

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР  
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Препринт ИГН—88

С. В. ГРИГОРЯН, Е. М. КОПИН

**АТМОЭЛЕКТРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ  
ОРЕОЛЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

ЕРЕВАН, 1988

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР  
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Препринт ИГН - 88

С.В. Григорян, Е.М. Копин

0505  
АТМОЭЛЕКТРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Ереван, 1988



АТМОЭЛЕКТРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Григорян С.В., Копин Е.М., Препринт,  
Ереван, ИГиН АН Арм.ССР, 1988

В работе изложены результаты изучения ионометрических ореолов различных по составу и генезису минеральных месторождений. Установлено, что механизм формирования месторождения существенного влияния на особенности ионометрических ореолов не оказывает. Подобная инвариантность ионометрических ореолов генезису оруденения открывает определенные перспективы в применении этого метода при поисках погребенных месторождений сложного и неясного генезиса.

Работа представляет интерес для широкого круга геологов, занимающихся поисками минеральных месторождений.

Ответственный редактор,  
доктор геолого-минералогических  
наук - А.И. Карапетян

/с/ Издательство АН Армянской ССР

С о д е р ж а н и е

	стр.
1. Введение	4
2. Золоторудные месторождения	5
3. Алмазоносные кимберлиты	12
4. Медноколчеданное месторождение	21
5. Месторождение серы	27
6. Заключение	32
7. Литература	43

## I. Введение

В работе излагаются результаты опытно-экспериментальных работ по выявлению ореолов в приземной части атмосферы электрогеохимическим методом /способом ионометрии/ над погребенным золотым и медноколчеданным оруденением, а также алмазонасытыми кимберлитовыми телами и залежами серы. Исследования проводились на трех золоторудных месторождениях в Средней Азии, медно-колчеданном месторождении Уруп /Сев.Кавказ/, на двух алмазонасытых трубках в Якутии и Гаурдакском месторождении серы /Туркменская ССР/.

Прежде чем перейти к обсуждению результатов исследований, внесем ясность в толковании используемых в работе новых терминов "атмоэлектрогеохимический" и "ионометрический" методы. Установленные с помощью специальных ионоприемников геохимические ореолы тяжелых металлов в приземной атмосфере относятся к группе атмогеохимических ореолов. Но так как эти ореолы выявляются не прямыми измерениями концентраций химических элементов в атмосфере, а после существенного концентрирования их электрохимическим способом /подробно методика этих измерений описана в другой публикации авторов /3/, метод назван атмоэлектрогеохимическим. Наряду с этим, в работе используется также термин "ионометрический", который не является полным синонимом термина "атмоэлектрогеохимический": он по смыслу уже и отражает ионную природу измеренных в ионоприемниках концентраций химических элементов, попавших в ионоприемники в ионной форме. Наряду с этим, как известно, в атмосфере химические элементы содержатся также в форме аэрозолей взвешанных твердых частиц, содержащих эти элементы, различных микрочастиц и др.

## 2. Золоторудные месторождения

Месторождение I. Состав руд золото-серебряный. Структура месторождения определяется тектоническими нарушениями субширотного и северо-восточного направлений с мощными зонами дробления пород. В этих зонах размещается большинство рудных тел, представленных линзами разных размеров с углами падения  $50-70^{\circ}$ . Вмещающими оруденение породами на месторождении является терригенная песчано-сланцевая толща бесаянской свиты протерозоя. По составу это песчаные олигосмектовые, полевошпатово-кварцевые, полевошпатово-кремнисто-кварцевые, алевриты слюдисто-полевошпато-кварцевые, сланцы филлитовидные, кремнисто-слюдисто-хлоритовые.

Минеральный состав руд месторождения: пирит, халькопирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, блеклые руды, мизаргирит, пираргирит, электрум, крестелит, самородное золото, самородное серебро и др. Золото-серебряное отношение в рудах описываемого месторождения составляет 15-30.

В пределах площади месторождения оруденение перекрыто довольно мощным чехлом /от 20 до 60 м./ более молодых /по отношению к оруденению/ терригенных мезо-кайнозойских отложений.

Опытно-методические работы проводились на фланге описываемого месторождения по двум профилям буровых скважин, расстояние между которыми составляет 100 м. Разрезы вскрывают золото-серебряное оруденение, локализованное на глубине 100-120 м.

Проведенными ранее атмосферногеохимическими работами /3/ на месторождении по указанным профилям были зафиксированы повышенные концентрации свинца и меди над коренным золотым оруденением и его первичными ореолами. Геохимические аномалии этих элементов были установлены при извлечении элементов с помощью ионообменных, рас-

положенных на высоте 2,5 см. Известно, что фиксация элементов в атмосферогеохимических аномалиях, в основном, определяется аналитическими возможностями. Отмеченные выше элементы /свинец и медь/ оказались наиболее "благоприятными" для данного метода, поскольку применяемый для электрогеохимических исследований полярографический метод анализа /3/ обладает экспрессностью и удовлетворительной чувствительностью практически только на эти элементы, особенно в полевых условиях. Было очевидно, что выявление других элементов - индикаторов станет возможным только при условии привлечения новых более чувствительных аналитических методов. Естественно, что для месторождений золото-серебряной формации интерес представляют основные компоненты руд - золото и серебро.

Для обнаружения атмосферногеохимических ореолов золота и серебра ионометрическим способом по упомянутым выше профилям с интервалом в 20 м. были установлены ионоприемники на высоте 25 см. от земной поверхности. Эта высота была установлена по результатам специальных исследований по определению представительной для электрогеохимических измерений высоты. Установленные для этой цели специальные мачты высотой до 4,5 м позволили выяснить, что представительной для электрогеохимических измерений является высота 25 см /в интервале высот от 0 до 4,5 м/. Напомним, что в данном случае представительной мы считаем высоту, на которой с помощью ионных приемников достигается максимальное извлечение /по массе/ данного элемента. Время экспозиции, как и раньше, равняется 20 часам.

Анализ электролита ионоприемников на содержание золота и серебра выполнялся атомно-абсорбционным методом с применением сорбционного концентрирования на полимерном тисоэфире. В качестве ак-

страгентов для золота и серебра используются органические сульфиды и другие серосодержащие реагенты, а для избирательной экстракции золота - метил - изобутилкетон и другие кислородосодержащие органические растворители /авторы методики И.И.Назаренко и И.В. Кислова/.

На рис. I приведены кривые распределения содержаний золота и серебра вдоль профиля, а также меди и свинца /для сравнения/. Эти данные показывают, что над погребенным оруденением во всех случаях наблюдаются повышенные концентрации всех элементов - индикаторов.

Как показывают графики извлечения, масса золота достигает до 11,8 мкг; серебра - 0,85 мкг; меди - 5 - 40 мкг и свинца I - 13 мкг / на 150 мл раствора/.

Более внимательный анализ приведенных на рис. I графиков распределения элементов - индикаторов позволяет выявить определенные различия: интенсивность атмосферногеохимических аномалий элементов индикаторов различна для разных рудных зон. Из выделенных в коренном залегании трех рудоносных зон /на рис. I указаны цифрами I - 3 / только первая зона и в меньшей степени третья фиксируются интенсивными ореолами золота и серебра. В отличие от этого, максимальные извлечения масс меди и особенно свинца характерны только для зон 2 и 3, что отражает различия в уровнях эрозионного среза описываемых рудоносных зон. По результатам изучения первичных геохимических ореолов наиболее эродированным является первая зона, что подтверждается соответствующими параметрами атмосферногеохимических ореолов. В табл. I приведены величины парного и мультипликативного геохимического коэффициента, рассчитанного по результатам ионометрических измерений. Как видно и по этим данным, наиболее эродированной является первая зона /величины коэффициентов зональ-

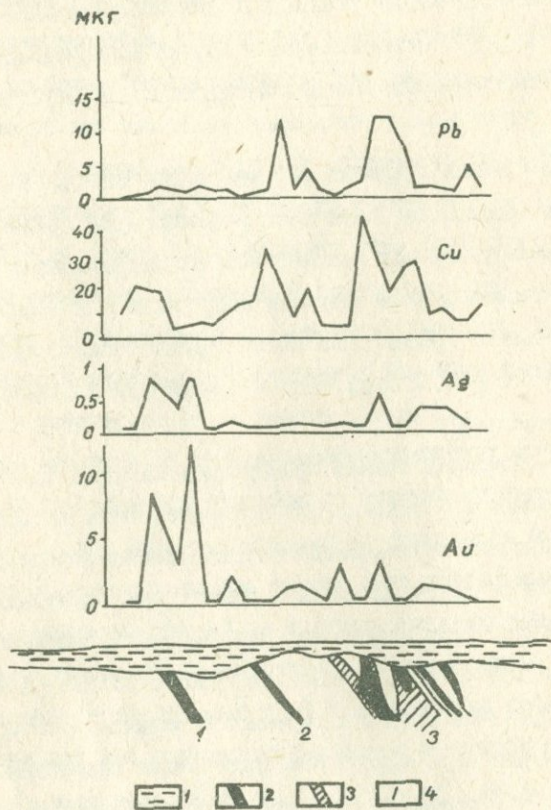


Рис. I. Графики изменения по профилю концентраций элементов-индикаторов в ионоприемниках.

1 - перекрывающие рудные тела, пострудные /мезокайнозойские/ отложения; 2 - рудные тела; 3 - забалансовые руды; 4 - номера рудных тел.

ности по этой зоне минимальны/.

Эти данные еще раз подтверждают высказанное ранее предположение /5/, что результаты атмоэлектрогеохимических измерений отражают коренное оруденение не только качественно, но и количественно.

Качественный уровень определяется идентичностью элементного состава оруденения и связанных с ними атмоэлектрогеохимических аномалий, т.е. присутствия в повышенных концентрациях типоморфных для данного оруденения химических элементов. Количественный уровень соответствия рудных тел и атмогеохимических аномалий выражается в отчетливой прямой зависимости различных соотношений концентраций элементов-индикаторов в рудных зонах и аномалиях. Вряд ли следует доказывать исключительно важное практическое значение этой закономерности: очевидно, что появляется возможность разработки критерия количественной интерпретации атмогеохимических аномалий. В частности, представляется реальным определение различных характеристик погребенного оруденения /состава, уровня эрозионного среза, масштаба/ по параметрам фиксирующих его атмоэлектрогеохимических аномалий. Надежность этих критериев, естественно, будет определяться выдержанностью описанной выше прямой корреляции геохимических параметров рудных тел и сопровождающих их атмоэлектрогеохимических ореолов.

Таблица I

Величины коэффициента геохимической зональности

Коэффициенты	Рудоносные зоны		
	1	2	3
Pb	0,4	5,8	4,2
Au			
$\frac{Pb \cdot Ag}{Au \cdot Cu}$	0,01	0,04	0,07

Месторождение 2. Подобный описанному выше, комплекс работ был выполнен на аналогичном по составу месторождении, расположенном в другом рудном поле. В отличие от описанного выше месторождения, золотое оруденение второго объекта перекрывается более мощной /100 и более метров/ толщей молодых /также пострудных/ мезокайнозойских образований. Рудные тела месторождения П имеют золото-сульфидный состав и залегают, как и в первом случае, в дислоцированной песчано-сланцевой толще протерозойского возраста /бесапанская свита/.

Рудная зона месторождения представлена интенсивно смятыми и окварцованными углеродисто-слюдисто-кварцевыми сланцами с сульфидной минерализацией. Из сульфидов в рудах присутствуют пирит, в меньших количествах - халькопирит, арсенопирит, сфалерит, галенит и др.

По указанному профилю во всех ионоприемниках установлены содержания серебра и золота.

На рис.2, где приведены графики распределения извлеченных масс золота и серебра /при фоне золота в 0,25 мкг и 0,1 мкг серебра/, довольно четко выделяются области с повышенными концентрациями этих элементов /до 1 мкг/, приуроченные к участкам локализации погребенного оруденения. Несовпадение аномалий золота и серебра, по всей вероятности, отражает геохимические различия рудоносных зон, локализованных в коренных рудовмещающих породах.

Учитывая то обстоятельство, что значимые концентрации золота и серебра в ионометрических аномалиях приземной атмосферы установлены впервые, проводилось сопоставление результатов атмосферно-геохимического опробования с данными выявления геохимических аномалий в рыхлых отложениях методом ЧИМ. Эти работы были выполнены в пре-

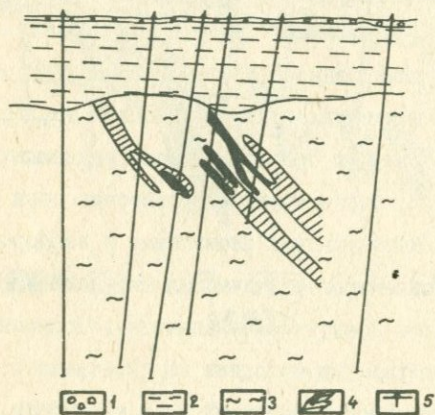
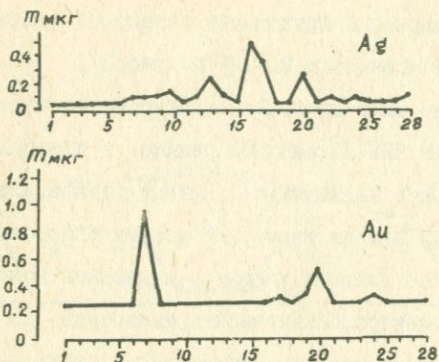


Рис.2. Графики изменения по профилю концентраций серебра и золота в ионоприемниках.

1 - современные лёссовидные отложения; 2 - пострудные /мезо-кайнозойские/ отложения; 3 - рудовмещающие песчано-сланцевые породы бесапанской свиты; 4 - рудные тела /штриховка - забалансовые руды/; 5 - буровые скважины.

делах описанного выше первого золоторудного месторождения, где в пределах участка исследований оруденение перекрыто чехлом мезокайнозойских отложений мощностью 20-180 м /рис.3/.

По данному профилю было проведено электрогеохимическое извлечение золота методом ЧИМ /в анодном режиме/ и ионоприемниками /атмоэлектрогеохимическое извлечение/. Кривые распределения золота, построенные по результатам измерений обоими способами, представлены на рис.3. Более плавный характер изменения концентраций золота по данным атмоэлектрогеохимических измерений, по сравнению с методом ЧИМ, объясняется меньшим числом точек наблюдений. В целом же оба графика выявляют хорошую корреляцию. На графиках четко выделяются участки с повышенным содержанием золота, которые фиксируют известные рудные зоны. При этом наблюдается отчетливая связь между определенными параметрами рудоносных зон /рудных тел и сопровождающих их первичных ореолов/ и сопровождающих их аномалий. Как видно из рис.3, более крупная рудоносная зона сопровождается более широкими и интенсивными аномалиями и наоборот. Эта особенность развития атмоэлектрогеохимических аномалий имеет не только научное, но и большое практическое значение. Последнее определяется возможностью разработки методики количественной интерпретации атмоэлектрогеохимических аномалий и, в частности, методики оценки масштаба погребенного оруденения по параметрам фиксирующих его атмоэлектрогеохимических аномалий.

### 3. Алмазоносные кимберлиты

Для выяснения возможности использования атмоэлектрогеохимического метода при поисках кимберлитовых тел на двух алмазоно-

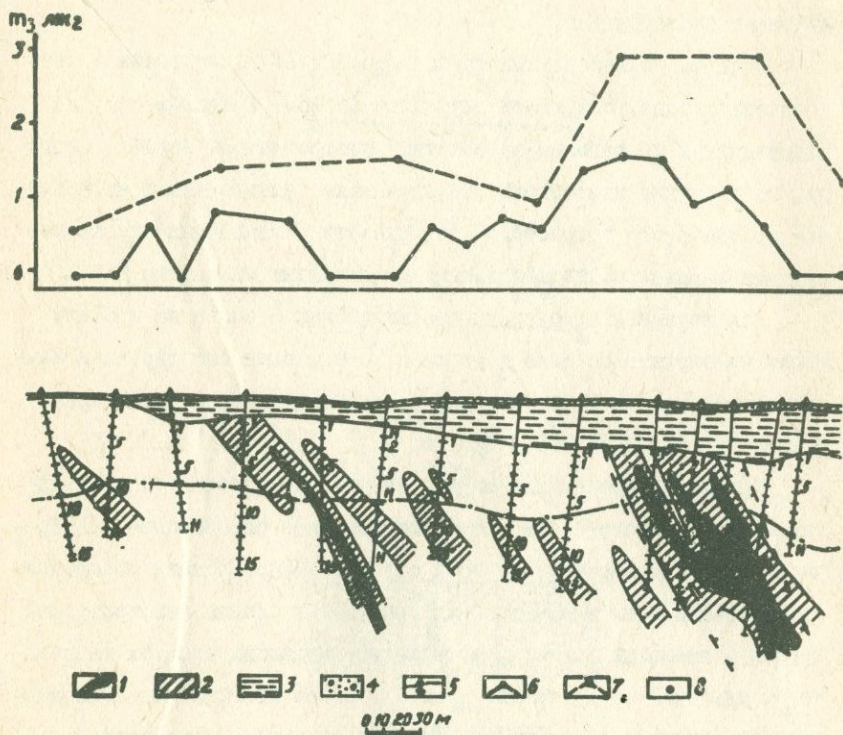


Рис.3. Графики изменения концентраций золота.

1 - рудные тела; 2 - первичные ореолы; 3 - перекрывающие рудные тела /мезокайнозойские/ отложения; 4- современные рыхлые отложения; 5 - буровые скважины с интервалами опробования; 6 - график изменения концентраций золота, зафиксированных методом ЧИМ; 7-график изменения концентраций золота в ионоприёмниках; 8 - точки наблюдений.

сных трубках в Якутии, были поставлены специальные опытно-методические исследования.

Одна из исследованных трубок /трубка А/ расположена в тектонической зоне, оперяющей глубинный разлом. Вмещающие породы представлены терригенно-карбонатной пестроцветной толщей /мергели, известняки, известковистые песчаники, алевриты и аргиллиты/ ордовикского возраста. С поверхности описываемая трубка перекрыта элювиально-делювиальными отложениями мощностью 2-4 м.

Для изучения атмосферно-геохимических ореолов на профиле через кимберлитовое тело с шагом в 20 м., были смонтированы мачты высотой до 1,5 м, на которых ионоприемники были установлены на высотах 25, 50, 75, 100 и 150 см.

Кривые распределения меди и свинца, построенные по результатам выполненного с помощью ионоприемников опробования на перечисленных выше высотах, во всех случаях зафиксировали повышенные концентрации этих элементов над границей контакта кимберлитовой трубки с вмещающей средой, а также во вмещающих породах на некотором удалении от контактов /рис.4/. Более контрастные атмосферно-геохимические аномалии над контактами трубки фиксируются аддитивными кривыми распределения меди и свинца, построенные путем суммирования масс этих элементов, извлеченных в ионоприемники на разных высотах /от 25 до 100 см., рис.4, а, б/.

Полученные данные отражают особенность состава и строения первичных геохимических ореолов кимберлитовых тел, детально изученных М.В.Зайченко и С.В.Григорьяном /2/. Этими исследованиями установлено, что по особенностям пространственного распределения отчетливо выделяются две группы элементов-индикаторов кимберлитовых тел: первичные ореолы части элементов /хром, никель, кобальт

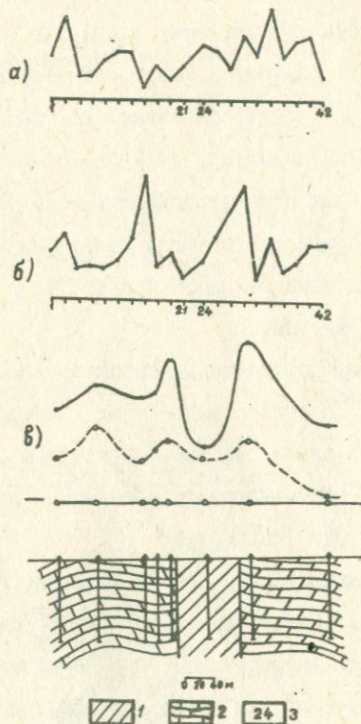


Рис. 4. Графики распределения элементов вокруг кимберлитовой трубки. Аддитивные /по разным высотам/ ионометрические ореолы свинца /а/ и меди /б/; 2/ - первичные ореолы свинца /пунктирная линия/ и меди /сплошная линия/.

I - кимберлитовая трубка; 2 - вмещающие известняки;  
3 - номера проб.

и др./ образуются по стандартной схеме. Их максимальные концентрации совпадают с рудным телом /кимберлитом/, с переходом во вмещающие ореолы концентрации этих элементов резко падают. Для группы халькофильных элементов /медь, свинец, цинк, серебро, молибден и др./ картина противоположная: их ореолы имеют ярко выраженный центробежный характер, отражая формирование кольцеобразных полей максимальных концентраций элементов во вмещающих породах. Отмеченную особенность ореолов халькофильных элементов ярко иллюстрируют приведенные на рис.4 кривые распределения в первичных ореолах меди и свинца.

Отмеченный выше центробежный характер распределения меди и свинца в первичных ореолах алмазосных кимберлитов отчетливо проявляется также в плане: на рис.5 приведены ореолы меди и свинца, построенные по результатам опробования вмещающих трубку коренных пород по уступам карьера.

Атмосферногеохимические ореолы кимберлитов, перекрытых более мощным чехлом молодых отложений, были исследованы на трубке "Д", где вмещающими кимберлитовое тело породами являются мергели и доломиты верхнего кембрия. Чехол перекрывающих трубку отложений мощностью 20 м представлен песками и алевролитами нижнеюрского возраста.

Атмосферногеохимическое опробование выполнялось в условиях наличия снежного покрова мощностью I-I,5 м. Ионоприемники устанавливались по двум взаимно-перпендикулярным профилям длиной по 400 м с интервалом опробования /установки ионоприемника/ 20 м. Вблизи контактов трубки интервал уменьшался. Анализы на медь и свинец выполнялись в полевых условиях методом полярографии на

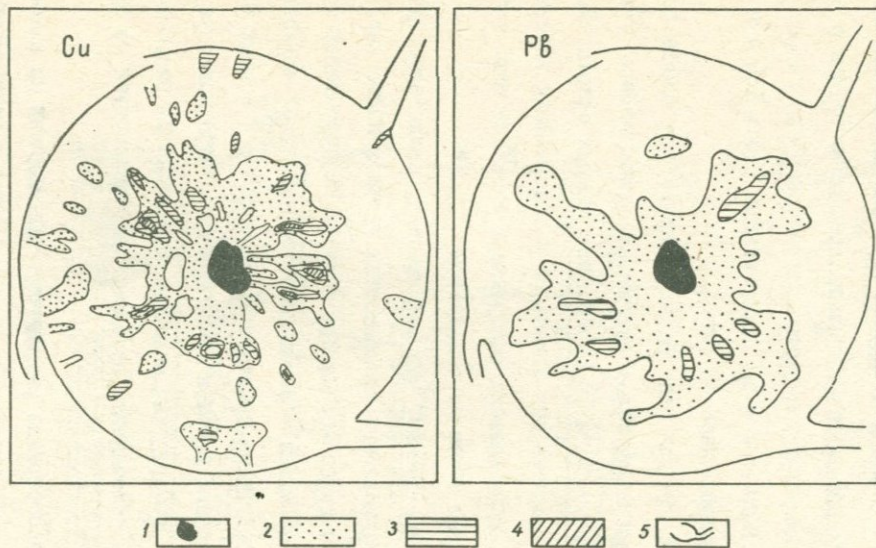


Рис.5. Первичные ореолы меди и свинца вокруг кимберлитовой трубки /в плане/.

1 - кимберлитовое тело; 2-4 - первичные ореолы / 4 - поле максимальных концентраций/; 5 - границы карьера.

хром, никель, кобальт - в стационарных условиях.

Приведенные на рис.6 и 7 кривые распределения масс свинца и меди показывают, что как и на трубке "А", выявляются две области повышенных значений, соответствующие контактам трубки с вмещающими породами. Особенно контрастно погребенная трубка фиксируется максимумами никеля и меди, достигающими 210 и 130 мкг /при фоновом содержании менее 50 мкг./.

На этом же рисунке для сопоставления приведены кривые распределения указанных элементов во вторичных /гипергенных/ ореолах, построенные по результатам опробования рыхлых отложений. Как можно видеть, закономерных изменений в содержаниях элементов в данном случае не наблюдается: выдержанных аномалий этих элементов над кимберлитовым телом не выделяется.

Приведенные выше данные, как нам кажется, свидетельствуют о значительных потенциальных возможностях предложенного авторами атмосферно-геохимического метода при поисках кимберлитовых тел, погребенных более молодыми образованиями значительной мощности. Этот метод, как следует из приведенных на рис.6 и 7 кривых распределения концентраций ртути в приземной атмосфере, может успешно конкурировать с газортутным методом. Как видно на рис.6 и 7, кимберлитовые тела отчетливыми ореолами рассеяния ртути не фиксируются.

Заканчивая рассмотрение результатов выполненных на кимберлитовых месторождениях атмосферно-геохимических исследований, отметим их исключительную актуальность, обусловленную, прежде всего, известной сложностью поисков подтрапсовых кимберлитовых тел.

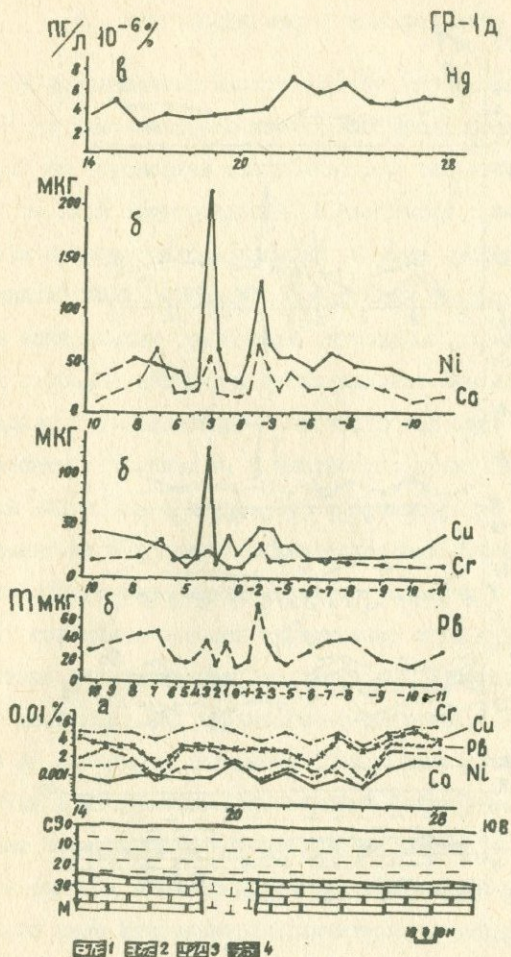


Рис.6. Графики распределения элементов по профилю П-Д.

а/ - по данным опробования рыхлых отложений; б/ - по данным ионметрического опробования; в/ - по данным газортутного опробования.

1 - пески, алевролиты верхней пры; 2 - мергели, доломиты верхнего кембрия; 3 - кимберлитовые тела; 4 - графики распределения элементов.

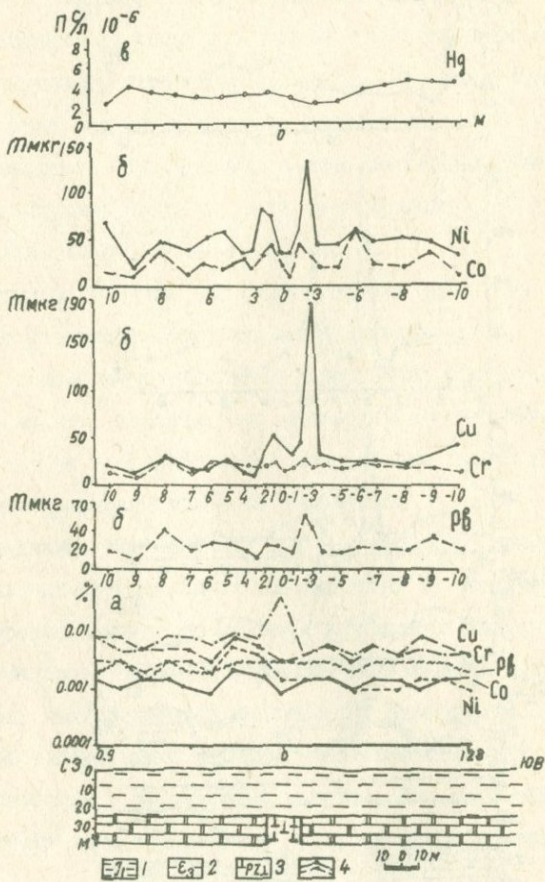


Рис. 7. Графики распределения элементов по профилю I-D.  
 условные обозначения см. рис. 6

#### 4. Медноколчеданное месторождение

Выбор колчеданного месторождения в качестве объекта опытно-методических атмоэлектрогеохимических исследований не является случайным: он обусловлен специфическими генетическими особенностями этого типа месторождений. В настоящее время можно считать доказанным вулканогенно-осадочный генезис многих колчеданных месторождений. Как показали исследования последних лет /1,2,6/, механизм локализации оруденения однозначно определяет также особенности строения первичных геохимических ореолов, которые на месторождениях вулканогенно-осадочного генезиса характеризуются специфическим строением и, в частности, практически полным отсутствием надрудных ореолов. Это обстоятельство существенным образом влияет на методику геохимических поисков подобных месторождений: отсутствие значительных по размерам и контрастности надрудных первичных ореолов существенно ограничивает возможности и эффективность применения геохимических методов при поисках колчеданных месторождений вулканогенно-осадочного генезиса, особенно в случае их слепового залегания. Вот почему проблема разработки эффективных критериев поисков скрытых колчеданных месторождений продолжает оставаться исключительно актуальной. Одним из возможных путей решения этой проблемы представляется применение рассмотренного выше атмоэлектрогеохимического метода.

В качестве эталонного объекта для постановки опытно-методических геохимических исследований было выбрано медноколчеданное месторождение Уруи, расположенное в северо-западной части зоны Передового хребта на Северном Кавказе. Определяющим металлогени-

ческий облик Передового хребта процессом рудообразования является вулканогенно-осадочное рудоотложение, связанное со спилито - кератофировой формацией /2/. Медноколчеданное оруденение на месторождении локализовано в толще вулканогенно-осадочных образований девонского возраста. Рудные тела представляют собой согласные с вулканогенными породами линзы и пластообразные залежи.

На рис.8 по одному из разрезов через Главную рудную залежь изображены мультипликативные ореолы основных элементов-индикаторов данного типа оруденения /медь, цинк, свинец, серебро, молибден, кобальт, мышьяк/. Они мощной полосой /до 200 м./окаймляют слепую залежь со стороны лежащего бока и весьма узкой /15-20 м./ - со стороны висящего бока. Характерной особенностью первичных ореолов является концентрическая геохимическая зональность /в общем случае симметричная относительно подводющих каналов/, которая отчетливо фиксируется графиком мультипликативного коэффициента геохимической зональности  $\frac{Pb \cdot Zn \cdot Ag}{Cu \cdot Co \cdot Mo}$ . Для сравнения на рис.8 показан также условный график зональности первичных ореолов типично гидротермального месторождения /зональность асимметричная, которая выражается монотонно восходящей линией графика/.

На рис.9 изображены графики распределения меди и свинца по результатам анализа электролита ионоприемников, расположенных на высоте 50 см /по другим высотам получены идентичные результаты/.

По описываемому разрезу исследованы атмосферногеохимические ореолы вокруг погребенного на юге /глубина 50 м/ и слепо-погребенного на севере /глубина 200 м/ рудного тела: рудовмещающие вулканогенно-осадочные породы девонского возраста перекрыты юрскими сланцами со средней мощностью в 50 м, а также совре-

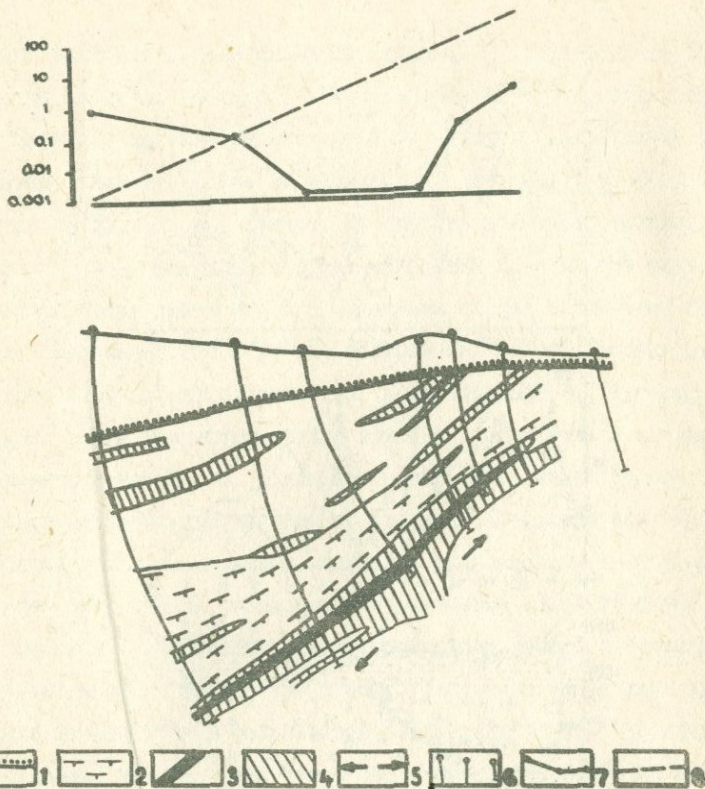


Рис.8. Мультипликативные ореолы в разрезе через Главную рудную залежь месторождения Уруп.

I - граница между породами верхней юры и девона; 2 - туфы смешанного состава; 3 - рудная залежь; 4 - мультипликативные ореолы /медь, свинец, цинк, серебро, молибден, кобальт, мышьяк/; 5 - предполагаемые направления движения рудообразующих растворов; 6 - буровые скважины; 7 - график изменения /по скважинам/ мультипликативного коэффициента зональности; 8 - условный график изменения коэффициента зональности гидротермального оруденения.

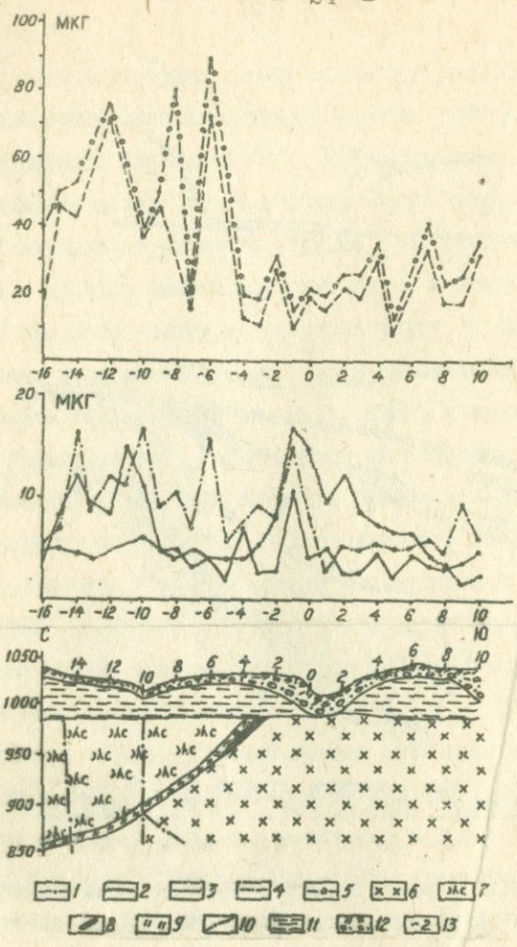


Рис.9. Графики распределения элементов по разрезу /месторождение Уруп/.

Графики распределения: 1 - свинец, 2 - ртути /ртутнометрическая съемка/; 3 - меди; 4 - цинка; 5 - суммы меди и цинка; 6 - подстилающие девонские вулканогенные породы; 7 - перекрывающие девонские вулканогенно-осадочные породы; 8 - рудное тело; 9 - рудоносная зона; 10 - разломы; II - юрские сланцы; 12 - современные элювиально-делювиальные отложения; 13 - номера точек измерений.

менными элювиально-делювиальными отложениями мощностью до 15 м. Несмотря на столь неблагоприятные для фиксации рудогенных ореолов условия залегания рудного тела, по профилю установлены отчетливые ионометрические аномалии меди и свинца, фиксирующие скрытое на глубине оруденение. На описываемом месторождении электролиты из ионоприемников проанализированы на свинец и медь /полярнографическим методом/. Для сравнения на рис.9 приведен также график содержаний паров ртути, построенный по результатам ртутьнонометрической съемки по методике, разработанной В.З.Фурсовым/8/. Аномалии ртути фиксируют только выход рудного тела на древнюю эрозионную поверхность, тогда как слепое погружение рудного тела на север газо-ртутным методом практически не фиксируется /рис.9/. В отличие от этого, в южном окончании разреза зоны трещиноватости /без оруденения/ фиксируются повышенными концентрациями ртути. "Высокая чувствительность" газортутного метода к зонам дивергентных нарушений, как известно, существенно затрудняет однозначную интерпретацию результатов газортутных поисков рудных месторождений, что иллюстрируется приведенными на рис.9 данными.

На рис.10 приведены результаты ионометрических измерений, выполненных над полностью слепо-погребенным рудным телом, залегающим на глубине 300-400 м. Как видно, и в данном случае скрытое на значительной глубине оруденение фиксируется ионометрическими аномалиями, наиболее отчетливыми по свинцу.

Результаты атмосферногеохимических исследований по остальным профилям не приводятся, так как они существенно не отличаются от рассмотренных выше.

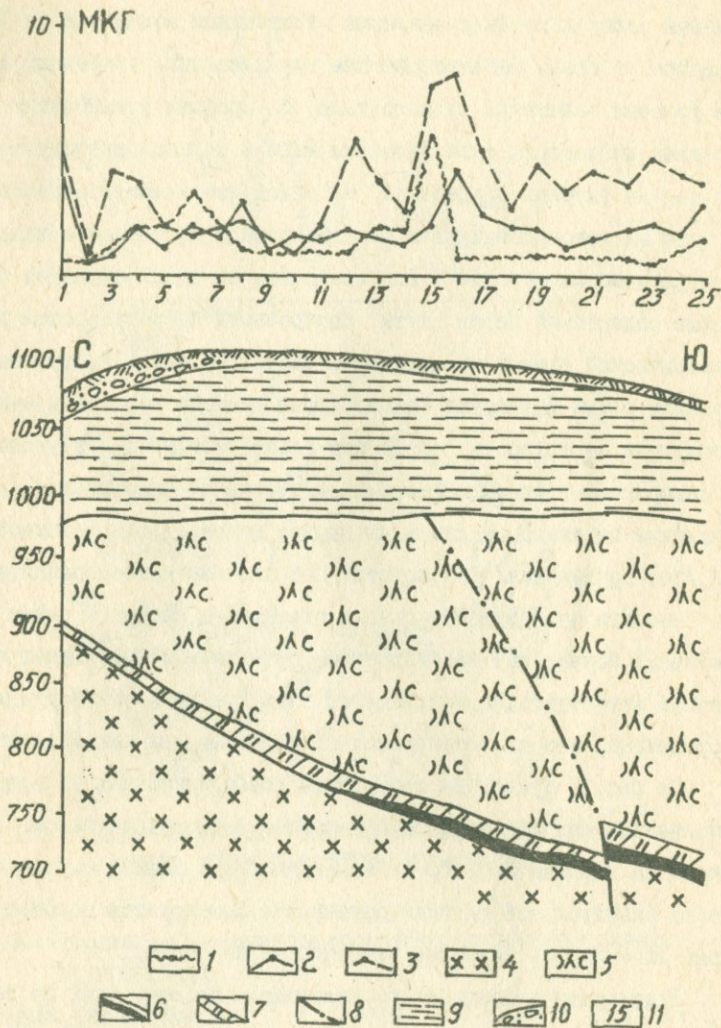


Рис. 10. Графики распределения элементов по разрезу /месторождение Уруц/.

1 - ртуть; 2 - медь; 3 - свинец. Остальные условные обозначения см. рис. 9.

## 5. Месторождение серы

Расположенное в Туркменской ССР Гаурдакское месторождение серы, как и описанное выше месторождение Уруп, были выбраны в качестве объектов ионометрических исследований в связи со сложным их генезисом. Не вдаваясь в детали существующих представлений об условиях формирования месторождений этого типа, отметим некоторые характерные черты описываемого ниже месторождения серы.

На Гаурдакском месторождении залежи серы, в основном, являются скрытыми и заключены в ангидрито - известняковые породы преского возраста /рис. II/. Изучение геохимических особенностей серных залежей и вмещающих их пород позволило установить более или менее отчетливые первичные ореолы только выноса ряда химических элементов и, прежде всего, халькофильных элементов, таких как свинец, цинк, медь и др. Отсутствие контрастных первичных ореолов привноса в данном случае определяется специфическим генезисом месторождения и, в первую очередь, ярко выраженной "стерильностью" серных залежей по отношению к микроэлементам-типоморфным элементам-индикаторам рудных месторождений. Тем не менее, процессы локализации на месторождении связаны с определенным перераспределением химических элементов, что практически всегда сопровождается формированием полей выноса химических элементов.

Известно, что первичные ореолы привноса, отличающиеся обычно высокой интенсивностью, успешно используются в качестве поисковых признаков слепого оруденения. Иначе обстоит дело с ореолами выноса: они в принципе тоже могут быть использованы при поисках слепого оруденения, однако надежность подобного приложе-

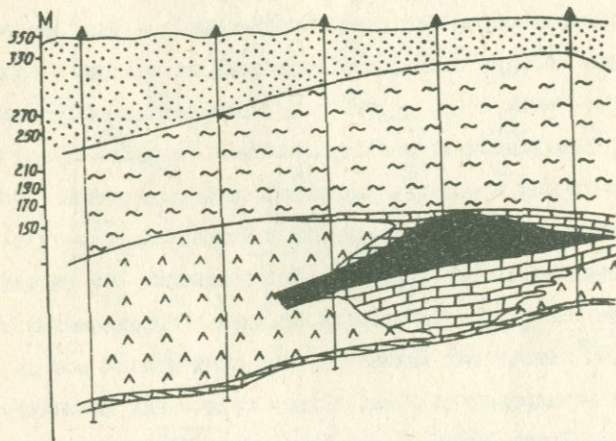
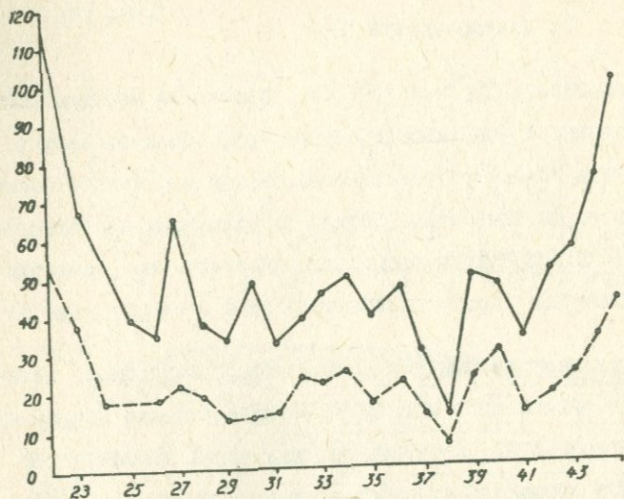


Рис. II. Графики распределения элементов над скрытой залежью серы.

1 - ангидриты; 2 - известняки; 3 - глины; 4 - четвертичные отложения /глины, песчаники/; 5 - серная залежь; 6 - буровые скважины; 7 - график распределения свинца; 8 - график распределения меди; 9 - номера точек измерений.

ния ореолов выноса низка, и это обстоятельство снижает эффективность их практического применения, особенно в случае опосредованного использования первичных ореолов, когда обнаружение и интерпретация геохимических аномалий в коренных породах производятся с помощью их гипергенных аналогов-вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов /естественно, при условии удовлетворительного соответствия этих двух типов литогеохимических ореолов/.

Отмеченная выше недостаточная надежность практического использования ореолов выноса определяется рядом факторов. Прежде всего, следует отметить своеобразную конвергентность полей выноса химических элементов из рудовмещающих пород: формируются они не только в процессе локализации рудных тел /как первичные ореолы привноса/, но и в результате проявления других геологических процессов, в том числе дорудных и послерудных изменений вмещающих пород. Немаловажным представляется также то обстоятельство, что поля выноса химических элементов обычно являются слабоконтрастными: причина в том, что формирование полей выноса химических элементов происходит, как известно, путем разрушения первичных форм нахождения фоновых концентраций химических элементов в коренных рудовмещающих породах. Большинство этих форм обычно представлено устойчивыми для сопровождающих рудообразование /особенно низкотемпературное/ процессов околорудных изменений и поэтому процессы выноса фоновых концентраций химических элементов затрагивает только какую-то часть /обычно несущественную/ первично-фоновых количеств элементов, образующих аномалию выноса. Следует также иметь в виду то обстоятельство, что суще-

ственным ограничительным для интенсивности аномалий выноса обстоятельством является также чувствительность методов анализа проб, применяемых для выявления геохимических аномалий. Очевидно, что предел обнаружения анализа на данный элемент не может быть бесконечно малым. Он для подавляющего большинства химических элементов редко достигает значений, на порядок ниже среднего фоновому содержанию. Это означает, что только под влиянием аналитического фактора интенсивность аномалий выноса практически не может превысить десятикратного /по отношению к фону/ уровня.

Как уже отмечалось, слабая контрастность аномалий выноса химических элементов приобретает решающее значение в тех наиболее распространенных на практике случаях, когда поиски рудных тел и месторождений производятся по вторичным литогеохимическим ореолам рассеяния элементов-индикаторов: из-за слабой контрастности первичные ореолы выноса в гипергенном поле рассеяния практически не выявляются, поскольку гипергенное перераспределение химических элементов в процессе разрушения первичных и формирования вторичных ореолов в какой-то степени нарушает первичное распределение химических элементов, в большинстве случаев вполне достаточной для выравнивания концентраций элементов выноса, что равносильно исчезновению в гипергенном поле рассеяния химических элементов аномалий выноса.

Как показали результаты выполненных на описываемом Гаурдакском месторождении геохимических работ, в настоящее время нельзя рассчитывать на эффективное применение в условиях этого района наиболее широко применяемых при поисках рудных месторожде-

ний литогеохимических методов. Как следует из приведенного на рис. II типоморфного геологического разреза через описываемое месторождение, продуктивный горизонт известково-кальцитовых пород юрского возраста перекрыт четвертичными /глины, песчаники и др./, а также более молодыми современными рыхлыми отложениями значительной мощности /более 200 м/. Именно по этой причине, а также в связи с отсутствием интенсивных ореолов привноса, опробование рыхлых отложений на поверхности не дало положительных результатов: как валовой, так и фазовый /ГО/ анализ геохимических проб не позволили выявить сколько-нибудь заметные вторичные ореолы рассеяния элементов-индикаторов. Это означало, что единственным приемлемым вариантом литогеохимических поисков серных залежей в геологических и ландшафтно-геохимических условиях описываемого района является комбинированное применение буровых и литогеохимических работ: бурение скважин до продуктивного горизонта с последующим геохимическим опробованием рудовещающих коренных пород для выявления первичных геохимических ореолов /преимущественно выноса/ и прогнозирования на этой основе участков вероятного нахождения залежей серы.

Очевидные недостатки комбинированного варианта поисков /прежде всего из-за высокой стоимости буровых работ/ заставляла искать другие более приемлемые методики и, в частности, попробовать в данных условиях возможности ионометрического метода.

Выполненными на месторождении Гаурдак ионометрическими работами над известными скрытыми рудными телами были установлены отчетливые ионометрические ореолы выноса исследованных элементов-индикаторов, в качестве которых были выбраны свинец и медь, как наиболее благоприятные для подробно описанного выше ионо-

метрического метода /точнее для используемых при ионометрических исследованиях аналитических методов/.

Ионометрические исследования проводились по ряду разрезов через скрытые серные залежи: во всех случаях, без исключения, были установлены отчетливые аномалии выноса как свинца, так и меди /рис. II-13/.

Кратко охарактеризованные выше результаты выполненных на Гаурдакском серном месторождении исследований имеют принципиальное значение для дальнейшего развития рассматриваемого метода, прежде всего, в связи с возможностью ионометрического метода зафиксировать не только рудные тела и их первичные ореолы привноса, но и скрытые на значительной глубине слабоконтрастные первичные ореолы выноса химических элементов. Это обстоятельство резко расширяет диапазон задач, при решении которых с успехом может быть использован ионометрический метод. В данном случае имеется в виду не столько возможности поисков скрытых рудных тел по ореолам выноса /как на месторождении Гаурдак/, сколько фиксация и интерпретация сопровождающих разнообразнейшие геологические процессы /различные виды метаморфизма, метасоматических преобразований и т.д./ многочисленных зон выщелачивания тех или иных химических элементов, сопоставление которых с зонами привноса позволит выяснить многие важнейшие особенности миграции и перераспределения химических элементов в земной коре.

## 6. Заключение

Заканчивая описание результатов изучения атмосферногеохимических ореолов некоторых типов месторождений, отметим, что во

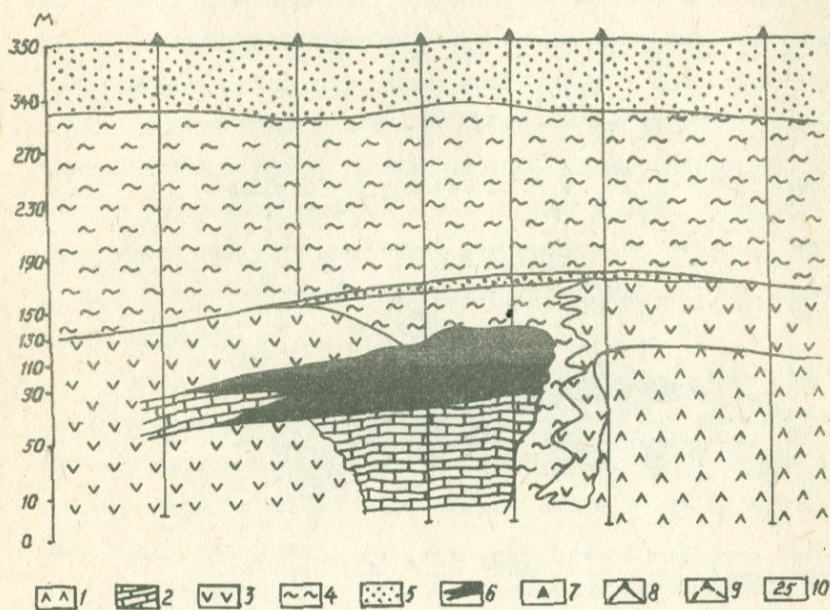
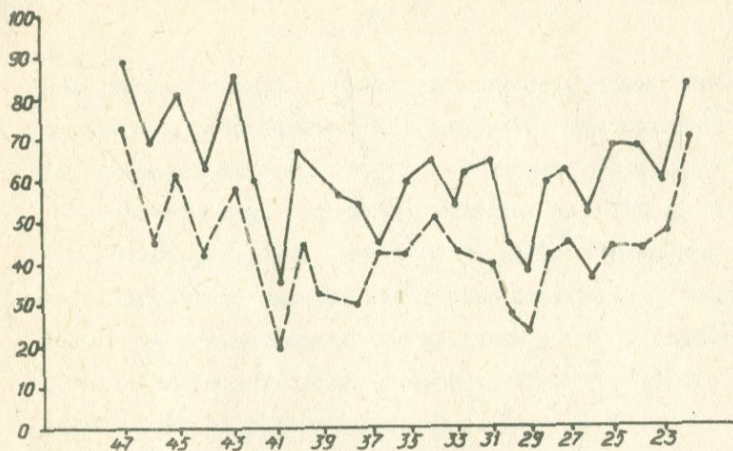


Рис. 12. Графики распределения элементов над скрытой залежью серы.

1 - ангидриты; 2 - известняки; 3 - гипсы; 4 - глины;  
 5 - глины, песчаники; 6 - серная залежь; 7 - буровые скважины;  
 8 - график распределения свинца; 9 - график распределения меди;  
 10 - номера точек измерений.

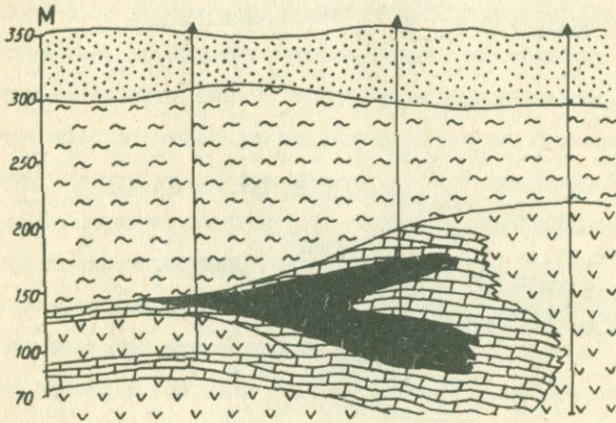
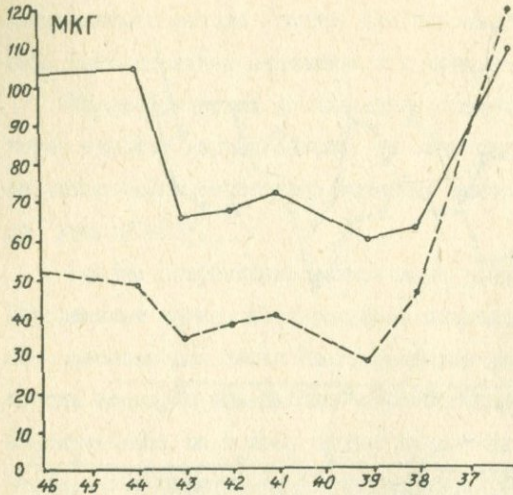


Рис.13. Графики распределения элементов над скрытой серной залежью.

1 - известняки; 2 - гипсы; 3 - глины; 4 - глины, песчаники /четвертичные/; 5 - серная залежь; 6 - буровые скважины; 7 - график распределения свинца; 8 - график распределения меди; 9 - номера точек измерений.

всех случаях скрытые на различных глубинах рудные тела были зафиксированы отчетливыми ионометрическими аномалиями типоморфных элементов-индикаторов. При этом однозначно установлена инвариантность описанных выше ионометрических аномалий по отношению к генезису оруденения, что особенно важно при поисках и оценке месторождений со сложным или неясным генезисом. Сказанное свидетельствует о значительных перспективах развития предложенного метода и позволяет ставить вопрос о резком расширении исследований в этом направлении с целью разработки оптимальной методики атмосферногеохимических поисков и оценки скрытых рудных тел и месторождений различных типов. Представляется, что возможности предложенного метода не ограничиваются только рудными месторождениями: применение его может оказаться не менее эффективным при поисках нефтяных месторождений. Определенным основанием для подобного утверждения является тот факт, что в нефтях содержатся разнообразнейшие металлоорганические соединения, которые могут служить источником тяжелых металлов при формировании ионометрических аномалий.

В заключение описания ионометрических ореолов укажем, что в настоящее время авторами установлено наличие в приземной части атмосферы атмосферногеохимических ореолов следующих элементов: никеля, хрома, кобальта, меди, свинца, цинка, серебра, золота, молибдена и марганца.

Нет сомнений, что в действительности на месторождениях полезных ископаемых могут быть зафиксированы атмосферногеохимические ореолы практически всех химических элементов. Очевидно, что расширение круга этих элементов-индикаторов представляет собой задачу ближайшего будущего, успешное решение которой потребует

существенных усилий в улучшении аналитического обеспечения атомно-геохимических работ. Однако уже сейчас перечисленные выше десять элементов-индикаторов широко могут быть использованы для поисков разнообразнейших промышленно-генетических типов погребенных месторождений, поскольку эти элементы являются сквозными индикаторами для различных типов месторождений. Универсальный характер этих, а также некоторых других химических элементов-индикаторов установлен в результате изучения первичных ореолов многочисленных месторождений. Для иллюстрации этого положения в табл. 2 приведены элементы-индикаторы различных типов рудных месторождений, перечисленные в форме рядов зонального отложения элементов-индикаторов в их первичных геохимических ореолах. В этих рядах подчеркнуты элементы, которые в настоящее время с удовлетворительной для обнаружения ионометрических ореолов чувствительностью определяются в электролите ионоприемников. Как видно, только в ряду зонального отложения элементов-индикаторов редкометалльных пегматитов не оказалось элементов, благоприятных для ионометрических поисков /в настоящее время, естественно, ибо в дальнейшем, с совершенствованием аналитических методов, появятся новые элементы/. Во всех остальных случаях значительная часть элементов - индикаторов представлена перечисленными выше благоприятными для ионометрических измерений элементами.

Описанный выше атмосферно-геохимический /ионометрический/ метод поисков глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых основан на обнаруженном авторами явлении наличия в атмосфере ионов элементов-индикаторов месторождений полезных ископаемых. Эффект наличия и транспорта ионов от оруденения

Основные элементы-индикаторы  
различных типов месторождений

Тип месторождений	Ряды зонального отложения элементов-индикаторов
Медно-никелевые	
Кольского района	<u>Cu-Co-Ni-Cu-Zn-Pb-Ag</u> -Ba
Норильского района	<u>Cu-Co-Ni-Cu-Ag-Mo</u> -Ba-Pb-Ti-Sn-Zr
Редкометалльные пегматиты	W-Nb-Na-Sn-Cs-Rb-Li-As
Вольфрамовые	
скарново=шеелитовые	W-Ba-Sn-Bi- <u>Mo-Zn-Pb-Ag</u>
грейзеновые	Be-Sn-Bi-W- <u>Zn-Pb-Cu</u>
кварц=гюбнеритовые	Bi-Sn-Be- <u>Co-W-Zn</u>
кварц=шеелитовые	W- <u>Mo</u> -Bi-Be-Sn- <u>Ag</u>
Оловорудные	
кварцево=касситеритовые	As-Be-W-B-Sn- <u>Cu-Zn-Ag-Pb</u>
сульфидно=касситеритовые	W- <u>Mo-As-Co-Sn-Cu-Zn-Ag-Pb</u>
Медноколчеданные	<u>Mo-Co-As<sup>ψ</sup></u> -Cu-Zn-Pb-Ag-As <sup>ψ</sup> -Ba
Полиметаллические	
скарновые	Sr-W- <u>Mo-Co-Bi-Cu-Zn-Pb-Ag</u> -Sb-As-Ba
жильные	W-As <sup>ψ</sup> -Sn- <u>Co-Bi-Cu-Zn-Pb-Ag</u> -As <sup>ψ</sup> -Ba
Золоторудные	
высокотемпературные	Be-W- <u>Au-As<sup>ψ</sup></u> -Ni-Co-Cu-Zn-Pb-Ag-As <sup>ψ</sup> -Sb
среднетемпературные	<u>Co-W-Be-Bi-Sn-Mo-Cu-Au-Zn-Pb-Ag-As-Sb</u>
низкотемпературные	W-Bi-Sn- <u>Mo-Cu-Zn-Pb-Au-Ag-As-Sb-Ba</u>
Меднопорфировые	B-W- <u>Co-Sn-Mo-Cu-Bi-Au-Zn-Pb-Ag-Sb-As-Ba</u>
Медные /жильные/	<u>Ni-Co-Bi-Cu-Sn-Ag-Zn-Pb</u> -Ba-I
Урановые /настуран= =сульфидной формации/	<u>Mo-Cu-Zn-Pb-Ag</u>
Стратиформные свинцово= =цинковые	Be- <u>Ni-Co-Zn-Pb-Ag-Cu</u> -As-Ba
Ртутные	Bi- <u>Mo-Cu-Zn-Pb-Ag</u> -Hg-As-Sb
Сурьмяно=ртутные	<u>Ni-Co-W-Mo-Cu-Zn-Pb-Sn-Ag-Sb-As-Hg</u>

в приземную атмосферу зафиксирован в октябре 1984 г. с помощью специально разработанной для этой цели аппаратуры - так называемой ионной ловушки или ионоприемника /3/. Этот способ фиксации свободных ионов в атмосфере, несмотря на короткий срок своего существования, уже опробован на ряде объектов. Тем не менее необходимо проведение широкомасштабных опытно-методических исследований, как для совершенствования методики, так и внедрения его при поисках скрытых месторождений различных промышленно-генетических типов, совершенствования аппаратуры и технологии исследований. Кроме того, необходимо обратить особое внимание на аналитическое обеспечение ионометрических исследований.

В рамках предстоящих работ первоочередными представляются исследования по оценке возможности атмосферно-геохимического метода при поисках разнообразнейших типов месторождений полезных ископаемых применительно к различным ландшафтно-геохимическим условиям /для типоморфных геологических обстановок/.

Наряду с отмеченным представляется также целесообразным продолжение начатых на ряде объектов Якутии опытно-методических исследований по разработке весьма перспективного /судя по полученным предварительным результатам/ атмосферно-геохимического метода поисков скрытых /прежде всего подтраптовых/ кимберлитовых тел. Аналогичной является задача разработки методики атмосферно-геохимических поисков месторождений, перекрытых более молодыми лавовыми потоками базальтов. Прекрасным полигоном решения этой задачи представляет собой территория Армянской ССР, где подобные исследования могут быть выполнены на примере различных типов месторождений.

Заслуживает также внимания выполнение специальных работ по разработке зимней модификации атмосферного геохимического метода. Большое практическое значение этого направления исследований станет очевидным, если учесть, что в случае успеха станет реальным решением проблемы поисков рудных месторождений в заболоченных районах и в пределах территорий широкого распространения озер. Имеющийся у авторов опыт /весьма ограниченный, конечно,/ свидетельствует о существовании принципиальной возможности решения этой задачи.

Успешное решение перечисленных выше задач позволит поставить на повестку дня новые, более сложные поисковые проблемы и, в частности, вопрос о разработке атмосферного геохимического метода поисков месторождений, перекрытых курумами.

Особо следует выделить проблему поисков с помощью атмосферного геохимического метода скрытых месторождений сложного генезиса и прежде всего вулканогенно /гидротермально/ - осадочного. Оптимистическая оценка возможностей предложенного метода при решении этой проблемы основана на кратко охарактеризованных выше результатах атмосферного геохимических исследований, выполненных на медно-колчеданном месторождении Уруп.

Важной составной частью атмосферного геохимических работ при поисках рудных месторождений, по нашему мнению, должно являться выполнение специальных работ по комплексированию атмосферного геохимического метода с другими поисковыми методами, как геохимическими, так и геофизическими /среди последних, в первую очередь, следует выделять электроразведочные модификации/. Цель этих работ - определение места и роли рассматриваемого метода в общем комп-

лексе поисковых работ.

Еще раз отметим большое народнохозяйственное значение исследований, направленных на выяснение возможности и эффективности использования атмосферногеохимического метода для поисков нефтяных и газовых месторождений. Для решения этой задачи целесообразно изучение ионометрических ореолов элементов-индикаторов и, в частности, тяжелых металлов на типоморфных месторождениях углеводородного сырья.

Успешное решение перечисленных выше задач потребует выполнение специальных полевых экспериментальных работ, направленных на:

- исследования зависимости масс переноса вещества от экспозиции;
- изучение извлечения массы, как функция концентрации и состава электролита;
- выяснение зависимости масс извлечения от площади и других параметров мембраны ионной ловушки;
- разработку технических средств проведения атмосферногеохимических работ;
- изучение представительного слоя атмосферногеохимического опробования приземной атмосферы;
- выяснение зависимости масс извлеченного вещества от параметров скрытого оруденения /масштаб, уровень концентраций, минеральный состав и др./;
- оценку влияния метеорологических условий на результаты ионометрических измерений /атмосферное давление, температура, влажность атмосферы и почв, скорость ветра и др./;

- изучение на моделях зависимости извлечения масс элементов от времени экспозиции и форм нахождения соответствующих элементов в источнике;
- совершенствование аппаратуры фиксации свободных ионов, т.е. ионной ловушки /разработка ионоселективной ловушки/;
- изучение вольт-амперных характеристик в зависимости от масс - переноса различных элементов.

Остается во многом нерешенной проблема аналитического обеспечения ионометрических работ. В настоящее время различными аналитическими методами удается определить с необходимой чувствительностью содержания /в электролите/ только 10 элементов. Необходимо разработать новые и усовершенствовать существующие методики с целью резко расширить круг определяемых в электролите химических элементов.

Заканчивая рассмотрение ионометрического метода отметим: наряду с рассмотренным выше важнейшим поисковым направлением, предложенный метод с успехом может быть использован также как способ углубленного изучения общей геохимии атмосферы и, в частности, для исследования особенностей распределения в атмосфере тяжелых металлов, определяемых в значительной степени благодаря своеобразному электрогеохимическому обогащению. Выполнение параллельно с ионометрическими измерениями аэрозольных измерений позволит получить оригинальные данные о концентрации в атмосфере различных форм широкого круга химических элементов как в непосредственной близости от земной поверхности, так и на значительных высотах.

В качестве самостоятельного научного направления ионометри-

ческих исследований следует выделить использование этого метода для целенаправленного изучения ионометрических аномалий, сопровождающих различные типы тектонических нарушений /геохимическая специализация зон разломов/. Эти данные позволят оценить возможности метода как при прогнозировании землетрясений, так и для решения других геологических задач /дифференциация различных типов нарушений и др./.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность В.Н. Аверину, В.В. Васильеву, Е.Ф. Вельдяеву и Г.М. Дергачевой за участие в опытно-методических работах, выполненных на различных месторождениях.

Л и т е р а т у р а

1. Баранов Э.Н. Эндеогенные геохимические ореолы колчеданных месторождений. - М., Наука, 1987.
2. Григорян С.В. Первичные ореолы при поисках и разведке рудных месторождений. - М., Недра, 1987.
3. Григорян С.В., Е.М.Копин. Извлечение химических элементов методом ионоприемника с целью выявления геохимических аномалий. -М., ИМГРЭ, 1985.
- 4.Способ выявления и оценки геохимических аномалий. Авторское свидетельство № I3I2505, 1987. Авторы: Григорян С.В., Копин Е.М., Дергачева Г.М.
5. Способ обнаружения оруденения. Авторское свидетельство № I34I606, 1987. Авторы: Григорян С.В., Копин Е.М., Дергачева Г.М.
6. Овчинников Л.Н., Баранов Э.Н. Эндеогенные геохимические ореолы колчеданных месторождений."Геол.рудн.месторождения", 1970, № 2.
- 7.Рысс Ю.С. Геоэлектрохимические методы разведки. / Введение в геоэлектрохимию/. Л., Недра, 1983.
8. Фурсов В.З. Ртуть-индикатор при геохимических поисках рудных месторождений.-М., Недра, 1977.

Заказ 707

Тираж 250

ВФ 03118

---

Сдано в производство 07.05 1988 г. Подписано к печати 12.05.1988 г.  
Формат 60x84 1/16, бумага № 2, офсетная печать. Печ.л. 3, усл. л.  
2,6, учетно-изд. л. 2.

---

Эчмиадзинская типография издательства АН Армянской ССР