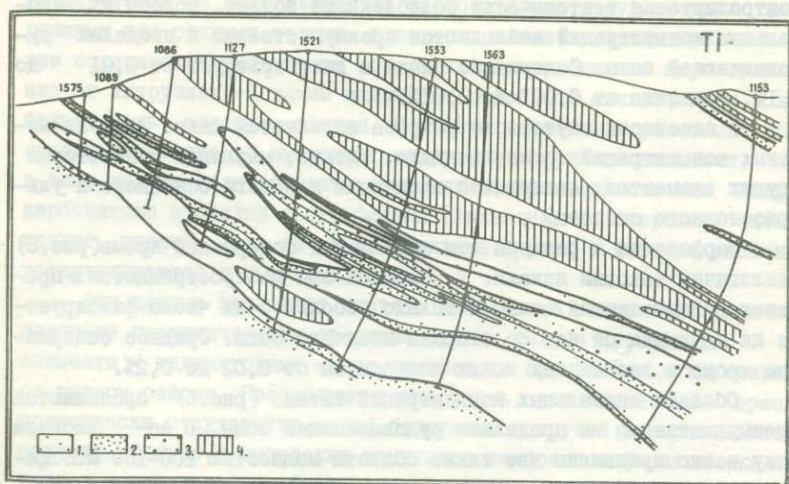


Рис.6. Первичные геохимические ореолы (4) и распределение титана в интрузиях ультраосновного состава (1-3)

1 - 0,1-0,3%; 2 - 0,3-1%; 3 - 1-2,5%; 4 - 0,48-1,6%

зреза они обнаружены там, где аномальные содержания никеля не фиксируются.

Аномальные концентрации кобальта также проявляются в виде линейно вытянутых полос, в которых содержания Co незначительно превышают фоновое, достигая в отдельных случаях $0,01\%$.

Распределение серебра в пределах рудовмещающей зоны имеет в целом тот же характер, что и распределение кобальта. Зоны его аномальных концентраций окаймляют рудоносные образования и в виде маломощных сближенных полос распространяются над ними. Увеличение числа полос наблюдается в верхней части рудовмещающей зоны. Среднее аномальное содержание серебра варьирует от $5 \cdot 10^{-6}$ до $2 \cdot 10^{-5}\%$ (рис.4). В пределах полос в верхней части рудовмещающей зоны его концентрация несколько увеличивается.

Барий распределяется в пределах рудовмещающей зоны также в виде отдельных линейно вытянутых полос, в большинстве случаев маломощных: большая часть их имеет мощность 20–30 м. В плоскости изученного разреза такие полосы обнаруживаются и за пределами зоны в ее висячем боку, где они также приурочены к тектонически ослабленным зонам.

Распространение аномальных содержаний цинка и свинца также контролируется тектонически ослабленными зонами. Полосы их аномальных концентраций наблюдаются преимущественно в пределах рудовмещающей зоны. Содержание цинка в них варьирует от $0,01$ до $0,1\%$, а свинца от $0,001$ до $0,01\%$.

В плоскости изученного разреза выделяются также зоны аномальных концентраций хрома, ванадия, титана, марганца и некоторых других элементов, являющихся типичными для магм основного и ультраосновного состава.

Морфология и размеры зон аномальных содержаний хрома (рис.5) аналогичны таковым никеля. В основном они распространяются в пределах рудовмещающей зоны, и только небольшое их число фиксируется на удалении от нее со стороны висячего бока. Среднее содержание хрома в аномальных зонах колеблется от $0,02$ до $0,2\%$.

Области аномальных концентраций титана (рис.6) проявляются преимущественно за пределами рудовмещающей зоны. В ее висячем боку четко проявлены две такие области мощностью 100–150 м. В пределах рудовмещающей зоны выявляется несколько маломощных и малопротяженных полос. Содержание титана в аномальных зонах колеблется от первых десятых до одного процента, а в некоторых случаях

и превышает указанное максимальное значение.

Аномальные концентрации ванадия выявляются также в виде полог. В пределах рудовмещающей зоны они имеют малую протяженность и мощность, местами приобретают линзовидную форму.

Таким образом, устанавливается преимущественно линейная форма аномальных зон элементов, обусловленная их приуроченностью к межслоевым разрывным нарушениям. Но на некоторых разрезах можно встретить крутопадающие аномальные зоны (разрез 486, месторождение Семилетка).

При проведении детального геолого-геохимического картирования на Котсельварском карьере, где широко развиты разрывные нарушения нескольких направлений, было установлено, что в зонах практически всех разрывных нарушений вблизи рудных залежей фиксируются повышенные концентрации рудогенных элементов. Т.е. морфология зон аномальных содержаний элементов может иметь очень сложную конфигурацию в зависимости от структурной обстановки и определяется сочетанием разрывных нарушений нескольких направлений, а именно, не только субширотных, но и субмеридиональных, северо-западного и северо-восточного простирания.

Анализ распределения элементов-индикаторов показывает, что поля повышенных концентраций во вмещающих породах по крайней мере некоторых из этих элементов тесно связаны с рудоносными интрузиями или рудными телами, в которых такие элементы имеют высокие содержания; уменьшение содержаний происходит по мере удаления от интрузива. К таким элементам относятся никель, хром, кобальт, медь, серебро, свинец. Изучение аномальных участков указанных элементов во вмещающих интрузивы породах показывает, что в них, как правило, развиты сульфидная вкрапленность или кварц-карбонатные прожилки с сульфидами (халькопирит, пирротин, пентландит, пирит), т.е. те же минеральные формы, в которых элементы устанавливаются и в рудных телах.

Эти данные позволяют считать выявленные аномальные поля первичными геохимическими ореолами рудных тел, а образующие их элементы - индикаторами медно-никелевого оруденения в изучавшемся рудном районе. Необходимо подчеркнуть, что первичные ореолы практически отсутствуют около безрудных интрузий ультраосновного состава. Вопрос о выделении комплекса наиболее информативных элементов-индикаторов требует особого рассмотрения.

Несмотря на то, что комплекс элементов-индикаторов, образу-

щих околорудные первичные ореолы, в общем известен, поведение этих элементов в процессе рудообразования не совсем ясно. Недостаточно обоснованно выделена группа прямых элементов-индикаторов оруденения, т.е. химических элементов, выделившихся в процессе рудоотложения. Чтобы уточнить набор элементов в этой группе, исследовался состав различных типов руд и характер распределения элементов вблизи рудных залежей.

Медно-никелевые руды Печенгского рудного поля, как известно, разделяются на несколько типов: бедные вкрапленные в серпентинитах, богатые прожилково-вкрапленные, брекчиевидные и сплошные сульфидные руды. Задача выявления геохимических особенностей этих типов руд осложняется тем, что они часто пространственно совмещены. Кроме того, некоторые элементы-индикаторы входят в состав силикатных минералов и образуют высокие концентрации в породах, вмещающих рудные залежи (например, никель в дифференцированных интрузиях основного-ультраосновного состава).

Для получения надежных результатов представительные выборки типов руд отбирались на нескольких месторождениях Печенгского рудного поля из рудных тел, локализующихся в различных породах. Пробы анализировались методом количественного и приближенно-количественного спектрального анализа на широкий круг элементов. Особое внимание уделялось элементам, зоны аномальных содержаний которых устанавливаются около рудных тел и рудоносных интрузивов (никель, медь, кобальт, хром, серебро, свинец, цинк, барий, олово, молибден, титан, ванадий, марганец, бор).

Для каждого типа руд были построены гистограммы распределения химических элементов (некоторые приведены на рис.7). При построении гистограмм за единицу приняты средние линейные продуктивности элементов в перидотитах с убогой сульфидной вкрапленностью (I). В величинах, кратных этой условной единице, по оси абсцисс откладывались значения средних линейных продуктивностей элементов в богатых прожилково-вкрапленных рудах в перидотитах (II) и сплошных и брекчиевидных рудах, локализующихся в осадочно-вулканогенных породах (III).

Из гистограмм видно, что в промышленных рудах, независимо от того, локализуются они в измененных перидотитах или осадочных породах, существенно повышается количество никеля, меди, кобальта, хрома, серебра, свинца (см.рис.7).

Для остальных элементов наблюдается более сложное распреде-

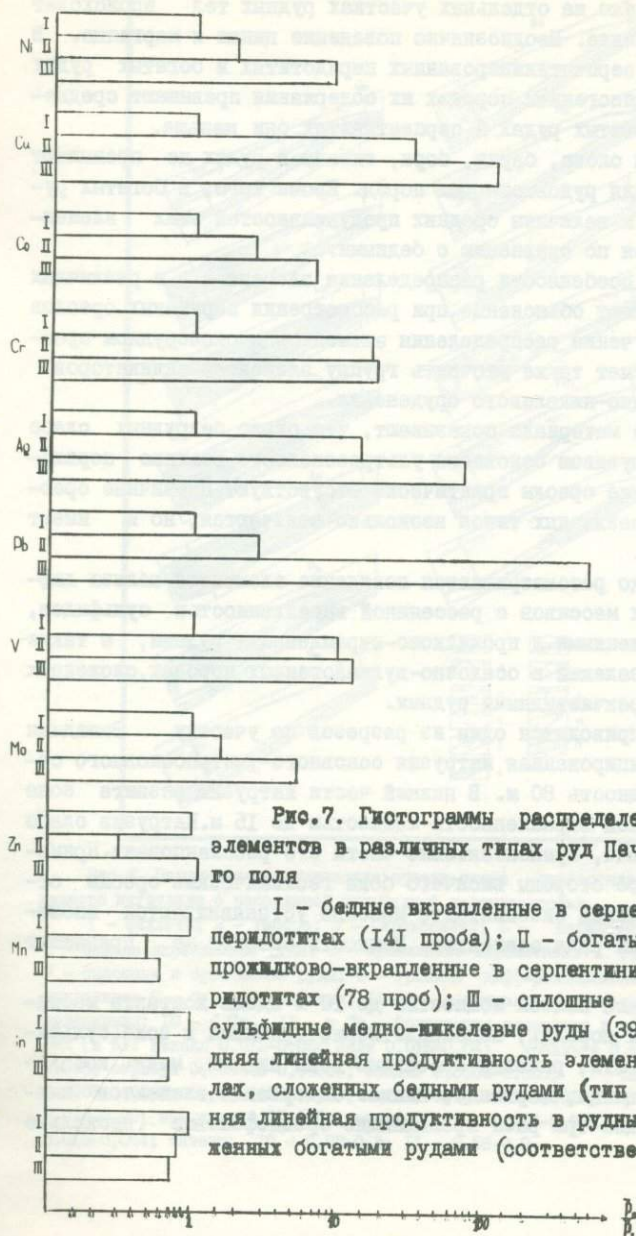


Рис.7. Гистограммы распределения химических элементов в различных типах руд Печенгского рудного поля

I - бедные вкрапленные в серпентинизированных перидотитах (I4I проба); II - богатые вкрапленные и прожилково-вкрапленные в серпентинизированных перидотитах (78 проб); III - сплошные и брекчиевые сульфидные медно-никелевые руды (39 проб); \bar{P}_I - средняя линейная продуктивность элемента в рудных телах, сложенных бедными рудами (тип I); \bar{P}_{II} - средняя линейная продуктивность в рудных телах, сложенных богатыми рудами (соответственно II и III типа)

ление. Содержания ванадия и молибдена в богатых рудах в общем возрастают, однако на отдельных участках рудных тел происходит их резкое понижение. Неоднозначно поведение цинка и марганца. В бедных рудах в серпентинизированных перидотитах и богатых рудах в осадочно-вулканогенных породах их содержания превышают средне-фоновые, а в богатых рудах в серпентинитах они меньше.

Содержания олова, бария, бора, титана в рудах не превышают среднефоновых для рудовмещающих пород. Кроме того, в богатых рудах содержания и величины средних продуктивностей этих элементов, уменьшаются по сравнению с бедными.

Некоторые особенности распределения элементов в различных типах руд получают объяснение при рассмотрении первичных ореолов рудных тел. Изучение распределения элементов в околорудном пространстве позволяет также уточнить группу элементов-индикаторов сульфидного медно-никелевого оруденения.

Полученные материалы показывают, что около безрудных слабо измененных интрузивов основного-ультрасоснового состава первичные геохимические ореолы практически отсутствуют. Первичные ореолы рудных тел различных типов несколько отличаются, но и имеют ряд общих черт.

Ниже кратко рассматривается поведение элементов вблизи дифференцированных массивов с рассеянной вкрапленностью сульфидов, богатыми вкрапленными и прожилково-вкрапленными рудами, а также вблизи рудных залежей в осадочно-вулканогенных породах, сложенных массивными и брекчиевидными рудами.

На рис. 8 приводится один из разрезов по участку Западная Каула. Дифференцированная интрузия основного-ультрасоснового состава имеет мощность 80 м. В нижней части интрузии развита зона убогой сульфидной вкрапленности мощностью до 15 м. Интрузив слабо серпентинизирован, приконтактные части его рассланцованы. Примечательно, что со стороны висячего бока геохимические ореолы отсутствуют. В нижнем экзоконтакте массива устанавливаются аномальные содержания ряда элементов. Мощность ореолов не превышает 10-15 м.

В виде узкой полосы мощностью до 10 м вдоль контакта массива во вмещающих породах, непосредственно примыкая к зоне сульфидной вкрапленности, развиты ореольные зоны никеля, меди, кобальта, серебра, свинца, марганца, цинка. Содержания элементов низкие, обычно в два-три раза превышающие среднефоновые (несколько

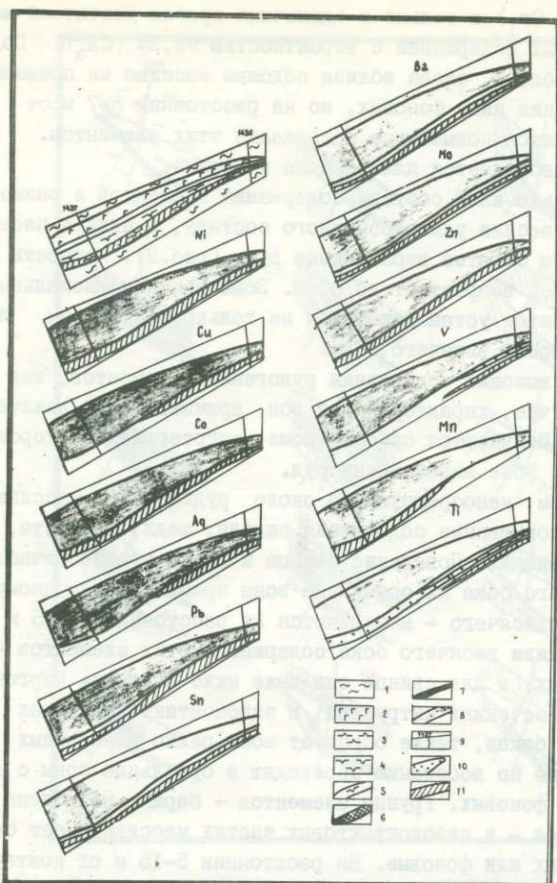


Рис.8. Первичные геохимические ореолы около дифференцированного интрузива с рассеянной сульфидной вкрапленностью

I - филлиты; 2 - габбро; 3 - пироксениты; 4 - перидотиты; 5 - бедные вкрапленные руды; 6 - прожилково-вкрапленные руды; 7 - сплошные и брекчиевые руды; 8 - границы дифференцированного интрузива; 9 - буровые окважины; 10-11 - минимально-аномальные содержания: 10 - $<Ca_T$, 11 - $>Ca_T$. Содержания элементов в ореолах (в %): никеля 0,012-0,08; меди 0,015-0,04; кобальта 0,004-0,006; серебра 0,000005-0,00006; свинца 0,0006-0,003; олова 0,0003-0,0004; бария 0,025-0,06; молибдена 0,0007-0,0018; цинка 0,016-0,06; марганца 0,09-0,5; ванадия: 10 - 0,004-0,006, 11 - 0,015-0,064; титана: 10 - 0,08-0,3; 11 - 0,56-0,9

превышающие Ca_1) и только в единичных пробах достигают минимально-аномальных содержаний с вероятностью 99,9% (Ca_3). Содержания бария, молибдена, олова вблизи подошвы массива не превышают фоновых или даже ниже фоновых, но на расстоянии 5-7 м от массива устанавливаются повышенные содержания этих элементов. Такая же тенденция наблюдается для ванадия и титана.

Несколько иной состав, содержания элементов и размеры ореолов около массива ультраосновного состава, в нижней части которого развиты богатые вкрапленные руды (рис.9). Мощность ореольных зон здесь возрастает до 50 м. Зоны высоких аномальных содержаний элементов устанавливаются не только со стороны лежащего, но и со стороны висячего бока.

Более высокие содержания рудогенных элементов, как и в предыдущем случае, характерны для зон, примыкающих к лежащему боку интрузива. Появляются ореолы хрома, тяготеющие со стороны лежащего бока к зоне вкрапленных руд.

В общем, непосредственно около рудоносного массива устанавливаются повышенные содержания никеля, меди, кобальта, хрома, серебра, ванадия. Поведение свинца и цинка неоднозначно: со стороны лежащего бока их ореольные зоны примыкают к рудному телу, а со стороны висячего - наблюдаются на расстоянии 10-15 м от интрузива. Вблизи висячего бока содержания этих элементов не превышают фоновых, а для свинца они даже ниже фоновых. Марганец в более низких сечениях интрузива, в экзоконтактных зонах висячего и лежащего боков, также образует зоны резко пониженных содержаний, которые по восстанию переходят в ореольные зоны с содержаниями выше фоновых. Группа элементов - бария, молибдена, олова, титана, бора - в экзоконтактных частях массива имеет содержания ниже фоновых или фоновые. На расстоянии 5-15 м от контактов устанавливаются зоны повышенных содержаний этих элементов, при этом обычно непосредственно у контактов наблюдаются зоны наиболее низких содержаний, которые по мере удаления от контактов постепенно возрастают. Эти элементы образуют более широкие зоны аномальных содержаний, чем никель, медь и другие рудогенные элементы.

Распространены маломощные тела серпентинитов с густой вкрапленностью и прожилками сульфидов. На приводимом разрезе (рис.10) три скважины пересекают головную часть рудного тела и две скважины - рудовмещающую зону над ним. Около описываемого рудного тела ореольные зоны более выдержанны, более протяженны, содержа-

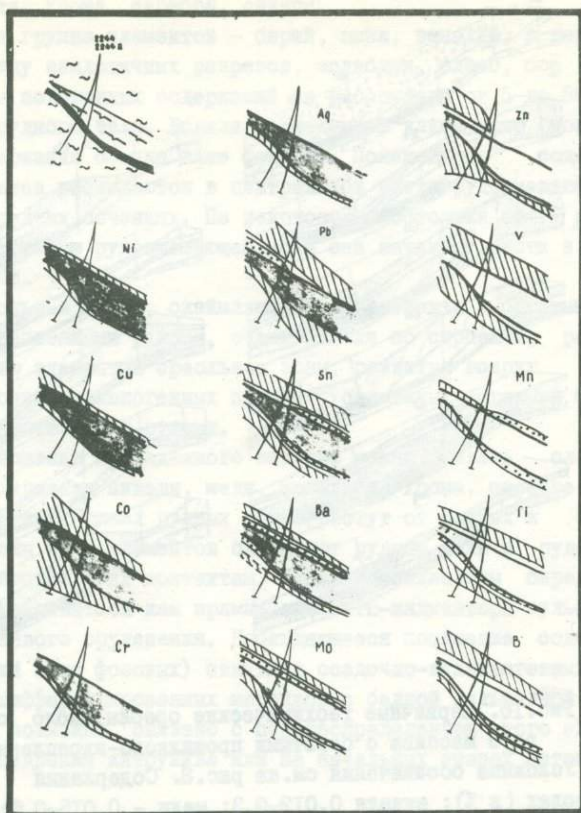


Рис.9. Первичные геохимические ореолы около интрузива с прожилково-вкрапленными рудами

Условные обозначения см. на рис.8. Содержания элементов в ореолах (в %): никеля - 0,012-0,1; меди - 0,015-0,04; кобальта - 0,004-0,02; хрома - 0,03-0,15; серебра - 0,000008-0,00008; цинка - 0,016-0,08; ванадия - 0,015-0,05; свинца: I - 0,00008-0,00018, II - 0,0006-0,005; олова: I - 0,00008, II - 0,0003-0,003; сурьма: I - 0,003-0,006, II - 0,025-0,1; молибдена: I - 0,00003-0,0001, II - 0,0007-0,012; марганца: I - 0,005-0,01, II - 0,09-0,25; титана: I - 0,2-0,3, II - 0,55-1,0; бора: I - 0,0002-0,0004, II - 0,0013-0,004

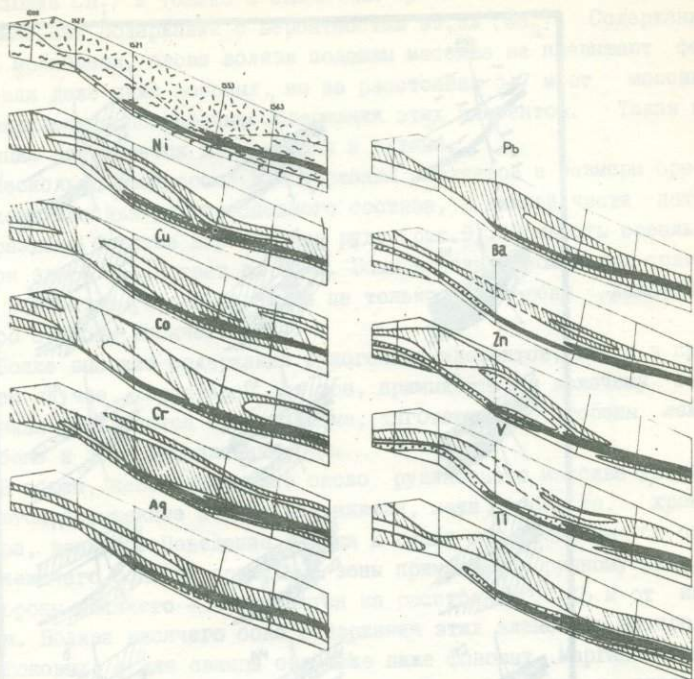


Рис.10. Первичные геохимические ореолы около серпентинитового массива с богатыми прожилково-вкрапленными рудами

Условные обозначения см. на рис.8. Содержания элементов в ореолах (в %): никеля 0,012-0,3; меди - 0,015-0,5; кобальта 0,004-0,02; хрома 0,03-0,3; серебра 0,000002-0,00006; свинца 0,0006-0,0025; бария: I - 0,003-0,0006; II - 0,025-0,05; цинка: I - 0,0017-0,0037, II - 0,016-0,3; ванадия: I - 0,002-0,006, II - 0,015-0,035; титана: I - 0,16-0,3, II - 0,55-1,2

ния элементов вблизи рудного тела устойчиво высокие (на уровне Ca_2 , Ca_3).

На этом разрезе четко выделяются описанные выше две группы элементов. Рудное тело окаймляют, примыкая к его контактам и распространяясь по восстанию рудовмещающей зоны, ореолы никеля, ме-

ди, кобальта, хрома, серебра, свинца.

Другая группа элементов — барий, цинк, ванадий, а также, как видно по ряду аналогичных разрезов, молибден, олово, бор — образует зоны повышенных содержаний на расстоянии от 5 до 80 м от контактов рудного тела. Вблизи последних в узкой зоне мощностью 5–15 м содержания обычно ниже фоновых. Пониженные содержания этих элементов наблюдаются в центральной части рудовмещающей зоны и в надрудных сечениях. На некотором расстоянии от рудного тела по восстановлению рудовмещающей зоны они начинают расти и превышают фоновые.

К ореольным зонам, окаймляющим серпентиниты с богатыми прожилково-зкрапленными рудами, очень близки по строению, размерам и содержанию элементов ореольные зоны, развитые вокруг рудных тел в осадочно-вулканогенных породах, сложенных богатыми массивными и брекчиевидными рудами.

На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы. Содержания никеля, меди, кобальта, хрома, серебра, свинца повышены во всех типах рудных тел и растут от бедных к богатым рудам. Ореолы этих элементов окаймляют рудные тела и рудоносные массивы, тяготея к их контактам. Указанные элементы определенно могут рассматриваться как прямые элементы-индикаторы сульфидного медно-никелевого оруденения. Наблюдающееся понижение содержаний (до значений ниже фоновых) свинца в осадочно-вулканогенных породах около дифференцированных массивов с бедной сульфидной зкрапленностью, возможно, связано с перераспределением этого элемента в период внедрения интрузива или на начальных этапах метаморфизма пород.

В богатых рудах в общем возрастают концентрации ванадия и молибдена. В слабо измененных перидотитах содержания этих элементов низкие, а во вмещающих осадочно-вулканогенных породах — достаточно высокие, сопоставимые с содержаниями в рудах. Устанавливается перераспределение их как в рудах, так и в околорудном пространстве. Ореольные зоны с повышенными содержаниями этих элементов развиваются обычно на некотором удалении от контактов рудных залежей, особенно сложенных богатыми рудами, что является косвенным признаком их перераспределения в процессе формирования руд. Таким образом, несмотря на то, что эти элементы накапливаются в отдельных участках рудных тел, они не могут считаться прямыми элементами-индикаторами оруденения данного типа.

Примерно такое же поведение характерно для цинка и марганца, содержания которых сильно варьируют в богатых рудах, особенно локализирующихся в перидотитах, и в целом уменьшаются в последних по сравнению с неизменными перидотитами. В околорудном пространстве в осадочно-вулканогенных породах также устанавливается перераспределение этих элементов.

На основании приведенных материалов к группе косвенных элементов-индикаторов следует отнести также титан, олово, бор, барий.

Таким образом, в результате изучения геохимических особенностей главных типов руд и первичных ореолов рудных тел месторождений Печенгского рудного поля было установлено, что элементами-индикаторами сульфидного медно-никелевого оруденения являются никель, медь, кобальт, хром, свинец, серебро, марганец, олово, титан, ванадий, молибден, цинк, барий, бор. К группе прямых элементов-индикаторов определенно относятся никель, медь, кобальт, хром, свинец, серебро.

Группа прямых элементов-индикаторов образует ореолы, тяготеющие к контактам рудных тел, по мере удаления от последних содержания элементов в ореолах падают. Вместе с тем, как будет показано ниже, максимумы содержаний этих элементов в пределах рудовмещающей зоны не совпадают. Зоны максимальных содержаний других элементов наблюдаются на некотором удалении от контактов рудных тел, а содержания этих элементов падают по направлению к рудным телам.

Итак, элементы указанных групп образуют максимальные содержания на различных уровнях от рудных тел, т.е. наблюдается очень важная в теоретическом и практическом отношении зональность первичных ореолов медно-никелевого оруденения. Изучение зональности ореолов отдельных рудных тел в Печенгской рудной зоне затруднено, так как в пределах рудовмещающих зон обычно развито несколько рудных тел разного типа и размера, располагающихся кулисообразно, и выявляются поля аномальных концентраций элементов около группы рудных тел. Поэтому первоначально нами была изучена зональность первичных ореолов в таких сложно построенных рудовмещающих зонах.

Выше были описаны первичные ореолы ряда элементов-индикаторов в одной из таких зон. Для выявления зональности и количественного ее выражения по отдельным сечениям рудовмещающей зоны (рис. II) были рассчитаны средневзвешенные содержания, и затем отношения средневзвешенных содержаний пар элементов. Обработка этих

Таблица I

Отношения средневзвешенных содержаний элементов по различным сечениям
рудовмещающей зоны в разрезе 55 (месторождение Семилетка)

Номер скважины	Характер сечения	Pb	Pb	Pb	Pb	As	As	As	As	Va	Va	Va	Va	Zn	Zn	Zn	Zn
		Ni	Co	Cu	Cr	Ni	Co	Cu	Cr	Ni	Co	Cu	Cr	Ni	Co	Cu	Cr
I089	Надрудное	0,026	0,6	0,02	0,08	0,035	0,8	0,03	0,1	0,3	6,7	0,25	I	0,5	I2,1	0,45	I,7
I086	"	0,01	0,15	0,008	0,01	0,03	0,3	0,015	0,02	0,1	I	0,05	0,08	0,4	4,3	0,23	0,3
II27	"	0,015	0,13	0,014	0,04	0,025	0,2	0,023	0,064	0,24	2,1	0,2	0,63	0,33	3	0,3	0,9
I521	Верхнерудное	0,036	0,26	0,04	0,03	0,026	0,2	0,03	0,02	0,44	3,2	0,5	0,34	0,6	4,5	0,7	0,47
I553	Среднерудное	6,007	0,11	0,016	0,02	0,004	0,06	0,009	0,011	0,12	2	0,27	0,34	0,2	3	0,43	0,53

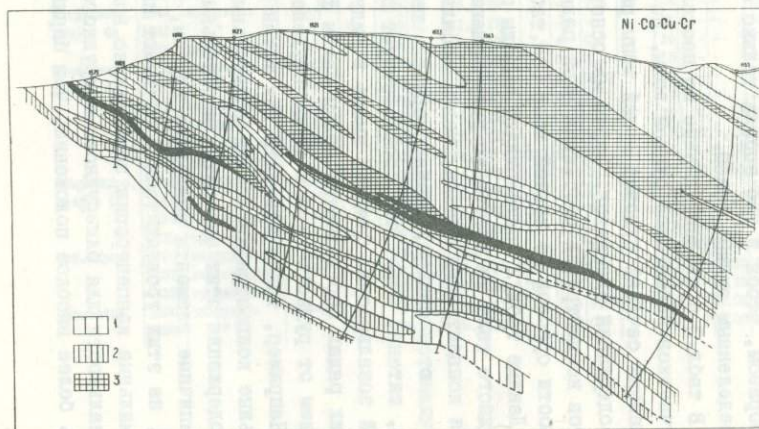


Рис. II. Мультипликативные ореолы Ni-Co-Cu-Cr
(месторождение Семилетка, разрез 55; см. рис. I)

	I	2	3
Перидотиты	$\geq 0,2 \cdot 10^8$	$\geq 0,5 \cdot 10^8$	$\geq 0,3 \cdot 10^9$
Габро	$\geq 0,2 \cdot 10^5$	$\geq 0,2 \cdot 10^6$	$\geq 0,3 \cdot 10^7$
Габро-диабазы	$\geq 0,2 \cdot 10^5$	$\geq 0,12 \cdot 10^6$	$\geq 0,12 \cdot 10^7$
Филлиты	$\geq 0,7 \cdot 10^4$	$\geq 0,4 \cdot 10^5$	$\geq 0,5 \cdot 10^6$
Песчанники	$\geq 0,1 \cdot 10^4$	$\geq 0,3 \cdot 10^5$	$\geq 0,4 \cdot 10^6$
Диабазы	$\geq 0,4 \cdot 10^3$	$\geq 0,1 \cdot 10^4$	$\geq 0,5 \cdot 10^4$

данных показала, что первичные ореолы имеют зональное строение, которое выражается в постепенной смене областей относительного накопления элементов по восстанию рудоносных зон в следующей последовательности: кобальт - хром - никель - медь, ванадий - цинк - титан - свинец - серебро - барий.

Определенно устанавливается группа элементов, характерных для надрудных сечений (барий, свинец, серебро, цинк) и группа элементов, образующих максимальные концентрации на уровне рудных залежей (никель, кобальт, хром, медь). Из табл. I видно, что величины отношений продуктивностей элементов первой группы к элементам второй растут от среднерудных сечений к надрудным. Флюктуации обусловлены сложным кулисным строением ореольных зон.

В настоящее время собран материал, который позволяет говорить о зональности ореолов отдельных рудных тел и рудоносных массивов. При этом мощность рудовмещающей зоны ограничивалась таким образом, чтобы в нее попали только ореольные зоны, связанные с определенным рудным телом.

В табл. 2 приведены данные по нескольким разрезам из различных участков Печенгской рудной зоны. По каждому разрезу для определенных сечений рудовмещающей зоны рассчитаны средневзвешенные содержания элементов. Затем на основании величин средних градиентов концентрации рассчитывались ряды продольной (осевой) зональности ореолов по каждой зоне (см. табл. 2).

Данные табл. 2 подтверждают выводы о том, что в направлении от рудного тела по восстанию рудовмещающих зон в ореолах уменьшаются концентрации никеля, меди, кобальта, хрома, марганца и увеличиваются свинца, бария, серебра, цинка, молибдена, олова, ванадия, титана, бора, что соответствует приведенным частным рядам осевой зональности. Следует иметь в виду, что положение элемента в таких рядах определяется целым рядом факторов, в частности, расстоянием от рудного тела и типом оруденения.

Например, такие элементы как титан и ванадий образуют максимальные концентрации вблизи фронтальных частей рудных тел, затем содержания этих элементов в ореольных зонах постепенно падают. Типичные элементы надрудной группы, например, цинк, свинец, барий, на этих уровнях только начинают накапливаться и образуют максимальные концентрации значительно выше. Однако в частном ряду зональности для близрудного-надрудного уровня титан будет занимать более высокое положение, чем барий и свинец.

Т а б л и ц а 2

Изменение величин средних продуктивностей, мультипликативных показателей и коэффициента зональности в зависимости от положения сечения относительно рудного тела

Участок	Номер оквации	Характер сечения	Расстояние между сечениями	Число проф	Средние продуктивности элементов														Ni · Cu · Co · Cr	Ag · Ba · Pb · Zn · Pb · Zn	Ag · Ba · Pb · Zn · Ni · Cu · Co · Cr	Удл зональности (полюс вверх по зоне)
					Ni	Cu	Co	Cr	Mn	Ag	Pb	Ba	Zn	Mo	Sn	V	Ti	Ba				
Семилетня, разрез 43d	1704	надрудное	140	21	42	24	6,1	94	-	0,8	14,6	22	-	28	653	-	0,6 · 10 ⁶	0,6 · 10 ²	0,1 · 10 ⁻³	Ni-Cr, Cu, Co-Ag V-Pb, Ba, Zn, Ti		
	1410	верхнерудное		7	300	98	11,1	226	-	0,10	-	9	-	9	174	-	0,7 · 10 ⁸	0,1 · 10 ¹	0,1 · 10 ⁻⁷			
	1656	надрудное	140	6	27	16	6,0	13	-	0,8	1,1	15	38	-	22	275	-	0,3 · 10 ²	0,8 · 10 ³		0,3 · 10 ⁻¹	
	1658	верхнерудное		4	213	21	6,8	43	-	0,1	-	6	-	-	11	115	-	0,1 · 10 ⁷	0,8		0,8 · 10 ⁻⁶	
СТ, разрез 3	1386	надрудное	240	4	14	11	6,3	17	-	2,1	-	19	-	20	383	-	0,1 · 10 ⁵	0,5 · 10 ²	0,5 · 10 ⁻²	Ni, Cr, Cu, Co-Ba, Ag Zn, V-Ti, Pb Cr, Ni, Co, Cu-Ag Zn-Ti, V-Ba-Pb		
	1605	верхнерудное		4	285	71	17,8	151	-	0,1	-	13	-	13	218	-	0,5 · 10 ⁸	0,2 · 10 ¹	0,4 · 10 ⁻⁷			
	1644	надрудное	120	6	25	20	6,2	29	-	1,6	22	24	-	19	535	-	0,9 · 10 ⁵	0,2 · 10 ³	0,2 · 10 ⁻²			
	1642	"		22	58	21	11,7	172	-	-	-	21	-	12	416	-	0,2 · 10 ⁷	0,1 · 10 ¹	0,5 · 10 ⁻⁶			
Клерджипор, разрез 8a	1644	надрудное	120	6	25	20	6,2	29	-	1,6	22	24	-	19	535	-	0,5 · 10 ⁷	0,1 · 10 ²	0,2 · 10 ⁻⁵	Co, Cr-Ni-Cu-V Zn, Ti-Pb-Ag Ba Ni-Cr, Cu, Co Mn-V-Ti, Zn-Ag-Pb Sn-B, Ba-Mo Co-Ni, Mn Cr-Cu-Sn Ti, V-Zn Mo, Ag, Pb-Ba Mn, Ni-Cr Co-Cu-Ti-Sn-Ba V-Ag, Mo, Pb Ni-Cr, Co, Cu-Zn-V Mo-B, Sn, Pb, Ag		
	1625	верхнерудное	140	3	96	85	9,8	59	-	0,7	-	16	-	17	478	-	0,5 · 10 ⁷	0,1 · 10 ²	0,2 · 10 ⁻⁵			
	1086	надрудное	150	3	48	30	7,7	53	-	0,3	1,1	18	18	-	28	733	-	0,6 · 10 ⁶	0,1 · 10 ³		0,2 · 10 ⁻³	
	1127	"		3	63	27	5	76	-	0,3	0,97	-	10	-	17	567	-	0,6 · 10 ⁶	0,3 · 10 ²		0,5 · 10 ⁻⁴	
СГ	1521	верхнерудное	180	2	300	300	60	400	-	0,2	0,7	-	10	-	40	350	-	0,2 · 10 ¹⁰	0,7 · 10 ¹	0,4 · 10 ⁻⁸		
	2235	надрудное	320	6	9	16	6,1	18	50	3,5	2,4	35	16	75	0,62	19	731	3,8	0,2 · 10 ⁵	0,5 · 10 ⁴	0,3	
	2231	верхнерудное	350	6	166	89	18,5	125	92	1,4	0,6	-	8	5	0,15	16	481	0,6	0,3 · 10 ⁸	0,3 · 10 ²	0,1 · 10 ⁻⁵	
	2287	среднерудное		4	224	47	14,4	209	225	0,9	0,4	-	8	-	0,13	5	260	1,0	0,3 · 10 ⁸	0,1 · 10 ²	0,3 · 10 ⁻⁶	
Клерджипор, разрез 19	1649	надрудное	140	4	11	16	4,3	19	28	3,2	0,9	29	21	30	0,53	16	540	-	0,1 · 10 ⁵	0,2 · 10 ⁴	0,2	
	1641	"	100	7	16	16	5,7	21	36	1,5	1,1	14	16	47	60	32	829	-	0,3 · 10 ⁵	0,3 · 10 ²	0,2 · 10 ⁻¹	
	1626	верхнерудное	160	2	100	200	14,5	32	335	1,9	0,1	-	21	11	0,3	15	97	-	0,9 · 10 ⁷	0,2 · 10 ²	0,2 · 10 ⁻⁵	
	1620	среднерудное		I4	300	230	16,6	68	97	1,6	-	-	17	14	0,3	7	121	-	0,8 · 10 ⁸	0,7 · 10 ¹	0,9 · 10 ⁻⁷	
Зап. Клауза	1436	надрудное	360	I3	24	7,6	2,9	5,6	34	1,4	1,7	11	71	277	0,24	23	325	-	0,3 · 10 ⁴	0,2 · 10 ⁴	0,7	
	1437	верхнерудное	250	4	93	7,7	4,9	10,6	134	0,7	0,6	7	61	115	0,21	14	301	-	0,4 · 10 ⁵	0,2 · 10 ³	0,5 · 10 ⁻⁵	
	1438	среднерудное		I5	327	35,5	15,8	34,8	195	0,7	0,4	-	28	-	0,15	5	89	-	0,6 · 10 ⁷	0,4 · 10 ²	0,7 · 10 ⁻⁶	
	1380	надрудное	500-600	5	5	8,7	3,6	11	-	5,8	3,01	-	13	9	0,24	11	-	1,1	0,2 · 10 ⁴	0,1 · 10 ⁴	0,5	
Рейсхайм	1380	"		5	5	8,7	3,6	11	-	5,8	3,01	-	13	9	0,24	11	-	1,1	0,2 · 10 ⁴	0,1 · 10 ⁴	0,5	
	1392	"		I7	109	25,3	19,1	103	-	1,3	0,9	-	18	7	0,08	10	-	-	0,5 · 10 ⁷	0,1 · 10 ²	0,2 · 10 ⁻⁵	

Особенности строения ореолов и положение исследуемых сечений относительно рудных тел будут выявлены более надежно, если для этого использовать мультипликативные группы элементов и их отношения. Мультипликативные ореолы более четко фиксируют рудовмещающую зону, чем моноэлементные (рис. 12-17). Первоначально использовался мультипликативный коэффициент зональности, представляющий частное от деления произведений линейных продуктивностей двух групп элементов: бария, свинца, серебра (индикаторы головной части ореолов) и меди, никеля, кобальта (индикаторы более глубоких частей ореолов).

В связи с тем, что вблизи рудных тел содержания бария очень низкие и увеличиваются лишь при удалении от них по восстановлению рудовмещающей зоны, в числитель коэффициента был введен цинк. Этот элемент также характерен для надрудных сечений ореольных зон, но максимальные концентрации его устанавливаются на более низких уровнях. Соответственно в знаменатель был введен хром, ореолы которого идентичны ореолам никеля и кобальта. При этом существенно увеличилась надежность и контрастность коэффициента зональности.

Для одних и тех же сечений ореольных зон в различных породах устанавливаются различные значения коэффициента зональности (табл. 3). Однако из анализа приводимых табл. 1-3 и разреза по линии 9 месторождения Спутник (см. рис. 15) очевидны и общие особенности изменения мультипликативных показателей и коэффициента зо-

Т а б л и ц а 3
Изменение величин коэффициента зональности (K_z)
и мультипликативных показателей в зависимости
от положения сечения относительно рудного тела
и состава пород

Породы	Положение сечения по отношению к рудному телу	Ni · Cu · Co · Cr	Ag · Ba · Pb · Zn	K_z
Филлиты, песчаники	близрудное	$> п. 10^7$	$п. 10^1 - п. 10^2$	$< п. 10^{-4}$
	надрудное	$п. 10^7 - п. 10^3$	$> п. 10^2$	$п. 10^4 - п.$
Диабазы	близрудное	$> п. 10^6$	$п. 10^0 - п. 10^1$	$< п. 10^{-3}$
	надрудное	$п. 10^6 - п. 10^2$	$> п. 10^1$	$п. 10^{-3} - п.$
Габбро- диабазы	близрудное	$> п. 10^6$	$п. 10^1 - п. 10^2$	$< п. 10^{-5}$
	надрудное	$п. 10^6 - п. 10^4$	$> п. 10^2$	$п. 10^{-5} - п. 10^{-1}$

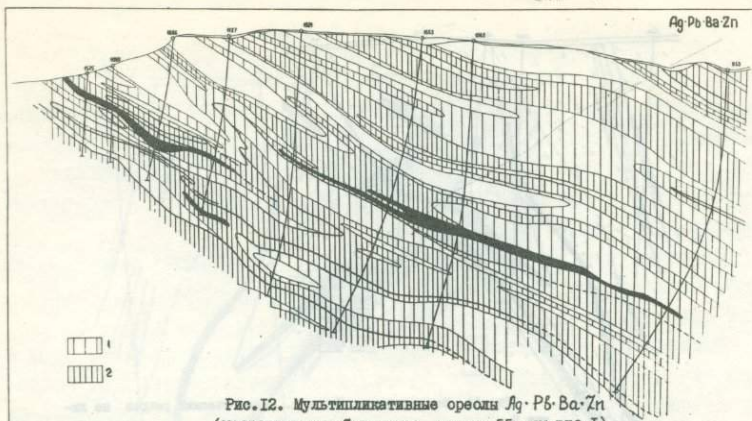


Рис. 12. Мультипликативные ореолы $Ag \cdot Pb \cdot Ba \cdot Zn$ (месторождение Семилетка, разрез 55; см. рис. 1)

	I	2
Перидотиты	$\geq 0,3 \cdot 10^1$	$\geq 0,6 \cdot 10^1$
Габбро	$\geq 0,2 \cdot 10^1$	$\geq 0,7 \cdot 10^1$
Габбро-диабазы	$\geq 0,15 \cdot 10^3$	$\geq 0,4 \cdot 10^3$
Филлиты	$\geq 0,1 \cdot 10^3$	$\geq 0,1 \cdot 10^4$
Песчаники	$\geq 0,7 \cdot 10^2$	$\geq 0,3 \cdot 10^3$
Диабазы	$\geq 0,12 \cdot 10^2$	$\geq 0,1 \cdot 10^2$

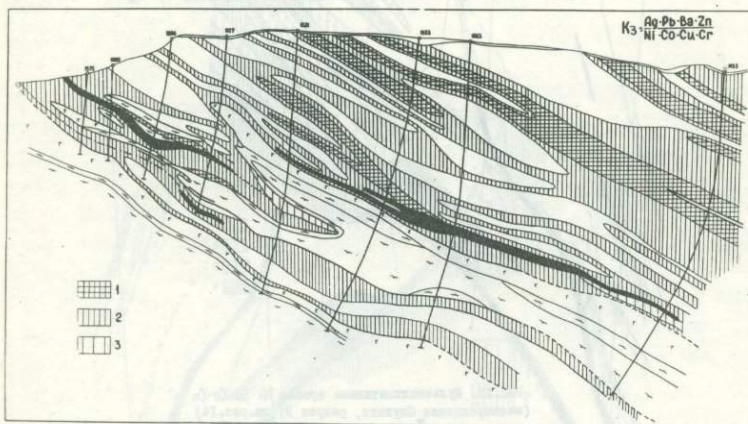


Рис. 13. Изменение показателя зональности $K_3 = \frac{Ag \cdot Pb \cdot Ba \cdot Zn}{Ni \cdot Co \cdot Cu \cdot Cr}$ в плоскости разреза 55 месторождения Семилетка (см. рис. 1)

	I	2	3
Филлиты	$\leq 0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3} - 0,1 \cdot 10^1$	$\geq 0,1 \cdot 10^1$
Диабазы	$\leq 0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3} - 0,2$	$\geq 0,2$



Рис.14. Месторождение Спутник. Геологический разрез по линии 9

1 - породы третьей вулканогенной толщи; 2 - габбро-диабазы; 3 - габбро; 4 - пироксениты; 5 - перидотиты; 6 - породы "продуктивной" толщи; 7 - рудные тела; 8 - тектонические нарушения; 9 - буровые скважины

10 Сu Co Cr



Рис.15. Мультиэлементные ореолы Ni-Cu-Co-Cr (месторождение Спутник, разрез 9; см.рис.14)

1 - $\leq 0,1 \cdot 10^4$; 2 - перидотиты $\geq 0,2 \cdot 10^6$; филлиты $\geq 0,7 \cdot 10^4$,
 диабазы $\geq 0,4 \cdot 10^3$; 3 - перидотиты $> 0,5 \cdot 10^5$, габбро-диабазы
 $> 0,12 \cdot 10^6$, филлиты $> 0,4 \cdot 10^5$, диабазы $> 0,1 \cdot 10^4$; 4 - перидотиты
 $> 0,3 \cdot 10^5$, габбро-диабазы $> 0,12 \cdot 10^7$, филлиты $> 0,5 \cdot 10^6$, диабазы
 $> 0,5 \cdot 10^4$

Ag Pb Ba Zn



Рис.16. Мультиэлементные ореолы Ag-Pb-Ba-Zn (месторождение Спутник, разрез 9; см. рис.14)
 1 - перидотиты $>0,3 \cdot 10^4$, габбро-диабазы $>0,15 \cdot 10^3$, филлиты $>0,1 \cdot 10^3$, диабазы $>0,12 \cdot 10^2$; 2 - перидотиты $\geq 0,6 \cdot 10^4$, филлиты $\geq 0,1 \cdot 10^4$, диабазы $\geq 0,1 \cdot 10^2$

$$K_3 = \frac{Ag \cdot Pb \cdot Ba \cdot Zn}{Ni \cdot Cu \cdot Co \cdot Cr}$$

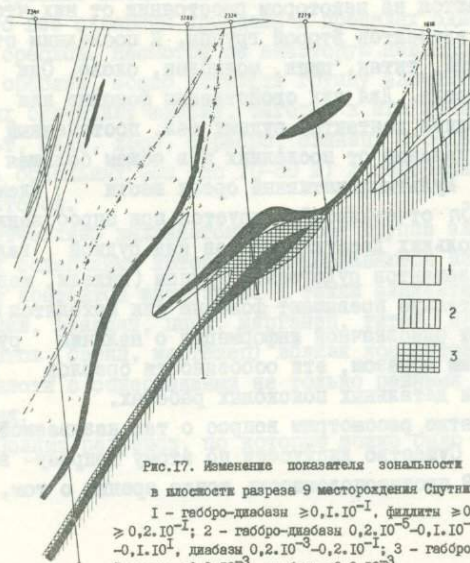


Рис.17. Изменение показателя зональности $K_3 = \frac{Ag \cdot Pb \cdot Ba \cdot Zn}{Ni \cdot Cu \cdot Co \cdot Cr}$ в плоскости разреза 9 месторождения Спутник (см. рис.14)
 1 - габбро-диабазы $\geq 0,1 \cdot 10^{-1}$, филлиты $\geq 0,1 \cdot 10^1$, диабазы $\geq 0,2 \cdot 10^{-2}$; 2 - габбро-диабазы $0,2 \cdot 10^{-5} - 0,1 \cdot 10^{-1}$, филлиты $0,3 \cdot 10^{-3} - 0,1 \cdot 10^1$, диабазы $0,2 \cdot 10^{-3} - 0,2 \cdot 10^{-1}$; 3 - габбро-диабазы $\leq 0,2 \cdot 10^{-5}$, филлиты $\leq 0,3 \cdot 10^{-3}$, диабазы $\leq 0,2 \cdot 10^{-3}$

нальности. Мультипликативный показатель $Ni \cdot Co \cdot Cu \cdot Cr$ имеет максимальные значения вблизи рудных залежей и уменьшается по восстановлению рудовмещающих зон по мере удаления от рудного тела. Напротив, величины показателя $Ag \cdot Pb \cdot Zn \cdot Ba$ и особенно коэффициента зональности вблизи рудных тел и в верхнерудных — надрудных сечениях очень низки и возрастают на 5-7 порядков в надрудных — удаленных сечениях (см. рис. I6, I7).

Отметим, что выведенный ряд осевой (продольной) зональности хорошо согласуется с единым рядом зональности элементов-индикаторов гидротермального оруденения.

Выявленные особенности зонального строения ореольных зон и изменения мультипликативного коэффициента зональности для различных сечений рудовмещающих зон были использованы при составлении геохимической основы к прогнозной карте Печенгской рудной зоны.

Изучение поведения элементов в околорудном пространстве позволило также выявить поперечную зональность ореольных зон. Для внутренних частей ореолов характерны повышенные концентрации никеля, меди, кобальта, хрома, серебра, свинца. Ореолы этих элементов обычно окаймляют рудные залежи и имеют сравнительно небольшую мощность. К этой группе тяготеет марганец. Однако он часто образует и более мощные ореолы. Около рудоносных массивов иногда наблюдаются пониженные содержания этого элемента, тогда как повышенные устанавливаются на некотором расстоянии от них, что больше характерно для элементов второй группы. К последним относятся барий, бор, ванадий, титан, цинк, молибден, олово. Они образуют внешнюю зону ореола. Для них свойственны фоновые или более низкие содержания вблизи контактов рудных тел, постепенный рост содержаний по мере удаления от последних и в общем большая мощность ореольных зон. Мультипликативный ореол шести элементов группы $Ba \cdot B \cdot V \cdot Zn \cdot Mo \cdot Sn$ отчетливо фиксируется при опробовании буровых скважин в нескольких десятках метров над рудной залежью, тогда как значения элементов рудогенной группы (никеля, меди, серебра и др.) незначительно превышают фоновые или находятся на уровне фоновых и не дают однозначной информации о наличии рудного тела на глубине. Таким образом, эти особенности ореолов могут быть использованы при детальных поисковых работах.

В заключение кратко рассмотрим вопрос о так называемой "обратной зональности". Существо дискуссии по этому вопросу заключается в следующем. В противоположность точке зрения о том, что

ореолы подрудных сечений по составу и строению отличаются от надрудных, существует мнение о симметричности зональности, то есть об идентичности строения ореолов надрудных и подрудных сечений рудовмещающих зон.

На одном из совещаний в 1972 г. приводился, например, разрез 19 месторождения Кверджибор как пример обратной зональности в ореолах. Разрез проходит в субмеридиональном направлении, пересекая массив ультраосновного состава с богатыми прожилково-вкрапленными рудами (рис.18). В плоскости разреза руды локализируются в виде двух залежей в центральной части массива; одна - в его средней части, другая - в области нижнего эндоконтакта. Рудные тела окаймляются сульфидной вкрапленностью и на других сечениях фактически сливаются в единое тело.

Геолого-структурный анализ, однако, показал, что разрез проходит вкост простирания рудоносного массива и пересекает его фронтальную часть. Таким образом, "головная" (скв.164I) и "корневая" (скв.1652) части массива представляют его фланги вблизи выклинивания, чем и объясняется сходство ореольных зон этих участков. То, что здесь вскрыта фронтальная часть рудоносного массива, объясняет также несколько иную по сравнению с описанными выше околорудными ореолами (см.рис.8-10) конфигурацию ореольных зон. Ореольные зоны рудогенных элементов не всегда тесно примыкают к контактам массива. Это вполне объяснимо, если учесть сложное строение вмещающей массив зоны дробления и расщепления и то, что все скважины пройдены в пределах одного верхнерудного сечения ореолов. Несмотря на некоторую невидержанность, прерывистость ореолов, можно выделить группу элементов, ореольные зоны которых окаймляют массив, тяготея к его контактам. Это никель, кобальт, медь, хром, серебро, свинец. Определенно возрастает мощность ореольных зон (до 70-80 м) и содержания в них элементов-индикаторов.

Отчетливо выделяется и вторая группа элементов, зоны повышенных содержаний которых устанавливаются на некотором расстоянии от контактов интрузива. К таким элементам относятся барий, молибден, ванадий, цинк, марганец, титан. Причем для отдельных элементов (барий, марганец) вблизи контактов интрузива выявляются области с содержаниями не только равными фоновым, но и ниже таковых.

Полных разрезов, по которым можно было бы изучить подрудные

сечения, в настоящее время в Печенгском рудном поле нет, что осложняет работу по оценке выявленных геохимических аномалий. На подрудные сечения двух изученных нами разрезов, вероятно, наклады-

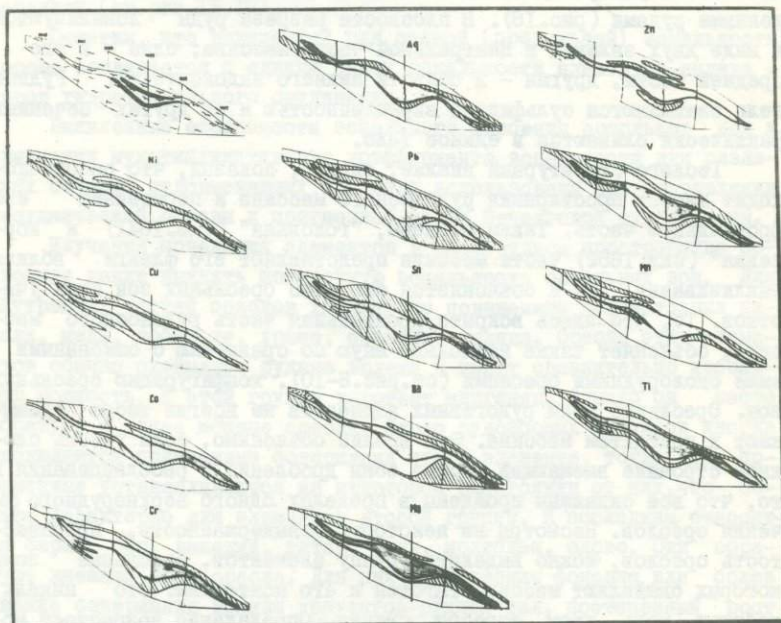


Рис.18. Первичные геохимические ореолы около фронтальной части интрузива с массивными и прожилково-вкрапленными рудами. (месторождение Кьерджипор, разрез I9; см.рис.8)

Содержания элементов в ореолах (в %): никеля 0,012-0,05, меди 0,015-0,07, кобальта 0,004-0,015, хрома 0,03-0,12, серебра 0,000002-0,00006, свинца 0,0006-0,005, олова 0,0003-0,02; бария: I0 - 0,003-0,006, II - 0,025-0,055; молибдена 0,0007-0,0025, цинка 0,016-0,035; ванадия 0,015-0,045; марганца: I0 - 0,01-0,02, II - 0,09-0,15; титана 0,55-1,0

ваются ореолы кулисообразно расположенных рудных залежей. Тем не менее удалось выявить определенные отличия подрудных сечений рудовмещающих зон от надрудных.

Подрудные сечения характеризуются: 1) неполным набором элементов-индикаторов; 2) отсутствием элементов надрудной группы, особенно прямых элементов-индикаторов (серебра, свинца); 3) резко пониженными (иногда на порядок) содержаниями элементов-индикаторов; 4) необычным поведением косвенных элементов-индикаторов (например, ванадия, титана), для которых вблизи руды не наблюдается существенно пониженных содержаний.

Вопрос об отличии подрудных и надрудных сечений ореольных зон является исключительно важным и требует дальнейшего изучения. Однако и на данном этапе исследований можно определенно сказать, что подрудные и надрудные сечения рудовмещающих зон не идентичны и характеризуются рядом особенностей.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

В результате проведения комплекса опытно-методических работ на основе изучения особенностей распределения химических элементов в рудовмещающих породах и рудах установлены критерии выявления и оценки первичных геохимических ореолов сульфидных медно-никелевых рудных тел в Печенгском рудном поле.

1. Около сульфидных медно-никелевых рудных тел развиты первичные геохимические ореолы широкого круга химических элементов. Они имеют линейный характер и контролируются обычно рудовмещающими межслоевыми разрывными нарушениями субширотного простирания. Протяженность ореольных зон - несколько сотен метров; мощность - до 100-150 м.

Однако вблизи рудных залежей в зонах поперечных (субмеридионального, северо-западного, северо-восточного простирания) разрывных нарушений в последних устанавливаются аномальные содержания элементов-индикаторов, также, вероятно, связанные с оруденением. Первичные ореолы на этих участках имеют сложную конфигурацию, обусловленную сочетанием разрывных нарушений нескольких направлений. Первичные ореолы рудных тел и массивов с различной степенью рудоносности отличаются мощностью и контрастностью, но имеют фактически одинаковый элементный состав.

2. Элементами-индикаторами сульфидного медно-никелевого ору-

денения в первичных ореолах являются никель, медь, кобальт, хром, серебро, свинец, цинк, барий, молибден, олово, марганец, ванадий, титан, бор. К прямым элементам-индикаторам относятся никель, медь, кобальт, хром, серебро, свинец.

3. В строении первичных ореолов устанавливается продольная (осевая) и поперечная зональность. Продольная зональность выражается в том, что ряд элементов образует максимальные концентрации на уровне рудных залежей; по мере удаления от последних по восстановлению рудовмещающих зон концентрации этих элементов постепенно падают. К ним относятся никель, медь, кобальт, хром, марганец. Другие элементы ведут себя диаметрально противоположно, накапливаясь преимущественно в верхнерудных и надрудных сечениях.

Поперечная зональность обусловлена тем, что прямые элементы-индикаторы (никель, медь, кобальт, хром, серебро, свинец) образуют внутреннюю зону ореолов, концентрируясь вблизи контактов рудных тел. По мере удаления от контактов содержания этих элементов в ореольных зонах падают. Остальные элементы (цинк, барий, молибден, олово, бор, ванадий, титан) концентрируются во внешних зонах ореолов. Содержания этих элементов, напротив, уменьшаются по направлению к рудным телам.

4. Выведен мультипликативный коэффициент продольной (осевой) геохимической зональности, позволяющий определять положение среза первичного ореола по отношению к ожидаемому рудному телу. Он представляет отношение мультипликативных значений содержаний группы элементов-индикаторов, концентрирующихся преимущественно в верхних частях ореола, к таким же содержаниям группы элементов, образующих максимальные концентрации на уровне рудных тел ($K_3 = \frac{Ag \cdot Pb \cdot Ba \cdot Zn}{Ni \cdot Cu \cdot Co \cdot Cr}$). Значения мультипликативного коэффициента отличаются для одних и тех же уровней ореольных зон в различных породах. Для близрудных уровней характерны минимальные значения K_3 (в осадочных и вулканогенных породах $K_3 < 10^{-3}$), а также высокие, существенно превышающие фоновые для этих пород, значения мультипликативного показателя $Ni \cdot Cu \cdot Co \cdot Cr (> 10^6)$.

5. При поисковых работах перспективным представляется использование поперечной зональности ореолов, количественным выражением которой является мультипликативный показатель $Ba \cdot Mo \cdot Zn \cdot B \cdot V \cdot Sn$, представляющий собой произведение средних содержаний (или линейных продуктивностей) элементов-индикаторов внешних зон первичных ореолов.

С. В. Григорян, А. М. Дудкин,
В. В. Рябов, О. В. Олифиренко

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ ПРИ ПОИСКАХ СКРЫТЫХ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУДНЫХ ТЕЛ

В течение нескольких лет нами изучались геохимические особенности сульфидных медно-никелевых рудных тел и рудовмещающих пород в Печенгской рудной зоне (Кольский полуостров).

Выявлены геохимические критерии поисков скрытого оруденения, с учетом которых составлена геохимическая основа для прогнозной карты названного региона. Это позволило к настоящему моменту более определенно оценить перспективы глубоких горизонтов Печенгских месторождений.

Работы проводились преимущественно в пределах четвертой "продуктивной" туфогенно-осадочной толщи, а также в подстилающих (в третьей толще) и перекрывающих (четвертой вулканогенной) ее породах основного состава.

Проведенные работы показали, что около рудных тел и рудоносных массивов развиты достаточно протяженные первичные ореолы широкого круга элементов, основные параметры которых нами в настоящее время в основном изучены.

Первичные ореолы имеют зональное строение, которое выражается в том, что ряд элементов-индикаторов (никель, медь, хром, кобальт) образует максимальные концентрации на уровне рудных тел, а другие (барий, свинец, серебро, цинк) в надрудных сечениях.

На основании этого предложен показатель зональности, числитель которого представляет произведение средних содержаний бария, свинца, серебра, цинка, а знаменатель — никеля, кобальта, хрома, меди. Для уровней рудовмещающей зоны, наиболее приближенных к рудному телу, характерны значения показателя зональности $n \cdot 10^{-7}$ — $n \cdot 10^{-5}$. При удалении от рудного тела значения показателя зональности растут, достигая на удалении в несколько сотен метров целых величин.

Полученные критерии выявления и оценки геохимических аномалий были использованы при составлении геохимической основы прогнозной карты Печенгского рудного поля. По профилям, расположенным через 250 м вкостростираания пород, проводилось опробование коренных обнажений. Интервал опробования определялся гео-

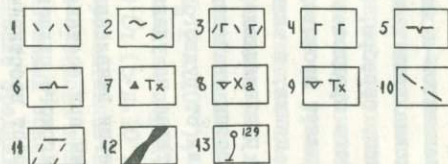
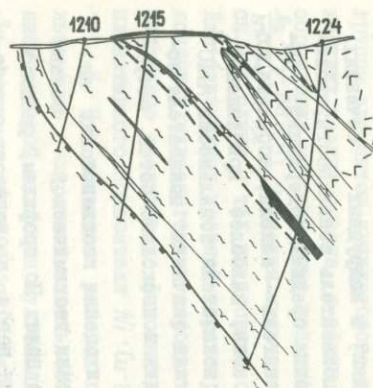


Рис.1. Геологический разрез участка I

I - диабазы, диабазовые порфиры, их туфы и лавобрекчии;
 2 - ритмичное переслаивание песчаников, алевролитов, филлитов;
 3 - габбро-диабазы; 4 - габбро; 5 - перидотиты; 6 - пироксениты; 7 - филлиты интенсивно оталькованные и хлоритизированные; 8 - хлорит-амфиболовые породы по перидотитам; 9 - тальк-хлоритовые породы по перидотитам; 10 - разрывные нарушения;
 II - контуры распространения эндогенных геохимических ореолов;
 12 - рудные тела; 13 - буровые скважины

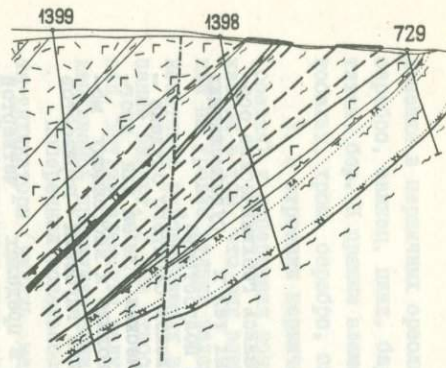


Рис.2. Геологический разрез участка 2
 Условные обозначения см. на рис.1

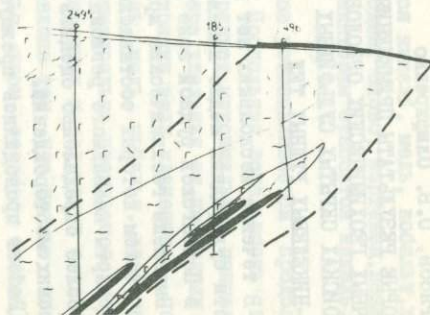


Рис.3. Геологический разрез участка II
 Условные обозначения см. на рис.1

логическим строением участка и составлял в среднем 25 м, уменьшаясь в зависимости от мощности опробуемого геологического образования.

Пробы анализировались методом спектрального приближенно-количественного анализа (лаборатория Бронницкой геолого-геохимической экспедиции).

В соответствии с разработанной методикой, при составлении карты выделялись контуры полей аномальных величин мультипликативных содержаний восьми элементов-индикаторов сульфидного медно-никелевого оруденения: никеля, кобальта, меди, хрома, серебра, свинца, цинка, бария. В контурах суммированных геохимических аномалий, являющихся первичными ореолами рудных тел, с целью их оценки выделялись контуры полей, характеризующихся различными величинами показателя зональности.

На основе анализа характеристик выявленных геохимических ореолов были выделены участки и площади, по которым были даны конкретные практические рекомендации для их проверки. Одиннадцать этих участков были определены как первоочередные.

В настоящее время перспективность геохимических аномалий на двух рекомендованных участках подтверждена буровыми работами. На первом участке площадью 0,6 км² было пройдено четыре геолого-геохимических маршрута. Из-за плохой обнаженности здесь отобрано 43 пробы. Выявленные перспективные геохимические аномалии располагаются в центральной (площадь 250x300 м) и в юго-западной (50x130 м) частях участка. Перспективная зона по падению вскрыта двумя скважинами. Скважина I215 в 80 м от аномалии пересекает маломощную безрудную интрузию ультраосновного состава, а в 340 м по падению рудовмещающей зоны на контакте этой интрузии с филлитами скважина I224 вскрыла прожилково-вкрапленные руды (рис.1).

Перспективные геолого-геохимические аномалии на втором участке площадью 0,65 км² расположены в северо-западной (в виде двух субпараллельных полос размером 150x475 м и 70x250 м) и юго-восточной (150x300 м) частях участка. Они выявлены по 40 геохимическим пробам, отобраным в трех маршрутах, которые пересекли этот участок вкрест простирания рудовмещающей толщи. Перспективные геохимические аномалии северо-западной части участка связаны с рудным телом, вскрытым скважиной I399 на глубине 400 м (рис.2). Так же как и на первом участке, в 140 м от аномалии по падению зоны скважина I398 вскрыта безрудная часть интрузии ультраосновного состава. Было ус-

тановлено, что на участках I и 2 ранее проводились буровые работы. Одна скважина на участке I, пройденная для проверки магнитной аномалии, на глубине 400 м вскрыла зону бедных руд. Такие же руды и ряд безрудных дифференцированных массивов были выявлены на участке 2. В дальнейшем работы на участках были прекращены. Однако на участках I и 2, IO и II выявлена серия субпараллельных сближенных перспективных ореольных зон. По падению одной из зон и были вскрыты рудные тела, сложенные бедными прожилково-вкрапленными рудами (на участках I и 2). Исходя из структурной обстановки, можно было ожидать, что ореольные зоны участка I имеют юго-восточное склонение, а участка 2 юг - юго-западное, причем некоторые субширотные ореольные зоны участков I и 2 соединяются. Таким образом, здесь выявляется единый рудный узел, перспективный на скрытое сульфидное медно-никелевое оруденение, эпицентром которого является участок II. Полученные материалы позволили вернуться к поисковым работам на этой территории.

В настоящее время здесь пробурен ряд скважин, которые по падению перспективных ореольных зон на глубине 500 м вскрыли рудные тела с богатым сульфидным медно-никелевым оруденением (рис.3).

Проведенные работы подтверждают правильность разработанной нами методики выявления и оценки геохимических ореолов в данном районе и позволяют надеяться на получение положительных результатов и по другим рекомендованным для проверки участкам, где возможно наличие скрытого медно-никелевого оруденения.

С.В. Григорян,
К.А. Жук-Почекутов

К МЕТОДИКЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ
СКРЫТЫХ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ В НОРИЛЬСКОМ РАЙОНЕ

Принципиальная возможность поисков скрытых медно-никелевых месторождений в Норильском районе по их первичным геохимическим ореолам впервые была показана О.П. Разгоновым [6], установившим, что становление рудоносных интрузий сопровождалось образованием протяженных геохимических ореолов широкого круга элементов: Ni, Co, Cu, Cr, Ag, Zn, Pb, Sr, Ba, Zr, Sn, Ti, Mn и др. В этих исследованиях большое внимание было уделено также изучению строения первичных ореолов: их элементному составу, морфологии, характеру геохимической зональности и т.п. Однако разработка четких и надежных поисковых геохимических критериев скрытых медно-никелевых руд является достаточно сложной задачей, и широкое внедрение геохимических методов поисков в практику геологоразведочных работ в Норильском районе пока встречает определенные трудности. Это обусловлено, в частности, исключительно сложным геологическим строением района, а также самих геохимических ореолов, недостаточной их изученностью, особенно фронтальных — наиболее удаленных от контактов рудоносных интрузий — частей ореольных зон, проявлением в районе геохимических аномалий сходного элементного состава, но имеющих иную генетическую природу и т.п. Все это требует проведения дальнейших исследований, направленных на совершенствование геохимических методов поисков, критериев разбровки и интерпретации геохимических аномалий.

Первичные геохимические надинтрузивные ореолы, сопровождающие интрузивные ветви Талнахской рудоносной интрузии, имеют сложное прерывистое строение, непостоянную мощность, варьирующую в широких пределах — от первых метров до 500 м. Ореолы в общем случае являются относительно слабоконтрастными, и для более надежного их выделения требуется привлечение методов усиления первичных ореолов — построения суммарных ореолов. Наиболее четко выраженная часть ореольных зон, представленная группой рудных элементов-индикаторов (Ni, Cu, Co), обычно совпадает с зонами метасоматитов, мощность которых над Талнахской интрузией колеблется от 0 до 200 м при средней около 60 м. За пределами "сплош-

ных[™] метасоматических зон, окружающих рудоносные интрузии, ореолы, как и сами метасоматические процессы, носят ярко выраженный инфильтрационный характер, имеют более прерывистое строение, и аномально-повышенные концентрации элементов-индикаторов здесь бывают приурочены к узким зонам разнонаправленных тектонических нарушений.

В продольных разрезах интрузивных ветвей наблюдается общее уменьшение мощности ореольных зон и интенсивности геохимических ореолов в направлении от прифронтальных к корневым частям никеленосных интрузий. В том же направлении происходит общее уменьшение мощности измененных пород и степени их переработки [3]. Таким образом, протяженность и внутреннее строение геохимических ореолов в значительной степени определяются строением метасоматических ореолов.

Процесс метасоматического преобразования вмещающих рудоносные интрузии пород является сложным и многостадийным [2,8]. Хотя выделение основной массы рудного вещества в зоне экзоконтакта в этом процессе, как полагают, приурочено к среднетемпературной кислотной стадии эволюции растворов, образование рудных минералов происходило по всей метасоматической колонне [3]. С этих позиций вполне объяснимы отмеченные выше факты совпадения наиболее четко выраженных частей ореольных зон с зонами метасоматитов. Однако полученные по ряду скважин данные, свидетельствующие о практически полном отсутствии аномально-повышенных концентраций рудных элементов-индикаторов в надинтрузивных метасоматитах по всей мощности зоны требуют дальнейшего изучения.

В вертикальных разрезах ореольных зон Талнахской рудоносной интрузии, в интервале 0-240 м от её верхнего контакта, закономерное поведение устанавливается только для группы рудных элементов-индикаторов (Ni, Cu, Co, Ag). Оно выражается в постепенном, не строго закономерном, уменьшении их содержаний по мере удаления от контакта интрузии. При этом наиболее четкую закономерность обнаруживает медь, образующая, как правило, наиболее протяженные и выдержанные ореолы. Полученные данные пока не позволяют выделить необходимую для расчета коэффициента поперечной геохимической зональности группу элементов с более или менее устойчивой обратной тенденцией, т.е. элементов, обнаруживающих общее увеличение их содержаний от тыловых к фронтальным частям ореольных зон.

Отсутствие четкой и выдержанной вертикальной геохимической зональности ореолов объясняется, по-видимому, исключительно сложным строением надинтрузивных зон — пестротой литологического состава, неравномерностью проявления и избирательным характером метасоматоза, наличием большого количества экранирующих тел, развитием разнонаправленных систем тектонических нарушений, дренирующих рудоносную интрузию на различных уровнях и т.п.

Поскольку зоны тектонических нарушений, опирающихся непосредственно на "сплошные" метасоматические ореолы, окружающие рудоносную интрузию, могут рассматриваться в качестве составных частей единой метасоматической колонны, нами была изучена геохимическая специализация зон тектонических нарушений, развивающихся непосредственно над Талнахской рудоносной интрузией. Как выяснилось, для этих зон устанавливается отчетливая геохимическая специализация на Cu , Zn , Pb , Ba . При этом два последних элемента более характерны для периферийных зон ореолов. Все это позволяет наметить следующий ряд поперечной геохимической зональности ореолов: Ni , Co , Cu , Ag — Zn — Pb — Ba .

Приведенные данные хорошо согласуются с единым рядом зональности элементов-индикаторов гидротермального оруденения [I]. Вместе с тем они не позволяют пока получить количественной характеристики зональности ореолов, а использование рассмотренного выше ряда в его общем виде для выявления наиболее отдаленных частей ореольных зон встречает некоторые ограничения в связи с тем, что в Норильском районе иногда обнаруживается приразломная медно-свинцово-цинковая минерализация, непосредственно не связанная с рудоносными интрузиями [4,7].

Определенные затруднения интерпретационного характера возникают также при установлении природы геохимических аномалий рудных элементов-индикаторов, выявляемых в породах туфопластовой толщи, где обнаруживаются иногда комплексные аномалии Ni , Co , Cu и Cr , явно не связанные с рудными залежами. Особенно отчетливо это отмечено в пикритовых базальтах, в которых наблюдается исключительно высокая дисперсия распределения содержаний рудных элементов-индикаторов. В отдельных разрезах гудчихинской свиты, сложенной 5-8 покровами пикритовых базальтов, в каждом из них наблюдается отчетливая геохимическая дифференциация "in situ", в результате которой происходит обогащение нижних частей покровов, относительно их верхних миндалекаменных зон, никелем,

Кобальтом и хромом в 2-4, а в отдельных случаях в 10 раз. Характерно, что для меди в этих покровах отчетливой дифференциации не наблюдается. Это может свидетельствовать о преимущественно силикатной форме нахождения никеля, кобальта и хрома и позволяет предположить в этих породах наличие дифференциации не только для рудных, но и для группы петрогенных элементов.

Практикой поисков скрытых медно-никелевых месторождений в Норильской провинции диктуется также необходимость разработки более четких критериев разрабовки геохимических аномалий, связанных с медно-никелевыми рудами и рудопроявлениями медно-целитовой формации, достаточно широко развитыми в районе, а также выявления отличительных геохимических признаков мощных и протяженных зон метасоматически измененных пород, формирующихся в результате эксплозивной и интрузивной деятельности палеовулканических аппаратов и контролирующих рудопроявления сульфидно-магнетитовой формации [9]. Это тем более необходимо, что в измененных породах некоторых из этих зон наблюдаются повышенные концентрации меди и никеля [5]. Кроме того, не содержащие никеля пирротиновые, пиритовые, а также магнетитовые минеральные скопления встречаются в значительных объемах в верхнем экзоконтакте измененных пород Талнахской интрузии, что рассматривается рядом исследователей как элемент зональности сульфидных медно-никелевых месторождений.

Все изложенное приводит нас к выводу о том, что исключительно сложное строение геохимических ореолов, связанных с никеленосными интрузиями, широкое проявление в районе сходных по своему элементному составу, но различных по происхождению геохимических аномалий, требует при разработке геохимических методов поисков скрытых медно-никелевых руд комплексного подхода. Эти исследования должны учитывать особенности строения метасоматических ореолов, их вещественный состав, условия локализации рудного вещества в ореолах, формы нахождения элементов-индикаторов, закономерности распределения малых элементов в породах туфолоавовой толщи, геохимическую специализацию зон тектонических нарушений, расположенных вне сферы влияния рудоносных интрузий; необходимо также изучить геохимические особенности и вещественный состав метасоматитов, связанных с рудопроявлениями других формаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорян С.В. Геохимические методы при поисках эндогенных рудных месторождений. М., Изд. ИМГРЭ, 1974.
2. Додин Д.А., Батуев Б.Н. Геология и петрология Талнахских дифференцированных интрузий и их метаморфического ореола. - В кн. "Петрология и рудоносность Талнахских и Норильских дифференцированных интрузий", (Труды НИИГА, т.167), Л., "Недра", 1971, с.31-101.
3. Золотухин В.В., Рябов В.В., Васильев Ю.Р. и др. Петрология Талнахской дифференцированной трапповой интрузии. Новосибирск, "Наука", 1975, 432 с.
4. Кавардин Г.И., Павлов Л.Г. Принципы металлогенического районирования и прогнозная оценка севера Сибирской платформы. - Материалы конференции норильских геологов. Норильск, 1971, с.109-112.
5. Немененок Т.И. О некоторых особенностях геологического строения западного побережья озера Пясино. - Там же, с.133-136.
6. Разгонов О.П. Закономерности распределения химических элементов в интрузивных траппах и околоинтрузивных геохимических ореолах и их использование при поисках сульфидных медно-никелевых руд (на примере Норильского района). Автореф. канд. дисс. М., Изд. ИМГРЭ, 1977.
7. Роговер Г.Б. Месторождение Норильск I. М., Госгеолтехиздат, 1959, 168 с.
8. Юдина В.В. Некоторые явления метаморфизма и метасоматоза, связанные с Талнахской дифференцированной интрузией габбро-долеритов. - В кн. "Соотношение магматизма и метаморфизма в генезисе ультрабазитов". М., "Наука", 1965, с.112-175.
9. Юдина В.А. Метаморфические и метасоматические факторы контроля медно-никелевого и магнетитового оруденения в Норильском районе. М., Тр. ЦНИГРИ, 1977, вып.127, с.34-56.

С.В. Григорян,
В.А. Тимченко

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ ПОИСКАХ АЛМАЗОНОСНЫХ КИМБЕРЛИТОВ

В настоящее время геохимические методы при поисках алмазонасных кимберлитов применяются в крайне ограниченных масштабах, и причина этого прежде всего в отсутствии адекватной современным требованиям методики использования геохимических критериев при поисках алмазонасных кимберлитов. Слабо изучены особенности состава и строения сопровождающих алмазонасных кимберлиты геохимических аномалий различных типов. Имеющиеся по рассматриваемой проблеме работы появились только в последние годы и, как правило, они посвящены отдельным частным вопросам методики геохимических поисков алмазонасных кимберлитов. Эти работы, в силу их фрагментарного характера, не могли служить представительной основой для разработки оптимальной методики геохимических поисков.

Авторами была предпринята попытка комплексно исследовать геохимические аномалии, сопровождающие кимберлитовые тела, чтобы оценить возможность и целесообразность практического использования различных типов геохимических аномалий при поисках алмазонасных кимберлитов. Были изучены особенности распределения широкого круга химических элементов в кимберлитах, окружающих их коренных породах, перекрывающих их рыхлых отложениях и почвах, а также в водах и растениях. Методические исследования были выполнены на примере месторождений Западной Якутии.

Алмазонасная часть Западной Якутии располагается в области сопряжения трех крупных структурно-тектонических элементов платформы — южного и восточного склонов Анабарской антеклизы, восточной части Тунгусской и западной части Вилюйской синеклиз. Кимберлитовые тела локализируются в районах развития отложений нижнего палеозоя и перекрыты верхнепалеозойскими и мезозойскими осадочными образованиями и траппами. Разрез осадочного покрова описываемого района характеризуется наличием трех литологических комплексов: нижний представлен морскими карбонатными и терригенными отложениями нижнего и среднего палеозоя; выше несогласно залегает сложный комплекс континентальных вулканогенно-осадочных пород верхнего палеозоя и нижнего мезозоя; верхний представлен отложениями четвертичной системы. Наиболее общим для отложений нижнего палеозоя [7] являются элементы-примеси: Sr , Pb , Ni , Ga , Zr . Кроме того, каждая стратиграфически выделенная толща по со-

держатся в ней элементам-примесям отличается от выше- и ниже- лежащих отложений. В микроэлементном составе верхнепалеозойского терригенного комплекса отмечается рост содержаний Ti , Ni , Mn , V , Pb , Zn . Микроэлементный состав пород нижнемезозойского комплекса характеризуется значительным разнообразием. В песчаниках и алевролитах отмечается уменьшение содержаний Ni , Co , Mn и увеличение содержаний Cr , V . В целом мезозойский терригенный комплекс пород характеризуется высокими содержаниями Cr , Ni , Co , Ti , V и низкими - Sr , Ba , P , Pb , Mn .

Магматические образования представлены среднепалеозойскими кимберлитовыми породами, слагающими тела трубчатого дайкового и жильного типа [8] и нижнемезозойскими породами трапповой формации, среди которых выделяются покровные и интрузивные долериты, пространственно приуроченные к периферийной части обширного поля интрузий основного состава Тунгусской синеклизы [2]. Магматические образования по микроэлементному составу близки. Выявление количественных различий в содержаниях микроэлементов в кимберлитах и траппах позволяет выявить геохимические критерии определения природы геохимических аномалий.

Литохимическое опробование коренных пород проводилось по горным выработкам и керну буровых скважин, пройденных по кимберлитовым трубкам. Пробы отбирались по методу "пунктирной борозды" [4]. Интервал опробования менялся от I-3 до 5-10 м. При смене пород в опробуемом интервале из каждой разновидности отбиралась отдельная проба.

Литохимическое опробование по вторичным ореолам рассеяния выполнено на площадях кимберлитовых трубок, расположенных в поле карбонатных пород, в непосредственной близости от трапповых образований и нижнеюрских терригенных пород. Отбор литохимических проб весом 150-170 г (во влажном состоянии) производился из иллювиального горизонта (горизонт вымывания - В) почвенного профиля, глубина которого менялась от 60 до 80 см. В пробу отбирался мелкий глинисто-песчаный материал класса меньше I мм.

Опробование различных генетических горизонтов почвенного профиля с целью выбора представительного горизонта и класса крупности материала проводился по почвенным разрезам через кимберлитовые тела и вмещающие породы. Из каждого генетического горизонта почв отбиралось по три пробы весом до 200 г.

Гидрогеохимическое опробование выполнено на всех участках

детальных работ. Пробы отбирались из поверхностных водотоков, мочажин, обводненных горных выработок, временных потоков на кимберлитовых телах, в экзоконтакте их, на значительном удалении от трубок.

Опробование наиболее характерной растительности (мхов, лишайников, ольхи и других) проводилось параллельно с опробованием почвенных разрезов в радиусе не более 50 м. С данной площадки, как правило, отбиралось 3-5 видов растительности. Вес пробы составлял 100 г.

Большая часть геохимических проб подвергнута спектральному полуколичественному анализу в Центральной лаборатории Якутского геологического управления на спектрографах ИСП-28 и ДФС-8 способом просыпки. Полуколичественные определения проводились на 40 элементов. Литохимические пробы коренных пород проанализированы в Лаборатории физических методов анализа БГТЭ ИМГЭ под руководством А.А. Гусельникова. Приближенно-количественные определения проводились для 27 элементов. Общий анализ воды выполнен в химических лабораториях Якутского геологического управления и Института мерзлотоведения ЯФ СО АН СССР.

Различие концентраций микроэлементов в разновозрастных породах позволило выделить группы информативных для каждой разности пород элементов (элементов-индикаторов). В кимберлитовых породах в повышенных количествах присутствуют Cr , Ni , Ti , Nb , в более низких - Co , Mn , Ba . Для отложений трапповой формации характерны высокие содержания V , Cu , Y , меньшие Co , Mn , Zn , Ba и низкие - Pb и B . В пермских и нижнеюрских терригенных породах отмечаются близкие содержания микроэлементов, в наибольших количествах в них присутствуют Zr , Pb , Ga , B , Sn .

Для сопоставления концентраций микроэлементов в кимберлитах с таковыми во вмещающих породах рассчитаны ряды контрастности, то есть ряды отношений содержания элементов в кимберлитах и различных типах пород. Ряды контрастности содержаний микроэлементов позволили выявить основные (сквозные) элементы-индикаторы кимберлитов - Cr , Ni - и второстепенные - Co , Mn , Ti , Nb , Zr , B , Ba .

Распределение микроэлементов в коренных породах, перекрывающих кимберлитовые тела, изучалось на участке, где кимберлитовая трубка прорывает карбонатные отложения ордовика и перекрыта пермско-каменноугольными терригенными образованиями мощностью 15-25 м и недифференцированной пластовой интрузией траппов мощностью до

75 м. В большинстве проб, отобранных из базальных горизонтов терригенных отложений, были установлены аномально высокие содержания Cr, Ni, Co, Ti, источником которых следует считать кимберлиты, в которых концентрации указанных элементов значительно выше, чем в терригенных породах. Аномальные значения зафиксированы на удалении до 10 м по вертикали от кимберлитового тела, что указывает на образование непосредственно над ним и за его пределами вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов.

Одним из основных вопросов геохимических поисков кимберлитовых тел, погребенных под более молодыми геологическими образованиями, является вопрос о наличии первичных геохимических ореолов. До настоящего времени отсутствуют какие-либо сведения о характере распределения микроэлементов во вмещающих породах в экзоконтакте кимберлитовых тел. Авторы, изучая распределение содержаний микроэлементов в экзоконтакте кимберлитовых тел по керну буровых скважин в районе ряда кимберлитовых трубок, отчетливых первичных ореолов не выявили. В экзоконтактах кимберлитовых тел (первые метры) в некоторых случаях были установлены аномально низкие концентрации элементов, свидетельствующие о выносе их. Однако выдержанных полей выноса определенных элементов также не удалось оконтурить. Причина, по всей вероятности, в слабом проявлении процессов перераспределения элементов и в значительной вариации фоновых содержаний элементов во вмещающих породах, мешающей выявлению отчетливых зон выноса.

В целях поисков эффективных индикаторов погребенных кимберлитовых тел авторами совместно с В.А. Бородиным, И.Ф. Бровчуком, Б.С. Ягнышевым и В.В. Раздьяконовым были изучены особенности распределения ртути в кимберлитах, вмещающих и перекрывающих их породах, результаты которых приведены этими авторами в другой статье настоящего сборника (стр. 84).

Особый интерес в последнее время проявляется к выявлению и изучению разрывных нарушений, контролирующих расположение кимберлитовых тел [9]. Считается, что кимберлитовые поля находятся на пересечении разновозрастных и разнотипных глубинных разломов, образующих сложные сочетания. Для выяснения возможности использования геохимических критериев для оценки рудоконтролирующей роли разрывных нарушений авторами было изучено распределение микроэлементов на участке кимберлитовой жилы по керну скважины, пересекающей эту жилу на глубине 25-38 м от поверхности, и другой скважи-

ны, пробуренной по вмещающим породам. Кимберлиты жилы отличаются от кимберлитов трубок меньшими содержаниями основных элементов-индикаторов (Cr, Ni, Co) и высокими концентрациями Pb, Zn, Ti, Cu, Mn. Первичные ореолы указанных элементов в экзоконтакте жилы не установлены. Однако ниже ее выявлена семиметровая зона интенсивно трещиноватых и дробленых глинистых известняков. Эта тектонически ослабленная зона вмещающих пород аномально обогащена Ni, Co, Ti, V, Ga и особенно бором. Повышенные содержания бора, приуроченные к тектоническим зонам, выявлены также в районе ряда других кимберлитовых трубок.

Отмеченные особенности накопления микроэлементов в тектонических зонах свидетельствуют о возможности использования их в практике геологоразведочных работ для разбраковки зон тектонических разломов на "рудоконтролирующие" (контролирующие размещение кимберлитовых тел) и "безрудные".

Особенности распределения химических элементов в почвах

Для изученных районов мощность рыхлых автохтонных отложений в приводораздельных частях достигает 5 м, на долинных участках 15 м и более. Широко развиты процессы солификации. Выходы коренных пород весьма редки и приурочены в основном к долинам рек. Относительные превышения составляют 100-250 м. Районы располагаются в пределах различных климатических зон как в области сплошной, так и прерывистой многолетней мерзлоты, на литологически разном субстрате. В северных районах распространена в основном окислительная обстановка, способствующая активной водной и почвенной миграции микроэлементов; в южных районах увеличивается влияние биогенного фактора в интенсификации подвижности микроэлементов. Характерные криогенные формы микрорельефа (пятна-медальоны, бугры пучения, полигональные почвы) способствуют транспортировке на поверхность рыхлого материала из глубоких горизонтов мерзлого элювия [1,3].

С севера на юг меняется характер мерзлой зоны: сплошная ячеистая - сплошная блоковая - прерывистая. В этом же направлении меняется состав почвенных образований от северо-таежных деструктивных карбонатных почв до мерзлых таежных щелочистых.

В почвах на кимберлитах по сравнению с почвами карбонатных пород лишь три элемента содержатся в значительных количествах -

— *Co*, *Ni*, *Cr*. В почвах на карбонатных породах больше *Pb*, *Ga*, *Sn*. Условия миграции химических элементов в почвах на кимберлитах и карбонатных породах различные, что предопределяет вынос *Cr*, *Ni*, *Co*, *Mn* из почв на кимберлитах и накопление их в почвах на карбонатных породах. Специальными работами установлено, что целесообразная глубина отбора проб при литохимических поисках по вторичным ореолам рассеяния элементов-индикаторов — 20–40 см (жизельные горизонты почв В и ВС), представительный класс крупности почвенного материала — 0,5 + 0,1 мм. Глубина залегания представительного горизонта В и ВС 25–40 см, представительный класс крупности почвенного материала — 1,0 мм.

Изучены вторичные литохимические ореолы кимберлитовых тел, находящихся в различных геологических условиях и характеризующихся различными петрологическими особенностями и вещественным составом. Установлено, что особенности вещественного состава кимберлитовых пород разных районов находят свое отражение и в составе вторичных ореолов. Основными факторами, определяющими морфологию, состав и степень интенсивности рассматриваемых ореолов, являются условия залегания, вещественный состав и петрологические отличия каждого конкретного тела.

Изучение закономерностей состава и строения вторичных ореолов кимберлитовых тел показало, что на фоне определенных различий для всех кимберлитовых тел характерны повышенные содержания *Cr*, *Ni*, *Co*, *Mn* и низкие содержания (по сравнению с вмещающими породами) *Cu*, *V*, иногда *Ga*, *Pb*, *Zn*, а по сравнению с траппами — кобальта. Это позволило для усиления контрастности ореолов использовать метод мультипликации. В качестве показателя было использовано отношение произведений концентраций элементов, свойственных кимберлитам (*Cr*, *Ni*, *Mn*), к произведению содержаний элементов, свойственных долеритам (*V*, *Co*, *Cu*). Графики накопленных частотей этого отношения выявляют заметные различия для почв разных групп пород.

Используя выявленные закономерности, легко оценивать данные литохимического опробования. Чем ниже находится на графике кривая указанного отношения, рассчитанная для конкретного изучаемого участка, тем он менее перспективен на обнаружение кимберлитового тела. Правильность оценки аномалий по таким графикам подтверждена горными работами.

Воды и растительность. Природные воды исследованных райо-

нов нормально-пресные, хлоридно-гидрокарбонатные, кальциево-магниевые, слабощелочные, минерализация в среднем составляет 0,2 г/л [5,6]. В поверхностных водах на участках с известными кимберлитовыми телами уменьшается общая минерализация вод по сравнению с грунтовыми водами кимберлитовых трубок и несколько увеличивается концентрация натрия. Однако влияние кимберлитов на солевой состав поверхностных вод незначительно и отчетливо фиксируется лишь в непосредственной близости от кимберлитовых тел. Содержание элементов-индикаторов в водах кимберлитовых тел незначительно отличается от содержаний их в "фоновых" водах. Слабая контрастность водных ореолов требует разработки специальных более чувствительных методов их обнаружения.

Анализ содержаний микроэлементов в золе наиболее характерной для данных районов растительности (лиственницы, ивы, ольхи, водных мхов) показал, что на кимберлитах в растительности сохраняются близкие к породе концентрации никеля, цинка, галлия, меди, свинца, бора, резко увеличивается содержание ванадия и уменьшается количество хрома. Водные мхи в значительных количествах накапливают элементы-индикаторы кимберлитовых пород. В условиях изученных районов биогеохимический метод существенных преимуществ по сравнению с литохимическим не имеет.

Сравнительное изучение различных типов геохимических аномалий, сопровождающих кимберлитовые тела, позволило установить, что в условиях исследованных районов при поисках алмазоносных кимберлитов наиболее эффективно использовать вторичные литохимические ореолы элементов-индикаторов (ореолы рассеяния). Литохимическое опробование в этом случае целесообразно проводить на подстанции общих поисков в масштабе 1:50 000 - 1:25 000 по равномерной сети или по профилям, ориентированным вкрест простирания основных геологических структур на перспективных для выявления кимберлитовых тел площадях развития нижнепалеозойских пород.

На участках, имеющих сложное геологическое строение, для кимберлитовых тел, перекрытых терригенными образованиями верхнего палеозоя или нижнего мезозоя, а также породами трапшовой формации рекомендуется применять глубинные геохимические поиски, т.е. используя полученный при бурении материал, опробовать базальные горизонты и выявлять в них, а также в древних корах выветривания, погребенные вторичные ореолы элементов-индикаторов.

Основным методом анализа геохимических проб является при-

ближенно-количественный спектральный анализ. При обработке результатов анализа эффективно построение различных модификаций мультипликативных аномалий.

В одном из исследуемых районов на площади 50 км² проводился одновременный отбор шлиховых и геохимических проб. По результатам шлихового опробования были выявлены значительные по размерам участки распространения минералов-спутников алмазов - пиропов, ильменитов в единичных знаках - оливинов, хромдиоксидов, хромитов. Геохимические аномалии локализовали минералогические ореолы и позволили выделить конкретные участки для детализации и проверки.

Основные выводы

1. Сравнительное изучение особенностей распределения широкого круга химических элементов в терригенно-карбонатных отложениях нижнего палеозоя, терригенных породах верхнего палеозоя и мезозоя, траптовых интрузиях и кимберлитовых телах позволяет рекомендовать следующие элементы-индикаторы: Cr, Ni, Co, Mn, Ti, V, Mo, Zn, Pb, Ga, Nb, Zr, Y, Ba, B, Hg. Для кимберлитов - хром и никель - как основные, марганец, титан и кобальт - как второстепенные. Для траптов - ванадий, медь, галлий. Для зон разрывных нарушений, контролирующих размещение кимберлитовых тел и для контактов кимберлитов и вмещающих пород - ртуть и бор наряду с элементами-индикаторами кимберлитов.

2. Кимберлитовые тела, перекрытые аллювиально-делювиальными образованиями мощностью до 6-7 м, сопровождаются вторичными геохимическими ореолами элементов-индикаторов кимберлитов, интенсивность, форма и размеры которых определяются конкретными ландшафтно-геохимическими условиями. Вторичные ореолы в плане в 4-5 раз превышают размеры кимберлитовых тел, имеют концентрически-зональное строение с эпицентрами непосредственно над кимберлитовыми телами на выровненных участках и смещенных по направлению современного сноса - на склонах. Источником аномальных концентраций элементов-индикаторов во вторичных ореолах в основном являются кимберлитовые тела, поскольку последние вследствие специфических условий формирования кимберлитовых тел (трубки взрыва) практически лишены первичных ореолов.

Сравнительное изучение особенностей вторичных ореолов химических элементов в почвах, развитых на кимберлитовых телах, трапах и породах терригенно-карбонатного комплекса, позволило

установить, что использование мультипликативных показателей

$\frac{Cr \cdot Ni \cdot Mn}{V \cdot Co \cdot Cu}$ и $\frac{Cr \cdot Ni}{Pb^2}$ позволяет уверенно определять принадлежность каждой конкретной пробы или вторичного ореола в целом к объекту кимберлитового или некимберлитового состава, позволяя тем самым решать с помощью вторичных литохимических ореолов основную задачу поисков — выявление кимберлитовых тел.

3. Результаты опытно-методических работ свидетельствуют о повышении эффективности поисков алмазоносных кимберлитов при включении в комплекс поисковых работ геохимических методов, в первую очередь метода поисков по открытым и погребенным вторичным литохимическим ореолам элементов-индикаторов.

4. Целенаправленные исследования по разработке методики геохимических поисков алмазоносных кимберлитов начаты недавно и поэтому предложенная методика представляет собой первый опыт и безусловно нуждается в коренном совершенствовании. При этом еще недостаточно изучены возможности атмосферических методов, которые, очевидно, с успехом могут быть применены для поисков погребенных кимберлитовых тел. Особенно перспективными представляются исследования ореолов рассеяния ртути.

Следует признать необходимым продолжение изучения распространения микроэлементов в водах и растительности для установления путей миграции их в системе "порода-почва-вода-растения".

5. Установленные нами повышенные концентрации ряда химических элементов в тектонически ослабленных зонах, контролирующих размещение кимберлитовых тел, свидетельствуют о том, что выяснение геохимической специализации зон разрывных нарушений представляет значительный практический интерес для повышения эффективности поисковых работ и поэтому исследования в этом направлении должны быть усилены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобов Н.Г. Современные образования многолетних бугров пучения на Лено-Вилюйском междуречье. — "Изв. АН СССР, сер. геол.", 1960, № 5.

2. Виленский А.М. Петрология интрузивных трапш Северо-Сибирской платформы. М., "Наука", 1967.

3. Втурина В.А. Закономерности криогенного сложения пород

сезонно-протаивающего слоя. -В сб. "II Международная конференция по мерзлотоведению". Якутск, 1973.

4. Григорян С.В. Геохимические методы при поисках эндогенных рудных месторождений. (Методические рекомендации). М., Изд. ИМГРЭ, 1974.

5. Косолапова М.Н., Косолапов А.И. Применение гидрогеохимического метода при поисках кимберлитовых тел. -"Геология и геофизика", 1962, № 2.

6. Ломоносов И.С. Вертикальная гидрохимическая зональность в районе месторождения алмазов трубки "Мир". -"Труды Вост.-Сиб. геол. ин-та", вып.9, 1962.

7. Люфанов Л.Е. Стратиграфия и литология палеозоя и мезозоя западной окраины Вилюйской синеклизы. М., "Наука", 1964.

8. Милашев В.А. Петрохимия кимберлитов Якутии и факторы их алмазоносности. Л., "Недра", 1965.

9. Мокшанцев К.Б. и др. Тектоника Якутии. Новосибирск, "Наука", 1975.

В.А. Бородин, С.В. Григорян,
И.Ф. Бровчук, В.А. Тимченко,
Б.С. Ягильшев, В.В. Раздьяконов

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РТУТИ И ЕЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ В КИМБЕРЛИТАХ И ВМЕЩАЮЩИХ ИХ ПОРОДАХ

Исследования последних лет показывают, что возможности использования ртути в качестве элемента-индикатора при поисках месторождений различного генетического типа могут быть значительно расширены за счет применения ее составляющих форм нахождения [1, 2, 5, 7]. Авторами проводятся исследования, направленные на выявление поискового значения особенностей распределения ртути и ее форм нахождения в первичных ореолах месторождений алмазов. Определение ультрамалых количеств ртути и ее составляющих термоформ осуществляется при помощи атомно-абсорбционного и атомно-флуоресцентного анализов на фотометре Раф-4 и самодельной установке "Флюр-1". Результаты атомно-абсорбционного анализа необходимы для определения навески пробы, подвергающейся разложению на составляющие ртути, а также для увеличения достоверности ее валовых содержаний.

Установка "Флюр-1" позволяет измерять флуоресценцию паров ртути, восстанавливаемых из изучаемого образца при непрерывном нагревании от 20 до 700°C в токе азота или аргона. При этом она автоматизирована и выдает результаты в удобной графической форме (рис.1).

Материалом исследований были образцы кимберлитов из 12 различных трубок (табл.1), а также более ста геохимических проб, отобранных из керна разведочных скважин, пробуренных в разрезе через одну из кимберлитовых трубок, отличающихся сложностью геологического строения, что, в первую очередь, обусловлено ее залеганием под мощной толщей трапфов. Кроме того, формы нахождения ртути изучались в монофракциях пороодообразующих и гидротермальных минералов, а также в геохимических пробах из керна разведочной скважины другой трубки, пробуренной на большую глубину (600м).

Определение общих содержаний ртути позволило установить, что в кимберлитах (74 пробы) они меняются от 0,2 до $60 \cdot 10^{-6}\%$ при среднем $3,87 \cdot 10^{-6}\%$, в карбонатных породах (28 проб) — от 0,9 до $16,5 \cdot 10^{-6}\%$ при среднем $6,02 \cdot 10^{-6}\%$, в трапфах (13 проб) — от 1,0 до $8 \cdot 10^{-6}\%$ при среднем $3,83 \cdot 10^{-6}\%$. Пробы с относительно высокими со-

Т а б л и ц а I

Температуры возгонки ртути и соотношения различных форм её нахождения в кимберлитах различных трубок

Номера трубок	Температура, °С					Соотношение термоформ, %					Валовое содержание, $n \cdot 10^{-6}\%$
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	
I		232		384			44		56		6,0
IA	226			374			5I		49		3,2
3		248	3I0				54	46			8,8
4	I82		320			67		33			I,0
6	206			344	432	58			28	I4	0,8
7				(390)	426				(44)	56	2,1
7A				344					I00		5,2
9		250		360			67		33		0,6
IO			285	372	(420)			42	35	(23)	IO,0
I2	2I4				426	57				43	3,2
I3	2I4			354		53		47			3,0
I3A	2I0	256		340		3I	45		24		5,5
I5		260			438		35			65	4,9
I7	200			360	(434)	29			4I	(30)	6,4
2I		280	300	336	436		26	28	30	I6	I6,5

Примечания. I. Римские цифры I-V отвечают температурным интервалам, отождествленным с соответствующими соединениями ртути: I - хлорид, II - фторид, III - сульфид I (метацин-набарит), IV - сульфид II (киноварь), V - изоморфная ртуть.

2. В скобках приведены температуры возгонки и процентное нахождение термоформ, отличающихся невоскрытыми (предполагаемыми) максимумами возгонки ртути.

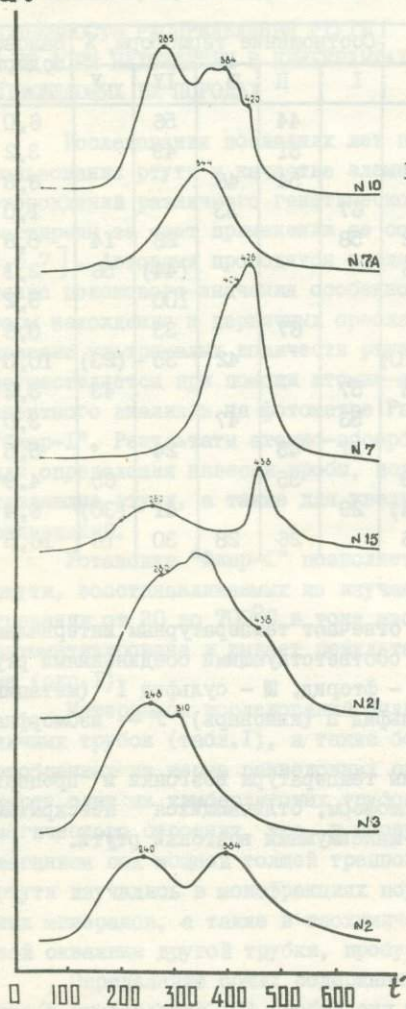
$\frac{dm_{Hg}}{dt}$ 

Рис. I. Кривые скорости возгонки ртути $\frac{dm_{Hg}}{dt}$ из кимберлитов различных трубок (номера трубок указаны справа на графиках). Температура возгонки t° дана по шкале Цельсия

держаниями в них ртути (2-3 кларка) встречались крайне редко, и приведенные средние содержания ее в породах совпадают с результатами других исследователей [4], применявших для определения ртути химический анализ. Это обстоятельство, а также тот факт, что пробы были проанализированы со 100%-ным контролем, позволили с достаточной надежностью выделить аномальные зоны ртути, которые четко локализовались вдоль контактов кимберлитов с другими породами при заметном смещении ее повышенных содержаний во вмещающие и перекрывающие образования. Очевидно, в связи с этим средние содержания ртути в карбонатных породах в 1,5 раза выше, чем в кимберлитах. Та же особенность наблюдается на эродированных объектах, характеризующихся выходом кимберлитов на современную поверхность, где вторичные ореолы ртути устанавливаются на флангах трубок, среди вмещающих карбонатных пород. В кимберлитах повышенные содержания ртути устанавливаются лишь в непосредственной близости от контакта с перекрывающими траппами и в зоне крутопадающего контакта их с вмещающими карбонатными породами. Контрастность ореолов колеблется в пределах 1,5-5,5 геофонов; ширина их не превышает 50 м. Вдоль контакта они прослеживаются на расстояния, значительно превышающие первую сотню метров.

Результаты изучения форм нахождения ртути в кимберлитах из различных трубок сведены в табл. I и представлены характерными графиками возгонки ртути (см. рис. I). Они позволяют отметить общую многоформность этих образований и представить их следующим термическим спектром форм нахождения ртути [6]: меньше 230° (6)^I; $230-280^{\circ}$ (5); $280-330^{\circ}$ (3); $330-400^{\circ}$ (9); выше 400° (6).

Приведенные температуры возгонки ртути из кимберлитов на основе экспериментальных данных, полученных упомянутыми исследователями, могут быть отождествлены с известными соединениями ртути: хлоридной, фторидной, сульфидной I (метациннабаритовой), сульфидной II (киноварной) и изоморфной ртутью.

Наибольшим распространением в кимберлитах различных трубок пользуется форма нахождения ртути, которую можно отождествлять с ее сульфидом II - киноварью, а наименьшим - форма, отвечающая сульфиду I ртути - метациннабариту. Появление сульфидных форм в кимберлитах обусловлено, очевидно, присутствием в трубках пирита, что было подтверждено результатами анализа его проб, отобра-

^I В скобках приведено число максимумов, образующих данный температурный интервал.

ных из пяти различных трубок. При этом установлено, что пирит является минералом-концентратором ртути, содержание которой в нем колеблется от 43 до $170 \cdot 10^{-6}\%$. Возгонка ее из этих монофракций происходит в температурных интервалах, соответствующих первой и второй составляющим сульфидной формы, тогда как соотношения между ними могут сильно меняться (табл.2).

Достаточно часто в кимберлитах наблюдаются хлоридная и фторидная формы. Кривые возгонки ртути позволяют отметить, что в одной пробе кимберлита может быть определено до трех различных ее форм независимо от валового содержания, а соотношения между отдельными формами как в кимберлитах разных трубок, так и одной трубки (образцы 7 и 7А) не остаются постоянными.

Полученные результаты подтвердили возможность выявления определенных закономерностей в распределении форм ртути и их использования в практических целях. В связи с этим был проведен дифференциальный анализ геохимических проб, отобранных в разрезе через упомянутую трубку. Установлено, что ртуть в них находится в тех же формах, которыми характеризуются кимберлиты различных трубок. Их распределение может быть отражено термическими спектрами (рис.2), построенными для отдельных разновидностей пород, развитых на участке данной трубки. Последние характеризуются значительным сходством между собой, что позволяет сделать вывод о независимости распределения форм нахождения ртути от химического состава этих пород. Данная особенность в сочетании с локализацией аномальных количеств валовой ртути и ее многоформностью в зоне контакта разнородных пород говорит в пользу их генезиса за счет наложенных гидротерм.

Этот вывод подтверждается также данными дифференциального анализа породообразующих минералов, приведенными ниже.

Общий термический спектр форм нахождения ртути изученного объекта имеет следующий вид:

- меньше 170°C (18) — оксихлоридная или сорбированная ртуть;
- $170-230^{\circ}\text{C}$ (55) — хлорид ртути;
- $230-280^{\circ}\text{C}$ (31) — фторид ртути;
- $280-330^{\circ}\text{C}$ (28) — сульфид I (метациннабарит) ртути;
- $330-400^{\circ}\text{C}$ (43) — сульфид II (киноварь) ртути;
- выше 400°C (54) — изоморфная ртуть.

Форма ртути с самой низкой температурой возгонки отождествлена с оксихлоридной формой на основе упомянутых эксперименталь-

Таблица 2

Температуры возгонки ртути и соотношения ее составляющих в породообразующих и гидротермальных минералах на месторождениях алмазов

Минералы (номера образцов)	Температура, °С					Соотношение между составляющими, %					Валовое содержание ртути, % к. 10 ⁶ %	
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V		
Оливин (201)	200			378		84			I6			2,3
Пикроильменит (201)	204	274		340		25	27		48			2,3
" (202)	204	276				54	46					2,5
" (203)	(218)	274		364		21,5	41			37,5		3,0
" (205)	212	266				48,5	51,5					1,4
" (206)	200		330	370		38		30,8	31,2			1,6
" (208)	218	260	298	382		31,4	27,6	24,6	16,9			1,5
Пироп (201)	188		300	354	416	10,0		30,1	34,2	25,7		7,8
" (203)		254	338	392	424		33,3	23,3	24,0	19,4		2,3
" (205)	196		312			63,0		27,0				1,9
" (206)	224		312		418	56,0		31,0		13,0		5,0
" (207)	210		330		418	69,0		20,0		11,0		3,0
Пирит ("С")			294	390				50,6	49,4			100
" ("Т")			290	396				51,8	48,2			43
" ("А")			316	382				59,7	403			170
" ("Д")			294	396	(560)			67,2	32,8	?		70
" ("З")			298		?			100		?		100

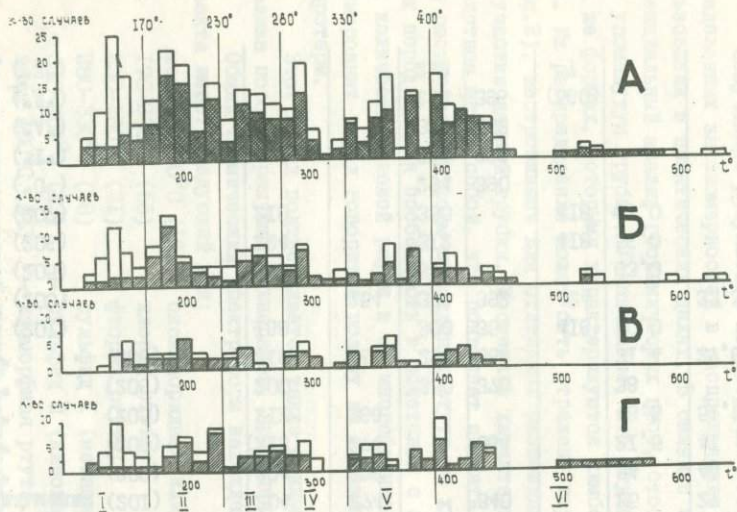


Рис.2. Термические спектры форм ртути в разрезе кимберлитовой трубки

А - общий спектр (81 проба); Б - кимберлиты (37 проб); В - тальцы (16 проб); Г - карбонатные породы (28 проб). Составляющие ртути: I - оксихлоридная; II - хлоридная; III - фторидная; IV - сульфидная I (метациннабарит); V - сульфидная II (киноварь); VI - изоморфная ртуть. Заштриховано - число температурных максимумов, не заштриховано - число нескрытых максимумов температур возгонки ртути

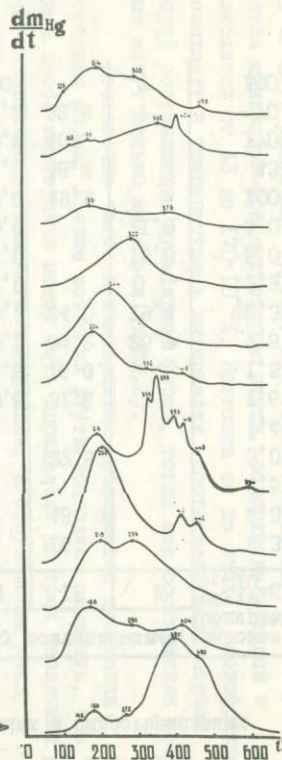


Рис.3. Типичные кривые скорости возгонки ртути из кимберлитов, тальцов и карбонатных пород в научном разрезе трубки

льных данных. Однако в дальнейшем ее распределение не рассматривается, так как наблюдения и эксперименты авторов позволяют предполагать сорбционный характер ее возникновения вследствие долгого хранения геохимических проб в порошках. Это предположение подтверждается характером кривых возгонки ртути, отличающихся большим числом случаев появления на них нескрытых максимумов в низкотемпературной части спектра (рис. 2 и 3).

Температурный интервал, соответствующий фторидной форме, установлен на основе широкого распространения ее в монофракциях флюоритов, отобранных из месторождений плавикового шпата разных формационных типов [3]. Наибольшим распространением в породах изученного месторождения алмазов пользуются хлоридная и изоморфная формы ртути, которым немного уступает ее сульфидная (киноварная) термоформа. Перечисленным формам нахождения ртути заметно уступают по распространенности сульфидная I и фторидная ее формы, характеризующиеся почти одинаковым количеством температурных максимумов возгонки. Следует отметить, что отожествление ртути, температура возгонки которой превышает 400°C , изоморфной формой нахождения проведено достаточно условно. Оно в основном обязано выявлению таких форм при дифференциальном анализе пиропов, где эта форма обычно находится в подчиненном количестве по отношению к преобладающим формам с менее высокой температурой возгонки ртути.

В изученном разрезе распределение перечисленных выше форм ртути отличается некоторыми особенностями. Во-первых, все выделенные формы нахождения элемента в той или иной мере отражают отмеченную приуроченность к зоне контактов пород разного литологического состава, что четко устанавливается при выделении участков, отличающихся многоформностью распределения ртути (рис. 4). Во-вторых, выявляется общая картина геохимической зональности, выражающаяся в накоплении сульфидной формы элемента на флангах трубки во вмещающих породах с некоторым смещением ее интенсивности в лежачий (восточный) бок трубки. Она наблюдается как во вмещающих карбонатных породах, так и перекрывающих траппах по периферии ореолов форм нахождения с более низкой температурой возгонки.

Подобным же образом ведет себя изоморфная ртуть, которая практически не устанавливается в средней части кимберлитового тела. Низкотемпературные формы, напротив, накапливаются в кимберлитах и перекрывающих их траппах в центральной части изученного разреза. При этом форма ртути с низкой температурой воз-

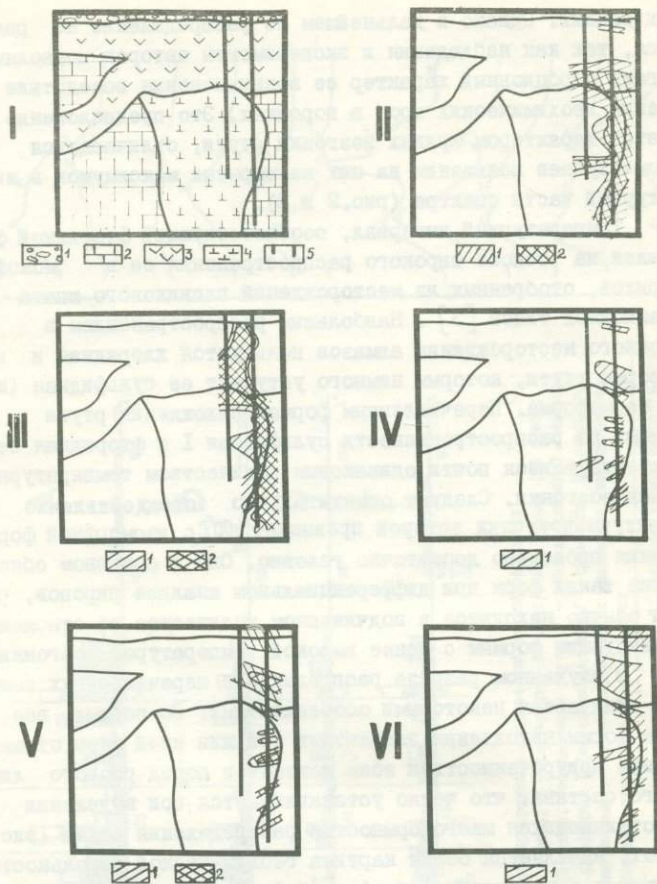


Рис.4. Первичные геохимические ореолы ртути и ее составляющих форм в разрезе кимберлитовой трубки

I - геологический разрез: 1 - аллювий; 2 - карбонатные породы;

3 - траппы; 4 - кимберлиты; 5 - буровые скважины

II - ореол валовой ртути: 1 - $2,5-5,0 \cdot 10^{-6}\%$; 2 - $>5,0 \cdot 10^{-6}\%$

III - ореол хлоридной ртути (усл.ед.): 1 - $5-10$; 2 - >10

IV - ореол сульфидной II (киноварной) (усл.ед.): 1 - >3

V - ореол изоморфной ртути (усл.ед.): 1 - $1,5-3,0$; 2 - >3

VI - ореол по числу температурных максимумов возгонки ртути:

1 - более 3 максимумов

гонки в интервале 180–230°C, которая нами отождествляется с хлоридной составляющей ртути, четко локализуется в зоне крутопадающего контакта трубки, прослеживаясь в вышележащих трапах до современной поверхности. Этот факт еще раз подтверждает сходство поведения рассматриваемого элемента с объектами гидротермально-го происхождения, для которых, по данным целого ряда исследователей, низкотемпературная форма обладает наибольшими индикационными свойствами, распространяясь на значительные расстояния от рудного объекта. Возможность распространения этой формы в трапах вполне вероятна, если принять во внимание существующее мнение о повышенной трещиноватости этих пород над кимберлитовыми телами.

В распределении формы ртути непосредственно в зоне контакта также устанавливается зональное строение. Оно выражается в накоплении хлоридной формы непосредственно в ее центре с увеличением роли сульфидной составляющей в направлении к периферии. Намечается последовательный переход через фторидную форму к первой сульфидной (метациннабаритовой), а далее ко второй, более высокотемпературной (киноварной). Очевидно, что наибольшее практическое значение будет иметь хлоридная форма, которая во взаимосвязи с распределением других форм может служить индикатором кимберлитовых трубок, скрытых под толщей перекрывающих трапов.

В описанном выше разрезе кимберлиты прослежены на расстоянии, чуть большее 100 м, что не позволило изучить на большую глубину характер изменения в них валовой ртути и распределения ее составляющих форм нахождения. В этом разрезе выявлена лишь преобладающая роль ртути с низкой температурой возгонки, отвечающей ее хлоридному и фторидному соединениям.

Изучение этих особенностей выполнялось на другом месторождении, где имелась разведочная скважина, пройденная среди кимберлитов почти на 600 м. Дифференциальный анализ отдельных проб, отобранных из керна этой скважины, установил, что основной формой нахождения элемента в кимберлитах этой трубки является сульфидная II форма с максимумами возгонки в интервале 296–330°C (табл. 3). Содержание этой формы и, соответственно, валовое количество ртути увеличивается с глубиной, достигая на глубине 400 м 13,8·10⁻⁶%. Здесь же в резко подчиненном количестве к основной сульфидной форме появляются другие составляющие. А далее на глубине 550 м резко возрастает содержание галоидной формы при подчи-

Таблица 3

Температура возгонки ртути и соотношения ее составляющих форм в кимберлитах на разных глубинах трубки

Расстояние от поверхности, м	Температура возгонки, °С					Соотношение термоформ, %					Валовое содержание ртути, г·10 ⁻⁶ %
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	
100		208		326	408		27		61	12	5,3
183	(I44)			340		29			71		2,1
223		192		336			27		73		3,6
283		(212)		300			37		63		5,5
323		232		330			29		71		2,1
362		198		332			13		87		6,1
403		208		330	466		20		70	10	13,8
443			246	338				22	78		4,7
483	I58		264	333	430	6		60	30	4	11,7
547		232		330			69		31		31,8
583		228		(330)			78		22		4,1

Примечание: В скобках приведены температуры возгонки и амплитуды невокрытых (предполагаемых) температурных максимумов.

ненным по отношению к ней количеству сульфидной I ртути, которая, на более глубоких уровнях трубки (583 м) не фиксируется, заменяясь одной хлоридной формой. Объяснение такому поведению ртути и ее составляющих форм находится в том, что трубка имеет небольшое отклонение, и, следовательно, вертикальная разведочная скважина с глубиной входит в ее периферийную часть, приближаясь к контакту с вмещающими породами. Таким образом, увеличение валовой ртути и накопление ее составляющих с низкой температурой возгонки в глубоких частях трубки обусловлено условиями проходки скважины и подтверждает наличие определенной зональности в их распределении на месторождениях алмазов, первопричиной которой, по-видимому, является проявление гидротермальной деятельности. Дополнительным свидетельством в пользу этого вывода могут служить данные исследований ртути и ее составляющих в породообразующих минералах данного месторождения алмазов. На нем в связи с наличием разведочной штольни кимберлитовое тело было охарактеризовано несколькими минералогическими пробами, отобранными из разных ее частей в отдельных точках штольни и рассечках из нее.

Из этих проб были выделены монофракции оливина, пикроильменита и пироп, порошки которых подверглись дифференциальному анализу на составляющие ртути. Кривые возгонки ртути из них и соотношения между отдельными формами приведены в табл.2. Эти данные позволяют отметить следующее:

- валовая ртуть в породообразующих минералах отличается низкими содержаниями, которые лишь в единичных случаях превышают ее кларковое значение ($4,5 \cdot 10^{-6}$), что обычно обусловлено присутствием незначительных количеств пирита;

- число форм нахождения ртути в минералах увеличивается в направлении оливин-пикроильменит - пироп. В аналогичной последовательности они располагаются по возрастанию количества ртути с более высокой температурой ее возгонки, т.е. накопление изоморфной ртути отмечается в пиропе;

- для оливина в качестве характерной формы ртути выявляется ее хлоридная составляющая; в пикроильмените эта форма ассоциирует с ее фторидом, который находится с ней практически в равных количествах; в отдельных пробах к ним присоединяется обычно в подчиненном количестве сульфидная II (киноварь) составляющая; в пиропе превалирует либо хлоридная, либо фторидная форма ртути с постоянным присутствием, обычно в подчиненных количествах, обеих

сульфидных ее форм и изоморфной ртути;

- характер распределения форм ртути в минерале определяется его местоположением в кимберлитовой трубке (центральная либо периферийная часть);

- термический спектр форм нахождения ртути в минералах (включая пирит), представленный следующими температурными интервалами:

меньше 230°C (I3) - хлорид ртути

230-280°C (7) - фторид "

280-330°C (I6) - сульфид I "

330-400°C (I3) - сульфид II "

более 400°C (9) - изоморфная ртуть,

отражает тесную связь между распределением ртути и ее составляющих форм в минералах и породах, образующих месторождение алмазов. Наиболее значительную роль при этом играют первая и вторая сульфидные формы нахождения ртути, связанные с примесью гидротермальных минералов.

Таким образом, использование высокочувствительных фотометров позволяют расширить границы применения индикационных свойств ртути как за счет вовлечения объектов, характеризующихся кларковыми содержаниями этого элемента, так и за счет использования данных о ее составляющих формах нахождения. Указанные особенности распределения ртути и ее форм нахождения в минералах и породах отдельных месторождений алмазов определяют возможность повышения эффективности применения геохимических методов при проведении поисковых и разведочных работ на алмазных месторождениях в кимберлитах.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бородин В.А., Бровчук И.Ф., Гончаров А.И. и др. Поиски скрытого ртутного оруденения по геохимическим ореолам рассеяния. - "Разведка и охрана недр", 1976, № 4.

2. Долгих Г.А. Поисковое значение форм нахождения ртути в рудных зонах. - Автореферат на соиск. ученой степени канд. геол.-минерал. наук. Ин-т геологии АН Кирг.ССР, Фрунзе, 1975.

3. Кошлус А.В., Бородин В.А., Бровчук И.Ф. и др. Формы нахождения ртути во флюорите и сопутствующих ему минералах из некоторых эндогенных месторождений. - "Геохимия", 1978, № 5.

4. Озерова Н.А., Францесон Е.В., Илупин И.П. и др. Ртуть в кимберлитах. - В сб. "Геохимия рудообразующих элементов основных

и ультраосновных пород. М., "Наука", 1976.

5. Фурсов В.З. Ртуть в горных породах и рудах и температура ее возгонки. - "ДАН СССР", т.204, 1972, № 2.

6. Фурсов В.З. Ртуть в горных породах, рудах, ореолах эндогенных месторождений и атмосфере. - В сб. "Методы интерпретации литогеохимических аномалий". М., Изд. ИМПРЭ, 1975.

7. Фурсов В.З., Степанов И.И. О возможности определения формы нахождения ртути в горных породах и рудах. - "Изв.Каз. фил. АН СССР, сер.геол.". Алма-Ата, 1967, № 2.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
С.В. Григорян, В.В. Рябов, М.Ф. Кузин. Методика геохимических исследований на подстанции общих поисков в Печенгском и аналогичных рудных районах Кольского полуострова	3
В.В. Рябов, О.В. Олифиренко. Особенности распределения элементов в интрузиях основного-ультраосновного состава	21
С.В. Григорян, В.В. Рябов, О.В. Олифиренко. Особенности распределения элементов-индикаторов в первичных геохимических ореолах сульфидных медно-никелевых рудных тел Печенги	36
С.В. Григорян, А.М. Дудкин, В.В. Рябов, О.В. Олифиренко. Некоторые результаты применения первичных геохимических ореолов при поисках скрытых сульфидных медно-никелевых рудных тел	65
С.В. Григорян, К.А. Жук-Почекотов. Методике геохимических поисков скрытых сульфидных медно-никелевых месторождений в Норильском районе	69
С.В. Григорян, В.А. Тимченко. Геохимические методы при поисках алмазоносных кимберлитов	74
В.А. Бородин, С.В. Григорян, И.Ф. Бровчук, В.А. Тимченко, Б.С. Ягншев, В.В. Раздьяконов. Особенности распределения ртути и ее форм нахождения в кимберлитах и вмещающих их породах	84

УДК 550.84.(470.21)

Методика геохимических исследований на подстадии общих поисков в Печенгском и аналогичных рудных районах Кольского полуострова. Григорян С.В., Рябов В.В., Кузин М.Ф. Сб. "Первичные ореолы магматических месторождений". Изд. ИМПРЭ, 1978, стр.3-20.

Результаты опытно-методических работ позволяют рекомендовать проведение в Печенгской рудной провинции производственных геохимических поисков как на подстадии общих поисков, так и на всех последующих подстадиях и стадиях геологоразведочного процесса. На первых же этапах обработки результатов анализа проб и их интерпретации целесообразно использовать мультипликативные показатели. При проведении геохимических поисков необходимо строго соблюдать утвержденную последовательность геологоразведочного процесса.

УДК 550.42:552.3/5.(470.21)

Особенности распределения элементов в интрузиях основного-ультраосновного состава. Рябов В.В., Олифиренко О.В. Сб. "Первичные ореолы магматических месторождений". Изд. ИМПРЭ, 1978, стр.21-35.

Наблюдается геохимическая дифференциация элементов. Высокие содержания бария, ванадия, титана и молибдена приурочены к габбро (верхнему дифференциату интрузий). В перидотитах (нижних дифференциатах) более высокие содержания никеля, меди, кобальта, серебра, свинца, цинка, хрома и марганца. Значение величины показателя $\frac{Ba \cdot V \cdot Ti}{Ni \cdot Cu \cdot Ag}$, отражающего вертикальную (поперечную) зональность интрузивов, в габбро вблизи рудных тел резко уменьшается, что является поисковым критерием при геохимических поисках. Для близрудных сечений интрузивов характерны значения показателей $Ni \cdot Co \cdot Cu \cdot Cr > n \cdot 10^6$, а $Ag \cdot Pb \cdot Ba \cdot Zn > 3$. Зоны прожилков пирротина являются надрудными частями первичных ореолов медно-никелевых рудных тел.

Табл.6; ил.2.

УДК 553.481:43:550.84.092.1(470.21)

Особенности распределения элементов-индикаторов в первичных геохимических ореолах сульфидных медно-никелевых рудных тел Печенги. Григорян С.В., Рябов В.В., Олифиренко О.В. Сб. "Первичные ореолы магматических месторождений". Изд. ИМПРЭ, 1978, стр.36 - 64.

Первичные ореолы имеют линейный характер, протягиваясь вдоль междолевых разрывных нарушений на сотни метров при мощности 100-150 м. Установлена продольная и поперечная зональность ореолов. Первая характеризуется накоплением на уровне рудных тел никеля, хрома, меди, кобальта и марганца, в то время как в надрудных сечениях увеличиваются содержания серебра, свинца, бария и цинка. Поперечная зональность обусловлена тем, что прямые элементы-индикаторы - никель, медь, кобальт, хром, серебро, свинец - образуют внутреннюю зону ореолов, а цинк, барий, молибден, олово, бор, ванадий, титан - внешнюю. При определении уровня среза первичного ореола используется мультипликативный показатель продольной зональности $\frac{Ag \cdot Pb \cdot Ba \cdot Zn}{Ni \cdot Cu \cdot Co \cdot Cr}$, значения которого для близрудных сечений меньше $n \cdot 10^3$ при величине показателя $Ni \cdot Cu \cdot Co \cdot Cr > n \cdot 10^6$. При поисках перспективно использовать показатель поперечной зональности $Ba \cdot Mo \cdot Zn \cdot B \cdot V \cdot Sn$ для выявления внешних зон первичных ореолов.

Табл. 3, ил.18.

УДК 553.481'43:550.84.092.1(470.21)

Некоторые результаты применения первичных геохимических ореолов при поисках скрытых сульфидных медно-никелевых рудных тел. Григорян С.В., Дудкин А.М., Рябов В.В., Олифиренко О.В. Сб. "Первичные ореолы магматических месторождений". Изд. ИМПРЭ, 1978, стр.65-68.

По данным изучения первичных ореолов рекомендовано к проверке II участков, и на трех из них выявлены рудные тела. Один из этих участков до постановки геохимических поисков после проведения геофизических и буровых работ был оценен отрицательно. Проверка остальных рекомендаций продолжается.

Ил. 3.

УДК 553.481'43:550.84.092.1(571.51)

К методике геохимических поисков скрытых сульфидных медно-никелевых месторождений в Норильском районе. Григорян С.В., Жук-Почечутов К.А. Сб. "Первичные ореолы магматических месторождений". Изд. ИМПРЭ, 1978, стр. 69-73.

Выявлены элементы-индикаторы в первичных ореолах Норильских месторождений: $Ni, Co, Cu, Cr, Ag, Zn, Pb, Sr, Ba, Zr, Sn, Ti, Mn$ и др. Наиболее четко выделяются ореолы Ni, Cu, Co и иногда Ag . Ореолы чаще всего слабоконтрастны и требуют для надежной фиксации применения метода суммирования. Намечен ряд поперечной зональности: $Ni, Co, Cu, Ag - Zn - Pb - Ba$. Сложность геологического строения и металлогении региона требует дополнительных исследований для выработки методики проведения производственных геохимических поисков.

Библиогр. 9 назв.

УДК 552.323.6:553.81:550.84

Геохимические методы при поисках алмазоносных кимберлитов. Григорян С.В., Тимченко В.А. Сб. "Первичные ореолы магматических месторождений". Изд. ИМПРЭ, 1978, стр. 74-83.

Использование мультипликативных показателей $\frac{Cr \cdot Ni \cdot Mn}{V \cdot Co \cdot Cu}$ и $\frac{Cr \cdot Ni}{Pb^2}$ позволяет уверенно определять принадлежность каждой

конкретной пробы или ореола в целом к кимберлитам. Установлены повышенные концентрации Hg, B, Cr и Ni в тектонически ослабленных зонах, контролирующих размещение кимберлитовых тел. Выявлена перспективность применения геохимических методов и ореолов рассеяния ртути для поисков погребенных кимберлитовых тел.

Библиогр. 9 назв.

УДК 552.323.6:553.81:550.84+550.42:546.49

Особенности распределения ртути и ее формы нахождения в кимберлитах и вмещающих их породах. Бородин В.А., Григорян С.В., Бровчук И.Ф., Тимченко В.А., Ягинцев Б.С., Раздьяконов В.В. Сб. "Первичные ореолы магматических месторождений". Изд. ИМПРЭ, 1978, стр.84-97.

Выявлена тесная связь между распределением ртути и ее составяющих форм в минералах и породах, образующих алмазные месторождения. Отмечена ведущая роль сульфидных форм нахождения ртути. Полученные данные позволяют использовать их при поисках и разведке месторождений алмазов в кимберлитах.

Табл.3, ил. 4, библиогр. 7 назв.

**ПЕРВИЧНЫЕ ОРЮЛЫ
МАГМАТИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**
сборник научных статей

Утверждено к печати
Институтом минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов

Редакторы: Т.И. Нефедова, И.Л. Давба
Подписано к печати 1 ноября 1978 г.
Т 20242. Объем 4 л. Тираж 500. Заказ 5.
Формат 60x90 1/16. Цена 28 коп.
Ротапринт ИМПРЭ

28 коп

2890