Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LI, вып. 2, 1966 г.

УДК 550. 42

О ПЕРВИЧНЫХ ОРЕОЛАХ ОДНОГО ИЗ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРО-ЗАПАДА КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Т. И. Нюппенен

Рассматриваемое месторождение сульфидных медно-никелевых руд расположено в северной части Терско-Нотозерского антиклинория, сложенного преимущественно архейскими породами кольской серии. Генетически и пространственно оно связано с многослойной интрузией пород ультраосновного состава (оливинитами, гарцбургитами), значительно метаморфизованными. Интрузия представляет собой серию пластовых и линзовидных тел, залегающих в ядерной части брахиантиклинали, сложенной породами серии кольских гнейсов.

Никеленосные ультраосновные породы и связанное с ними оруденение приурочены к прослоям полевошпатовых амфиболитов, в различной степени мигматизированных плагиоклазовыми и плагиомикроклиновыми гранитами и гнейсогранитами. Полевошпатовые амфиболиты и мигматиты по ним перемежаются с прослоями биотитовых и амфиболо-биотитовых гнейсов. Оруденение встречено двух типов: а) сингенетичное (вкрапленное), приуроченное к пластовым интрузиям ультраосновных пород; б) эпигенетичное (сплошное и брекчиевидное), расположенное в межпластовой тектонической зоне. Второе распространяется за пределы интрузии на расстояние до 200 *м*. Как правило, руды сложены пирротином, пентландитом, халькопиритом. В незначительных количествах встречаются пирит, магнетит, сфалерит, борнит, кубанит, валлериит.

Первичные ореолы эпигенетических руд изучались опробованием керна буровых скважин по одному из разведочных профилей месторождения. Скважинами подсечено само рудное тело и зоны околорудной сульфидной медно-никелевой минерализации. Методика опробования обычна для исследований подобного рода. Система опробования точечная. В пробу отбирались 5—12 сколков керна с интервала 0,25—0,5 *м*, который принимался за точку. Пробы весом 300—400 *г* отбирались в среднем через 4—5 *м*, а вблизи рудного тела через 2—0,5 *м*.

В процессе обработки и подготовки к анализу половина пробы дробилась до 0,25—0,32 *мм*, вторая половина оставалась дубликатом. Раздробленный материал квартовался, часть (15—20 *г*) истиралась до состояния пудры (примерно 200 меш) и поступала на полуколичественный спектральный анализ. Анализ выполняли на спектрографе ИСП-28 с трехступенчатым ослабителем при экспозиции съемки 1 *мин* и силе тока 10 *а*. Все пробы анализировались на 10 элементов (табл 1).

Таблица 1

Ожидаемые средние содержания элементов в исследуемых породах района и чувствительность полуколичественного спектрального анализа

Элемент	Средние содержания по А. П. Виноградову [1962], %		Чувствительность анализа, %
	Основные породы (амфиболиты)	Кислые породы (граниты)	
Cr	$2 \cdot 10^{-2}$	$2{,}5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Ti	$9 \cdot 10^{-1}$	$2{,}3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}$
V	$2 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Mn	$2 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Ni	$1{,}6 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Cu	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Pb	$8 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Zn	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Ag	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Co	$4{,}5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$

Как следует из табл. 1, полуколичественный спектральный анализ обеспечивает получение необходимой информации о содержании элементов в исследуемых породах основного и кислого состава. Чувствительность анализа недостаточна лишь для оценки фоновых значений содержания серебра и, вероятно, цинка.

Точность метода анализа оценивали по способу Е. М. Квятковского [1966], основанному на использовании графиков накопленных частот.

Результаты оценки точности анализа показали, что только по цинку и ванадию случайные отклонения несколько больше допустимых..

Фоновые содержания Ni, Cu, Pb в различных типах пород определяли как наиболее часто встречающиеся (модальные) значения по вариационным кривым, построенным в полулогарифмическом масштабе.

В последнее время для определения параметров распределения содержаний элементов в геологических образованиях рекомендуется использование графиков интегральной (накопительной) функции [Разумовский, 1962]. Этот способ является наиболее точным и удобным для оценки фона (моды) и величины дисперсии σ, а при использовании соответствующих вероятностных бланков и сравнительно простым. Но по накопительным графикам очень трудно выявлять и анализировать полидисперсные распределения, которые достаточно хорошо дифференцируются по вариационным кривым. Данное обстоятельство и определяет необходимость использования графиков дифференциальной функции для оценки основных показателей распределения элементов в породах при исследовании первичных ореолов (наложенных процессов).

Уже по виду вариационных кривых (рис. 1) можно заключить, что Ni и Cu характеризуются сложным распределением. Помимо основных максимумов, определяющих их среднее содержание в рассматриваемых типах пород, вариационные кривые имеют дополнительные максимумы в правой ветви, свидетельствующие о наличии наложенной рудной минерализации. Интенсивность наложенного процесса, минимальная в породах гранитоидного типа, заметно возрастает в мигматитах гранитов по полевошпатовым амфиболитам и достигает максимума в амфиболитах. Процессы наложенной минерализации по меди кажутся более значительными, чем по никелю.

Вариационные кривые содержаний свинца имеют относительно симметричную форму и показывают отсутствие наложенных процессов для этого элемента.

Значения фоновых содержаний остальных 6 элементов сняты непосредственно с графиков содержаний по скважинам и приводятся в табл. 2.

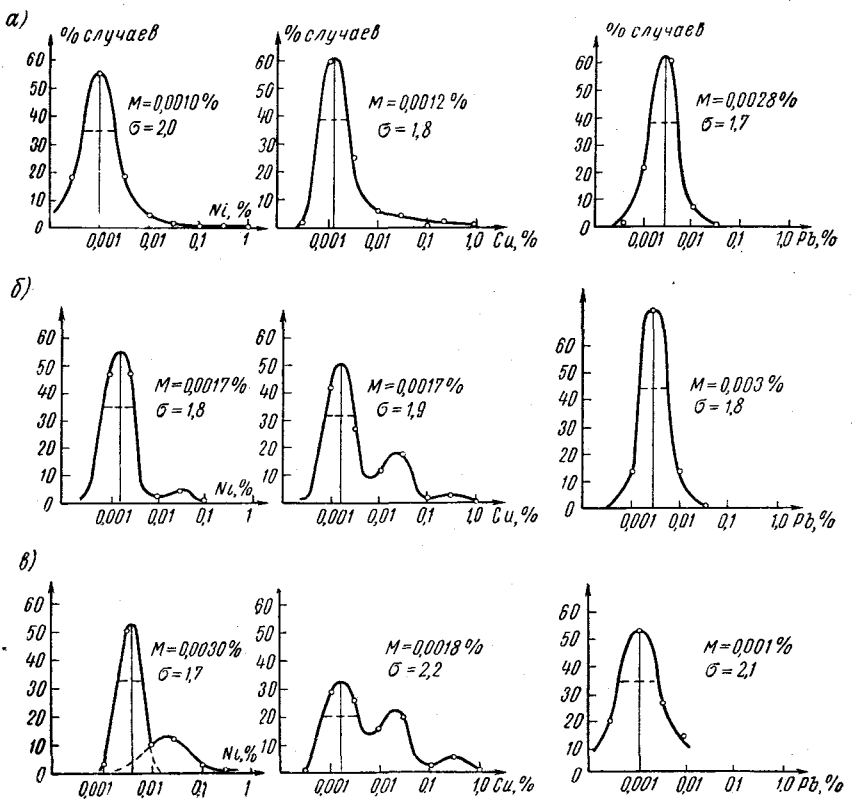


Рис. 1. Вариационные кривые содержания никеля, меди и свинца: *а* — в гранитах, гнейсах и гнейсо-гранитах района (по данным 313 анализов); *б* — в мигматитах гранитов по полевошпатовым амфиболитам (по данным 127 анализов); *в* — в полевошпатовых амфиболитах (по данным 130 анализов).

M — мода; σ — кратный коэффициент дисперсии; $C_{\text{ан min}} = M\sigma^3$, так как $\lg C_{\text{ан}} \geqslant \lg M + 3\lg \sigma$.

В этой же таблице приведены значения фоновых содержаний никеля, меди и свинца, установленные по вариационным кривым и графикам. Сопоставление значений, полученных по вариационным кривым и графикам, позволяет считать способ определения фоновых значений по графикам при изучении первичных ореолов вполне приемлемым.

Для большинства приведенных в табл. 2 элементов ни модальные значения по типам пород, ни среднефоновые значения не совпадают с мировыми кларками по А. П. Виноградову (см. табл. 1). Расхождения могут быть обусловлены как геохимическими особенностями региона, так и систематическими ошибками спектрального анализа в целом. При изучении первичных ореолов эпигенетических рудных тел основной задачей является выделение относительно повышенных содержаний

Таблица 2

Фоновые содержания элементов $C_{фон}$ в породах, их минимальные аномальные значения $C_{ан\,min}$ и коэффициенты концентрации в рудах K

Элемент	Фоновое содержание, % *		Нижний предел аномалии $C_{ан\,min}=C_{фон}\sigma^{3}$ **	Коэффициент концентрации в рудах $K=\frac{C_{ср}}{C_{фон}}$
	по вариационным кривым	по графикам		
Ni	0,001—0,003 / 0,0017	0,001—0,003 / 0,0015	0,01	2500
Cu	0,0012—0,0018 / 0,0017	0,001—0,003 / 0,0017	0,01	1250
Pb	0,001—0,003 / 0,0028	0,001—0,003 / 0,003	0,015	—
Zn	—	Не обн.—0,003 / ?	0,015	10
Ag	—	Не обн.—0,0001 / ?	0,0005	60
Cr	—	0,01—0,03 / 0,01	0,05	—
Ti	—	0,003—0,5 / 0,2	1	—
V	—	0,003—0,3 / 0,02	0,1	—
Mn	—	0,01—0,3 / 0,1	0,5	—

* Числитель — пределы колебаний среднефоновых значений для типов пород; знаменатель — принятое среднее для пород района.

** σ принята равной 1,8.

элементов на общем фоне, поэтому ни та, ни другая причина не оказывают существенного влияния на ход исследований.

Поскольку степень концентрации элементов-индикаторов в рудной фазе играет существенную роль в образовании первичных ореолов эпигенетических руд [Янишевский и др., 1963], наиболее отчетливо, по-видимому, будут проявлены ореолы Ni, Cu, Ag и, вероятно, Zn.

Характер распределения элементов по разрезу (рис. 2) соответствует данным табл. 2. Как и ожидалось, наиболее отчетливо выраженные ореолы в экзоконтакте богатых эпигенетических руд отмечаются лишь по Ni и Cu. Сравнительно слабо они проявлены по Ag и Zn. Содержание Pb, Cr, V и Mn * соответствует средним содержаниям для типов пород и, по-видимому, не имеет отношения к процессу эпигенетического рудообразования. Содержание никеля и меди в экзоконтакте рудного тела во много раз превышает фоновые, образуя локальную ореольную зону шириной от 5 до 40 *м*.

Четкость ореолов рудного тела несколько затушевана относительно высокими концентрациями никеля и меди, встречающимися по всему разрезу. Пространственное положение этих повышенных концентраций внешне кажется беспорядочным. Однако видно, что они образуют зоны, параллельные рудному телу и даже повторяющие его изгиб. Сочетание

* Графики титана по разрезу сходны с графиками содержания ванадия.

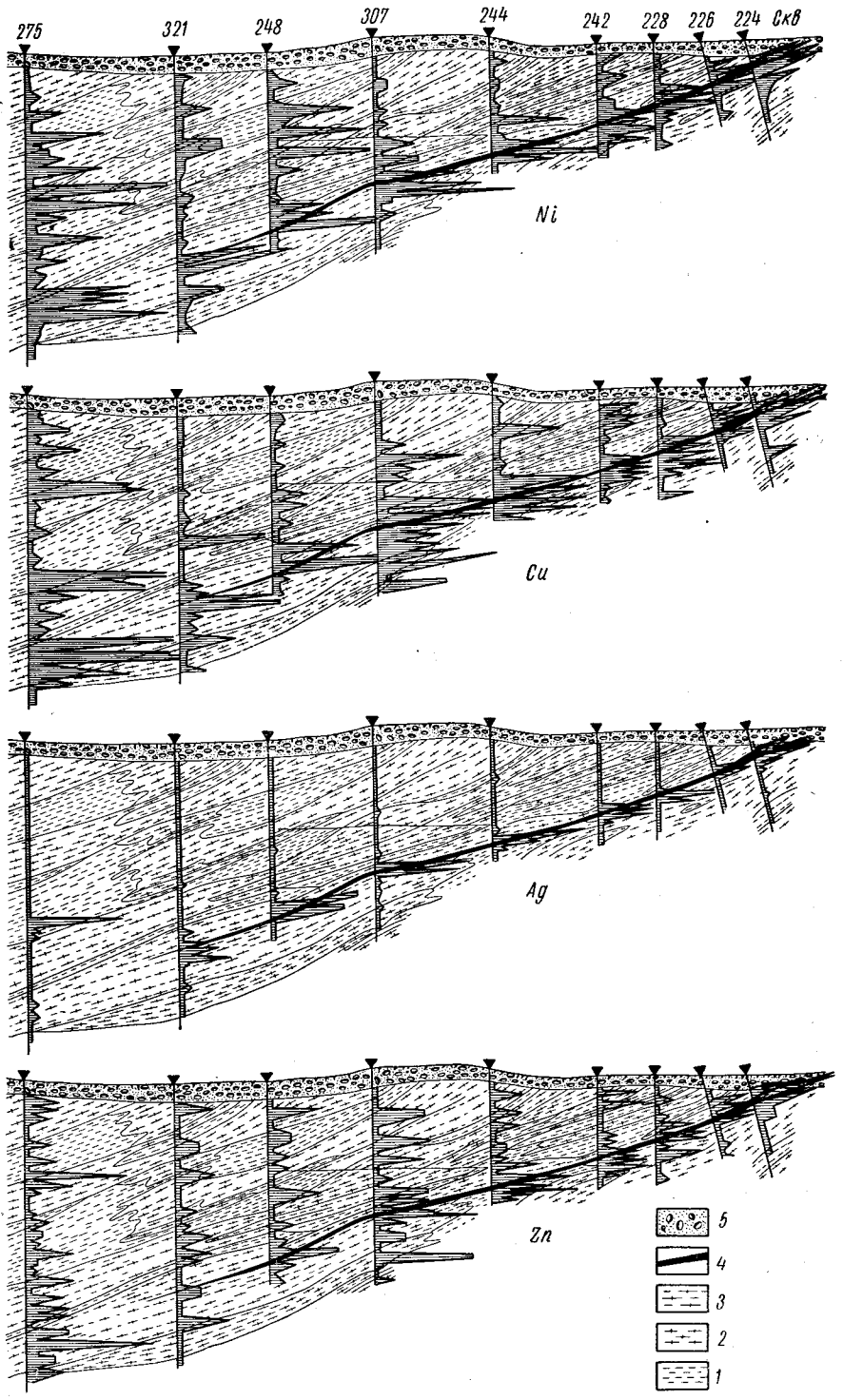
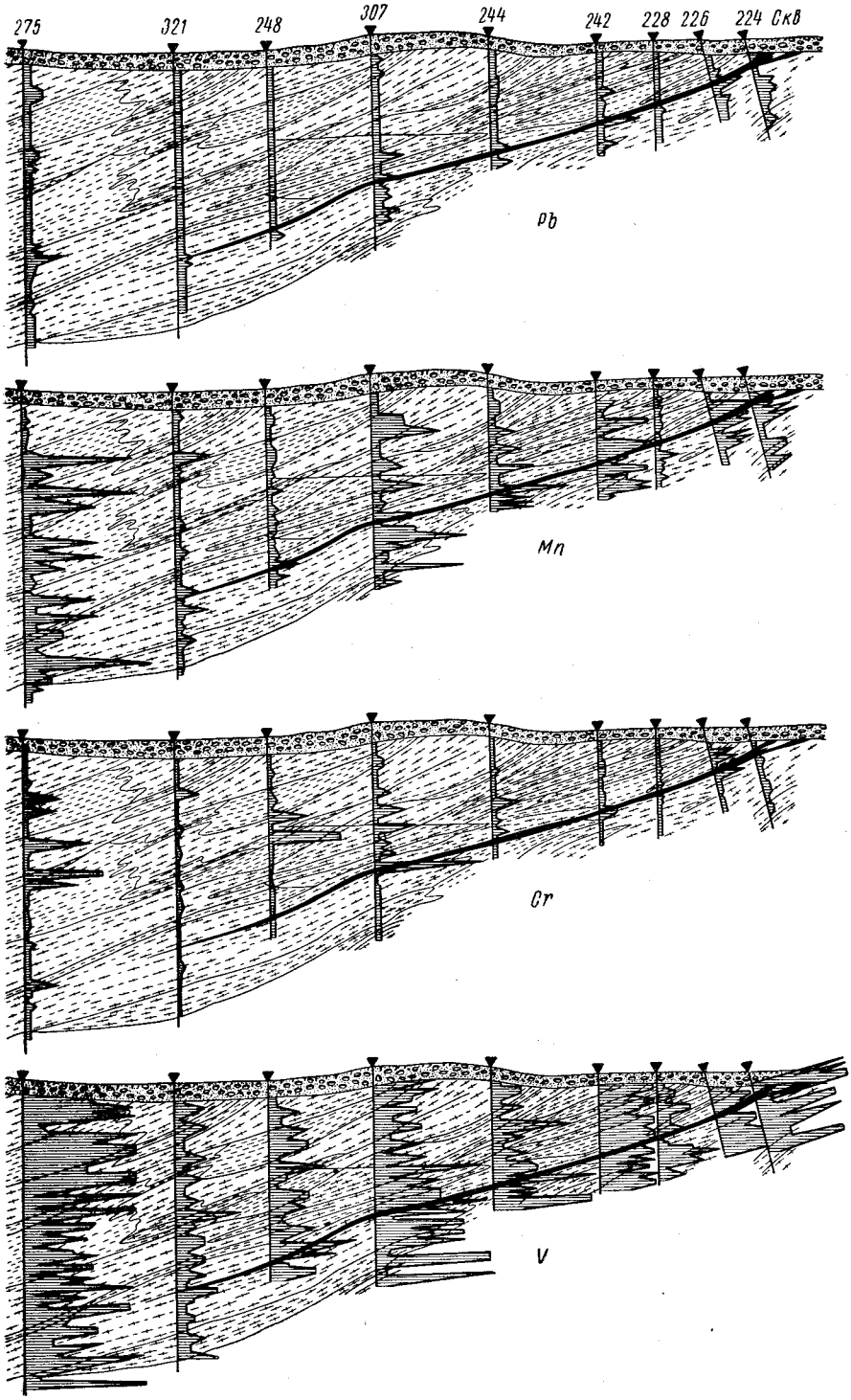


Рис. 2. Графики содержания элементов по разрезу.

1 — полевошпатовые амфиболиты; *2* — плагио- и плагиомикроклиновые граниты; *3* — мигматиты



разведочного профиля по данным спектрального анализа;

гранитов по полевошпатовым амфиболитам; *4* — рудное тело; *5* — моренные отложения.

этих зон образует несколько параллельных этажей ореольной минерализации. Это становится очевидным при снятии фона, т. е. нанесении на разрез только аномальных значений элементов (рис. 3).

Основным фактором, контролирующим расположение ореольных зон по разрезу, по-видимому, является структурный, хотя в большинстве случаев аномальные концентрации никеля и меди приурочены либо к прослоям амфиболитов и мигматитов микроклинового гранита по амфиболитам либо к контактам последних с телами гранитов. Рассланцованные в значительной степени амфиболиты являются, вероятно, для рудообра-

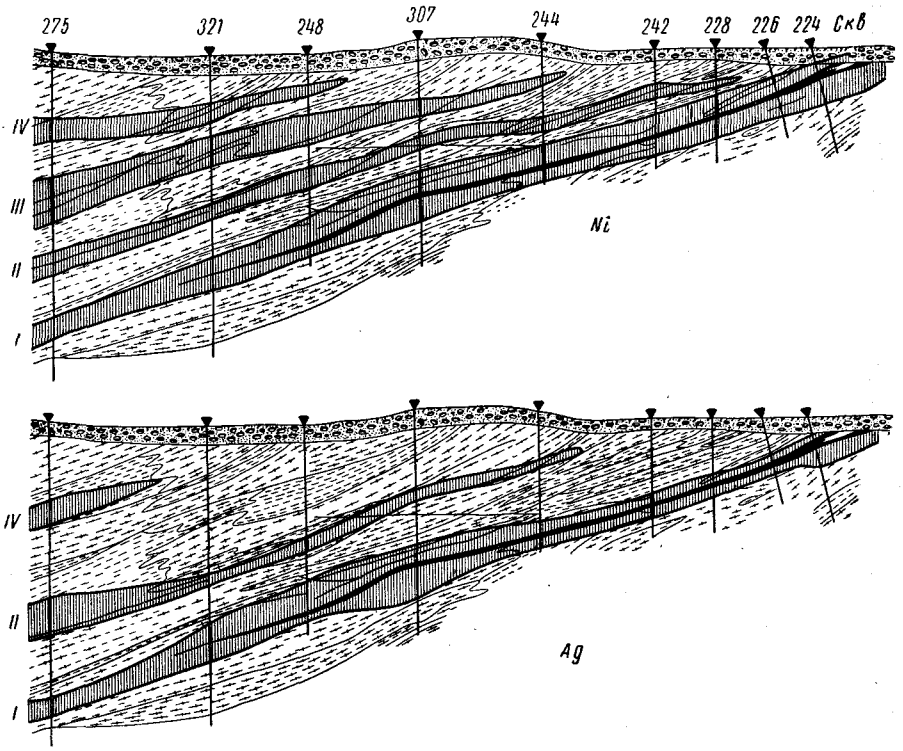


Рис. 3. Расположение ореольных зон I—IV никеля и серебра по разрезу разведочного профиля по данным спектрального анализа. Условные обозначения те же, что на рис. 2.

зующей фазы более проницаемой средой, чем массивные плагиомикроклиновые граниты или гнейсы.

Ореолы никеля и меди пространственно совпадают и имеют резко изрезанный характер, что может служить косвенным свидетельством их инфильтрационной природы. Практически во всех случаях повышенные содержания элементов отражают непромышленную рудную минерализацию (вкрапленную или вкрапленно-прожилковую), что позволяет считать минеральную форму нахождения элементов в ореоле преобладающей. Видимая протяженность ореолов в направлении выклинивания рудного тела значительно больше, чем их ширина и составляет 120—150 *м*.

По графикам содержаний элементов по разрезу можно судить об элементном составе, форме и размерах ореолов, но трудно выявить черты его внутреннего строения, т. е. характер распределения элементов в ореоле (зональность). Распределение элементов в ореоле или рудном теле достаточно надежно определяется по суммарному количеству металла

(продуктивности) в разных сечениях ореола или рудного тела [Каблуков и др., 1964]. Продуктивность измеряется в метропроцентах.

Исследованиями Е. М. Квятковского, И. Н. Крицук и Д. Н. Сафронова установлено, что характер зонального строения ореолов и рудных тел можно выявить более полно, если рассматривать линейные продуктивности элементов в сочетании с отношениями продуктивностей по различным элементам и их средневзвешенным содержаниям.

При неравноинтервальном опробовании величина линейной продуктивности — привнесенное количество элемента в данном сечении —

$$M = (C_1 l_1 + C_2 l_2 + \ldots + C_n l_n) - C_{\text{фон}} a,$$

где $C_1, C_2, \ldots C_n$ — содержания элемента в различных точках ореола, %; $l_1, l_2, \ldots l_n$ — длины соответствующих интервалов опробования; a — суммарная длина интервалов с аномальными концентрациями элементов, *м*.

Если не исключать величину геохимического фона ($C_{\text{фон}} \cdot a$), то при неравноинтервальном опробовании продуктивность можно определить по формуле

$$M = (C_1 l_1 + C_2 l_2 + \ldots + C_n l_n) = \sum_1^n C_i l_i.$$

Отношение продуктивностей элементов-спутников к продуктивности основного рудообразующего компонента (никеля) определяется как

$$\frac{M_{\text{эл}}}{M_{\text{Ni}}} = \frac{\sum_1^n C_{\text{эл}\,i} l_i}{\sum_1^n C_{\text{Ni}\,i} l_i}.$$

Средневзвешенное содержание элементов в сечении ореола и рудного тела

$$C_{\text{ср}} = \frac{M}{L} = \frac{\sum_1^n C_i l_i}{l_1 + l_2 + \ldots + l_n},$$

где $L = l_1 + l_2 + \ldots + l_n$.

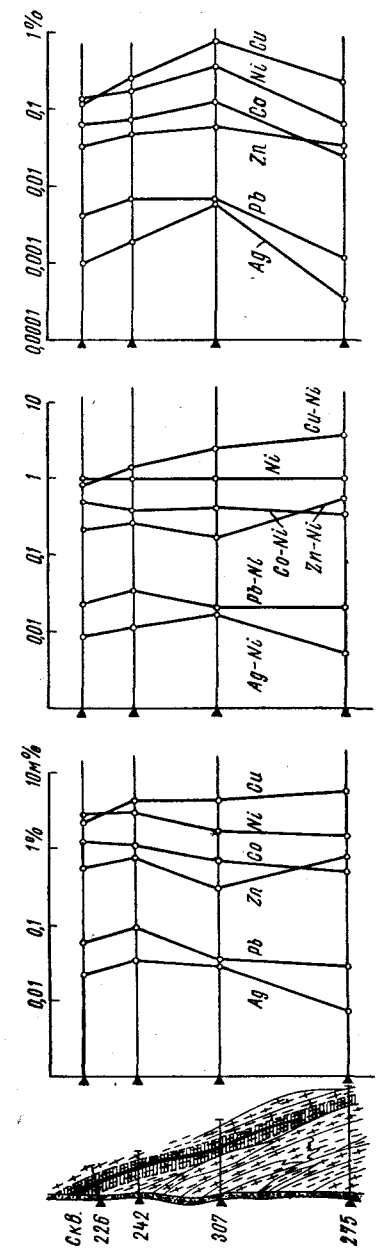


Рис. 4. Графики продуктивностей (*а*), отношений продуктивностей (*б*) и средневзвешенных содержаний (*в*) по Ni, Cu, Co, Pb, Zn, Ag в зоне рудного тела и ореола основной рудной залежи сульфидного медно-никелевого месторождения.

Как видно по графикам продуктивностей, отношений продуктивностей и средневзвешенных содержаний элементов в различных сечениях ореола и рудного тела (рис. 4), все показатели имеют сравнительно согласный ход кривых и, следовательно, распределены по разрезу рудного тела относительно равномерно.

По графикам продуктивности намечается тенденция увеличения роли меди в рудном теле и ореоле с глубиной. При рассмотрении продуктивностей в сочетании с отношениями продуктивностей элементов-спутников к продуктивности основного компонента и средневзвешенными содержаниями элементов в рассматриваемых сечениях относительное увеличение количества меди в рудном теле и ореоле становится вполне очевидным фактом. Несколько увеличивается также роль цинка в ореоле рудного тела (рис. 4, сечение по скв. 275).

Такого типа зональность в строении рудных тел месторождения сульфидных медно-никелевых руд Фруд-Стоби в Канаде отмечается Зербриггом [1964], а в месторождениях Норильского района М. Н. Годлевским [1959].

Известно также, что основная масса сульфидных жил Мончетундры сложена преимущественно никелевыми рудами, но северные фланги, нижние горизонты их и пережимы в жилах представлены более медистыми разностями руд.

На основании подобного рода общих закономерностей можно предположить, что при образовании эпигенетических медно-никелевых руд рудообразующая фаза, обогащенная медью, более подвижна, чем преимущественно железно-никелевая ее часть, и кристаллизуется несколько позже основной массы пентландит-пирротиновых руд. Поэтому медистые разности руд имеют возможность заполнять мелкие трещины и ослабленные зоны во вмещающих породах, располагаясь на максимальном удалении от источника рудообразования и образуя своеобразный медный ореол. По имеющимся материалам трудно судить, расположится ли этот ореол вокруг всей основной массы пентландит-пирротиновых руд или займет только «головную» и в меньшей степени боковые части рудного тела.

В ходе разведки рассматриваемого месторождения подмечен факт общего нарастания «медистости» руд с запада на восток по мере удаления от оруденелой ультраосновной интрузии.

Если данная оруденелая интрузия является источником эпигенетических вкрапленных руд (что кажется вполне очевидным), можно полагать, что более вероятным будет второе из высказанных предположений.

Относительное увеличение количества меди на глубоких горизонтах в приведенном разрезе рудного тела можно тогда считать южным боковым ореолом основной рудной залежи.

Более полные и достоверные данные о взаимном пространственном расположении пентландит-пирротиновых руд и их медных разностей можно получить лишь при наличии нескольких различно ориентированных разрезов через рудное тело. Получение этих данных является задачей дальнейших исследований.

Выводы

1. Первичные ореолы эпигенетических медно-никелевых руд рассматриваемого месторождения имеют сравнительно простой элементный состав и развиты относительно слабо. Ширина непосредственного ореола рудного тела вкрест простирания последнего занимает первые десятки метров. В направлении выклинивания рудного тела на глубине ореолы никеля, меди, серебра и цинка протягиваются на 100—150 *м*.

2. Элементный состав, размеры ореолов и характер их проявления весьма сходны с первичными ореолами других медно-никелевых месторождений и, в частности, с ореолами эпигенетических медно-никелевых руд Мончетундры и Печенгского рудного поля [Нюппенен, 1963].

3. Специальными приемами выявления характера элементов в рудном теле и ореоле установлены признаки зональности в строении тела и ореола. Из шести элементов, по которым выявлялась зональность рудных тел и ореолов, наибольший интерес представляет медь. Закономерное увеличение относительного количества меди в составе рудного тела и ореола с глубиной дает основание считать верхние горизонты рудного тела центральной его частью, а более глубокие горизонты — южным боковым ореолом основной рудной залежи. Другой боковой ореол (северный), по-видимому, эродирован.

4. Использование продуктивностей, отношений продуктивностей и средневзвешенных содержаний элементов в ореолах и рудных телах для выявления зональности в их строении надо считать целесообразным методическим приемом. Наиболее интересные данные при изучении характера распределения компонентов в различных сечениях рудного тела и ореола можно получить привлечением широкого круга элементов, входящих в состав рудных тел и ореолов.

ЛИТЕРАТУРА

Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. Геохимия, № 7, 1962.

Годлевский М. Н. К вопросу о генезисе сульфидных медно-никелевых месторождений на Сибирской платформе. Геология рудных месторождений, № 2, 1959.

Зербригг и др. Месторождение Фруд-Стоби. В сб. Структурная геология рудных месторождений Канады. Изд-во Мир. 1964.

Каблуков А. Д. и др. Использование ореолов рассеяния урана и элементов-спутников при поисках и разведке гидротермальных урановых месторождений. Недра, 1964.

Квятковский Е. М. Оценка точности полуколичественного спектрального анализа по шкале вероятностей. Зап. ЛГИ, т. L, вып. 2, 1966.

Нюппенен Т. И. Первичные ореолы сульфидных медно-никелевых месторождений Кольского полуострова. В сб. Методика и техника разведки, № 43, Изд. ВИТР, 1963.

Разумовский Н. К. К вопросу о выделении аномалий на фоне обычных содержаний элементов при поисковых работах. В сб. Вопросы разведочной геофизики, вып. 1. Госгеолтехиздат, 1962.

Янишевский Е. М. и др. Эндогенные ореолы рассеяния некоторых гидротермальных месторождений. Госгеолтехиздат, 1963.