

ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

**МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ
ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ
ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКАХ**

МОСКВА — 1975

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

550.4:550.8

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ
ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ
ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКАХ

2304



МОСКВА — 1975

Главный редактор
член-корреспондент АН СССР
Л. Н. ОВЧИННИКОВ

Ответственный редактор
С. В. ГРИГОРЯН



ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ (ИМГРЭ), 1975

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

§ 1. Задача выявления и оконтуривания области аномальных содержаний элементов в геохимическом поле рассеяния вещества относится к классу пространственных исследований. Ее решение в настоящее время осуществляется либо методами горной геометрии, либо методами математической статистики. Однако, если геометрический подход к решению задачи оправдан существом самого явления рассеяния, его детерминированностью и направленностью, то применение методов математической статистики нуждается еще в доказательстве.

Ознакомившись с имеющейся по этому вопросу литературой, мы, например, не обнаружили источников, в которых была бы серьезно обсуждена возможность решения пространственной задачи оконтуривания аномалии статистическими методами и оговорены условия, при которых статистические решения можно было бы считать качественно надежными. При всех статистических расчетах обычно игнорируются, во-первых, наличие у геохимических полей регулярных составляющих, во-вторых, неоднозначность соответствия статистической модели (кривой распределения) структуре геохимического поля, и в-третьих, основной принцип применения математики в прикладных науках: доказательство соответствия между аксиоматикой вычислительного аппарата и условиями решаемой задачи.

Основная методика статистической обработки геохимической информации изложена в Инструкции по геохимическим методам поисков рудных месторождений (1965). Однако арсенал статистических средств в настоящее время пополнился разработками. К ним, в частности, относятся мето-

ды мультипликативных полей и отношений элементов, внедрение которых в практику успешно осуществлено (Овчинников, Григорян, 1970).

Целью наших исследований является попытка объяснить применимость различных методик математической обработки геохимической информации и показать, что при стандартных условиях металлометрических съемок пространственная задача оконтуривания геохимической аномалии может быть сведена к статистической, вычислительные алгоритмы которой несравненно проще пространственных аппроксимаций.

§ 2. При решении вопроса за основу принята пространственно-детерминированная модель Сафронова—Соловова, удачно объясняющая закономерности распределения вещества в ореоле рассеяния (Соловов, 1959; Сафронов, 1967). В соответствии с моделью концентрация каждого химического элемента в любой точке с координатами x_i, y_i плоского ореола рассеяния может быть представлена как алгебраическая сумма: $C_i = f(x_i, y_i) + \delta_i + C_\phi$, где C_i — концентрация элемента в пробе, $f(x_i, y_i)$ — значение регулярной компоненты, δ_i — значение случайной компоненты, зависящей в значительной мере от объема пробы и погрешности спектрального анализа, C_ϕ — предел рассеяния вещества (фоновое содержание).

Математическая сущность пространственной задачи выявления и оконтуривания аномалии в содержании элемента представляет собой решение системы совместных уравнений:

$$\begin{cases} C = f(x, y) \\ C = \text{const} \end{cases}$$

одно из которых представляет собой уравнение сложной поверхности, другое — уравнение горизонтальной плоскости, секущей поверхность на уровне аномального содержания. В соответствии с Инструкцией уровень аномального содержания должен быть выбран в зависимости от статистического закона распределения случайной величины при определении фонового содержания.

Эта пространственная задача, судя по эмпирическим данным, обычно сводится к двум частным статистическим задачам: 1) оценке неизвестного фонового содержания и 2) определению той области, где $f(x, y)$ существенно отличается от фона. Необходимость такого разделения оп-

равдана и определяется специфичностью строения геохимических полей ореолов разных месторождений и даже разных элементов одного и того же месторождения.

Прежде всего, геохимические поля разных месторождений или элементов отличаются контрастностью аномалий. Аномалии нормальной контрастности хорошо выявляются при применении достаточно простых в своей практической реализации способов обработки геохимической информации, тогда как аномалии ослабленной контрастности при применении таких методов обычно пропускаются (Григорян, Туманян, 1970). Для их выявления необходимо выполнить более тонкие исследования, потребность в которых возникает также при необходимости локализации границ аномалии относительно рудного тела.

§ 3. На рис. 1 изображено одновременное сечение геохимического поля рассеяния элемента в ореоле нормальной контрастности. Для этого сечения компонента в любой точке x_i будет равна $C_i = f(x_i) + \delta_i + C_\phi$, где $f(x)$

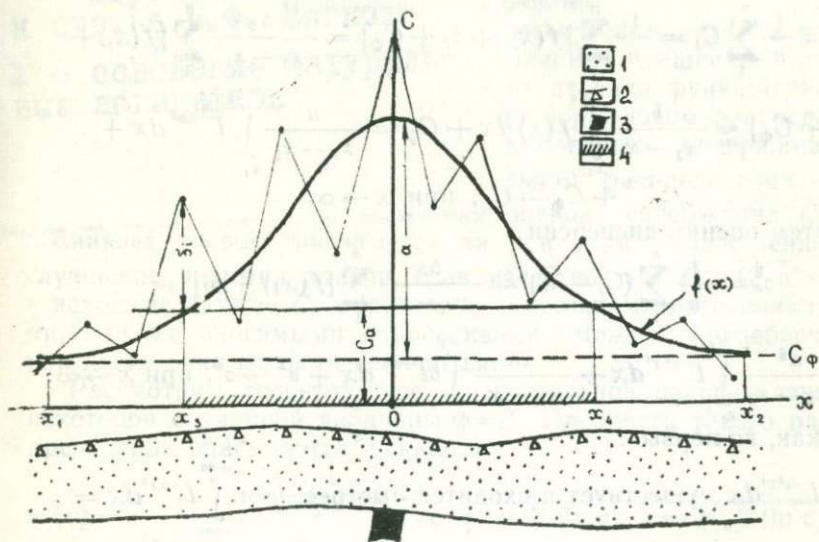


Рис. 1. Схема геометро-статистической модели ореола рассеяния

1—рыхлые элювио-делювиальные отложения; 2—точки опробования ореола рассеяния элемента; 3—выход рудного тела под чехлом рыхлых образований; 4—область аномальных содержания геохимического поля элемента.

от рудного тела стремится к фону со скоростью, достаточной для конечности $\int f(x) dx$, что соответствует ограниченности общего объема тела полезного ископаемого. По данным А. П. Соловова (1959), например, $f(x) = a l^{-ax^2}$, где a и l некоторые параметры, зависящие от уровня концентрации компонента в рудном теле, времени, скорости диффузии. Если параметры этой функции отыскиваются с помощью метода наименьших квадратов, то математическое ожидание случайной величины δ_i равно нулю, но обладает некоторой дисперсией σ^2 , что предопределяет возможность вариации положения регулярной компоненты относительно истинного значения в пределах меньших $\pm 3\sigma$.

Допустим, что наше одномерное сечение геохимического поля опробовано с шагом, равным Δx . Тогда число отобранных проб на интервале от x_1 до x_2 будет равно $n = \frac{x_2 - x_1}{\Delta x}$. Рассчитаем для этого интервала оценку среднего содержания:

$$\begin{aligned} \bar{C} &= \frac{1}{n} \sum_1^n C_i = \frac{1}{n} \sum_1^n [f(x_i) + \delta_i + C_\phi] = \frac{\Delta x}{x_2 - x_1} \sum_1^n [f(x_i) + \\ &+ C_\phi] \approx \frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx + C_\phi = \frac{a}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} l^{-ax^2} dx + \\ &+ C_\phi \rightarrow C_\phi, \text{ при } x \rightarrow \infty, \end{aligned}$$

а затем оценку дисперсии

$$\begin{aligned} \sigma_c^2 &= \frac{1}{n} \sum_1^n (C_i - \bar{C})^2 = \frac{\Delta x}{x_2 - x_1} \sum_1^n [f(x_i) + \delta_i]^2 \approx \\ &\approx \frac{a^2}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} l^{-2ax^2} dx + \frac{2a}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} \delta l^{-ax^2} dx + \sigma^2 \rightarrow \sigma^2, \text{ при } x \rightarrow \infty, \end{aligned}$$

так как, во-первых,

$$\int_{-\infty}^{+\infty} l^{-ax^2} dx \text{ существует и сходится быстрее, чем } \int_{-\infty}^{+\infty} l^{-ax^2} dx =$$

$$= \sqrt{\frac{\pi}{a}}; \text{ во-вторых, } \left| \int_{-\infty}^{+\infty} \delta l^{-ax^2} dx \right| \leq \int_{-\infty}^{+\infty} |\delta l^{-ax^2}| dx \leq$$

$$\leq \delta_{\max} \int_{-\infty}^{+\infty} l^{-ax^2} dx = \delta_{\max} \sqrt{\frac{\pi}{a}}$$

Следовательно, при достаточном приближении к области фоновых значений первые два члена стремятся к нулю и оценка дисперсии C_i одновременно будет служить оценкой дисперсии случайной величины δ_i .

Таким образом, если область опробования достаточно велика, то пространственная задача выявления аномальных содержаний может быть заменена расчетом статистических показателей и решением неравенства $C_i \geq C_a = (C_{\Phi} + 3\sigma)$. При этом нет никакой необходимости прибегать к специальным исследованиям по определению фоновых содержаний, понятие которых всегда относительно.

Однако при попытке дальнейшей локализации аномалии относительно рудного тела задача ее оконтуривания не может быть сведена к статистической, ибо интегральные средние не равны нулю. В этом случае секущую плоскость, по-видимому, целесообразно провести на уровне вычисленного среднего значения. Этот же прием целесообразен, когда исследователь прибегает к графическому решению задачи, задавая поле с помощью изолиний содержаний.

§ 4. Согласно Инструкции по геохимическим методам поисков месторождений полезных ископаемых, решение описанной статистической задачи зависит от вида функции распределения случайной величины. При нормальном распределении принято рассчитывать оценки среднего содержания (\bar{C}), дисперсий ($\bar{\sigma}^2$), при логнормальном распределении — средние геометрические значения оценок содержаний \bar{C} . Возникает вопрос, достигается ли при этом существенное улучшение решения задачи, если известно, что $\bar{C} > \bar{C}$, $\bar{\sigma} > \bar{\sigma}$, а исходные данные C_i определены с большими погрешностями, или же вносимыми коррективами можно пренебречь, как достаточно малыми величинами.

Рассмотрим теоретическое логнормальное распределение некоторой случайной величины $v = l^t$. Плотность такого распределения описывается функцией

$$f(v) = \frac{1}{\lambda v \sqrt{2\pi}} l^{-\frac{(\ln v - m)^2}{2\lambda^2}}, \text{ где } m = M(\ln v), \lambda = \sqrt{D(\ln v)}.$$

Среднегеометрическое значение этой функции, как известно, равно $v = l^m$, а ее математическое ожидание может

$$\text{быть подсчитано } \bar{v} = M(v) = \int_0^{\infty} v f(v) dv = \frac{1}{\lambda \sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} l^{-\frac{(\ln v - m)^2}{2\lambda^2}} \times$$

$$\times dv = \frac{1}{\lambda \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} l^t l^{-\frac{(t-m)^2}{2\lambda^2}} dt = l^{\left(m + \frac{\lambda^2}{2}\right)}, \text{ где } t = \ln v, \text{ разность}$$

$$\bar{v} - \tilde{v} = l^m \left(l^{\frac{\lambda^2}{2}} - 1 \right), \text{ а отношение } \frac{\bar{v}}{\tilde{v}} = l^{\frac{\lambda^2}{2}}.$$

Расчет математических ожиданий квадратов отклонений от этих величин дает следующие результаты:

$$\bar{\sigma}^2 = D(v - \bar{v})^2 = \frac{1}{\lambda \sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} \left[v - l^{\left(m + \frac{\lambda^2}{2}\right)} \right]^2 \frac{1}{v} l^{-\frac{(\ln v - m)^2}{2\lambda^2}} dv =$$

$$= \bar{v}^2 (l^{\lambda^2} - 1);$$

$$\tilde{\sigma}^2 = D(v - \tilde{v})^2 = \frac{1}{\lambda \sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} [v - l^m]^2 \frac{1}{v} l^{-\frac{(\ln v - m)^2}{2\lambda^2}} dv =$$

$$= \tilde{v}^2 \left(l^{2\lambda^2} - 2l^{\frac{\lambda^2}{2}} + 1 \right).$$

Разность дисперсий $(\tilde{\sigma}^2 - \bar{\sigma}^2) = (\bar{v} - \tilde{v})^2$, а разность $(\tilde{\sigma} - \bar{\sigma}) < < (\bar{v} - \tilde{v})$.

Применительно к условиям поисков месторождений экспериментально установлено, что разность $(\bar{v} - \tilde{v})$ несоизмеримо мала по сравнению с погрешностями анализа, но так как вводимые за счет учета закона распределения уточнения в положении плоскости, секущей аппроксимирующее геохимическое поле рассеяния, поверхность не может быть больше удвоенного значения этой разности, то ее влиянием целесообразно пренебречь, и, тем самым, существенно упростить обработку геохимической информации.

§ 5. Каждый ореол может рассматриваться как естественное пространственное сочетание геохимических полей рассеяния элементов, аномалии которых как поисковые признаки неравноценны. Интерес, прежде всего, представляют ореолы тех элементов, для которых отношения $\Delta = \frac{a}{a + C_{\Phi}}$

(коэффициент контрастности аномалии) и $g = \frac{a}{x_2 - x_1}$ (градиент контрастности аномалии) достаточно велики. Поисковая ценность геохимических аномалий резко ухудшается, если значения коэффициентов и градиентов контрастности настолько малы, что полезный сигнал весьма слабо отлича-

ется от уровня помех, поэтому иногда появляется необходимость усиления полезного сигнала.

Решение вопроса, по мнению С. В. Григоряна (1973), сравнительно просто может быть достигнуто, если вместо геохимического поля одного элемента изучать так называемые мультипликативные поля, представляющие собой произведение скалярных полей содержаний разных элементов, сочетающихся в ореоле рассеяния, или отношение содержаний элементов.

Выбор метода усиления полезного сигнала зависит от пространственного соотношения сочетающихся в ореоле геохимических полей рассеяния элементов. Судя по экспериментальным данным, в ореоле рассеяния вещества принципиально возможна реализация трех типов пространственных соотношений геохимических полей рудных тел: кон-, анти- и дискордантного (Мягков, 1971).

На рис. 2, представляющем собой одномерное сечение плоского ореола рассеяния вещества, изображены геохимические поля пяти элементов. При этом соотношение геохимических полей элементов a , b и d — конкордантно, a , b и d , с одной стороны, и v , c другой, — антикордантно. Геохимическое поле элемента g относительно всех других дискордантно.

В таблице приведены результаты расчетов коэффициентов контрастности аномалии при различных комбинациях произведений и отношений элементов. Ее данные свиде-

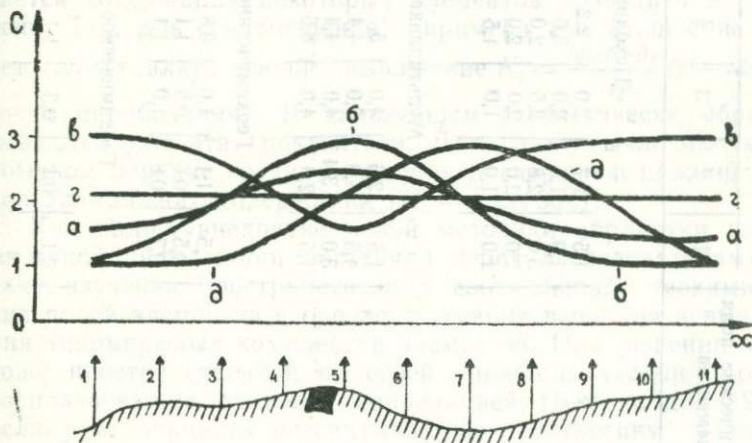


Рис. 2. Принципиальная схема пространственных соотношений геохимических полей элементов (a , b , v , g , d) в ореоле рассеяния вещества

Содержание элементов (усл. ед.) и коэффициенты контрастности аномалий для геохимических полей на рис. 2

Геохимические поля элементов	Точки опробования											Коэффициенты контрастности аномалии
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Исходные геохимические поля												
<i>a</i>	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5	2,2	2,0	1,7	1,5	1,5	1,5	0,40
<i>б</i>	1,0	1,5	2,0	2,6	3,0	2,6	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	0,67
<i>в</i>	3,0	2,8	2,5	2,0	1,5	2,0	2,5	2,8	3,0	3,0	3,0	-0,50
<i>г</i>	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	0,00
<i>д</i>	1,0	1,0	1,0	1,5	2,0	2,6	3,0	2,6	2,0	1,5	1,0	0,67
Мультипликативные геохимические поля												
<i>a·б</i>	1,5	2,6	4,0	5,7	7,5	5,7	4,0	2,6	1,5	1,5	1,5	0,80
<i>a·в</i>	4,5	4,8	5,0	4,4	3,8	4,4	5,0	4,8	4,5	4,5	4,5	0,24
<i>a·г</i>	3,0	3,4	4,0	4,4	5,0	4,4	4,0	3,4	3,0	3,0	3,0	0,40
<i>a·б·д</i>	1,5	2,6	4,0	8,6	15,0	14,8	12,0	6,8	3,0	2,2	1,5	0,90
Геохимические поля отношений элементов												
<i>a/б</i>	1,5	1,1	1,0	0,8	0,8	0,8	1,0	1,1	1,5	1,5	1,5	-0,47
<i>a/в</i>	0,5	0,6	0,8	1,1	1,7	1,1	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,71
<i>a/г</i>	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,1	1,0	0,8	0,7	0,7	0,7	0,42
Геохимическое поле обобщенного показателя												
$\frac{a \cdot б \cdot д}{в^3}$	0,1	0,1	0,3	1,1	4,0	1,9	0,8	0,2	0,1	0,1	0,1	0,97

тельствуют о том, что усиление полезного сигнала происходит при перемножении содержаний в случае конкордантного соотношения полей элементов и при вычислении отношений содержаний в случае антикордантного соотношения полей. При дискордантном соотношении полей полезный сигнал не изменяется. При перемножении содержаний антикордантно соотносящихся полей сигнал не только не усиливается, но и существенно искажает строение поля. Аналогично ведет себя сигнал при вычислении отношений элементов конкордантно соотносящихся полей. При относительном смещении полей (поле элемента δ относительно полей элементов a и b) сигнал ослабляется.

Отмеченные особенности позволяют сформулировать основное правило вычисления так называемых обобщенных показателей для изучения ореола рассеяния вещества, широко применяемых в последнее время при обработке геохимической информации и представляющих собой отношение произведений геохимических полей разных элементов. При вычислении для отдельных точек ореола рассеяния вещества обобщенного показателя в числителе и знаменателе отношения должны фигурировать группы элементов, изменение геохимических полей внутри которых конкордантно и антикордантно между элементами соотносящихся групп. При этом для придания отношению безразмерности допускается содержания некоторых элементов возводить в степень. Так, для рассмотренного примера это отношение будет представлять собой выражение $K_i = \frac{a_i \cdot b_i \cdot \delta_i}{s_i^3}$ (i — номер точки опробования). В дальнейшем статистически обрабатываются уже эти показатели. Для них вычисляются в обычном порядке средние значения дисперсии и нижний предел аномального содержания ($K_a = K_\Phi + 3\sigma_K$).

Как видно, внедрение новой методики обработки геохимической информации поставило перед исследователями задачу изучения пространственных соотношений геохимических полей элементов в ореоле рассеяния вещества и выявления типоморфных комплексов элементов. При решении этой, тоже пространственной по своей природе, задачи можно воспользоваться ранговой корреляцией (Беус и др., 1965), если рассматривать рассчитываемую статистику (показатель соответствия рангов) в качестве аналога коэффициента корреляции. Доказательно, что рассчитываемая по алгоритму коэффициента корреляции статистика номинально

тождественна косинусу угла между градиентами аппроксимирующих геохимические поля функций. Положительное значение косинуса соответствует конкордантному изменению геохимических полей, отрицательное — антикордантному (Мягков, 1971б).

Итак, в настоящее время нет оснований противопоставлять статистические методы обработки геохимической информации геометрическим методам. Задача исследователя состоит в том, чтобы доказать, что в данной ситуации пространственные по своей природе решения могут быть без ущерба для существа дела сведены к статистическим решениям, как правило, более простым.

Статистическая обработка геохимической информации при решении задачи выявления и оконтуривания аномалии в содержании элемента может быть существенно упрощена. Нами предлагается не проводить специальных работ по определению фона и ограничиться расчетом независимо от закона распределения случайной величины лишь двух статистик — среднего содержания и дисперсии. Вычислительная операция по проверке гипотезы логнормальности распределения и расчету среднегеометрического значения, хотя и полезна, но никаких принципиальных уточнений в решение задачи не вносит.

При изучении слабо контрастных аномалий требуется выявление типоморфных комплексов геохимических полей, соответствующих применяемому методу усиления полезного сигнала. При этом коэффициент контрастности аномалии увеличивается, а градиент контрастности уменьшается. Аномалии мультипликативных полей, полей отношений содержаний элементов и полей обобщенных показателей относительно рудного тела всегда менее локализованы, чем частные аномалии геохимических полей элементов, образующих ореол рассеяния вещества.

ЛИТЕРАТУРА

Беус А. А., Григорян С. В. и др. Использование методов математической статистики при геохимических поисках. М., «Недра», 1965.

Григорян С. В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке гидротермальных месторождений. — Сов. геология, 1973, № 1.

Григорян С. В., Туманян В. З. К методике обнаружения и интерпретации геохимических аномалий. — В сб. «Научн. основы геохим. методов, поисков глубокозалегающих рудных месторождений». Иркутск, 1970.

Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М., «Недра», 1965.

Мягков В. Ф. Геохимический метод парагенетического анализа руд. — В сб. «Современное состояние учения о месторождениях полезных ископаемых». Ташкент, 1971а.

Мягков В. Ф. О геометрическом способе корреляции физических полей. — Уч. зап. ПГУ, № 233, 1971б.

Овчинников Л. Н., Григорян С. В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. — В сб. «Научн. основы геохимич. методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений». Иркутск, 1970.

Сафронов Н. И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Л., 1967.

Соловов А. П. Основы теории и практики металлометрических съемок. Алма-Ата, 1959.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ПОИСКОВОЙ ГЕОХИМИИ

В настоящее время на применение математических методов в поисковой геохимии тратятся значительные средства, и имеется тенденция многократного увеличения таких затрат в будущем. Для эффективного использования этих средств необходим анализ современного состояния и перспектив применения рассматриваемых методов. В одном докладе невозможно детально, строго и последовательно осветить этот вопрос, но необходимо обратить внимание специалистов на несколько положений.

Состояние математических методов в поисковой геохимии отражено специальным семинаром, организованным по линии СГПИМ в Свердловске в 1973 году (Математические методы, 1973). Сопоставление возможностей ряда методов имеется в литературе (Дубов, 1973; Бондаренко и др., 1974). Сейчас представляется целесообразным отметить некоторые новые тенденции и уточнить области рационального применения различных групп методов.

Прежде всего следует отметить развитие исследований по оценке точности работ и их планированию, что свидетельствует о созревании поисковой геохимии как объективной науки. К сожалению, до сих пор многие организации не проводят контрольного отбора проб и не оценивают фактических погрешностей своих исследований. Иногда в качестве оправдания такого положения выдвигается экономия средств. Между тем, эффективность использования их на геохимические работы в среднем значительно выше в организациях, ведущих контроль и вычисляющих оценки погрешностей, так как они быстрее выявляют различные ошибки. Кроме того, выделение полезной информации из геохимичес-

ких данных производится намного полнее при применении математических методов, использующих сведения о фактических погрешностях работ (Дубов, 1974а).

Наибольшее число исследований посвящено интерпретации данных. Здесь наряду с положительными результатами имеются случаи, когда после нескольких лет работ исследователи обнаруживали, что развитые ими математические методы менее эффективны, чем интуитивные предположения опытных геологов. Это создает ложное впечатление о более низких возможностях математики. Между тем, случаи низкой эффективности математических методов связаны прежде всего с применением их не адекватно целям. Поясним сказанное.

Особенно распространены сейчас методы распознавания образов при малом числе выделяемых классов (Геология и математика, 1970, и др.). Эти методы дают хорошие результаты, когда объекты, относящиеся к одному выделяемому классу, действительно однородны по соответствующему признаку. Например, неплохой успех в таких исследованиях был достигнут Г. А. Вострокнутовым при выделении железных шляп колчеданных месторождений среди бурых железняков (Математические методы, 1973).

Обычно же объектами геохимических поисков являются месторождения, ценность которых непрерывно растет, при прочих равных условиях, с увеличением промышленных запасов полезного ископаемого. Разделение величин возможных запасов на небольшое число классов, однородных по этому признаку, невозможно. Поэтому широкое применение методов распознавания образов для оценки геохимических аномалий не всегда оправдано. В таких случаях целям исследований часто больше соответствует регрессивный анализ. Под ним мы понимаем любое количественное выражение интересующей нас величины через результаты наблюдений. Сюда относится интерпретация аномалий по теоретическим формулам, отображающим физическую сущность геохимических процессов, и различная аппроксимация изучаемых зависимостей статистическими приемами (в том числе построение поверхностей тренда).

При этом большое значение имеет фильтрация наблюдаемых полей, основанная на знании фактических погрешностей наблюдений. После такой фильтрации нередко резко возрастают возможности выделения месторождений даже непосредственно по картам концентраций отдельных элементов. При мелкомасштабных съемках еще более четкий эф-

фект достигается путем оценки удельной перспективности, т. е. статистически ожидаемого количества руды в промышленных скоплениях, приходящегося на единицу территории (Дубов, 1971, 1974а). Хорошая реализация такого подхода иллюстрировалась М. С. Тонкопием и др. (Математические методы, 1973).

При поисках глубокозалегающих месторождений необходимо использование многомерных характеристик совокупностей различных элементов. Такими характеристиками являются, в частности, произведения концентраций, получившие известность благодаря работам Л. Н. Овчинникова и С. В. Григоряна (1970 и др.), а также отношения произведений концентраций, рекомендованные А. П. Солововым и А. В. Гараниным (1972), и другие показатели. Развитие подобных исследований обещает дать методы количественной оценки оруденения на глубине.

Сейчас количественные оценки оруденения делают для каждого из элементов в отдельности, пока без использования их взаимоотношений. Первой такой оценкой была известная формула А. П. Соловова (1959):

$$P_{ор} = K \cdot P_{рт}$$

Она отражает пропорциональность аномальных продуктивностей остаточного ореола $P_{ор}$ и выхода рудного тела $P_{рт}$. Затем была найдена общая формула связи концентраций $C(x, y)$ на горизонте опробования в остаточных (и некоторых других) ореолах и концентраций $C_0(\xi, \eta)$ в верхнем горизонте коренных пород при произвольном параметре рассеяния σ_D (Дубов, 1964):

$$C(x, y) = \frac{K}{2\pi\sigma_D^2} \cdot \iint_{-\infty}^{\infty} C_0(\xi, \eta) \cdot \exp\left(-\frac{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}{2\sigma_D^2}\right) d\xi d\eta.$$

Решение этого интегрального уравнения по данным опробования может проводиться с помощью специальных палеток и машинных программ (Дубов, 1964, 1974а; Балк, 1974, и др.).

Сейчас известны математические модели, описывающие различные стороны разнообразных геохимических явлений (Поликарпочкин, 1966; Голубев, Гарибянц, 1968; Путиков, 1969, и др.). Все же число разработок, доведенных до возможности количественной интерпретации аномалий, пока мало. В значительной мере это обусловлено трудностями исследований. Для их преодоления сейчас разрабатывается

так называемое композиционное моделирование, выражающее сложные процессы в виде композиции относительно простых операторов (Дубов, 1974а).

Теория количественной интерпретации аномалий необходима не только для оценки конкретных объектов, но и для обоснования самих геохимических методов, так как она вскрывает их возможности.

Например, для поисков по вторичным ореолам важно знать так называемый представительный горизонт (на нем ореолы рудных тел имеют наибольшие размеры тех частей, которые заняты заметными концентрациями). Математические модели показывают, что в остаточных ореолах этот горизонт тем выше, чем ниже порог чувствительности вещественного анализа проб. В наложенных же ореолах в однородном аллохтоне при любой чувствительности таким является нижний горизонт. Это можно видеть по моделям, приведенным в работах (Дубов, 1964; Дубов, Прошутинская, 1971).

Сказанное означает, что в будущем следует ожидать повышения эффективности поисковой геохимии с помощью математических методов не только за счет увеличения точности интерпретации данных, но и благодаря оптимизации самих геохимических исследований.

Выбор оптимального математического метода для решаемых вопросов является сложной задачей и требует развития специальной теории. Начальным разработкам этой теории на Свердловском семинаре был посвящен доклад автора данной статьи (Математические методы, 1974¹). В будущем, с развитием исследований, представляется возможным запрограммировать осуществление такого выбора методов автоматически, счетной машиной, с учетом имеющейся сложной геохимической и общегеологической информации.

При создании автоматических систем следует учитывать, что с ростом потенциальной информативности метода математической обработки данных, т. е. с увеличением информации, которую может извлечь этот метод из обрабатываемых данных для решаемой задачи, растут требования к этому материалу. Кроме обрабатываемых данных, сюда входит обучающий материал — результаты наблюдений на уже известных объектах или теоретические выводы, получаемые при обобщении таких наблюдений.

¹ Некоторые положения этого доклада в более строгой форме приведены в работе (Дубов, 1974б).



При недостатке обучающего материала методы с относительно высокой потенциальной информативностью оказываются неприменимыми или требуют для своего применения дополнительных преобразований. В частности, это относится и к упомянутым выше методам количественной интерпретации геохимических данных. Поэтому при проведении геохимических работ следует стремиться к получению материала, позволяющего применить по возможности наиболее информативные методы, но по необходимости может возникать потребность и в относительно малоинформативных методах, в том числе в таких, которые производят деление объектов только на два класса. В частности, при минимальном объеме исходной информации могут быть применены методы классификации по принципу относительной однородности (Родионов, 1965, 1968, и др.).

Из сказанного следует, что при различных конкретных условиях могут быть оптимальными различные методы (хотя и с разной частотой, соответственно изложенным выше их характеристикам).

В одном из вычислительных центров целесообразно создать постоянно совершенствуемую типовую систему обработки геохимических данных. Такой центр мог бы апробировать новые методы и давать рекомендации по их применению.

Резюмируем сказанное выше.

1. Математические методы в поисковой геохимии уже показали высокую эффективность при интерпретации данных.

2. Имеются возможности применения математических методов для совершенствования методики самих геохимических поисков.

3. Случаи неудачного применения математических методов связаны с неправильным их выбором для конкретных условий.

4. Необходимо развитие теории выбора математических методов для различных условий и построение систем автоматической обработки данных на основе такой теории.

ЛИТЕРАТУРА

Балк П. И. К интерпретации вторичных геохимических ореолов. — В кн. «Ежегодник—1973 (отчет о работе Института геохимии за 1973 г.)» Новосибирск, «Наука», 1974.

Бондаренко В. Н., Верховская Л. А., Григорян С. В., Поздняков Э. Н., Сорокин Е. П. Проблема алгоритмизации литогеохимических поисков рудных месторождений. — Сов. геология, 1974, № 11.

Геология и математика. Новосибирск, «Наука», 1970.

Голубев В. С., Гарибянц А. А. Гетерогенные процессы геохимической миграции. М., «Недра», 1968.

Дубов Р. И. Концентрация химических элементов в ореолах рассеяния. — Геология и геофизика, 1964, № 12.

Дубов Р. И. К применению математических методов при геохимическом картировании и поисках рудных месторождений. — В кн. «Ореолы рассеяния месторождений Восточной Сибири». М., «Наука», 1971.

Дубов Р. И. Основные вопросы применения математических методов при геохимических поисках и разведках. — Зап. Забайкальского фил. географ. общества СССР, вып. XXXVII, «Геохим. методы поисков мест. золота по первичным ореолам». Чита, 1973.

Дубов Р. И. Количественные исследования геохимических полей для поисков рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1974а.

Дубов Р. И. Принцип выбора и обоснования методов обработки наблюдений. — Тезисы семинара «Применение математических методов и ЭВМ в геологии». Алма-Ата, 1974б.

Дубов Р. И., Прошутинская К. Г. К вопросу о физико-математическом моделировании геохимических объектов. — В кн. «Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений (материалы Второй сессии СГПМ. Симпозиум, часть 2 — дискуссия)». Иркутск, 1971.

Математические методы при геохимических исследованиях (тезисы к семинару «Методы математической обработки результатов геохимических поисков»). Свердловск, 1973.

Овчинников Л. Н., Григорян С. В. Еще раз о вертикальной зональности первичных геохимических ореолов. — В кн. «Научн. основы геохим. методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений (материалы симпозиума)». Иркутск, 1970.

Поликарпочкин В. В. Распределение концентраций рудообразующих элементов на склонах при самопроизвольном движении рыхлых масс и действии склоновых водных потоков. — В кн. «Математические методы геохимических исследований». М., «Наука», 1966.

Путиков О. Ф. Распределение концентраций в геохимических ореолах. — Изв. АН СССР, Физика Земли, 1969, № 4.

Родионов Д. А. К вопросу о статической теории однородности геологических совокупностей. — Геохимия, 1965, № 4.

Родионов Д. А. Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков. М., «Недра», 1968.

Соловов А. П. Основы теории и практики металлометрических съемок. Алма-Ата, Изд-во АН КазССР, 1959.

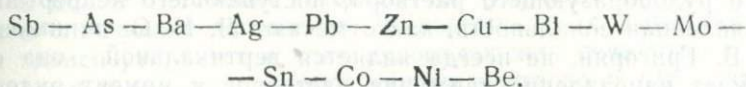
Соловов А. П., Гаранин А. В. Геохимические спектры аномалий и установление различий между сходными объектами. Литохимические поиски рудных месторождений (материалы I тематической сессии Межведомственного Совета по проблеме «Научные основы геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых»). Алма-Ата, 1972.

**ПЕРВИЧНЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ
СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
КАК ИНДИКАТОРЫ ИЗМЕНЕНИЯ
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СРЕДЫ
МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ**

В последнее время накоплен богатый материал по распределению элементов в пределах рудных полей месторождений сульфидного типа. Статистическая обработка данного материала (Овчинников, Григорян, 1970, и др.) позволила исследователям выявить определенные закономерности в составе и строении первичных ореолов сульфидных месторождений. Прежде всего выяснилось, что различные по составу, происхождению и геологическим условиям формирования сульфидные месторождения сопровождаются однотипными ореолами главных элементов-индикаторов, окаймляющими рудные тела и представляющими собой зоны рассеянной вкрапленности. Оказалось, что главнейшей особенностью первичных ореолов является их контрастная зональность, ярко проявляющаяся в направлении предполагаемого движения рудообразующих растворов. По мнению исследователей в большинстве случаев эта зональность вертикальная, выражающаяся в дифференциальном распределении элементов. В общем же плане, как считают Л. Н. Овчинников и С. В. Григорян (1970), зональность ореолов совпадает с зональностью распределения месторождений в какой-либо единой структуре.

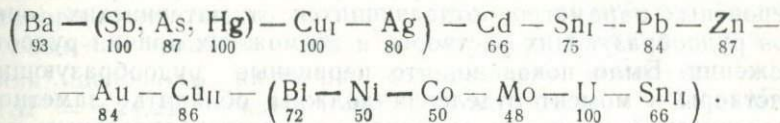
Характерной особенностью зональности ореолов по сравнению с зональностью рудных тел и месторождений является ее устойчивость и универсальность. Это, по мнению указанных авторов, обуславливается более спокойными условиями минералообразования, тогда как места локализации руд — особые, исключительные участки в ореоле (т. е. в пространстве, которое было охвачено переработкой рудообразующими растворами), в пределах которых шло наиболее интенсивное рудоотложение.

Сравнительное изучение первичных ореолов гидротермальных месторождений разных типов и различного происхождения позволило Л. Н. Овчинникову и С. В. Григоряну (1970) придти к выводу, что для месторождений любого металла (медных, свинцово-цинковых, золоторудных, вольфрамовых, молибденовых, медно-висмутовых, урановых, оловорудных, ртутных и др.) набор элементов-индикаторов, а главное — вертикальная зональность их распределения сохраняются принципиально одними и теми же. В целом авторами дается следующий обобщенный ряд зональности (при переходе от надрудных сечений к подрудным):



Приведенные в указанной работе частные ряды вертикальной зональности первичных ореолов рассеяния на месторождениях различных генетических типов показывают, что хотя геологические условия, в которых образуются различные месторождения и формируются окружающие их ореолы, достаточно многообразны, тем не менее отклонения от универсальной зональности невелики и малочисленны.

С учетом частоты встречаемости элемента на том или ином уровне в первичном ореоле Л. Н. Овчинников (устное сообщение) полагает, что распределение элементов в первичном ореоле сульфидных месторождений ближе всего отвечает следующей последовательности:



Анализируя распределение элементов в рудных телах и первичных ореолах, Л. Н. Овчинников и С. В. Григорян подчеркивают, что данная закономерность отражает стандартность физико-химических условий эндогенного рудообразования и универсальность его механизма. Более того, сравнительное изучение прочих условий образования эндогенных рудных месторождений, различных по промышленному металлу, происхождению и геологическим условиям, обнаруживает все ту же удивительную стандартность рудообразующего раствора, постоянство его анионного состава и свойств, свидетельствующих о весьма узком диапазоне изменений фи-

зико-химических параметров рудообразования во времени и пространстве, оказывающихся, как считает Л. Н. Овчинников (1967), мало зависимыми от геологической среды.

Авторы приходят к очень важному выводу о роли стадийности при формировании эндогенных месторождений и их первичных ореолов рассеяния. Именно наличие единой вертикальной зональности первичных ореолов является своеобразным индикатором того, что временного разрыва в проявлении отдельных стадий не существует и что смена выделяемых стадий минерализации является больше результатом пространственной, нежели временной дифференциации единого рудообразующего раствора, поступающего непрерывно. Выявленная зональность, как отмечают Л. Н. Овчинников и С. В. Григорян, не всегда является вертикальной — она отражает направление движения растворов в момент рудоотложения и в разных конкретных условиях может быть ориентирована различно.

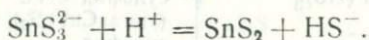
Приведенный материал достаточно убедительно доказывает очень важное для теории рудообразования положение: рудообразующие растворы, независимо от генетической принадлежности сформированных ими месторождений, должны обладать удивительной стандартностью, постоянством анионно-катионного состава и другими свойствами, свидетельствующими о весьма узком диапазоне изменений физико-химических параметров системы во времени и пространстве.

Подобный же вывод был получен и автором настоящей статьи, исходя из проведенного в ряде предыдущих работ (Павлов, 1971, 1973а, б и др.) термодинамического анализа вероятных параметров отделяющихся от материнских очагов рудообразующих растворов и возможных причин рудоотложения. Было показано, что первичные рудообразующие растворы в момент отделения должны обладать заметной щелочностью и низким окислительно-восстановительным потенциалом, что и предопределяет специфический катионно-анионный состав рудоносных гидротерм. Основной причиной рудоотложения вероятнее всего является самопроизвольная эволюция физико-химических параметров системы, и, прежде всего, в направлении роста кислотности на фоне возрастания окислительного потенциала, сопровождаемого обычно снижением температуры и давления. Именно режим кислотности-щелочности и окислительно-восстановительного потенциала предопределяет и качественный состав парагенетических минеральных ассоциаций и их последовательность осаждения во времени и пространстве.

В связи с этим мне хотелось бы сопоставить ряд вертикальной зональности ореолов сульфидных месторождений, установленный Л. Н. Овчинниковым и С. В. Григорьяном на основании анализа громадного фактического материала, с рядом последовательности осаждения сульфидов и самородных минералов в результате разложения тио- и гидросульфидных комплексов металлов при подкислении (и окислении) первично щелочных восстановительных сульфидных гидротерм. Последний был получен расчетным способом и частично при проведении серии экспериментальных исследований.

С целью получения сопоставимых результатов были приняты следующие допущения. Во-первых, что сульфидная сера транспортируется в зоне рудоотложения совместно с металлами в едином рудообразующем растворе и что активность сульфидной серы в растворе достаточно велика (10^{-1} — 10^{-3} моль/л). Во-вторых, нижняя пороговая величина активности комплексного тио- или гидросульфидного иона, ниже которой растворы считаются стерильными по данному соединению и которая определяет границу равновесия между полем устойчивости минерального соединения и комплексным рудообразующим раствором, во всех случаях была принята равной 10^{-6} моль/л.

Уравнения, отражающие функциональные зависимости между рН и активностью в растворе сульфидной серы и растворимых комплексов в том или ином виде приведены в более ранних работах (Павлов, 1971, 1973а, б). В данном случае на примере разложения тиосульфидного комплекса олова при подкислении раствора напомним общий ход расчета уравнений подобного типа. Так, согласно реакции подкисления щелочного раствора, содержащего комплекс SnS_3^{2-} ($\Delta F^\circ = -24,21$ ккал/моль), осаждение SnS_2 ($\Delta F^\circ = -47,55$ ккал/моль) происходит по следующей схеме:



Уравнение функциональной зависимости между рН раствора и активностью растворимых компонентов имеет вид:

$$\text{pH} = 15,5 - \lg a_{\text{HS}^-} + \lg a_{\text{SnS}_3^{2-}}$$

Отсюда следует, что с учетом принятых выше допущений, образование нерастворимого соединения SnS_2 при формировании первичного ореола будет происходить при снижении рН раствора до величины 10,5.

Таблица 1

Последовательность осаждения различных соединений при подкислении первично щелочно-сульфидных гидротерм в ходе самопроизвольной эволюции физико-химических параметров гидротермальной системы при 25°C (сумма растворенной серы 10^{-1} моль/л, активность тио- и гидросульфидных комплексов 10^{-6} моль/л)

Ряд	Форма миграции	Форма осаждения	pH осаждения
Ba	BaS , Ba^{2+}	сульфат	низкие pH (высокие Eh)
As	AsS_2^- , AsS_3^{3-} , $HAsS_2^-$	сульфид	4,0
Sb	SbS_2^- , $HSb_2S_4^-$	то же	4,5
Hg _I	HgS_2^{2-} , $Hg(HS)_3^-$	самородн.	4,3
Cu _I	CuS^- , $Cu(HS)_3^-$	сульфид	5,2
Ag	AgS^- , $AgHS$	то же	5,2
Sn	SnS_3^{2-} , SnS_4^{4-}	»	5,8
Hg	HgS_2^{2-} , $Hg(HS)_3^-$	»	6,5
Au	AuS^-	самородн.	5,0—5,5
Cu _{II}	CuS_2^{2-} , $Cu(HS)_3^-$	сульфид без Fe (типа CuS)	7,3
Cd	$Cd(HS)_3^-$	сульфид	7,7
Pb	PbS_2^{2-} , $Pb(HS)_3^-$	то же	8,2
Zn	ZnS_2^{2-} , $Zn(HS)_3^-$	»	8,8
Cu _{III}	CuS_2^{2-} , $Cu(HS)_3^-$	сульфид с Fe (типа CuFeS ₂)	8,5—9,1
Bi	BiS_3^{3-} , BiS_2^-	сульфид	9,2 (до 5,0)
U	$UO_2(CO_3)_3^{4-}$	окись	9,5
Mo	MoS_4^{2-}	сульфид	10,0—7,7
Co	$Co(HS)_2$, $Co(HS)^+$	то же	9,8—8,5
Ni	$Ni(HS)_2$, $Ni(HS)_3^-$	»	9,9
Sn	SnS_3^{2-} , SnS_4^{4-}	сульфид, окись	10,5—10,0

Имеющиеся в распоряжении автора термодинамические константы позволили получить следующие ряды изменения рН, отражающие последовательность осаждения сульфидов, самородных минералов и окисных соединений при разложении преимущественно тио- и гидросульфидных комплексов в процессе подкисления первично щелочно-сульфидных гидротерм (табл. 1, 2). При этом следует подчеркнуть, что при

Таблица 2

Последовательность осаждения различных соединений при подкислении первично щелочно-сульфидных гидротерм в ходе самопроизвольной эволюции физико-химических параметров гидротермальной системы при 250°C (сумма растворенной сульфидной серы 10^{-3} моль/л; активность тио- и гидросульфидных комплексов 10^{-6} моль/л; $pH_{нейтр.}$ (250°C) = 5,7).

Ряд	Форма миграции	Форма осаждения	pH осаждения
As	AsS_2^-	As_2S_3	1,1
Sb	$HSb_2S_4^-$	Sb_2S_3	1,2
Hg	HgS_2^{2-}	Hg	1,9
Sn	SnS_3^{2-}	SnS_2	2,7
Cd	$Cd(HS)_3^-$	CdS	3,0
Ag	$Ag(HS)_2^-$	Ag_2S	3,1
Mo	MoS_4^{2-}	MoS_2	3,35
Au	AuS^-	Au	3,5
Hg	$Hg(HS)_3^-$	HgS	3,9
Cu	$Cu(HS)_3^-$	CuS	4,0
Zn	$Zn(HS)_3^-$	ZnS	4,4
Fe	$Fe(HS)_3^-$	FeS	4,5
Pb	$Pb(HS)_3^-$	PbS	4,7
Fe, Cu	$Fe(HS)_3^-$; $Cu(HS)_3^-$	$CuFeS_2$	6,9
Fe	$Fe(HS)_3^-$	FeS_2	8,6

составлении таблиц учитывалось поведение элементов не только при стандартных условиях (т. е. при 25°C), но и при повышенных температурах (при 250°C).

Анализ полученных рядов последовательности осаждения минералов при подкислении системы свидетельствует о том, что величина рН достаточно надежно контролирует распределение элементов в ореолах сульфидных месторождений. Вполне очевидно, что в природных условиях картина несколько усложнится вследствие влияния структурно-текстурных особенностей вмещающих толщ.

Таким образом, выявленная функциональная зависимость между рН и активностью тио- и гидросульфидных комплексов и целого ряда других комплексов металлов, а также совпадение теоретических рядов вертикальной зональности с общенными рядами Овчинникова—Григоряна дает все основания утверждать, что закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений определяются прежде всего зональностью отложения минералов в ходе самопроизвольной эволюции прежде всего таких параметров системы, как рН и Eh. Именно это обстоятельство, на наш взгляд, и предопределяет тот факт, что закономерности строения первичных геохимических ореолов не зависят практически от состава вмещающих пород.

Расчет функциональной зависимости между рН и активностью тио- и гидросульфидных комплексов металлов при повышенных температурах также свидетельствует о том, что основная закономерность — отложение сульфидных минералов при росте кислотности — сохраняется и при повышенных температурах. Более того, увеличение при росте температуры площади поля устойчивости и тио- и гидросульфидных комплексов металлов на диаграммах Eh—рН даже при условии снижения суммарной активности сульфидной серы в растворе, позволяет утверждать, что снижение температуры, интенсифицирующее возрастание кислотности, следует отнести к одной из основных причин, обуславливающих формирование первичных геохимических ореолов с определенной последовательностью распределения элементов.

Как и в случае с низкотемпературными системами, возрастание окислительного потенциала системы, способствуя росту кислотности, способствует процессам минералообразования. Поэтому хотелось бы особо подчеркнуть, что снижение температуры даже при постоянной или увеличивающейся активности сульфидной серы в системе уже должно обеспечить формирование рудных сульфидных зале-

жей с соответствующими первичными геохимическими ореолами.

Убедительное подтверждение правомерности высказываемых положений было получено нами (Павлов, Карпов, 1972) при наблюдениях за физико-химическими условиями зонального отложения минерального вещества в кальдере Узон на Камчатке. Непосредственные измерения рН и Eh, а также активностей сульфидной серы, хлора и других растворенных компонентов позволили твердо установить, что зональное отложение сульфидов железа, меди, ртути, сурьмы, мышьяка и ряда других минералов из гидротермального щелочно-сульфидного раствора прежде всего предопределяется возрастанием кислотности гидротерм в зоне их разгрузки вследствие интенсификации окислительно-восстановительных реакций при подъеме гидротерм к поверхности. Об этом же свидетельствует и целая серия экспериментов, проведенных как на термальных полях Узона, так и непосредственно в лаборатории.

Приведенные материалы показывают, что существование функциональной зависимости между рН (и Eh) и активностью растворенных компонентов в щелочно-сульфидных растворах может обеспечить зональное разделение минеральных соединений в направлении изменения этих параметров среды в пространстве вдоль путей движения рудообразующих растворов и привести к формированию рудных залежей и сопровождающих их первичных геохимических ореолов.

ЛИТЕРАТУРА

Овчинников Л. Н. Механизм и термодинамические условия магматогенного рудообразования. — Геол. рудн. месторожд., 1967, № 5.

Овчинников Л. Н., Григорян С. В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. — СГПМ, II сессия, Иркутск, 1970.

Павлов А. Л. Термодинамические особенности поведения серебра и сопутствующих элементов при рудообразовании в зоне разгрузки рудообразующих гидротермальных систем. — В сб. «Физич. и физ. химич. процессы в динамических рудообразующих системах». Новосибирск, «Наука», 1971.

Павлов А. Л. Тиосульфидные и гидросульфидные комплексы как возможная форма переноса металлов и серы в гидротермальных системах. — В сб. «Физич. и физ.-химич. моделирование магмат. и рудообр. систем». Новосибирск, «Наука», 1973а.

Павлов А. Л. Термодинамический анализ одной из генетических моделей колчеданных месторождений. — В сб. «Физич. и физ.-химич. моделирование магматич. и рудообр. систем». Новосибирск, «Наука», 1973б.

Павлов А. Л., Карпов Г. А. Физико-химические особенности современного рудообразования в кальдере Узон (Камчатка). — Докл. АН СССР, 1972, т. 206, № 3.

ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕНД-АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИИ НА ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Строение геохимических ореолов золоторудных тел нередко бывает сложным. Особенно это относится к близповерхностным месторождениям, расположенным среди вулканитов (Воларович, Казаринов, 1968). Характер изменения содержаний главных ореолообразующих элементов вкрест рудолокализирующих структур здесь особенно сложен. Причина этого заключается в том, что ореолы многих элементов сформировались при сочетании процессов накопления и выноса (Вельдяксов и др., 1971). Мощность полей собственно околорудных изменений на близповерхностных месторождениях необычно мала. Содержание основного элемента — золота в околотрещинных, близких по времени формирования к оруденению метасоматитах, очень близко к порогу чувствительности пробирного анализа и минимальному аномальному содержанию в ореолах (Воин и др., 1974). Эффективная мощность аномалий золота очень незначительно превышает мощность рудных тел. Поэтому для выявления рудных тел и оценки их на глубину используются ореолы ряда элементов-индикаторов оруденения.

Эффективность использования литохимического метода для оценки на глубину золоторудных тел близповерхностных месторождений доказана неоднократно в применении к крутопадающим изолированным кварцевым жилам, например, В. В. Поликарпочкиным с соавторами (1965). Для пологопадающих рудных тел этот вопрос почти не изучен (Григорян, 1971). Строение ореолов таких рудных тел относительно сложно, для многих элементов они резко асимметричны. Обоснованное выявление аномалий в таких условиях требует применения относительно сложных приемов обра-

ботки исходных данных опробования. Одним из таких приемов является тренд-анализ (Воин, Полиенко, 1974).

Тренд-анализ является представителем так называемых эвристических методов и ему присущи все недостатки этого направления. Во-первых, выбор степени аппроксимирующего наблюдения полинома произволен (Дубов, Балк, 1971), так как оценка близости аппроксимации по остаточной дисперсии не базируется на многомерном законе распределения наблюдаемых параметров. Практически максимальная степень полинома не превышает пяти. Во-вторых, известно, что рассуждения о корреляции признаков корректны только при подчиненности совместного закона распределения параметров N -мерному нормальному (N — число параметров). Переход к нелинейным зависимостям, как это делается в процедуре тренд-анализа, не меняет существа дела, так как линейаризация взаимосвязей не снимает требования нормальности взаимного распределения. Алгоритма же решения задачи в случае нелинейной зависимости, не использующего принцип линейаризации, в настоящее время нет.

В принципе, процедура тренд-анализа тесно смыкается с регрессионными и корреляционными методами, рассматриваемыми в математической статистике. Однако ограничение на нормальность совместного распределения параметров входит в число требований к выборке. Для сведения выборочных распределений к нормальному закону чаще всего используют логарифмическое преобразование, которое иногда дает хороший результат, но носит чисто произвольный характер в силу необоснованности подчинения распределения элементов (в рудных телах) именно логнормальному закону, а не какому-либо другому.

Процесс рудообразования является физико-химическим процессом. Из курсов физической химии и химической кинетики известно (Эмануэль, Кнорре, 1969), что в зависимости от условий протекания реакций и вида их (простые, последовательные, параллельные, сопряженные и т. д.), закон распределения продуктов реакции в рассматриваемом объеме носит мономодельный и лево- или правоасимметричный характер. Причем, степень асимметрии и положение моды, а также ее вероятность, зависят от условий, указанных выше. Трехпараметрическое распределение Вейбулла хорошо аппроксимирует подобные наблюдения. Значит, этот вид распределения более присущ геологическим объектам, чем логнормальный.

Впервые распределение Вейбулла для аппроксимации выборочных геологических данных применили А. А. Шиманский и А. Г. Базанов (1966). Все исследователи, применявшие его в геологии, отмечают хорошую согласованность наблюдений с данным законом, что не удивительно в свете вышесказанного. Действительно, известно, что распределение содержания железа (на железорудных месторождениях), как правило, левоасимметрично, распределение содержания золота (на золоторудных объектах), как правило, правоасимметрично и т. д. Законом Вейбулла можно аппроксимировать и те и другие распределения, что свидетельствует о его универсальности.

Нами разработан алгоритм преобразования распределения Вейбулла в Гауссово распределение (Воин, Полиенко, 1974), который в одномерном виде заключается в следующем.

1. Интегральный закон распределения Вейбулла:

$$P(X \leq x) = 1 - \exp \left\{ - \frac{(x - x_u)^m}{x_0} \right\}$$

Здесь: m — параметр формы распределения,

x_0 — средняя степенная (степени m) распределения,

x_u — положение точки начала отсчета.

В геологии часто принято назначать $x_u = 0$, тогда:

$$P(X \leq x) = 1 - \exp \left\{ - \frac{x^m}{x_0} \right\}$$

2. Степень преобразования переменной вычисляется, как

$$\rho = 0,3069 \cdot m$$

3. Само преобразование имеет вид:

$$z_i = x_i^\rho.$$

4. Распределение z_i приближенно нормально, так как $A=0,089$ и $\Theta=0,334$. Несоответствие с соответствующими характеристиками нормального распределения объясняется примерно 1,5%-ным усечением, так как для распределения Вейбулла $0 \leq x \leq +\infty$, а для нормального распределения $-\infty \leq z \leq +\infty$. Однако, учитывая приближенность определения параметров по выборочным данным, этим обстоятельством можно пренебречь. Более того, при учете усечения, $A=0,000$ и $\Theta=0,000$ (Воин, Полиенко, 1974).

В случае большей мерности пространства признаков сведение к многомерному нормальному закону достигается путем нормирования и центрирования признаков, т. е.

$$y_i = \frac{z_i - M(z)}{\sigma_z}$$

Данный алгоритм снижает ограничения, присущие тренд-анализу, хотя и не избегает всех трудностей, связанных с нелинейным регрессионным анализом. Мы не встречали случаев значимого отклонения совместного распределения содержаний N металлов в полиметаллических месторождениях от нормального закона распределения при использовании описанного преобразования.

Авторы применили тренд-анализ для выявления геохимических аномалий на золоторудном поле. Здесь разведывалась одна рудоносная зона с очень пологим падением, расположенная в липаритах субвулканического тела (Вельдяков и др., 1967). Золото-серебряное оруденение распределено в этой рудоносной зоне неравномерно, в виде бананов, группирующихся в рудные столбы. В последних значительно повышено содержание не только золота и серебра, но и большой группы рудообразующих элементов-спутников: мышьяка, сурьмы, меди, свинца, цинка и других. Эндеогенные литохимические ореолы вокруг разведывавшейся Главной рудоносной зоны имеют сложное строение и нередко значительно асимметричны. Уже в первых десятках метров по оси рудоносной зоны от краев рудных столбов содержания всех основных рудообразующих элементов не превышают фоновых.

В отличие от построения изолиний содержаний элементов путем линейной интерпретации, использование поверхностей тренда позволяет производить некоторую экстраполяцию за область опробования. Именно это свойство тренда определило те геологические задачи, для решения которых тренд-анализ был использован нами. В условиях пологого падения известной рудоносной зоны и очень слабого вскрытия скважинами рудовмещающей толщи со стороны лежащего бока построение поверхностей тренда было использовано для решения двух задач: 1) установления расположения рудных столбов в Главной рудоносной зоне в стороне от опробованных скважин и расщелок, 2) выявления аномалий, отвечающих предполагаемым новым рудоносным зонам ниже известной по разрезу рудовмещающей толщи.

Для построения поверхностей тренда содержаний золота

ЮЗ

скв. 33

скв. 71

В горизонт

Г горизонт

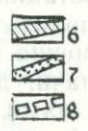
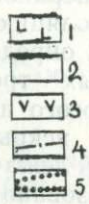


Рис. 1 Схематизированный поперечный геологический разрез через Главную рудоносную зону (составил М. И. Воин, 1971)

1—палеогеновые дайки андезитов и базальтов; 2—верхнемеловые липариты; 3—нижнемеловые андезиты; 4—тектонические нарушения; 5—Главная рудоносная зона; 6—относительно богатые части рудных тел; 7—бедные части рудных тел; 8—рудоносная зона, предполагаемая по данным тренд-анализа.

были использованы данные пунктирно-бороздowego опробования двух скважин колонкового бурения и двух расщечек на третьем горизонте (рис. 1). Литохимические ореолы по этим данным были оконтурены нами ранее. Помимо интервалов с повышенным содержанием золота, относящихся к Главной рудоносной зоне, были выявлены два интервала и вне ее: в призабойной части скв. 33 и более чем на 20 м ниже Главной зоны — в скв. 71. Проведенное одним из авторов детальное подземное картирование в масштабе 1 : 200—1 : 500 позволило уточнить представления о пространственном положении интервалов с повышенной золотоносностью в Главной рудоносной зоне и вблизи нее.

Используя данные о расположении локальных рудоконтролирующих структур, стало возможным дать два варианта увязки расположения указанных интервалов с повышенным содержанием золота: 1) интервалы вне Главной зоны относятся к пологопадающим рудоконтролирующим структурам, т. е. к рудоносным образованиям, или 2) эти интервалы относятся к узким крутопадающим нарушениям с гипергенной золотоносностью, не имеющей существенного значения.

Тренд-анализ был использован для решения вопроса о том, какой из этих вариантов является более вероятным. Для установления тренда всю опробованную площадь поперечного сечения через участок на основании материалов детального геолого-геохимического изучения разделили на три части: собственно Главную рудоносную зону, часть толщи выше ее по разрезу и часть, расположенную ниже зоны по разрезу (рис. 2). Соответственно поверхности тренда рассчитаны для трех совокупностей проб, отвечающих трем частям рудовмещающего пространства. Для поставленных задач важны сведения лишь по двум из них: рудной и расположенной ниже ее по разрезу, т. е. условно подрудной.

Установление тренда концентраций только одного золота нельзя считать достаточным для решения поставленных задач. Содержание золота в отдельных пробах в пределах рассматриваемого сечения различаются более чем на 5 порядков. Универсального метода определения содержания золота в пределах такого размаха пока не разработано. Поэтому содержания золота вынужденно определялись двумя методами: сначала — полуколичественным химико-спектральным анализом без десорбции мешающих элементов с активированного угля, а затем в обогащенных пробах — пробирным анализом. Аналитическая же составляющая дисперсии ука-

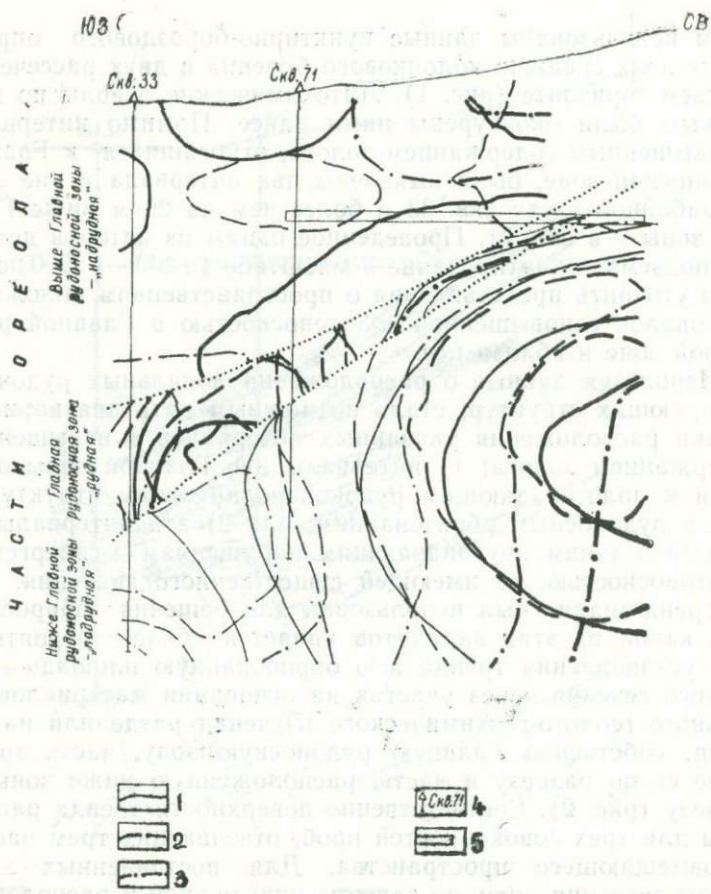


Рис. 2. Поверхности тренда (регрессионные поверхности) содержания золота, серебра и мышьяка в поперечном сечении через Главную рудомосную зону (составил М. И. Воин при участии А. П. Гриценко, 1972)

Изолинии содержания: 1—золота; 2—серебра; 3—мышьяка; 4—5—опробованные скважины (4) и горные выработки (5).

занной разновидности химико-спектрального анализа велика (Воин, Горелышев, 1974), что не может не сказаться на достоверности устанавливавшегося тренда концентраций. Чтобы сгладить влияние неполной сходимости различных анализов на золото, установлены поверхности тренда для еще двух основных рудообразующих элементов — серебра и мышьяка.

Как видно из полученных поверхностей тренда концентраций (см. рис. 2), внутри Главной рудоносной зоны намечены два максимума концентрации золота и серебра. Места их расположения вполне согласуются с результатами разведки зоны. Форма и размеры интервалов с максимальными трендовыми концентрациями этих элементов четко совпадают с положением рудных столбов.

В условно подрудной части ореола у всех трех элементов очень четко проявлена тенденция устойчивого нарастания содержаний по мере удаления от Главной рудоносной зоны. Вектор максимальной изменчивости направлен у золота и серебра почти по горизонтали, у мышьяка — с небольшим наклоном вниз. Эти данные можно было проинтерпретировать как указание на возможность существования проявлений золото-серебряной минерализации ниже Главной рудоносной зоны в первых десятках метров от ее оси по нормали. Судя по высокой устойчивости тенденции, предполагавшееся по данным тренд-анализа проявление минерализации могло иметь практическое значение.

Основные результаты проверки рекомендаций, данных с учетом тренд-анализа, изложены в тезисах (Воин, Полиенко, 1974). Приведем дополнительные данные лишь по результатам проверки сведений о наличии и степени продуктивности новой рудоносной зоны, которая была намечена в условно подрудной части ореола.

Эту рудоносную зону вскрыла скв. 123, пройденная на 60 м короче, чем предлагалось. В 12—17 м от забоя скважиной пересечено тело адуляр-гидрослюдистых кварцев, т. е. околорудно измененных пород, с невысоким содержанием золота. В нижней части интервала состав метасоматитов уже типичен для рудоносных зон (адуляр-кварцевые), в них встречена вкрапленность пирита и арсенопирита и повышенное содержание золота. Околорудно измененные породы с вкрапленностью галенита и арсенопирита продолжают на 3 м глубже, а пиритизированные — до забоя скважины. В тех же образованиях в Главной рудоносной зоне в нескольких десятках метров выше места выклинивания известного рудного столба содержание золота по результатам того же химико-спектрального анализа находится в тех же пределах. Таким образом, по составу минерализованных пород и уровню золотоносности обнаруженный с помощью тренд-анализа интервал вполне соответствует новой рудоносной зоне в бедной ее части. При проведении в дальнейшем разве-

дочных работ на 5 горизонте рассечка № 602 была остановлена в 20—30 м от предполагаемой оси новой зоны. В призабойной части этой рассечки устойчиво возросли содержания мышьяка и марганца, появился ниобий, что вполне соответствует обычным на месторождении составу и эффективной мощности ореолов рудоносных зон.

Близкие результаты получаются и при сопоставлении средневзвешенных содержаний ряда других элементов-индикаторов оруденения в интервалах, выявленных с помощью тренд-анализа, с эталонными интервалами Главной рудоносной зоны (табл. 1). За эталонные приняты интервалы, расположенные в максимально сходной геологической обстановке, с таким же составом руды, находящиеся не далее первых десятков метров от прогнозируемых.

Таблица 1

Отношения средневзвешенных содержаний элементов-спутников в прогнозируемых интервалах рудоносных зон к эталонным

Минерализация	Ag	Pb	Zn	Cu	Sb	As	W	Co
Интенсивная	1,8	7,7	1,8	8,4	21,1	7,0		
Бедная	0,1	1,1	1,7	1,7			0,3	1,0

Как видно из табл. 1, по элементам-спутникам прогнозируемая зона намечается не менее четко, чем по основному элементу, а интервал с интенсивной золотоносностью — даже более контрастно по подавляющему большинству рудообразующих элементов.

Первую попытку использования тренд-анализа на месторождениях со сложным строением рудоносных зон и их эндогенных литохимических ореолов можно считать удачной. Применение этого анализа, позволяющего получать с помощью регрессий закономерную и случайную составляющую изменчивости, в принципе перспективно для выявления геохимических аномалий на золоторудных месторождениях со сложным строением.

Однако необходим тщательный анализ результатов при их интерпретации. В рассмотренном конкретном случае, например, использование традиционного алгоритма тренд-анализа и описанной процедуры (табл. 2, 3) показало незначи-

Таблица 2

Характеристики одномерных законов распределения элементов
и их статистическая взаимосвязь

Статистические характеристики распределения	Au	Ag	As	ln Au	ln Ag	ln As	Z_{Au}	Z_{Ag}	Z_{As}
$M(z)$	3,54	149,77	254,09	-2,48	0,64	4,79	0,74	1,12	2,42
$S(z)$	13,77	589,69	313,32	2,22	2,36	1,69	0,31	0,38	0,66
$A(z)$	4,21	4,29	3,85	1,45	1,85	-1,79	0,09	0,15	0,49
$\mathcal{E}(z)$	16,66	17,59	18,57	2,19	2,76	3,02	0,07	0,14	-0,86
$V(z)$	3,91	3,96	1,24	0,90	3,70	0,36	0,42	0,34	0,27

Таблица 3

Матрицы парных (числитель) и частных (знаменатель)
коэффициентов корреляции между элементами

Элементы	Au	Ag	As	ln Au	ln Ag	ln As	Z_{Au}	Z_{Ag}	Z_{As}
Au	1	$\frac{0,994}{0,933}$	$\frac{0,042}{-0,018}$						
Ag		1	$\frac{0,058}{-0,050}$						
As			1						
ln Au				1	$\frac{0,860}{0,556}$	$\frac{0,275}{-0,178}$			
ln Ag					1	$\frac{0,266}{0,136}$			
ln As						1			
Z_{Au}							1	$\frac{0,911}{0,577}$	$\frac{0,233}{-0,178}$
Z_{Ag}								1	$\frac{0,248}{0,133}$
Z_{As}									1

мое различие результатов, но значимое различие в интерпретации. Корреляция признаков между натуральными содержаниями, логарифмами содержаний и степенными значениями тех же величин заставляет по-другому оценивать и связи между элементами. В табл. 3 в числителе показаны парные, а в знаменателе — частные коэффициенты корреляции между содержаниями элементов-индикаторов оруденения. Видно большое различие величин этих коэффициентов во многих случаях, хотя в частном конкретном примере для целей выявления аномалий и прогнозирования оруденения эти различия не имеют большого значения.

Применение изложенной в статье процедуры алгоритма преобразования распределения Вейбулла в Гауссово распределение позволяет установить обоснованный доверительный интервал прогноза, что очень важно при оценке оруденения на глубину на золоторудных месторождениях со сложным характером распределения полезных компонентов. Хорошее подтверждение расположения геохимических аномалий, выявленных с помощью тренд-анализа, проверочными разведочными работами позволяет считать тренд-анализ удобным и достаточно надежным инструментом обработки данных о содержаниях полезных компонентов при оценке и прогнозировании на глубину оруденения со сложным распределением полезного компонента: золота, ртути и других.

ЛИТЕРАТУРА

Вельдяков Ф. Ф., Рябов А. В. и др. Новый тип эпитермального золото-серебряного месторождения. — В кн. «Рудоносность вулканогенных образований Северо-Востока и Дальнего Востока». Магадан, 1967.

Вельдяков Ф. Ф., Воин М. И., Найборodin В. И. К возможности использования геохимических ореолов для поисков и оценки близповерхностных золото-серебряных месторождений. — В сб. «Основные проблемы металлогении Тихоокеанского рудного пояса». Владивосток, 1971.

Воин М. И., Горельшев А. В. О сходимости результатов различных анализов на золото околорудно измененных вулканических пород кислого состава. — В сб. «Геохимия золота» (тезисы докладов симпозиума). Владивосток, 1974.

Воин М. И., Полюенко В. В. Возможности применения тренд-анализа для выявления геохимических аномалий на золоторудных полях. — В сб. «Теоретические аспекты миграции элементов-индикаторов рудных месторождений...», ч. I, Ереван, 1974.

— Воин М. И., Михайлов М. С., Никольский В. И. Особенности накопления золота при гидротермальном метаморфизме вулканогенных пород, вмещающих золоторудные поля. — В сб. «Геохимия золота», Владивосток, 1974.

Воларович Г. П., Казаринов А. И. Сравнительная характеристика близповерхностных месторождений золота (Востока СССР), связанных с вулканогенными породами. — Труды ЦНИГРИ, вып. 79, 1968.

Григорян С. В. Первичные геохимические ореолы гидротермальных месторождений, методы их изучения и практическое использование. Автореф. докт. дисс. М., 1971.

Дубов Р. И., Балк П. И. Построение оптимальных поверхностей тренда концентраций для прогноза месторождений. — В сб. «Основы научного прогноза месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых». Л., 1971.

Поликарпочкин В. В., Китаев Н. А., Саранулова В. Н. Строение и вертикальная зональность первичных ореолов рассеяния Балейского золоторудного поля. — Геохимия, 1965, № 8.

Шиманский А. А., Базанов А. Г. О возможности использования распределения Вейбулла при решении геохимических задач. — В сб. «Математические методы геохимических исследований». М., «Наука», 1966.

Эмануэль М. М., Кнорре Д. Г. Курс химической кинетики. М., «Высшая школа», 1969.

РАСЧЕТЫ И МЕТОДЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ ПО ЦЕНТРАМ ТЯЖЕСТИ ПРОДУКТИВНОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ

Геохимическая зональность рудных тел имеет важное теоретическое и практическое значение. Использование закономерностей вертикальной геохимической зональности позволило вплотную подойти к решению задачи поисков скрытых рудных тел, что и привело к выявлению нескольких десятков объектов такого рода в ряде районов СССР.

В настоящее время существует несколько методов расчетов геохимической зональности рудных тел. Из них следует остановиться на методиках С. В. Григоряна и А. П. Соловова.

Наиболее широко известна методика, предложенная С. В. Григоряном (Овчинников, Григорян, 1970; Григорян, 1971), с использованием коэффициента контрастности зональности, который подсчитывается для каждого элемента и представляет собой отношение содержания данного элемента в ореоле на верхнем и нижнем сечениях исследуемого разреза. Элементы в ряду располагаются по убыванию величины коэффициента контрастности, где слева направо происходит смена индикаторов надрудных сечений подрудными.

Дополнительно используется показатель зональности элемента, представляющий отношение продуктивности ореола данного элемента к сумме продуктивностей ореолов всех элементов-индикаторов данного типа оруденения. Показатель зональности количественно отражает относительное накопление элемента на различных сечениях исследованного разреза. Место элемента в ряду зональности определяется уровнем максимального накопления. При установлении на одном горизонте максимумов показателя зональности двух

и более элементов их положение в ряду зональности определяется величинами градиентов этого показателя. Расчеты по этой методике ведутся на ЭВМ или вручную сразу для всех элементов ряда. Добавление или исключение какого-либо элемента требует повторного проведения всех расчетов.

Другой применяемый в настоящее время метод расчета зональности, предложенный А. П. Солововым и А. В. Гариным (Соловов и др., 1972), осуществляется на ЭВМ. ЭВМ выдает матрицу «Центры тяжести отношения элементов (в метрике уровней)», численные значения которых позволяют приближенно оценить последовательность отложения элементов в ряду геохимической зональности.

Основным содержанием программы 062-МГУ является рассмотрение всех возможных отношений между содержаниями или продуктивностями элементов от первого до четвертого порядка с выдачей на печать геохимических показателей, монотонно изменяющихся с глубиной. Закончив анализ монотонных геохимических показателей первого порядка, ЭВМ проводит в той же последовательности рассмотрение всех возможных показателей второго порядка (отношение произведений содержаний двух элементов в числителе к двум же — в знаменателе). При обнаружении 30—40 монотонных геохимических показателей первых-вторых порядков рассмотрение показателей более высоких порядков не производится.

Например, при исследовании отношений между семью элементами при таком переборе всех возможных сочетаний количество геохимических показателей первого порядка составляет 21, второго порядка — 210, третьего порядка — 1260. Очевидно, что перебор всех возможных отношений между элементами практически невыполним без применения ЭВМ.

При использовании этой программы накладывается жесткое ограничение в смысле требований монотонности. С другой стороны, ЭВМ иногда выдает излишне большое количество индикаторных отношений. Например, по одной из рудных залежей месторождения, рассматриваемого ниже, ЭВМ после перебора 2211 отношений содержаний первого и второго порядков для двенадцати элементов выдала 495 монотонных геохимических показателей. По второму рудному телу на том же месторождении по той же программе не было установлено монотонных геохимических показателей.

В связи с этими трудностями в имеющихся методиках нами была предложена новая методика расчета геохимической зональности рудных тел. В ее основу положено распре-

деление продуктивности элементов на каждом горизонте опробования и подсчет продуктивности (запаса) на весь разведанный интервал по падению рудоносной зоны. При этом запас элемента и положение его центра тяжести оценивается отдельно для каждого элемента. При рассмотрении вертикального разреза, разведанного буровыми скважинами, сопоставляются линейные продуктивности ореолов, выраженные в метропроцентах или нормированные в единицах, кратных геохимическому фону (метрогеофоны).

При сопоставлении данных опробования нескольких горизонтов подземных горизонтальных выработок, особенно при разведке крутопадающих рудных тел трубчатой формы, наиболее рационально использование не линейных, а площадных продуктивностей.

Для расчета геохимического ряда по каждому элементу строятся графики изменения продуктивностей с глубиной. При этом масштаб глубин и продуктивностей должен быть линейным, что позволяет графически определять площадь фигуры, ограниченной с левой стороны осью глубин, а с правой — кривой продуктивностей (см. рис. 1). Площадь этой фигуры представляет собою относительный запас элемента в пределах изученного интервала глубин по данному разрезу. Горизонтальная линия, разделяющая эту фигуру на две равновеликие площади, дает отметку центра тяжести запасов данного элемента.

По графикам изменения продуктивностей с глубиной для каждого элемента определяется:

- а) протяженность ореола по вертикали;
- б) контрастность изменения продуктивности по падению рудной зоны;
- в) отметка глубины центра тяжести запасов данного элемента; при наличии двух или более максимумов продуктивности получается отметка центра тяжести в метрах (или глубина от поверхности) для каждого максимума и соответствующий ему процент запасов;
- г) последовательность элементов в геохимическом ряду зональности по сопоставлению их центра тяжести;
- д) выявление устойчивых и неустойчивых элементов ряда (при наличии шести и более горизонтов опробования). С этой целью положение центров тяжести запасов элементов определяется отдельно по четным и нечетным горизонтам опробования, и полученные при этом результаты сопоставляются.

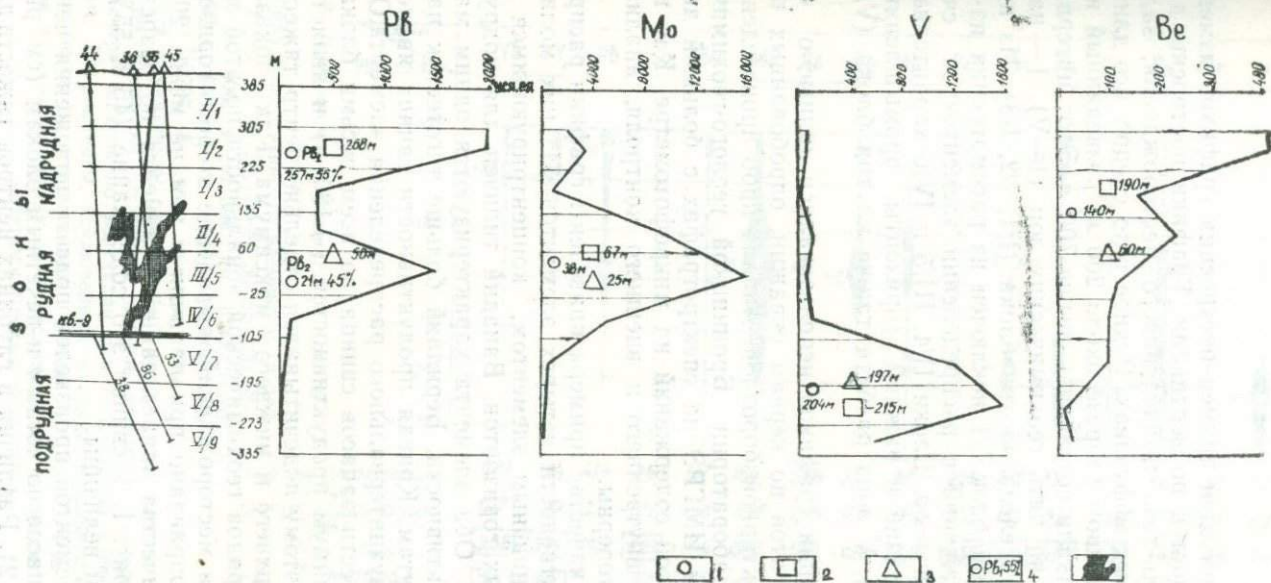


Рис. 1. Изменение продуктивностей элементов в первичных ореолах с глубиной

Центры тяжести запасов элементов при подсчете по
 1—восьми блокам; 2—четырем четным блокам; 3—четырем нечетным блокам; 4—процент запасов, приуроченных к данному горизонту отложения; 5—рудное тело

На рис. 1 приведен пример построения графиков изменения продуктивностей по вертикали. Графики построены для ореолов рудного тела молибденового месторождения, залегающего в кислых эффузивах. Рудное тело слепое; его длина по падению в данном разрезе около 200 м; разведанный интервал по вертикали составляет свыше 700 м. Этот интервал разделен нами на пять геохимических зон (I—V). I — надрудная зона, разделена на три блока (I/1, I/2, I/3). Из них приповерхностный блок I/1 исключен из рассмотрения из-за возможных искажений в распределении элементов за счет процессов гипергенеза. Блоки II/4, III/5 и IV/6 характеризуют верхний, средний и нижний горизонты промышленных руд. Подрудная, V зона разбита также на три блока (V/7, V/8, V/9).

При построении графиков использовались данные о содержании элементов по кернам скважин, опробованных пятиметровой пунктирной бороздой. Анализ проб произведен в спектральной лаборатории Бронницкой геолого-геохимической экспедиции ИМГРЭ на спектрографах с большой дисперсией и оценкой содержаний на микрофотометре. Как показали данные внутреннего и внешнего контроля, анализы надежны и достоверны.

На рис. 1 в качестве примера приведены графики распределения продуктивности четырех элементов. Из них молибден является типичным элементом, концентрирующимся в пределах рудных горизонтов. Ванадий типичен для подрудных горизонтов. Оба элемента характеризуются одним максимумом продуктивности. Бериллий больше тяготеет к надрудным горизонтам. Кривая продуктивности свинца является примером двухинтервального распределения элемента. Общий центр тяжести запасов свинца по всем восьми блокам попадает в минимум продуктивностей (+180 м) и является фиктивным. Поэтому подсчитывался отдельно центр тяжести запасов для верхнего и нижнего максимума. Как показал опыт подсчета рядов геохимической зональности по этой методике для ряда месторождений, выделение второго горизонта отложения оправдано при наличии в нем не менее 20% от общего количества запаса данного элемента по разрезу. Как видно из рис. 1, у свинца это содержание (45 и 55%) выше названной величины.

Для всех элементов произведен подсчет положения центров тяжести запасов по четным и нечетным блокам (см. рис. 1 и ДН на рис. 2). Различия в глубинах центров тяжести для

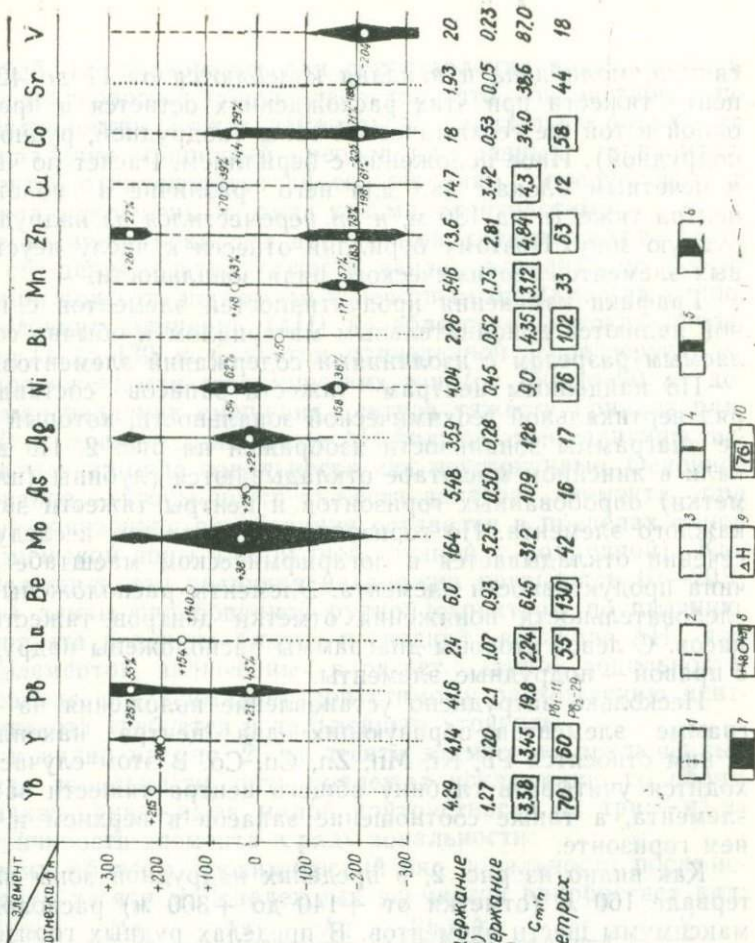


Рис. 2. Диаграмма геохимической зональности

Величина продуктивности элементов (в усл. ед.): 1—от 10 до 30; 2—от 30 до 100; 3—от 100 до 300; 4—от 300 до 1000; 5—от 1000 до 3000; 6—от 3000 до 10000; 7—от 10000 до 30000; 8—центр запасов данного элемента с указанием отметки (м) и процента запасов для данного интервала отложения от общих запасов элемента; 9—величина смещения (м) центра запасов по вертикали при подсчете по четным и нечетным блокам; 10—элементы, исключенные из ряда зональности из-за малой контрастности по содержаниям (меньше 5) или из-за неустойчивости центра запасов по вертикали и расхождению при подсчетах по четным и нечетным блокам более 50 м.

свинца, молибдена и ванадия колеблются от 11 до 42 м, и центр тяжести при этих расхождениях остается в пределах одной и той же геохимической зоны (надрудной, рудной или подрудной). Иное положение с бериллием. Расчет по четным и нечетным блокам дал для него различие в положении центра тяжести на 130 м, и он переместился из надрудной в рудную зону. Поэтому бериллий отнесен к числу неустойчивых элементов геохимического ряда зональности.

Графики изменения продуктивностей элементов с глубиной являются дополнительным материалом к обычно составляемым разрезам с изолиниями содержаний элементов.

По найденным центрам тяжести запасов составляется ряд вертикальной геохимической зональности, который в виде диаграммы зональности изображен на рис. 2. По вертикали в линейном масштабе откладываются глубины (или отметки) опробованных горизонтов и центры тяжести запасов каждого элемента. По горизонтали на каждом исследуемом сечении откладывается в логарифмическом масштабе величина продуктивности элемента. Элементы расположены в последовательности понижения отметки центров тяжести запасов. С левой стороны диаграммы расположены надрудные, с правой — подрудные элементы.

Несколько затруднено установление положения на диаграмме элементов, образующих два центра накопления. К ним относятся Pb, Ni, Mn, Zn, Cu, Co. В этом случае приходится учитывать глубину общего центра тяжести запасов элемента, а также соотношение запасов в верхнем и нижнем горизонте.

Как видно из рис. 2, в пределах надрудной зоны на интервале 160 м (отметки от +140 до +300 м) расположены максимумы шести элементов. В пределах рудных горизонтов от —50 м до +100 м расположены центры тяжести запасов девяти элементов. Интервал 90 м (от —120 до —210 м) характеризуется положением центров тяжести семи элементов. Как видно, надрудная, рудная и подрудная зоны пространственно четко обособляются по вертикали. По центрам тяжести отчетливо видно, что бериллий—последний элемент из группы надрудных, молибденом и висмутом ограничены средние элементы ряда, а от марганца вправо расположены подрудные элементы.

В нижней части диаграммы зональности приведены данные средних содержаний элементов по блокам. Выбраны максимальное и минимальное значения и их отношения меж-

ду собой. Использование для сопоставления содержаний, а не продуктивностей обусловлено тем, что контрастность по продуктивностям может изменяться значительно больше за счет различия мощностей ореолов на разных горизонтах. Элементы, отличающиеся по содержаниям меньше, чем в пять раз, исключены из ряда как малоконтрастные.

Последняя строка под диаграммой характеризует величину смещения центра тяжести запаса элемента по вертикали при подсчете по четным и нечетным блокам. Как видно, эта величина смещения (ΔH) колеблется в широких пределах от 11 до 130 м. С учетом приведенной выше вертикальной протяженности геохимических зон (от 160 до 90 м) допустимая величина смещения центров тяжести принята равной 50 м. Элементы, имеющие ΔH больше этой величины, исключаются из ряда зональности как неустойчивые. Основное требование, — чтобы центр тяжести запасов элемента при разных горизонтах опробования оставался в пределах одной геохимической зоны (надрудной, рудной и подрудной). Как показал опыт, эта величина не должна превышать 10—20% полной длины опробованной рудной структуры по падению. Обычно эта величина близка к средней величине ΔH для всех элементов, включенных в расчет данной зональности. Требование к максимально допустимому расхождению центров тяжести требуется в дальнейшем уточнить.

Как видно на рис. 2, из десяти элементов, исключенных из ряда зональности, пять подлежат исключению по обоим признакам, два — из-за малой контрастности и три — из-за неустойчивости элемента в ряду зональности.

Таким образом, геохимический ряд зональности после исключения десяти малонадежных элементов приобретает вид:

Pb ₁ 55%	Mo	As	Ag	Pb ₂ 45%	Sr	V
+257	+38	+29	+22	+21	-188	-204

Для свинца в числителе указан процент его запасов на данном интервале отложения; в знаменателе дана отметка центра тяжести запасов данного элемента. Как видно по этим отметкам, «чистка» ряда привела к тому, что в группе надрудных элементов остался один свинец, и то только 55% его запасов, а из подрудных — только стронций и ванадий.

Применение авторами на ряде объектов предлагаемой методики расчета рядов зональности позволяет сформулировать требования к элементам, которые следует использовать при расчете индикаторных отношений. Элементы-индикаторы должны быть:

1) наиболее удаленными в ряду зональности, что совпадает с ранее сделанным выводом С. В. Григоряна (средние элементы ряда, в том числе и рудный элемент, к использованию не рекомендуются);

2) определены с достаточной чувствительностью;

3) достаточно контрастны (средние содержания на разных горизонтах должны меняться не менее, чем в пять раз);

4) устойчивы в ряду геохимической зональности (положение центра тяжести должно оставаться в одной геохимической зоне, независимо от горизонтов опробования);

5) приурочены к одному горизонту ореолообразования.

При недостаточном количестве элементов в геохимическом ряду и наличии нескольких элементов с двумя горизонтами накопления необходим подсчет индикаторных отношений с использованием этих элементов и оценки их пригодности. Выполнение указанных требований позволяет резко сократить количество индикаторных элементов и их отношений, выбрав наиболее эффективные и контрастные.

Сопоставление методик определения геохимической зональности С. В. Григоряна, А. П. Соловова и авторов настоящей статьи проведено на рудной залежи III этого же месторождения. Крутопадающая рудная залежь обрабатывалась карьером и опробовалась на пяти горизонтах бороздовыми пробами на полную мощность. Полученные данные сведены в табл. 1, где указаны порядковые номера элементов в геохимическом ряду сверху вниз.

Положение ванадия и мышьяка, не совпадающее при сравнении результатов трех методик, по двум методикам совпадает удовлетворительно. Только кобальт дает резко отличающиеся результаты по всем трем методикам.

Наиболее контрастным и монотонным отношением первого порядка оказалось серебряно-стронциевое с изменением от 501 до 1, а второго порядка — $\text{Ag} \cdot \text{Zn} : \text{Co} \cdot \text{Sr}$, состоящее также из крайних элементов ряда, которое меняется по падению в 3500 раз.

Проверка возможностей использования индикаторных отношений для оценки отметки опробованного горизонта сделана для одного из средних горизонтов, данные по которому не использовались при расчете рядов геохимической зональности. Расчет по нескольким отношениям второго порядка дал колебания ± 10 м по сравнению с истинной отметкой, что следует признать для целей практики удовлетворительным совпадением.

Сравнение геохимических рядов, полученных по одним исходным данным тремя различными методиками

Методика	Ag	Zn	Bi	V	Pb	Cu	As	Ni	Mo	Sr	Co
С. В. Григоряна	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
А. П. Соловова	1	2	3—4	7—8	5	6	7—8	9—10	9—10	11	3—4
Авторов	1—2	1—2	5	7	3	6	4	10	11	12	8
Степень сходства положения элементов *	+	+	+	—	+	+	—	+	+	+	—

* Знаком плюс обозначены элементы, различие между номерами которых по всем методикам не превышает 2, и знаком минус — элементы, положение которых в ряду расходится больше, чем на три номера.

Влияние на расчеты геохимической зональности полноты опробования разреза по падению рудной зоны проверено на залежи V этого же месторождения.

Эта рудная залежь имеет вертикальную протяженность по падению 140 м. Она опробована на десяти эксплуатационных горизонтах, расположенных через 10—30 м, бороздовыми пробами длиной 0,5—1 м. Объединенные пробы пятиметровой длины проанализированы высокочувствительным спектральным анализом на широкий круг элементов. По каждому горизонту подсчитана продуктивность ореолов всех элементов и в соответствии с описанной выше методикой подсчитаны центры тяжести по десяти горизонтам, а затем через горизонт — для пяти четных и пяти нечетных горизонтов. Полученный ряд вертикальной геохимической зональности имеет вид:

Zn—Sr—Yb—Be—Ni—Y—V—Mn—Co—Pb—As—Bi—Cu—Mo—Ag

17,5 11,5 7,5 28,5 18 10,5 7 17,5 16 9,5 8 1,5 24 12 17,5

Под символом элемента указаны расхождения в метрах между центрами тяжести, подсчитанные для пяти четных и нечетных горизонтов. Среднее расхождение центров тяжести

Сопоставление геохимических рядов при использовании для расчетов зональности разного количества опробованных горизонтов

Отметки горизонтов, введенных в расчет, м	Кол-во го- ризонтов	Порядковые номера элементов в ряду (сверху вниз)							
		Sr	Yb	Y	V	Pb	As	Bi	Mo
от +138 до -2	10	1	2	3	4	5	6	7	8
138, 109, 100	3	3	8	7	6	4	5	2	1
138, 109, 100, 92, 81	5	1	2	3	5	4	6	7	8
100, 92, 81, 64, 50	5	2	3	4	1	7	5	6	8
81, 64, 50, 41, 28, -2	6	2	6	7	8	5	3	1	4
Максимальное отличие положения элемента, определенного по части разреза, от его поло- жения, определенного по всему разрезу		2	6	4	4	2	3	6	7
Степень сходства поло- жения элементов		+	-	-	-	+	+	-	-

запасов для всей совокупности из 15 элементов составляет 14 м. Эта величина, отличающаяся на ± 7 м от среднего положения центра тяжести и соответствующая 1/10 длины по падению опробованной рудной структуры, принята как характеризующая устойчивые элементы ряда. Для оставшихся восьми устойчивых элементов продлен расчет их положения в ряду зональности при исключении части опробованных горизонтов разреза.

В табл. 2 приведены характеристики рядов геохимической зональности при использовании в расчетах данных опробования всех 10 горизонтов или только части разреза.

Из таблицы видно, что всего три элемента перемещаются в ряде зональности не более, чем на три номера. Остальные смещаются на 4—7 номеров, перемещаясь из верхних в нижние элементы ряда и наоборот, что совершенно недопустимо. Из этих данных следует вывод, что геохимический ряд, вычисленный на основании данных опробования разреза, где участвует только верхняя или нижняя часть рудоносной структуры, может быть недостоверен.

Анализ предлагаемой авторами методики расчетов элементной геохимической зональности для ряда рудных объек-

тов, и сопоставление полученных данных с результатами расчетов, выполненных по другим методикам, позволяет сделать следующие выводы.

1. Определение положения элементов в ряду геохимической зональности, выполненное на одном исходном материале по методикам С. В. Григоряна, А. П. Соловова и авторов, дает близкие результаты.

2. Методика определения зональности по центрам тяжести запасов элементов позволяет оценивать положение каждого элемента в ряду зональности. При этом исключение одного или нескольких элементов из ряда не требует повторных расчетов. Кроме того, предлагаемая методика позволяет: а) при двух или более горизонтах отложения элемента устанавливать процент запаса элемента, приуроченного к каждому из горизонтов;

б) по отметкам центров тяжести уверенно устанавливать границу между верхними, средними и нижними элементами ряда.

3. Элементы, используемые в индикаторных отношениях, должны быть устойчивыми, контрастными и определяться с достаточной чувствительностью. Выполнение этих требований резко ограничивает число возможных индикаторных отношений и делает нецелесообразным перебор всех элементов ряда друг с другом.

4. При неполной разведанности рудоносной структуры по падению расчет геохимической зональности может привести к ошибочным выводам о порядке элементов в ряду. Поэтому следует стремиться к использованию по возможности более полных данных, с охватом надрудных и подрудных горизонтов.

ЛИТЕРАТУРА

Григорян С. В. Первичные геохимические ореолы гидротермальных месторождений, методы их изучения и практическое использование. Автореф. докт. дисс. М., 1971.

Овчинников Л. Н., Григорян С. В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. — В сб. «Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных тел», ч. I. Иркутск, 1970.

Соловов А. П., Гаранин А. В., Виль Л. С. Программа «062 МГУ». Исследование зональности рудных месторождений (отыскание монотонных геохимических показателей зональности). Алма-Ата, 1972.

ОПЫТ СРАВНИТЕЛЬНОЙ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛОВ МОЛИБДЕНА (юг Красноярского края)

Одной из основных задач повышения эффективности литохимической съемки является правильная оценка выявляемых вторичных ореолов рассеяния. Правильная оценка их обычно производится по размерам и максимальным значениям содержаний полезных элементов, но еще в 1952 г. А. П. Солововым было показано, что на этапе детальных работ более полную количественную оценку вторичных ореолов рассеяния можно получить путем подсчета количества металла по профилю (M , $м\%$).

В дальнейшем автором настоящей статьи использовалась предложенная в 1953 г. В. И. Красниковым методика количественной оценки ореолов по их продуктивности, вычисляемой по формуле: $P = S(C_0 - C_\phi)$, где P — продуктивность ореола, $м^2\%$; S — площадь ореола, $км^2$; C_0 — средневзвешенное содержание полезного элемента в ореоле, $\%$, и C_ϕ — среднее фоновое содержание элемента, $\%$ (Афанасьев, 1957, 1962).

В данной статье излагаются методика и результаты сравнительной количественной оценки вторичных ореолов рассеяния молибдена шести участков по их продуктивности, но с учетом уровня эрозионного среза (по отношениям надрудных элементов-индикаторов к подрудным).

Для вторичных ореолов рассеяния молибдена этих участков, расположенных на юге Красноярского края в однотипной геологической обстановке, но в различных ландшафтных условиях (от степного до горнотаежного), характерна небольшая мощность рыхлых отложений (обычно 1—2 м).

Ореолы были выявлены литохимической съемкой масштабов 1 : 50000 — 1 : 100000. Впоследствии на этих участках была проведена съемка по сети 100×20 м, результаты которой и использованы нами для данной оценки.

Отбор проб при детальных работах производился из-под гумусового горизонта, обычно с глубины 0,2—0,4 м. На спектральный анализ отсевалась фракция —1 мм.

Спектральный анализ выполнялся на ИСП-22 с использованием шестиступенчатого ослабителя. Сжигание осуществлялось методом испарения в кратере угольного электрода, а по двум участкам — методом просыпки и продувки. В последнем случае на автоматической спектральной установке В. Г. Теплякова (УСА-1).

Спектральный анализ по всем объектам проводился только на три элемента: медь, молибден и свинец (кроме участка № 6, где пробы анализировались только на молибден), вследствие чего они и были приняты за элементы-индикаторы.

По-разному выдавались лабораторией и результаты по-луколичественного спектрального анализа, а именно — по участкам № 1 и 3 в значениях: 0,001, 0,002, 0,003, 0,004, 0,005, 0,006, 0,007, 0,008, 0,01, 0,02% и т. д., а по остальным участкам — следы, 0,001—0,003, 0,003—0,01, 0,01—0,03, 0,03—0,1% и т. д. Это обстоятельство вынудило нас вычисление отношений надрудных элементов к подрудным произвести по средневзвешенным содержаниям, а не по их продуктивности.

Промышленным типом молибденового оруденения на юге Красноярского края является медно-молибденовая формация штокверкового типа, к которому относится известное здесь Сорское месторождение и оруденение указанных выше участков.

Для сравнительной оценки вторичных ореолов были вычислены следующие параметры.

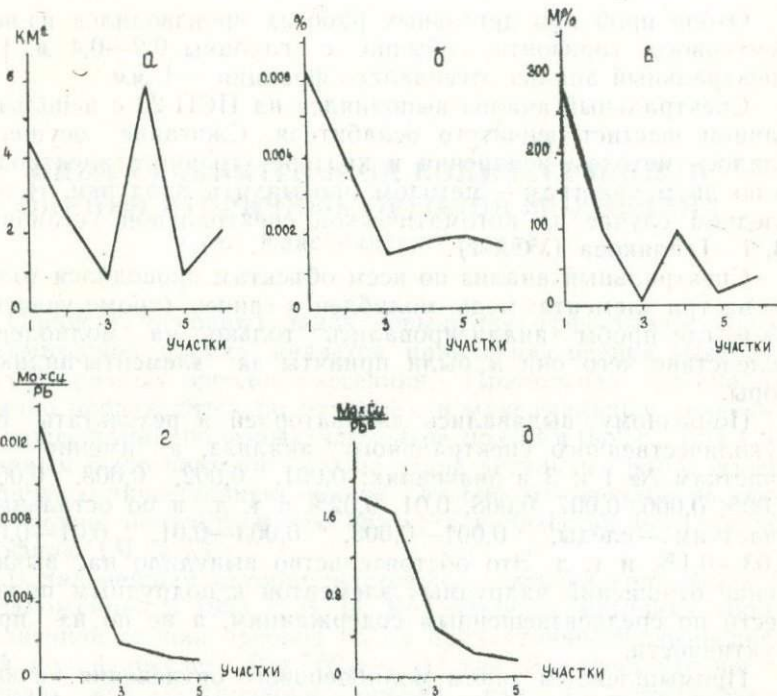
1. Площади ореолов элементов-индикаторов, км²;
2. Средневзвешенные содержания в ореолах, %;
3. Линейные продуктивности ореолов, м %.

Учитывая, что расстояние между профилями на всех участках были одинаковыми (100 м), площадные продуктивности не вычислялись.

4. Отношения средневзвешенных содержаний надрудных элементов-индикаторов к подрудному в двух вариантах:

$$\frac{\text{медь} \times \text{молибден}}{\text{свинец}} \quad \text{и} \quad \frac{\text{медь} \times \text{молибден}}{\text{свинец}^2}$$

Надрудные (медь и молибден) и подрудный (свинец) элементы приняты с учетом установленного ряда вертикаль-



Параметры вторичных ореолов рассеяния молибдена

а—площадь; б—средневзвешенные содержания Мо в ореоле; в—линейная продуктивность; г—отношение средневзвешенных содержаний надрудных элементов (Мо, Си) к подрудному (Pb); д—отношение произведения средневзвешенных содержаний надрудных элементов (Мо, Си) к квадрату подрудного (Pb^2)

ной зональности элементов-индикаторов по Сорскому месторождению, полученному автором в результате обработки данных спектрального анализа проб, отобранных из керна буровых скважин по двум разрезам, отдельно по шести стометровым горизонтам (2508 проб).

Результаты подсчета параметров по вторичным ореолам рассеяния по перечисленным выше участкам показали следующее (см. таблицу и рисунок).

Наиболее перспективными ореолами молибдена по всем вычисленным параметрам являются ореолы участков № 1 и 2, но первый, судя по значительной превышающей линейной продуктивности молибдена (в 3 раза), средневзвешенному

Площадь ореолов (S , км²), средневзвешенные содержания (C_0 , %),
 линейные продуктивности вторичных ореолов (l , м %)
 и отношения надрудных элементов к подрудному

Участки	Молибден			Медь			Свинец			$\frac{Mo \cdot Cu}{Pb}$	$\frac{Mo \cdot Cu}{Pb^2}$
	S	C	l	S	C	l	S	C	l		
№ 1	4,43	0,0064	283,89	5,19	0,0146	757,39	3,47	0,0071	244,94	0,0131	1,853
№ 2	2,39	0,0041	96,76	4,36	0,0056	242,62	0,904	0,0037	33,61	0,0062	1,677
№ 3	0,74	0,0014	1034	1,18	0,0040	47,01	0,04	0,0033	1,46	0,0017	0,514
№ 4	5,87	0,0017	99,35	5,09	0,0041	210,59	0,40	0,0057	22,84	0,0012	0,215
№ 5	0,83	0,0019	15,50	0,09	0,0029	2,73	0,004	0,0060	0,26	0,0009	0,153
№ 6	2,07	0,0016	33,90	—	—	—	—	—	—	—	—

содержанию его (в 1,5 раза) и более высокому уровню эрозионного среза, будет по масштабу оруденения значительно крупнее и богаче.

Проведенный автором (1962 г.) подсчет запасов молибдена на участке № 2 по продуктивности вторичного ореола и данным опробования горных выработок, имевшихся на части ореола, оказался близким к запасам, подсчитанным по данным разведки поверхности, и позволяет отнести этот участок к числу перспективных в промышленном отношении, что подтверждается и вновь данной оценкой.

Оруденение на участке № 1, судя по геологической ситуации, имеет незначительный срез, что подтверждается и сопоставлением карты результатов литохимической съемки масштаба 1:10000 с геологической картой. Отсутствие ореолов молибдена на ряде участков у западного контакта интрузии с вмещающей карбонатной толщей и в центральной его части, легко объясняется наличием здесь останцев кровли карбонатных пород и основной интрузии, более древней, чем оруденение.

Таким образом, оба ореола заслуживают быстреей разведки их горнобуровыми работами.

Вторичные ореолы рассеяния молибдена остальных участков вследствие низких содержаний молибдена и малых линейных продуктивностей его (кроме участка № 4), отнесены в разряд неперспективных. По участку № 6 это подтверждается подсчетом отношений $\frac{\text{медь} \times \text{молибден}}{\text{свинец}}$ в первичных ореолах по пробуренным здесь четырем скважинам. Полученные значения совпадают с характерными для самого нижнего горизонта Сорского месторождения.

Уровень эрозионного среза для участков № 3, 4 и 5, по данным отношений $\frac{\text{медь} \times \text{молибден}}{\text{свинец}}$ глубокий, что возможно, как это отмечает С. В. Григорян (1973), будет характеризовать не уровень эрозионного среза промышленного оруденения (также и для участка № 6), а зону рассеянной минерализации.

Значительная линейная продуктивность вторичного ореола молибдена по участку № 4, аналогичная продуктивности участка № 2, объясняется большей площадью рассеянной минерализации, превышающей площадь ореола участка № 2 в 2,5 раза, при меньшем во столько же раз средневзвешенном содержании молибдена.

В заключение необходимо отметить, что произведенное изучение вторичных ореолов рассеяния, несмотря на далеко неравноценный исходный материал, позволило довольно уверенно разбраковать геохимические аномалии на перспективные и бесперспективные, а также оценить сравнительный масштаб предполагаемого оруденения.

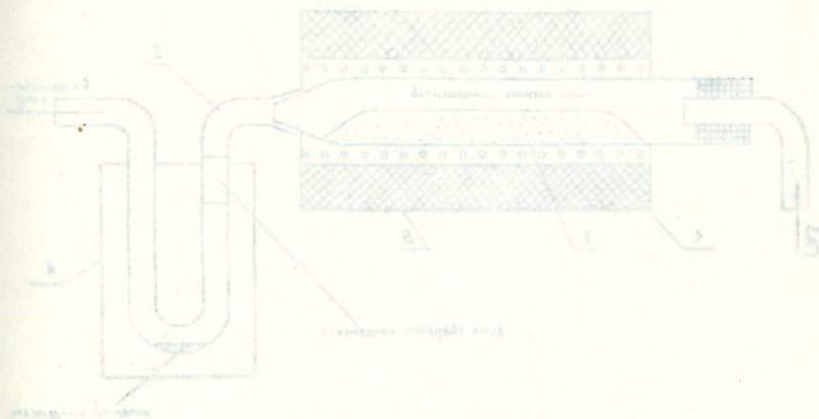
ЛИТЕРАТУРА

Афанасьев М. Н. Опыт применения металлометрии на юге Красноярского края. — В сб. «Геохимические поиски рудных месторождений в СССР», 1957.

Афанасьев М. Н. Опыт применения металлометрического метода и количественной оценки ореолов рассеяния в Кузнецком Алатау. — Бюллетень ОНТИ, ВИМС, № 1 (35), 1962.

Григорян С. В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке гидротермальных месторождений. — Советская геология, 1973, № 1.

Соловов А. П. К вопросу об оценке перспективности оруденения по результатам металлометрической съемки. — Разведка недр, 1952, № 4.



УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЛЕТУЧИХ КОМПОНЕНТОВ ГАЗОВО-ЖИДКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В МИНЕРАЛАХ

Для решения вопроса о генезисе минеральных видов необходимо изучение химического состава газовой-жидких включений в минералах — они содержат информацию о химизме минералообразующей среды. Но в большинстве случаев химико-аналитические исследования газовой-жидких включений затруднены из-за их микроскопических размеров и малых концентраций.

Летучие компоненты газовой-жидких включений в количествах, доступных для более полных химико-аналитических исследований, целесообразно выделять из проб неограниченной массы и концентрировать их в анализаторе или конденсаторе.

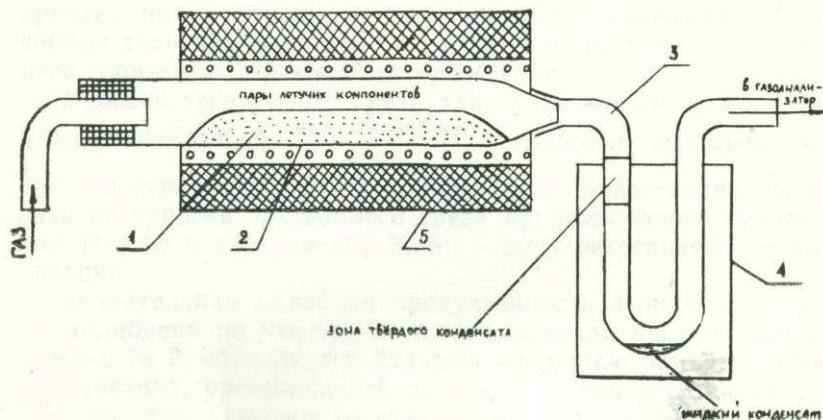


Схема устройства

С этой целью разработано устройство (рисунок) для термического экстрагирования летучих компонентов газовой-жидких включений с одновременной подачей их в накопитель или анализатор.

Слой порошка или зерен (фракция 0,1—0,25 мм) исследуемого минерала 1 помещается в реакционный канал 2 (трубка из кварцевого стекла диаметром 30,0 мм). Один конец канала соединен с источником сжатого газа (давление 20,0 мм вод. ст.); к другому его оттянутому концу на шлифе присоединен накопитель 3 (стеклянная трубка диаметром 8,0 мм), помещенный в конденсатор 4, заполненный «сухим» льдом.

Постепенное нагревание пробы осуществляется трубчатой печью сопротивления 5.

Летучие компоненты декрипитирующих газовой-жидких включений в исследуемых минералах потоком газа уносятся из реакционного канала. Жидкие и твердые летучие компоненты конденсируются в накопителе, а газообразные направляются в анализатор газа.

Для проверки работы устройства термическому экстрагированию подвергся жильный кварц Центральных Кызылкумов. В результате испытаний из килограммовой пробы кварца получен концентрат летучих компонентов газовой-жидких включений в количествах: жидкой фазы — 1,8 г, твердой фазы — 0,26 г.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ИНДИКАТОРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ОЦЕНКЕ УРОВНЯ ЭРОЗИОННОГО СРЕЗА ВТОРИЧНЫХ ЛИТОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ В ЛАНДШАФТАХ АРИДНОЙ ЗОНЫ

В связи с прогрессирующим уменьшением фонда «легкооткрываемых» (вскрытых эрозией) рудных тел и месторождений, фиксирующихся высококонтрастными остаточными вторичными ореолами рудных элементов, в настоящее время для районов с благоприятными условиями опоискования с поверхности более актуальной становится проблема обнаружения скрытых на глубине и слабоэродированных рудных залежей, наличие которых может быть установлено только при анализе уровня эрозионного среза выявленных на площади литохимических аномалий.

На основе зональности первичных геохимических ореолов различных элементов-индикаторов может быть надежно решена задача отличия надрудных пересечений от нижнерудных или подрудных. При этом в качестве наиболее информативных критериев, дающих контрастные различия по составию рудных залежей, используются парные или групповые (мультипликативные) соотношения, в числитель и знаменатель которых подбираются элементы, максимально отстоящие друг от друга в ряду осевой зональности первичных ореолов (Овчинников, Григорян, 1970).

В районах, где коренные рудовмещающие породы закрыты чехлом элювио-делювиальных образований ограниченной (1—3 м) мощности, для оценки уровня эрозионного среза первичных ореолов могут быть использованы их гипергенные аналоги — остаточные вторичные ореолы рассеяния (Овчинников и др., 1967; Досанова, Соловов, 1972; Квятковский, Крицук, 1972; Морозов, 1973). В таком случае для определения уровня эрозионного среза вторичных ореолов принято использовать те же индикаторные соотношения, информа-

тивность которых была установлена при изучении первичных ореолов. Отдельными исследователями практикуется применение таких соотношений для интерпретации вторичных ореолов даже без введения каких-либо коэффициентов, учитывающих влияние гипергенного перераспределения элементов. Последнее обосновывается высокой разрешающей способностью мультипликативных соотношений, тогда как предполагается, что суммарная величина ошибок, обусловленных гипергенным перераспределением элементов, характеризуются величинами значительно меньшего порядка.

В результате изучения связи первичных и вторичных ореолов ряда месторождений Средней Азии и Закавказья было установлено, что подобный подход при интерпретации вторичных ореолов рассеяния правомерен далеко не во всех случаях и часто величина искажений, обусловленных гипергенным перераспределением элементов, сопоставима с диапазоном изменения величин мультипликативных соотношений в разрезе первичных ореолов в интервалах до нескольких сотен метров.

Как видно из рис. 1, между первичными и вторичными ореолами большинства элементов существует довольно тесная пространственная связь — максимумы концентраций элементов в первичных и вторичных ореолах практически совпадают. Однако по уровням концентрации элементов между первичными и вторичными ореолами отмечаются существенные расхождения.

Такие же расхождения устанавливаются по величине индикаторного мультипликативного соотношения $\frac{\text{Pb} \cdot \text{Ag} \cdot \text{Ba}}{\text{Co} \cdot \text{Mo} \cdot \text{Sn}}$

(рис. 2). Как следует из графика, в разрезе первичных ореолов величина этого соотношения закономерно возрастает от нижних пересечений к верхним, фиксируя контрастную вертикальную зональность по восстанию рудного тела. На поверхности в первичных и вторичных ореолах эти соотношения резко отличаются, иногда до 1000 раз, т. е. достигают величины, сравнимой с контрастностью данного соотношения в разрезе первичных ореолов. Совершенно очевидно, что в подобном виде данное индикаторное соотношение не может быть использовано для оценки уровня эрозионного среза вторичных ореолов рассеяния, формирующихся в аналогичной ландшафтно-геохимической обстановке.

Для установления более тесной зависимости величин соотношений элементов в первичных и вторичных ореолах для

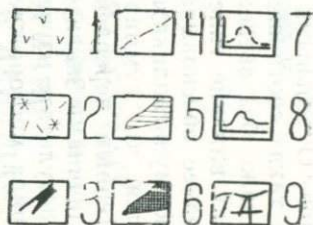
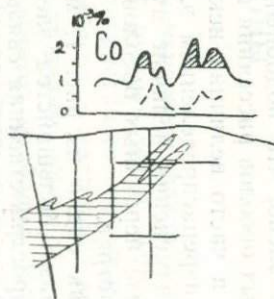
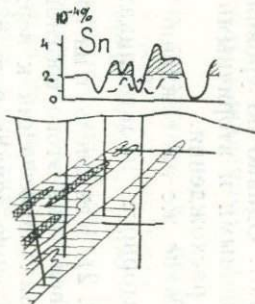
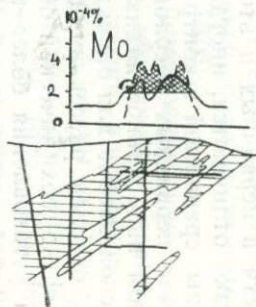
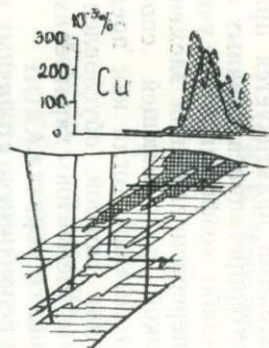
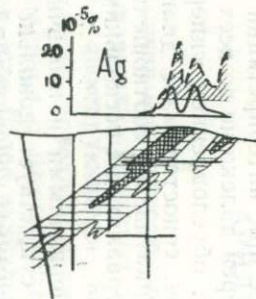
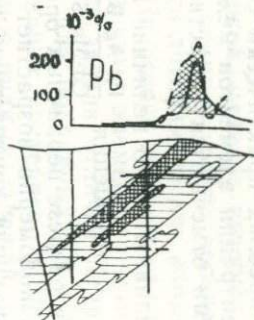
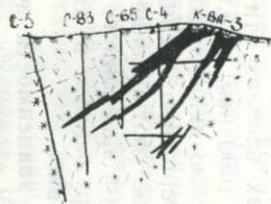


Рис. 1. Взаимоотношения первичных и вторичных ореолов в вертикальном разрезе через полиметаллическую залежь месторождения Арманис
 1—дайки диабазов; 2—рудовмещающие кварцевые метасоматиты; 3—рудные тела; 4—тектонические нарушения. Концентрация элементов в ореолах (в %): 5—свинец 0,01; серебро 0,0001; медь—0,01; молибден 0,0005; олово 0,0002; кобальт—0,0015; 6—свинец 0,1; серебро 0,0005; медь 0,1; олово 0,0005; 7—графики содержаний элементов в первичных ореолах (поверхность, канава 3); 8—то же во вторичных ореолах; 9—опробованные сечения.

последних в числитель и знаменатель требуется ввести коэффициенты пропорциональности (К), являющиеся количественным отражением зависимости между продуктивностью остаточного вторичного ореола и оруденения в коренном залежании (Соловов, 1959)

$$P_{\text{вт. ореола}} = K \cdot P_{\text{рудн. тела}}$$

Для надрудных первичных ореолов или в случае, когда количества элемента в рудном теле и окаймляющих его первичных ореолах сопоставимы между собой, коэффициент про-

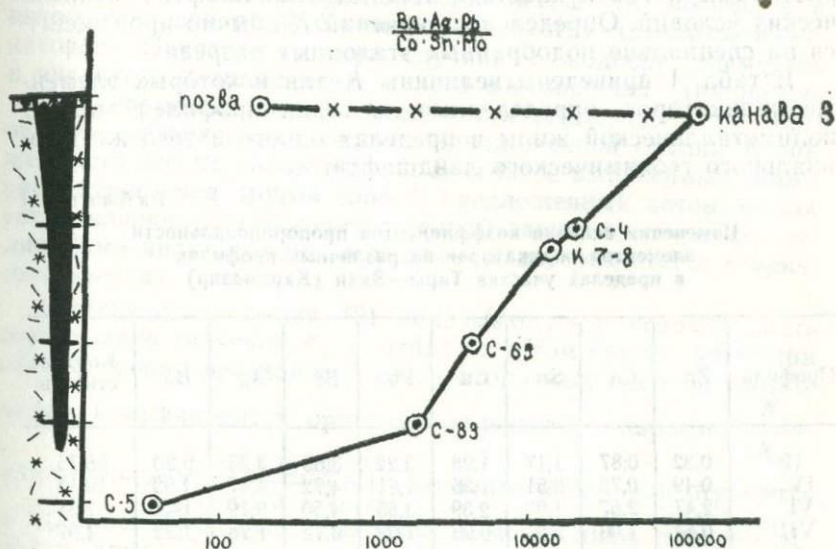


Рис. 2. График изменения величин индикаторного соотношения $\frac{\text{Ва} \cdot \text{Аг} \cdot \text{РЬ}}{\text{Со} \cdot \text{Sn} \cdot \text{Мо}}$ в вертикальном разрезе первичных ореолов и в зоне гипергенеза.

порциональности элемента отражает зависимость между его продуктивностями в первичных и вторичных ореолах:

$$P_{\text{вт. ореола}} = K \cdot P_{\text{перв. ореола}}$$

С учетом этих коэффициентов показанное ранее индикаторное соотношение при оценке уровня эрозийного среза вторичных ореолов рассеяния приобретает вид:

$$\frac{\frac{1}{K_1} \text{Ba} \times \frac{1}{K_2} \text{Ag} \times \frac{1}{K_3} \text{Pb}}{\frac{1}{K_4} \text{Co} \times \frac{1}{K_5} \text{Sn} \times \frac{1}{K_6} \text{Mo}} \quad (1)$$

или

$$\left(\frac{K_4 \times K_5 \times K_6}{K_1 \times K_2 \times K_3} \right) \times \left(\frac{\text{Ba} \times \text{Ag} \times \text{Pb}}{\text{Co} \times \text{Sn} \times \text{Mo}} \right) \quad (2)$$

где $K_{1, 2 \dots 6}$ — местные коэффициенты пропорциональности для входящих в формулу элементов. Численная величина K каждого элемента обусловлена его миграционными характеристиками и совокупностью местных ландшафтно-геохимических условий. Определение значений K обычно производится на специально подобранных эталонных разрезах.

В табл. 1 приведены величины K для некоторых элементов-индикаторов, определенные по серии профилей вкост полиметаллической жилы в пределах одного и того же элювиального геохимического ландшафта.

Таблица 1

Изменения величин коэффициентов пропорциональности элементов индикаторов на различных профилях в пределах участка Тары—Экан (Карамазар)

Профили	Zn	Co	Sn	Cu	Pb	Bi	Ag	Ba	Контрастность
II	0,32	0,87	1,17	1,98	3,22	3,65	3,25	9,20	28,75
IV	0,49	0,76	0,51	1,35	1,81	4,72	4,97	1,93	10,14
VI	2,47	2,67	1,93	2,39	3,85	4,50	9,79	14,1	7,31
VIII	0,84	1,06	2,0	0,99	1,09	3,42	1,28	1,32	4,07
Среднее	1,03	1,34	1,4	1,68	2,49	4,07	4,82	6,64	6,45

Данные таблицы показывают, что даже для остаточных вторичных ореолов с преимущественно «механическим» пере-

мещением элементов в элювиальных образованиях доля «селевого» рассеяния значительна — контрастность соотношения крайних членов ряда элементов, выстроенных по возрастанию значений K достигает 4—28 раз, т. е. вынос относительно более подвижных соединений, например, цинка или кобальта происходит более энергично (в 4—28 раз) по сравнению с малоподвижными соединениями бария.

Из таблицы также видно, что величина K даже на соседних профилях не отличается постоянством и меняется в широком (до 10 раз) диапазоне даже в пределах одного и того же элювиального ландшафта. В этом случае средние значения, рассчитанные по ограниченному количеству пересечений, не отражают реальной зависимости между первичными и вторичными ореолами в каждом конкретном пересечении. Последнее особенно важно иметь в виду в связи с тем, что при оценке уровня среза вторичных ореолов рассеяния нам довольно часто приходится оперировать не с вычисленными, а только с приближенными значениями K шести—восьми, а в некоторых случаях и большего количества элементов-индикаторов. Понятно, что при случайном подборе элементов в числитель и знаменатель такого соотношения (например, только на основе осевой зональности первичных ореолов), ошибка, возникающая за счет приближенной оценки K может быть весьма значительной. В связи с изложенным, ниже рассматривается другой способ, предложенный авторами для установления тесной количественной зависимости между величинами индикаторных соотношений в первичных и вторичных ореолах.

Анализ соотношения (2) показывает, что необходимость определения значений K_{1-6} отпадает в том случае, когда при оценке уровня эрозионного среза вторичных ореолов соотношение коэффициентов пропорциональности в парном $\left(\frac{K_{Pb}}{K_{Mo}}\right)$ или групповом $\left(\frac{K_4 \times K_5 \times K_6}{K_1 \times K_2 \times K_3}\right)$ варианте равно или стремится к единице. Последнее может иметь место лишь при том условии, когда в числитель и знаменатель соотношения попадают элементы со сходными миграционными характеристиками в зоне гипергенеза. Для этого может быть использован широкий комплекс элементов-индикаторов, характерных для различных интервалов околорудного пространства, но сходных по указанным особенностям миграции.

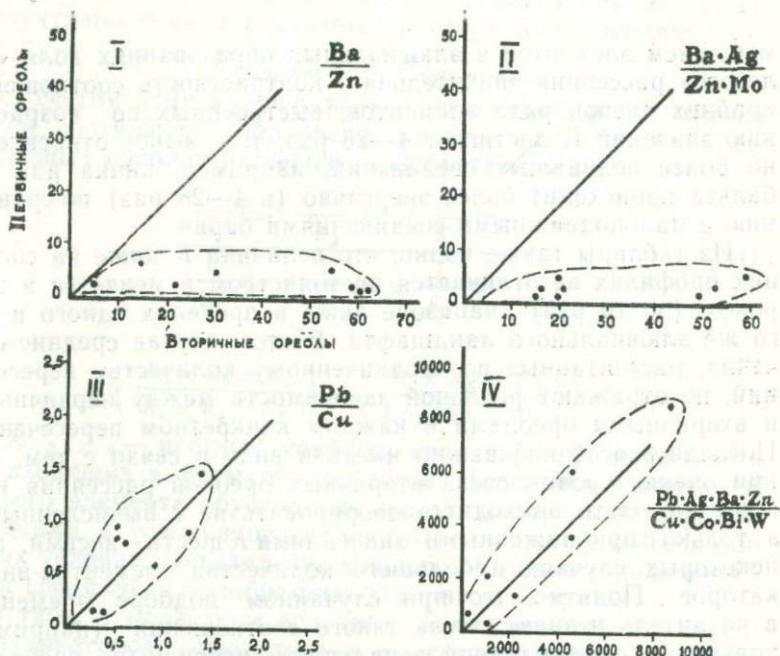


Рис. 3. Графики корреляции величин различных индикаторных соотношений в первичных и вторичных ореолах на участке Тары-Экан, составленные без учета миграционных особенностей элементов в зоне гипергенеза (I, II) и с учетом их (III, IV).

Из рис. 3 видно, что на графиках корреляции величин индикаторных соотношений, составленных без учета миграционных характеристик элементов в зоне гипергенеза, между первичными и вторичными ореолами фиксируются существенные расхождения. Для соотношений, составленных с учетом миграционных характеристик элементов в зоне гипергенеза, наблюдается совершенно иная картина: поле точек на графиках располагается вдоль биссектрисы угла, в области, характеризующей прямую зависимость величин соотношений в первичных и вторичных ореолах. Таким образом при направленном (в соответствии с их миграционными свойствами) подборе элементов-индикаторов в мультипликативные соотношения мы фиксируем достаточно тесную корреляционную связь по величинам соотношений элементов в первичных и вторичных ореолах даже без проведения достаточно тру-

доемких работ по определению местных коэффициентов пропорциональности.

Сравнительное изучение интенсивности гипергенного перераспределения различных элементов-индикаторов на ряде месторождений позволило установить в сходной ландшафтно-геохимической обстановке для основных элементов индикаторов сходные ряды гипергенной подвижности. Ниже приведены ранжированные по возрастанию значений K ряды элементов (для каждого профиля) по данным расчетов, приведенных в табл. 1.

профиль: II $Zn_1 \rightarrow Co \rightarrow Sn \rightarrow Cu_2 \rightarrow Pb_3 \rightarrow Ag_4 \rightarrow Bi \rightarrow Ba_5$

IV $Zn_1 \rightarrow Sn \rightarrow Co \rightarrow Cu_2 \rightarrow Pb_3 \rightarrow Ba_4 \rightarrow Bi \rightarrow Ag_5$

VI $Sn \rightarrow Cu_1 \rightarrow Zn_2 \rightarrow Co \rightarrow Pb_3 \rightarrow Bi \rightarrow Ag_4 \rightarrow Ba_5$

VIII $Zn_1 \rightarrow Cu_2 \rightarrow Co \rightarrow Pb_3 \rightarrow Ag_4 \rightarrow Ba_5 \rightarrow Sn \rightarrow Bi$

по средним значениям $Zn_1 \rightarrow Co \rightarrow Sn \rightarrow Cu_2 \rightarrow Pb_3 \rightarrow Bi \rightarrow Ag_4 \rightarrow Ba_5$

Сопоставление «частных» рядов элементов и сводного ряда, построенного по средним значениям, показывает, что несмотря на значительные колебания абсолютных величин коэффициентов пропорциональности отдельных элементов, последовательность пяти основных элементов-индикаторов (отмечены индексами в таблице) практически не меняется, т. е. колебания величин K различных элементов коррелируются между собой. Последнее, вероятно, обусловлено наличием общих минералов-носителей этих элементов в первичных ореолах (например, примесей в пирите или других сульфидах), степенью окисленности которых и определяются синхронные изменения величин K перечисленных элементов. Местоположение остальных трех элементов, не образующих достаточно контрастных ореолов (кобальт, олово) или не отличающихся достаточной чувствительностью анализа (висмут), менее стабильно по сравнению с элементами указанной группы, вероятно, за счет чисто технических погрешностей опробования и анализа. В пользу последнего говорит и то, что в результирующем ряду местоположение этих элементов хорошо согласуется с данными о сравнительной растворимости их сульфидов в зоне окисления (Смирнов, 1955).

Указанная закономерность отмечена и на других месторождениях, приуроченных к различным элементарным ландшафтам, но характеризующихся сходными окислительно-восстановительными условиями (табл. 2).

Таблица 2

Ряды относительной подвижности элементов-индикаторов в зоне гипергенеза над первичными ореолами различных месторождений Средней Азии и Закавказья

Месторождения	Ряды подвижности
Центральный Карамазар	
Тары-Экан (элювиальный ландшафт на кислых эффузивах)	Zn—Co—Sn—Cu—Pb— —Bi—Ag—Ba
Каптар-Хона (трансэлювиальный ландшафт на кислых эффузивах)	Zn—Co—Cu—Sn—Pb—Bi— —Ag—Ba—Mo
Кызыл-Унгур (трансэлювиальный ландшафт на туфопесчаниках и туфоагломератах)	Co—Zn—Bi—Mo—W—Ag— —Pb—Ba
Тутлы-III (трансаккумулятивный ландшафт на гранодиоритах)	Co—Zn—Mo—Sn—Cu—Bi— —W—Ag—Pb—Ba
Закавказье	
Кафан (Халадж) (трансэлювиальный ландшафт на кварцевых порфиридах)	Co—Ni—Zn—As—Sn—Cu— —Pb—Ag—Mo
Арманиц (элювиальный ландшафт на кварцевых метасоматитах)	Co—Zn—Ag—Mo—Pb—Cu— —Ba—Au

Как видно из этой таблицы, показанная ранее последовательность элементов фиксируется (с отдельными исключениями) для всех исследованных месторождений. Эти данные позволили нам составить сводный ряд относительной подвижности элементов-индикаторов в зоне гипергенеза над первичными ореолами:

Co—Ni—Zn—As—Sn—Cu—Mo—Bi—Pb—W—Ag—Ba—Au

в левой части которого располагаются элементы, обычно отличающиеся более интенсивной миграцией в зоне гипергенеза (обычно $K < 1,0$); в правой — элементы, способные концентрироваться в продуктах выветривания ($K > 1,0$).

Понятно, что этот сводный ряд имеет вероятностный характер и справедлив (при одинаковых минеральных формах нахождения элементов в первичных ореолах) для конкретных геохимических условий. В нашем случае — окислительная обстановка с эпигенетическими процессами, обусловленными воздействиями кислородонасыщенных, нейтральных или слабокислых грунтовых вод с типоморфными ионами Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} . В другой обстановке (в восстановительной среде) или при наличии в разрезе различного типа контрастных геохимических барьеров элементы, способные менять свои миграционные характеристики на этих барьерах, соответственно будут менять и свое местоположение в рядах относительной подвижности элементов, рассчитанных для этих условий.

Таким образом, при оценке уровня эрозионного среза вторичных ореолов рассеяния в районах аридной зоны для получения адекватных величин индикаторных соотношений в первичных и вторичных ореолах в числитель и знаменатель соотношений должны подбираться элементы, максимально отстоящие друг от друга в ряду осевой зональности первичных ореолов, но близкие по своим миграционным характеристикам в зоне гипергенеза, т. е. занимающие соседние места в ряду относительной подвижности элементов в зоне гипергенеза:

1. Ряд осевой зональности элементов в первичных ореолах
 $\text{Ba}(\text{Sb}, \text{As}, \text{Hg}) - \text{Cu}_1 - \text{Cd} - \text{Ag} - \text{Pb} - \text{Zn} - \text{Sn}_1 - \text{Au} - \text{Cu}_2 - \text{Bi} - \text{Ni} - \text{Co} - \text{Mo} - \text{U} - \text{Sn}_2 - \text{As}_2 - \text{Be} - \text{W}$
 (Григорян, 1973)
2. Ряд относительной подвижности элементов в зоне гипергенеза
 $\text{Co} - \text{Ni} - \text{Zn} - \text{As} - \text{Sn} - \text{Cu} - \text{Mo} - \text{Bi} - \text{Pb} - \text{W} - \text{Ag} - \text{Ba} - \text{Au}$

Индикаторные соотношения, составленные на основе приведенных рядов, отличаются высокой контрастностью и фиксируют высокую степень соответствия между первичными и вторичными ореолами. В данном случае подразумевается, что использование подобных соотношений может быть эффективным лишь для открытых остаточных вторичных ореолов рассеяния при мощности рыхлых образований не более 1—3 м. При указанных ограничениях предлагаемый метод

отличается высокой надежностью и может применяться для оценки уровня эрозионного среза различных флангов отдельных аномалий и протяженных аномальных зон, приуроченных к различным типам элементарных ландшафтов.

В табл. 3 приведены величины парных и мультипликативных соотношений для серии профилей, пройденных вкрест вытянутой на десятки километров аномальной зоны, различные фланги которой резко отличаются по характеру эрозионного среза оруденения. Так, глубина эрозионного среза рудоносного интервала в направлении с запада на восток (по результатам изучения первичных ореолов) увеличивается на несколько сотен метров.

Таблица 3

Изменение величин индикаторных соотношений в первичных и вторичных ореолах по простиранию зоны Канмансур-Алмадонского разлома

Профили	Pb/Cu		Pb·Zn·Ag/Cu·Co·Bi	
	первичный ореол	вторичный ореол	первичный ореол	вторичный ореол
I	0,039	0,37	0,0027	0,0017
II	0,076	0,59	0,03	0,27
III	0,15	1,01	0,56	0,09
IV	0,57	1,74	5,61	1,82
V	7,4	5,04	3214,3	290,7
Максимальная контрастность в пределах зоны	189,7	13,6	1190481,5	171000,0
Максимальные расхождения для первичных и вторичных ореолов на тех же профилях	9,48		11,04	

Как следует из таблицы, характер эрозионного среза оруденения отчетливо фиксируется по изменению величин как парного, так и группового соотношений. При этом, между величинами соотношений в первичных и вторичных ореолах устанавливается достаточно тесная связь — расхождения между ними обычно не превышают одного, реже двух порядков. Однако при сопоставлении разрешающей способности парного и группового соотношений видно, что мультипликативный вариант предпочтителен — контрастность величин соотношения для него резко возрастает (на 4—5 порядков), а расхождения между значениями соотношений в первичных

и вторичных ореолах для обоих вариантов практически сохраняются на одном (в пределах одного порядка) уровне.

Таким образом, при включении большего числа соответствующим образом подобранных элементов в числитель и знаменатель индикаторных соотношений их разрешающая способность возрастает (за счет усиления контрастности). А так как при направленном подборе элементов расхождения между величинами соотношения в первичных и вторичных ореолах сохраняются на одном и том же уровне вне зависимости от количества элементов в соотношении, то в целом надежность оценки уровня эрозионного среза вторичных ореолов рассеяния будет возрастать при увеличении количества соответствующим образом подобранных в состав соотношения элементов.

В качестве наиболее информативного соотношения, отвечающего изложенным условиям, для аридных районов Центрального Карамазара было выбрано соотношение $\frac{Pb \cdot Ag \cdot Ba \cdot Zn}{Cu \cdot Bi \cdot W \cdot Co}$, по величине которого отчетливо дифференцируется уровень эрозионного среза вторичных ореолов рассеяния даже в пределах месторождений различных рудных формаций (рис. 4). Как видно из рисунка, разрешающая способность этого соотношения в пределах исследованной территории превышает 7 порядков, тогда как разница между первичными и вторичными ореолами по величине этого соотношения для всех профилей не превышает одного порядка. Последнее свидетельствует о высокой степени надежности данного соотношения и целесообразности его использования при интерпретации вторичных ореолов рассеяния в этом районе.

В ландшафтах с более сложным строением перекрывающих образований, с контрастными геохимическими барьерами различного (биогенный, глеевый, испарительный и др.) типа, способствующими избирательной концентрации отдельных элементов-индикаторов (Перельман, 1972; Бекжанов и др., 1974), при оценке уровня эрозионного среза вторичных литохимических аномалий необходимо учитывать особенности перераспределения элементов в каждой конкретной геохимической системе, по возможности подбирая пары элементов с одинаковым поведением на различных геохимических барьерах.

В заключение следует добавить, что предлагаемые критерии должны использоваться в комплексе с другими мето-

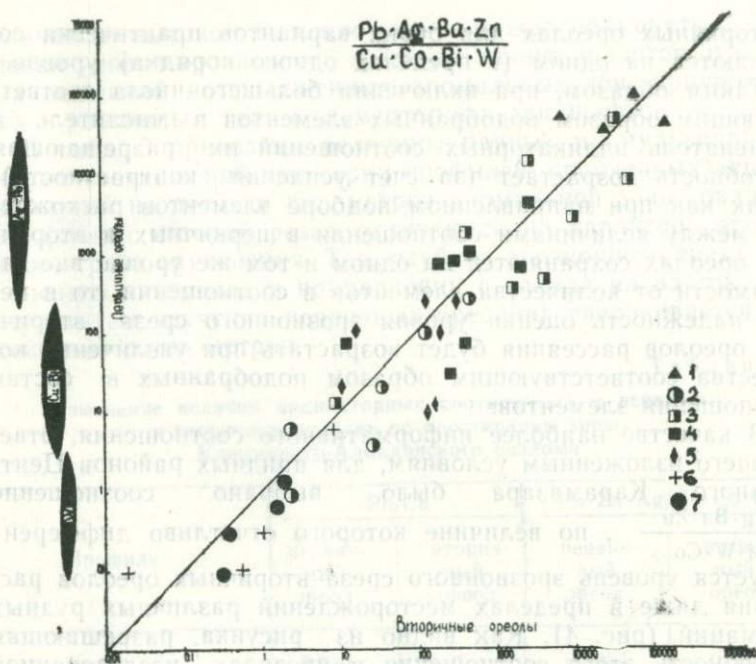


Рис. 4. Корреляция величин индикаторного соотношения $\frac{\text{Pb} \cdot \text{Ag} \cdot \text{Ba} \cdot \text{Zn}}{\text{Cu} \cdot \text{Co} \cdot \text{Bi} \cdot \text{W}}$ на участках с различным эрозионным срезом рудного интервала
 Участки работ: 1—В. Канмансур; 2—Каптар-Хона; 3—Тутлы-III; 4—Тары-Экан; 5—Кызыл-Унгур; 6—Ю-3 Алмадон; 7—Айна-Булак.

дами интерпретации вторичных ореолов (оценка вероятного масштаба оруденения и т. д.), причем информация о характере эрозионного среза вторичных геохимических аномалий может существенно повысить надежность оценки параметров оруденения по его вторичным ореолам рассеяния.

ЛИТЕРАТУРА

- Бекжанов Г. Р., Досманов А. С., Перельман А. И. Геохимия ландшафта и поиски рудных месторождений в Казахстане.— Сов. геология, 1974, № 1.
 Григорян С. В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке гидротермальных месторождений.— Сов. геология, 1973, № 1.
 Досанова Б. А., Соловов А. П. Опыт количественной оценки вторич-

ных ореолов рассеяния в Казахстане. — В сб. «Литохимические поиски рудных месторождений», Алма-Ата, «Наука», 1972.

Квятковский Е. М., Крицук И. Н. Количественная интерпретация вторичных литохимических ореолов рассеяния. — В сб. «Литохимические поиски рудных месторождений», Алма-Ата, «Наука», 1972.

Морозов В. И. К вопросу об интерпретации вторичных литохимических аномалий как признаков скрытого оруденения. — В сб. «Геохимические методы при поисках эндогенных рудных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1973.

Перельман А. И. Геохимическая классификация элементов по особенностям миграции в зоне гипергенеза. — В сб. «Научные основы геохим. методов поисков месторожд. пол. иск. и оценки потенциальной рудоносности магмат. и метаморф. комплексов докембрия». Изд. Кольск. фил. АН СССР, Апатиты, 1972.

Соловов А. П. Основы теории и практики металлометрических съемок. Алма-Ата, Изд-во АН КазССР, 1959.

Смирнов С. С. Зоны окисления сульфидных месторождений. М., Изд-во АН СССР, 1955.

Овчинников Л. Н., Григорян С. В., Гармаш А. А. Успехи и проблемы прикладной геохимии. — Изв. АН СССР, сер. геол., 1967, № 11.

Овчинников Л. Н., Григорян С. В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. — В сб. «Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений», ч. I, Иркутск, 1970.

РТУТНЫЙ ПЕШЕХОДНЫЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР ИМГРЭ-4

Создание ртутных атомно-абсорбционных газоанализаторов КазРаф-6 (Фурсов, Степанов, 1971) и ИМГРЭ-4 позволило измерять ультрамалые количества паров ртути в почвенном и атмосферном воздухе.

В приборе ИМГРЭ-4, как и КазРаф-6, используется двухканальная дифференциальная схема с одним источником света и двумя фотоэлементами, что существенно уменьшает влияние нестабильности излучателя и шумы электронной части газоанализатора (рис. 1).

Существенное снижение мощности источников питания газоанализатора ИМГРЭ-4 и другие улучшения позволили уменьшить общий вес прибора в 4 раза по сравнению с КазРаф-6 и теперь он с учетом вспомогательного оборудования составляет 18 кг.

Измерение паров ртути осуществляется в два этапа. Вначале производится прокачка воздуха через золотой струнный сорбент, поглощающий только пары ртути, а затем — десорбция ртути с золотого сорбента (Фурсов, 1975). Десорбируемая ртуть вместе с атмосферным воздухом засасывается в измерительную кювету прибора ИМГРЭ-4, проходя по всей ее длине, а затем выбрасывается в атмосферу. При этом поток света, направленный через измерительную кювету, частично поглощается парами ртути, а поток света, проходящий через сравнительную кювету, которая заполнена чистым воздухом, практически не поглощается.

Таким образом разность энергии между лучом, падающим на переднюю часть измерительной кюветы, и лучом, прошедшим через нее, будет определять концентрацию паров ртути в кювете.

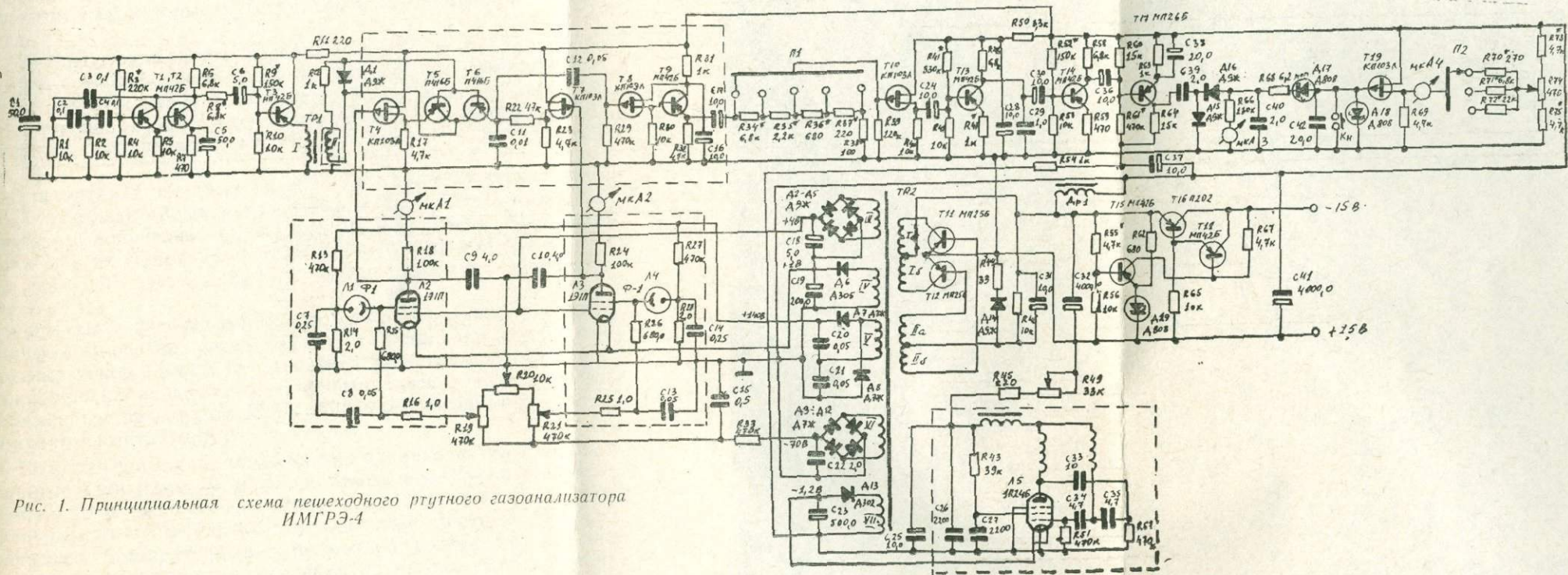


Рис. 1. Принципиальная схема пешеходного ртутного газоанализатора ИМГРЭ-4

В качестве источника излучения используется безэлектродная шариковая лампа, возбуждаемая высокочастотным генератором 60 мегагерц, с резонансной линией 2537 Å.

Световые потоки, пройдя через обе кюветы, попадают на фотоэлементы, которые чувствительны к резонансной линии ртути.

Питание пешеходного газоанализатора производится от батарей с напряжением $12 \div 16$ в. Так как напряжение батарей по мере их разряда уменьшается, то для устойчивой работы прибора используется стабилизатор постоянного напряжения, выполненный на транзисторах T_{15} , T_{16} , T_{18} (см. рис. 1).

Для питания анодных цепей электрометрических ламп 1Э1П и коллекторных цепей транзисторов используется напряжение, полученное на выходе стабилизатора. Для получения других напряжений, необходимых для работы прибора, применен преобразователь, выполненный на транзисторах $T_{11} \div T_{12}$.

Сигналы с фотоэлементов поступают на защитные сетки электрометрических ламп Л2 и Л3. Установка начальных анодных токов 60 мкА производится резисторами R19 и R21. Балансировка анодных токов производится резистором R20. Переменным резистором R20 добиваются нулевых показаний микроамперметра мкА3.

Если сигналы с фотоэлементов одинаковы, то равны и анодные токи ламп Л2 и Л3. В противном случае возникает разбаланс и разностный сигнал с анодов ламп становится отличным от нуля. Так как усилителям постоянного тока свойствен температурный и временной дрейф, то дальнейшее усиление разностного сигнала производится на переменном токе.

Для преобразования постоянного тока разностного сигнала в переменный применен компенсированный модулятор с последовательным включением транзисторов T_5 и T_6 . Для обеспечения минимальных помех на выходе ключа применено однополярное управление транзисторами модулятора, которое обеспечивается резистором R12 и диодом Д1. В модуляторе применены транзисторы П416Б. Для согласования высокого выходного сопротивления анодных цепей ламп 1Э1П с относительно низкоомным входным сопротивлением модулятора применены полевые транзисторы T_4 и T_7 типа КП103Л. Управление модулятором производится синусои-

дальним напряжением амплитудой $0,5 \div 0,8$ в, которое вырабатывается генератором, собранным на транзисторах Т1 и Т2. Управляющий сигнал подается на электроды коллектор-базы транзисторов модулятора, которые не имеют гальванической связи с общим проводом прибора. Для обеспечения правильной работы модулятора применен трансформаторный каскад, выполненный по схеме эмиттерного повторителя на транзисторе Т3. Для согласования выходного сопротивления модулятора с низким сопротивлением делителя применен каскад на транзисторах Т8 и Т9 по схеме истокового и эмиттерного повторителей. Делитель напряжения выполнен на резисторах R34—R38. Для уменьшения влияния наводок в делителе применены низкоомные сопротивления.

Входное сопротивление транзисторных усилителей относительно мало и непостоянно при различных температурах, что может существенно влиять на коэффициент деления делителя.

Для устранения этого применен истоковый повторитель на транзисторе Т10. Усилитель переменного тока выполнен на транзисторах Т13, Т14, Т17. Использование интегратора привело к необходимости получить на выходе усилителя переменное напряжение с максимально возможной амплитудой, что достигается высоковольтным транзистором МП26Б (Т17). Питание цепи коллектора производится от источника с напряжением 70 в. После усиления сигнал детектируется детектором на диодах Д15 и Д16 по схеме удвоения и интегрируется. Интегрирующая цепочка выполнена на резисторе R68 и конденсаторе С42.

Постоянная времени интегрирующей цепи велика (порядка 120 сек), поэтому использован высокоомный резистор R68. При измерении напряжения на интегрирующей емкости требуется устройство с высоким входным сопротивлением. В связи с этим измеритель напряжения выполнен на полевом транзисторе Т19. Для защиты переходов полевого транзистора от перегрузок в цепи его затвора установлен диод Д18 типа Д808.

При увеличении напряжения на затворе полевого транзистора свыше $7,5 \div 8$ в стабилитрон включается в работу и предохраняет полевой транзистор от пробоя. Установка нуля микроамперметра мкА4 производится резистором R74.

Эталонировка прибора производится с помощью газового эталона, в котором использован принцип диффузии паров

ртути из капилляра заданного диаметра и длины при постоянной температуре (Фурсов, Степанов, 1971).

Измерения паров ртути должны проводиться с настроенным газоанализатором. Высокочастотный генератор и источник света проверяются путем изменения яркости свечения ртутной лампы с помощью специального потенциометра. При этом изменения яркости источника излучения должны вызывать на выходе прибора минимальные сигналы.

Для контроля в цепи источник света — усилители — выходной сигнал в газоанализаторе используется заслонка, которая может перекрывать заданную часть светового потока в измерительном канале.

Проверка делителя переключателя шкалы измерений включает две последовательные операции. Вначале осуществляется грубая настройка путем создания определенного электрического сигнала звуковым генератором. При этом конденсатор С17 (провод к переключателю) отсоединяется от переключателя (см. рис. 1). Подбором R55 устанавливается на выходе стабилизатора напряжение 11 в. Резистором R44 производится запуск преобразователя. Напряжения на выходе преобразователя не должны меняться при изменении сопротивления резистора R44 на $\pm 20\%$ от выбранного значения. Резистором R9 устанавливается ток транзистора Т3, равный 2 ма. Подбором резистора R3 добиваются получения на коллекторах транзисторов Т1 и Т2 синусоидального напряжения с наименьшими искажениями и наибольшей амплитудой. С помощью резистора R8 устанавливают на вторичной обмотке трансформатора Тр-1 напряжение 0,5—0,8 в. Резистором R41 поддерживают напряжение на коллекторе транзистора Т13 (относительно клеммы +11 в), равным 7,0÷7,5 в. Резистором R52 устанавливают напряжение на коллекторе транзистора Т14, равным 5,8÷6,0 в. С помощью резистора R61 устанавливают напряжение на резисторе R64 равным 32 ± 2 в. Резистором R47 задают требуемый коэффициент усиления усилителя. Переключатель П2 ставится (по схеме) в верхнее положение, а переменный резистор R74 — в среднее положение. Резистором R73 или R75 приводится стрелка прибора мКА4 на нулевую отметку.

После этого более точная настройка осуществляется с помощью газового эталона.

Чувствительность измерения паров ртути в почвенном воздухе при прокачке 1 л воздуха через золотой сорбент составляет $0,4—0,8 \cdot 10^{-8}$ мг/л, средняя относительная ошибка на-

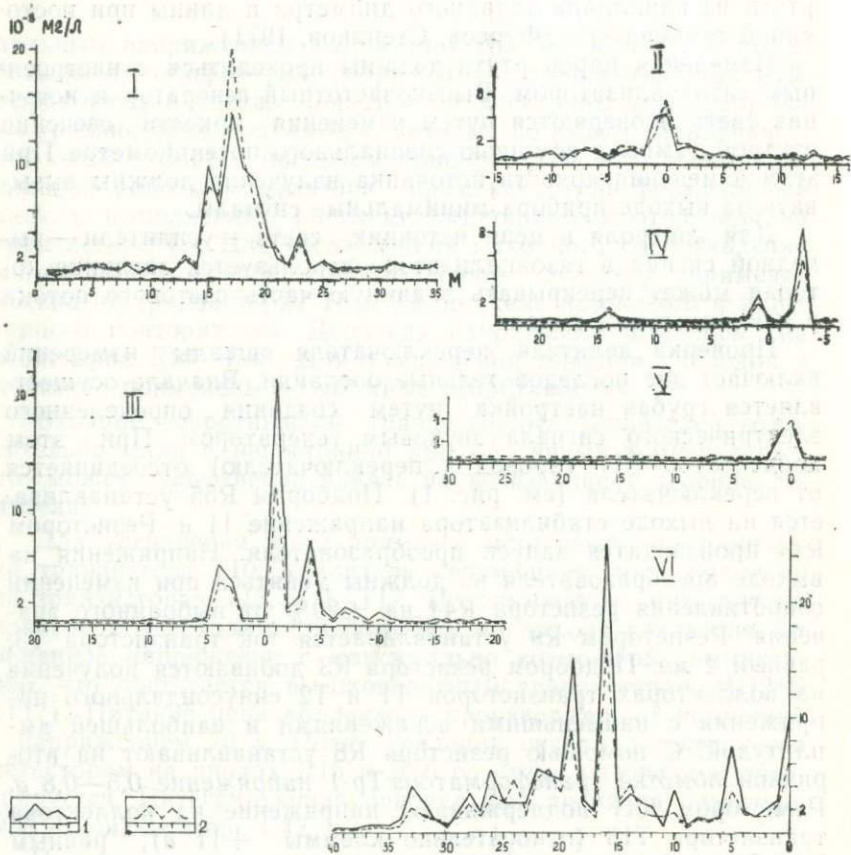


Рис. 2. Результаты контрольных измерений паров ртути в почвенном воздухе

I—медноколчеданное месторождение «Молодежное», II—участок Байгизинский (Южный Урал); III—ртутное рудопроявление Чакрык; IV—участок Ташкуй; V—участок Улугтау; VI—ртутное месторождение Хайдаркан (Киргизия); 1—графики содержаний паров ртути в почвенном воздухе. 2—контрольные графики.

блюдений (основные и контрольные измерения проводятся в разные дни) $\pm 15-40\%$. Точность уменьшается при измерениях концентраций паров ртути в щебенистых отложениях и возрастает в суглинках и глинах.

На рис. 2 приведены графики основных и контрольных

наблюдений, которые характеризуют хорошую воспроизводимость.

В 1973 г. двумя газоанализаторами ИМГРЭ-4 в Киргизии, Таджикистане и Южном Урале было выполнено 6000 измерений концентраций паров ртути в почвенном воздухе ртутных и медноколчеданных месторождений.

В 1974 г. газортутные исследования выполнялись четырьмя приборами ИМГРЭ-4 в Киргизии, Таджикистане, на Урале и в Чехословакии. За этот год было выполнено около 20000 измерений содержания паров ртути в почвенном воздухе на ртутных, полиметаллических, медноколчеданных, золотых и флюоритовых месторождениях.

В 1975 г. газортутные исследования проводились семью газоанализаторами ИМГРЭ-4 в Киргизии, Таджикистане, Урале, Забайкалье и других регионах нашей страны.

С 1974 г. газортутный метод с прибором ИМГРЭ-4 внедряется Управлением Геологии Совета Министров Таджикской ССР для поисков ртутных месторождений. Особенно результативными были газортутные поиски на участке Рузиобнак, расположенном на южном склоне Зеравшанского хребта. Рельеф участка расчлененный, максимальные превышения составляют 200—400 м, мощность элювиально-делювиальных и пролювиальных отложений 0,5—3 м. Газортутная съемка, которая проводилась по сети 50×10 м, позволила определить конфигурацию ртутоносных зон и их господствующее простирание в монотонных песчаниках и алевролитах нижнего силура (рис. 3). К настоящему времени канавные работы проведены на 15 газортутных аномалиях и на всех вскрыта коренная ртутная минерализация.

Опытные исследования показали, что газортутный метод может успешно применяться для поисков погребенных, слепых и скрытопогребенных ртутных и нертутных сульфидных месторождений.

На рис. 4 приведены результаты газортутных исследований над слепыми рудными залежами Береговского полиметаллического месторождения, которые в форме вертикальных жил и горизонтальных линз галенито-сфалеритового состава залегают в риолитовых туфах нижнего неогена. Рудные тела, находящиеся на глубине 100—120 м, фиксируются по профилю I четкой, сложной аномалией, состоящей из 4 максимумов, интенсивностью $4-15 \cdot 10^{-8}$ мг/л. Эффективная ширина аномалии 140—160 м при мощности рудной зоны 50—60 м (вертикальные жилы).

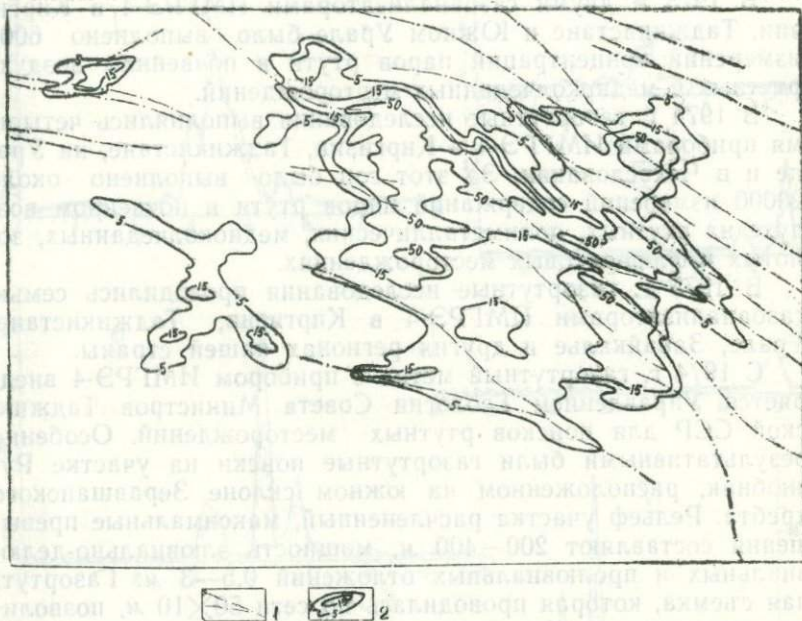


Рис. 3. Изоконцентрации паров ртути в почвенном воздухе. Ртутное рудопроявление Рузиобнак, Таджикистан (по Н. Б. Естехину и П. А. Крайнюкову)

1—тектонические нарушения; 2—изоконцентрации ртути в 10^{-8} мг/л.

По профилю II, который находится в 80 м к северу от профиля I, также зафиксированы газортутные аномалии, но малой интенсивности.

Существенное снижение интенсивности концентраций паров ртути в почвенном воздухе по профилю II обусловлено тем, что он проходил по вспаханному участку виноградников. Вспахивание было проведено за месяц до газортутных наблюдений на глубину 0,8 м, что привело к интенсивной миграции паров ртути в атмосферу.

С помощью газоанализатора ИМГРЭ-4 в 1974—1975 гг. Институтом прикладной геофизики Гидрометслужбы и ИМГРЭ впервые в СССР выполнены аэрортутные исследования на самолете ИЛ-14 по маршрутам, пройденным в разных регионах Советского Союза, общей протяженностью

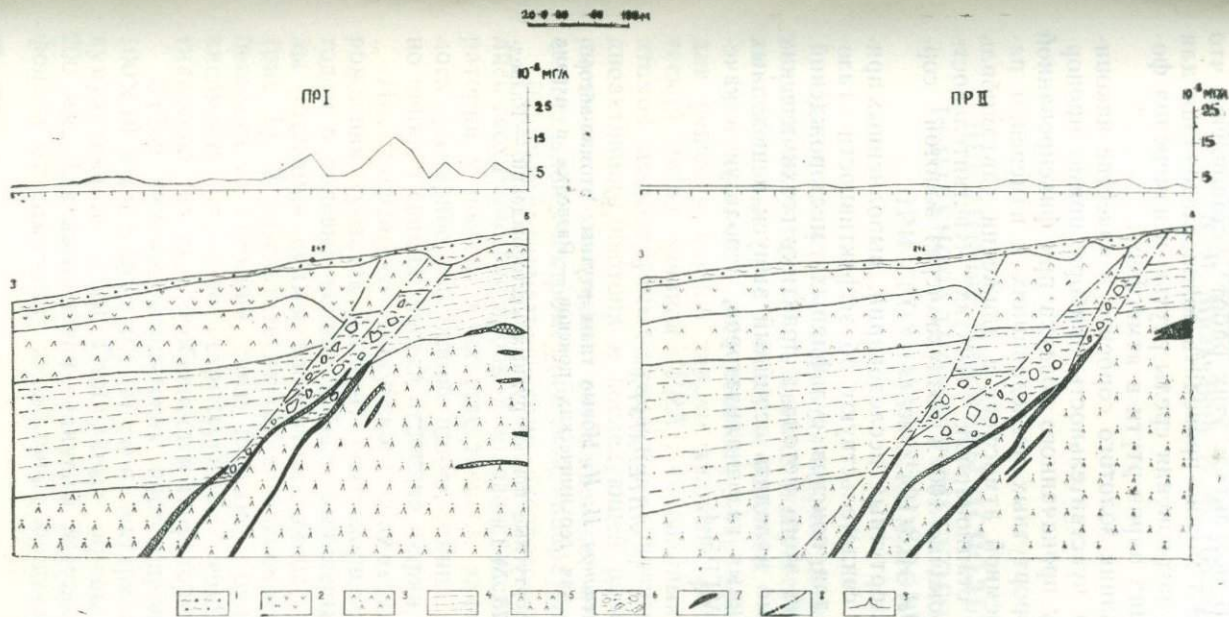


Рис. 4. Результаты газорудных наблюдений; Береговское полиметаллическое месторождение, Закарпатье (геологическая основа по В. А. Гуцину)

1—щебенчатая и глинистая кора выветривания, перекрытая аллохтонными суглинками мощностью до 5 м; 2—риолиты; 3—риолитовые туфы верхнего горизонта N_1 ; 4—переслаивание аргиллитов, песчаников и алевролитов; 5—риолитовые туфы среднего горизонта N_1 ; 6—брекчированные глинистые породы; 7—рудные тела; 8—разломы; 9—график содержания паров ртути в почвенном воздухе

60 тыс. пог. км. В результате этих работ установлено, что прибором ИМГРЭ-4 можно проводить аэрорасследования для определения мест загрязнения среды ртутью и измерения фоновых концентраций паров ртути в атмосфере.

При использовании золотого сорбента в качестве накопителя паров ртути чувствительность прибора прямо пропорциональна объему прокачанного воздуха при фиксированной скорости. При аэртутных исследованиях и измерении паров ртути в приземной атмосфере в движении (автомобиль и др.) или на стационарных пунктах чувствительность ИМГРЭ-4 при прокачке 100 л воздуха через золотой сорбент составляет $0,4-0,8 \cdot 10^{-10}$ мг/л.

Результаты газортутных исследований, выполненных прибором ИМГРЭ-4, свидетельствуют об эффективности газортутного метода для поисков сульфидных месторождений. С целью внедрения этого метода в практику геохимических поисков необходимо наладить серийный выпуск пешеходных атомно-абсорбционных газоанализаторов, используя в качестве прототипа ИМГРЭ-4.

ЛИТЕРАТУРА

Фурсов В. З., Степанов И. И. Новые типы ртутных атомно-абсорбционных фотометров для геохимических поисков. — Разведка и охрана недр, 1971, № 10.

Фурсов В. З. Газортутные поиски рудных месторождений. — Разведка и охрана недр, 1975, № 13.

НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕНТГЕНРАДИОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКАХ

Одним из путей повышения эффективности геохимических поисков является использование экспрессных методов анализа отобранных проб в полевых условиях.

Как показали исследования, наиболее перспективным для решения данной задачи является рентгенорадиометрический метод анализа (РРА), основанный на возбуждении атомов анализируемых элементов первичным излучением радиоактивного изотопа и последующей регистрации характеристического излучения возбужденных атомов с помощью специальной спектрометрической аппаратуры.

Рентгенорадиометрическому экспресс-анализу подвергались геохимические пробы в полевой (нестационарной) лаборатории и породы в их естественном залегании. Определялось суммарное содержание цинка, свинца, мышьяка, отдельно цинка и свинца, иногда стронция, бария, меди.

На поверхности Акатуйского полиметаллического месторождения (участок Аленуй) рентгенорадиометрическим методом в полевых условиях были выявлены вторичные ореолы рассеяния суммы элементов: свинца, цинка, мышьяка (рис. 1). В результате изучения установлены некоторые особенности их строения, связь в плане с рудными телами, зависимость от геолого-структурных, геоморфологических и гидрогеологических особенностей территории.

Отбор металлометрических проб проводился по сети 100×10 м с глубины 10—30 см из материала гумусового аккумулятивного слоя. Отобранные пробы истирались до 200 мм. Для вычисления величины местного геохимического фона и максимальных аномальных концентраций суммы по-

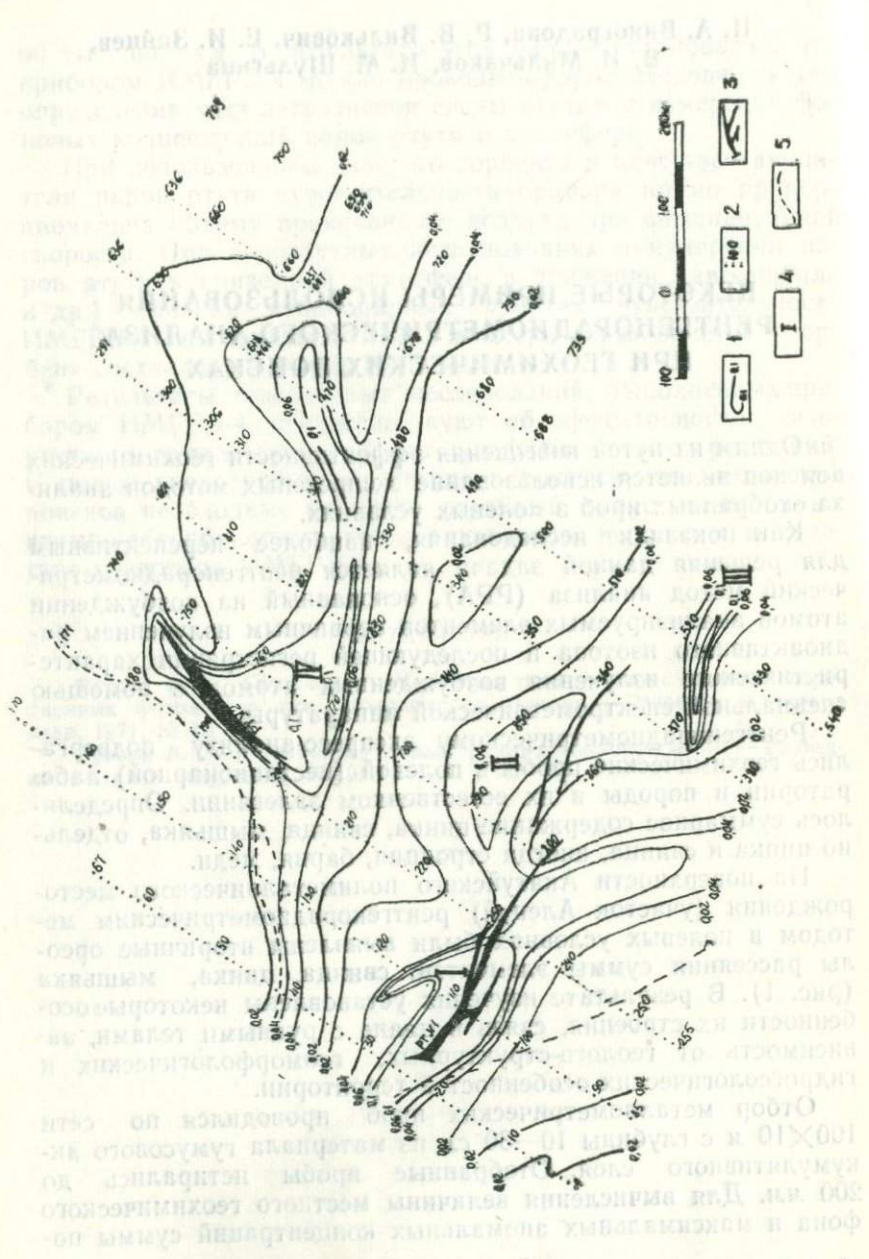


Рис. 1. Вторичные геохимические ореолы $Pb+Zn+As$, выявленные по данным рентгенорадиометрического анализа

1—изолинии концентраций, в ‰; 2—профили металлометрического опробования; 3—рудные тела; 4—номера ореолов; 5—временные водотоки.

лиметаллов результаты анализов специально отобранных фоновых проб были обработаны вариационно-статистическим методом на вероятностном бланке. Величина геохимического фона составляет 0,023 ‰, стандартный множитель отклонения $\epsilon=1,261$. С учетом величины фона и аномальных концентраций составлена геохимическая карта вторичных ореолов суммы полиметаллов (см. рис. 1).

Вторичные ореолы имеют в плане изометричную форму и в целом повторяют конфигурацию рудных тел. Оси ореолов ориентированы согласно депрессиям рельефа, связанным с тектоническими нарушениями в кровле коренных пород. Известные в районе тектонические нарушения преимущественно восточного и северо-восточного направлений. На южном фланге участка их направление меняется на северо-западное.

Район рудного тела № 1 и южный фланг участка дренируются в западном и северо-западном направлениях. Гидрография здесь представлена временными водотоками как дождевого, так и родникового питания. Рудное тело № 1, ориентированное согласно тектоническому нарушению северо-западного направления, имеет протяженный вторичный ореол рассеяния. Рассмотрим входящие в него частные ореолы, оконтуренные по изолинии 0,06 ‰. Основным является ореол I, образованный собственно рудным телом № 1. Протяженность его в длину превышает 500 м, а в ширину меняется от 30 до 100 м. Содержание в нем суммы полиметаллов варьирует от 0,06 до 0,84 ‰. Ореолы II и III образованы на периферии рудного тела № 1 серией связанных с ним малых сближенных рудных тел, являющихся его продолжением. Оси этих ореолов ориентированы соответственно депрессиям рельефа. Размеры их по длине исчисляются первыми согнями метров, в среднем от 200 до 300 м, а ширина от 10 до 80 м. Концентрация металлов ($Pb+Zn+As$) в ореолах меняется от 0,06 до 0,081 ‰ в ореоле II и до 0,28 ‰ в ореоле III. Ореол III имеет особую природу. Он в равной мере относится к вторичным ореолам рудного тела № 1, а также к невыявленным источникам концентрации юго-восточного фланга участка.

Параметры вторичных ореолов участка Аленуй,
выявленных по данным рентгенорадиометрического анализа

Номер аномалии	Длина, м	Ширина, м	С _{ср.} , %	С _{мах.} , %
I	500	80	0,191	0,840
II	240	60	0,069	0,081
III	200	30	0,139	0,280
IV (рудное тело № 2)	550	100	0,088	0,194

Ореол IV рудного тела № 2 и северо-восточного фланга участка, как видно из табл. 1, по параметрам близок к ореолам рудного тела № 1. Рассматриваемый ореол оконтурен по изоконцентрате 0,06%, соответствующей третьему аномальному значению. Он имеет усложненную конфигурацию, является, видимо, общим ореолом для рудного тела № 2 и неизвестного источника концентрации полиметаллов (рудное тело или зона минерализации) и ориентирован в юго-западном направлении. В области, оконтуренной по изоконцентрате 0,01%, ореол IV разделяется на три, один из которых с максимальной концентрацией 0,142% является вторичным ореолом рассеяния рудного тела № 2, а другой, выявленный в 300 м к юго-востоку от рудного тела № 2 с максимальной концентрацией 0,194% является, видимо, ореолом рассеяния неизвестного рудного тела.

Эти же геохимические пробы были проанализированы приближенно-количественным анализом на широкий круг элементов. По полученным результатам были построены мультипликативные геохимические ореолы Pb·Zn·Ag·Cu, мышьяк из-за недостаточной чувствительности анализа не был обнаружен (рис. 2). Сравнение данных рентгенометрического и спектрального анализов тех же проб показывает,

Рис. 2. Мультипликативные вторичные ореолы Pb·Zn·Ag·Cu, выявленные по данным приближенно-количественного спектрального анализа

1—профилы металлотрического опробования; 2—рудные тела; содержание произведения элементов: 3—0,2—1·10⁻¹⁰; 4—1—10·10⁻¹⁰; 5—>10·10⁻¹⁰

что оба они дают сходный характер распределения площадных геохимических аномалий на данном участке (см. рис. 1, 2). Максимальные концентрации произведений элементов отмечаются на тех же участках, что и максимальные содержания суммы элементов, полученные по данным рентгенорадиометрического метода.

Следует отметить следующие особенности вторичных ореолов, выявленных как по данным рентгенорадиометрического, так и спектрального анализа Аленуйского участка. Смещение ореолов относительно рудных тел незначительно и не превышает первых десятков метров. Конфигурация ореолов определяется не только формой рудных тел, но и геоморфологическими особенностями территории участка, а также режимом грунтовых и поверхностных вод, осложняющих форму ореолов, зачастую как бы размывая их, придавая ореолам более изометричную форму. Оси ореолов ориентированы согласно рудоконтролирующим структурам, а также зонам гидротермального изменения пород. Наиболее значительные по протяженности и концентрации металлов ореолы выявлены над известными рудными телами № 1 и № 2, а также на восточном и северо-восточном флангах участка, не охваченных детальными геологическими исследованиями прошлых лет.

Это позволило рекомендовать проведение разведочных работ на северо-восточном и восточном флангах участка.

На одном из золоторудных месторождений Восточного Забайкалья (Дарасун) была также изучена возможность использования рентгенорадиометрического анализа для выявления геохимических ореолов, связанных с золоторудным оруденением. Для этого по двум профилям, пройденным над известной золото-сульфидной жилой, были отобраны геохимические пробы, проанализированные затем рентгенорадиометрическим и приближенно-количественным спектральным анализами на ряд элементов. Как следует из рис. 3, графики изменения содержаний сумм элементов, построенные по данным двух анализов, имеют сходный характер. Однако наблюдаются расхождения между отдельными результатами анализов одних и тех же проб. В основном это объясняется меньшей точностью и представительностью спектрального анализа. Из-за недостаточной чувствительности спектрального анализа мышьяк в данных пробах не был обнаружен, поэтому для спектрального анализа график построен по содержаниям суммы цинка, свинца и меди, а для рентгенора-

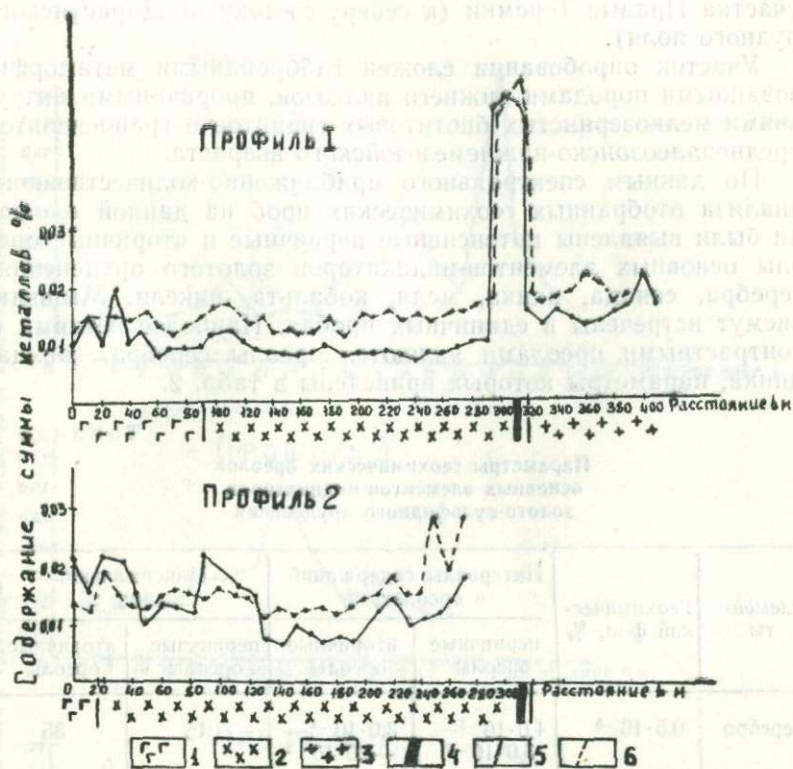


Рис. 3. Графики изменения содержаний сумм элементов, построенные по данным рентгенорадиометрического ($Pb+Zn+As+Cu$) и приближенно-количественного ($Pb+Zn+Cu$) спектрального анализов

1—габброиды; 2—сienиты и sienит-порфиры; 3—биотитовые граниты; 4—золоторудная жила; 5—спектральный анализ; 6—рентгенорадиометрический анализ

диометрического анализа — по содержаниям суммы свинца, цинка, мышьяка и меди. Как в первом, так и во втором случае содержание суммы элементов резко увеличивается при приближении к руде, а максимальные содержания отмечены над золоторудной жилой, что однозначно указывает на перспективность использования рентгенорадиометрического анализа для выявления ореолов элементов-индикаторов золоторудных жил.

В полевой сезон 1974 г. нами было произведено геохимическое опробование коренных пород и рыхлых отложений

участка Правые Теремки (к северу-востоку от Дарасунского рудного поля).

Участок опробования сложен габброидными метаморфизованными породами нижнего палеозоя, прорванными интрузиями мелкозернистых биотитовых гранитов и граносиенитов среднепалеозойско-нижнемезозойского возраста.

По данным спектрального приближенно-количественного анализа отобранных геохимических проб на данной площади были выявлены интенсивные первичные и вторичные ореолы основных элементов-индикаторов золотого оруденения: серебра, свинца, цинка, меди, кобальта, никеля. Мышьяк, висмут встречаются в единичных пробах. Наиболее четкими и контрастными ореолами являются ореолы серебра, свинца, цинка, параметры которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры геохимических ореолов основных элементов-индикаторов золото-сульфидного оруденения

Элементы	Геохимический фон, %	Интервалы содержаний в ореолах, %		Максимальная ширина, м	
		первичные ореолы	вторичные ореолы	первичные ореолы	вторичные ореолы
Серебро	$0,5 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$ — $3,0 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$ — $1,0 \cdot 10^{-2}$	15	35
Свинец	$1,0 \cdot 10^{-3}$	0,2—0,6	$3,0 \cdot 10^{-2}$ — 1,0	15	40
Цинк	$0,3 \cdot 10^{-2}$	0,1—0,4	$5,0 \cdot 10^{-2}$ — —0,1	25	40

Как первичные, так и вторичные ореолы имеют линейно-вытянутую форму, протягиваясь в северо-восточном направлении по площади участка. Полученные результаты позволили уточнить направление горных работ. Дополнительно был подсчитан уровень эрозионного среза с помощью индикаторного отношения $\frac{Pb \cdot Zn \cdot Ag}{Cu \cdot Ni \cdot Co}$, который показал, что выявленные ореолы являются надрудными.

В полевой сезон 1975 г. нами были опробованы рыхлые отложения и коренные породы с помощью рентгенорадиомет-

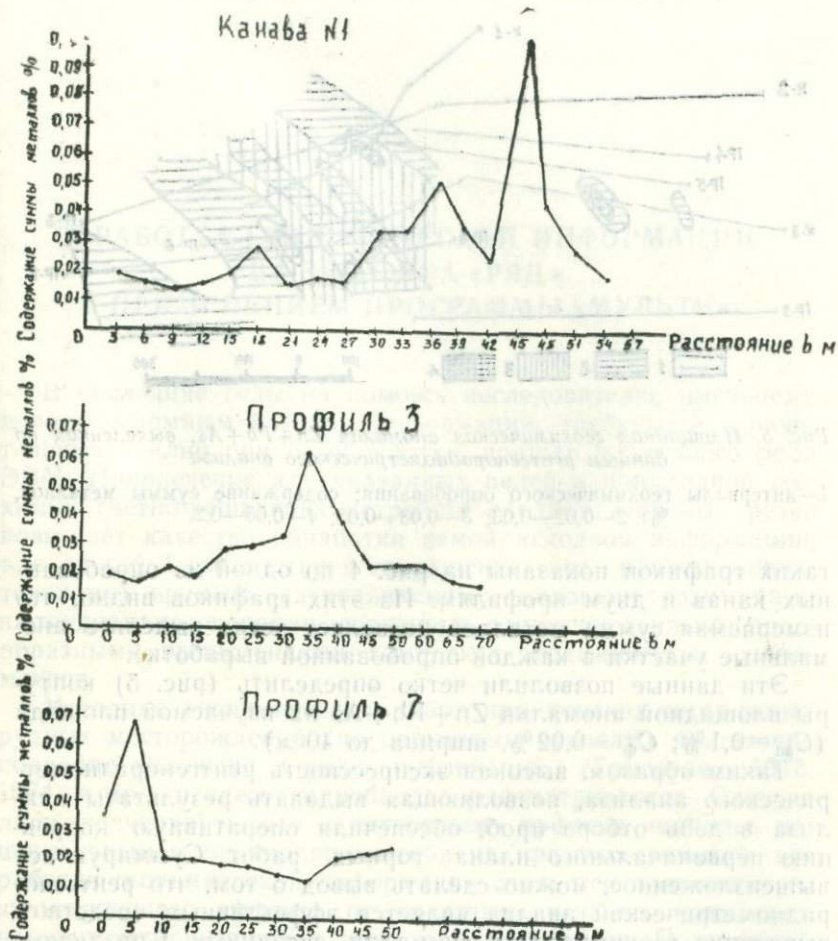


Рис. 4. Графики изменения содержаний Zn+Pb+As, построенные по данным рентгенорадиометрического анализа

рического метода как в условиях естественного залегания (с помощью переносной аппаратуры), так и путем анализа проб в полевой лаборатории.

По пройденным выработкам и профилям, схематическое расположение которых приведено на рис. 5, были построены графики содержаний суммы Zn, Pb и As. Примеры

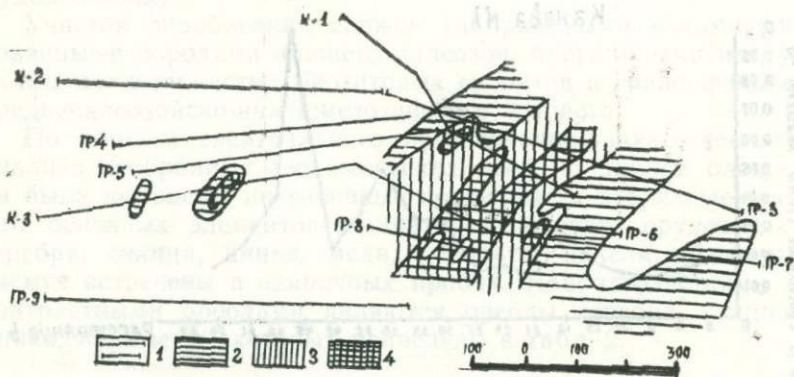


Рис. 5. Площадная геохимическая аномалия $Zn+Pb+As$, выявленная по данным рентгенорадиометрического анализа

1—интервалы геохимического опробования; содержание суммы металлов, %: 2—0,02—0,03; 3—0,03—0,05; 4—0,05—0,2.

таких графиков показаны на рис. 4 по одной из опробованных канав и двум профилям. Из этих графиков видно, что измеряемая сумма металлов позволяет четко выделить аномальные участки в каждой опробованной выработке.

Эти данные позволили четко определить (рис. 5) контуры площадной аномалии $Zn+Pb+As$ на изучаемой площади ($C_{ан} = 0,1\%$; $C_{ф} = 0,02\%$, ширина до 40 м).

Таким образом, высокая экспрессность рентгенорадиометрического анализа, позволяющая выдавать результаты анализа в день отбора проб, обеспечили оперативную коррекцию первоначального плана горных работ. Суммируя все вышесказанное, можно сделать вывод о том, что рентгенорадиометрический анализ является эффективным средством выявления геохимических аномалий, связанных с различными типами оруденения и может быть широко использован в практике геохимических методов поисков.

ОБРАБОТКА ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ЭВМ ТИПА «РЯД» С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММЫ «МУЛЬТИ»

В последние годы на помощь исследователю, имеющему дело с огромным потоком информации, требующей значительных усилий при ее обработке, пришли различного рода ЭВМ. Привлечение для указанных целей в прикладной геохимии счетно-решающих устройств с одной стороны резко повышает качество обработки самой исходной информации, а с другой — способствует сокращению (и причем, значительно) времени, затрачиваемому геологами-геохимиками на трудоемкие операции, связанные с многочисленными однообразными вычислениями комплекса геохимических параметров.

Методика геохимических работ при поисках эндогенных рудных месторождений (по первичным ореолам) достаточно подробно изложена в ряде публикаций (Григорян, 1973, 1974, и др.) и здесь подробно не рассматривается. Следует лишь подчеркнуть, что к настоящему времени наиболее рациональным и оправдавшим себя на практике методом обработки геохимической информации считается получение результирующего эффекта от полезных сигналов комплекса элементов-индикаторов в поле их концентрации. Полученный таким образом общий полезный сигнал достаточно надежно фиксирует участки вмещающих пород, подвергшихся процессу оруденения (Григорян, 1973). Вполне очевидно, что при подобном подходе все операции, связанные с обработкой геохимического материала сопряжены с большими объемами аналитических вычислений, проведение которых вручную существенно увеличивает и время, необходимое для выдачи конкретных рекомендаций по изучаемым объектам, и число исполнителей, занятых на этом виде работ. Громадные ре-

звервы времени высвобождаются, когда вся предварительная обработка цифрового материала ведется при помощи электронно-вычислительных машин, включая и графическое изображение результатов счета (рисовка карт на АЦПУ или на графопостроителе).

Вся процедура геохимических работ может быть сведена к ряду последовательных и взаимосвязанных операций.

1. Получение исходной геохимической информации:

а) сбор фактического материала на изучаемом объекте;
б) лабораторная обработка геохимических проб (дробление, сжигание навесок, расшифровка спектрограмм и т. д.).

2. Аналитическая обработка геохимической информации.

3. Построение топографических поверхностей геохимических показателей на геологической основе.

4. Анализ положения экстремумов полученных топоповерхностей во взаимосвязи с геологическим строением участка работ.

5. Выдача конкретных рекомендаций по участку работ.

Если средняя продолжительность сбора полевого материала на объекте составляет 3—4 месяца, то при условии предварительной подготовки проб в поле (дробление, истирание и отбор навесок для анализа) их лабораторная обработка (200—250 проб/день) продолжится около 1 месяца, а общая затрата времени на выполнение пункта 1 составит 5 месяцев. Все же остальное время (7 месяцев) будет связано с реализацией пунктов 2—5. Причем наиболее трудоемкими (без привлечения ЭВМ), как показала практика геохимических работ, является выполнение пунктов 2 и 3. Отсюда становится очевидной необходимость привлечения ЭВМ для выполнения графо-аналитических работ.

Получение результирующего сигнала реализуется в программе «мульти», а графическое изображение любой ограниченной по точкам наблюдения топоповерхности реализуется с помощью программы Джеймса (США). Последовательность операций при работе с геохимической информацией по указанным выше программам дается на схеме (рис. 1).

Перед началом математической обработки геохимической информации заказчик должен, проанализировав все особенности геологического строения изучаемого участка, выбрать из всего массива исходных данных подмассив (выборку) для определения по нему фоновых и минимально-аномальных концентраций элементов во всех разновидностях пород района, а также подмассив, служащий основой для определе-

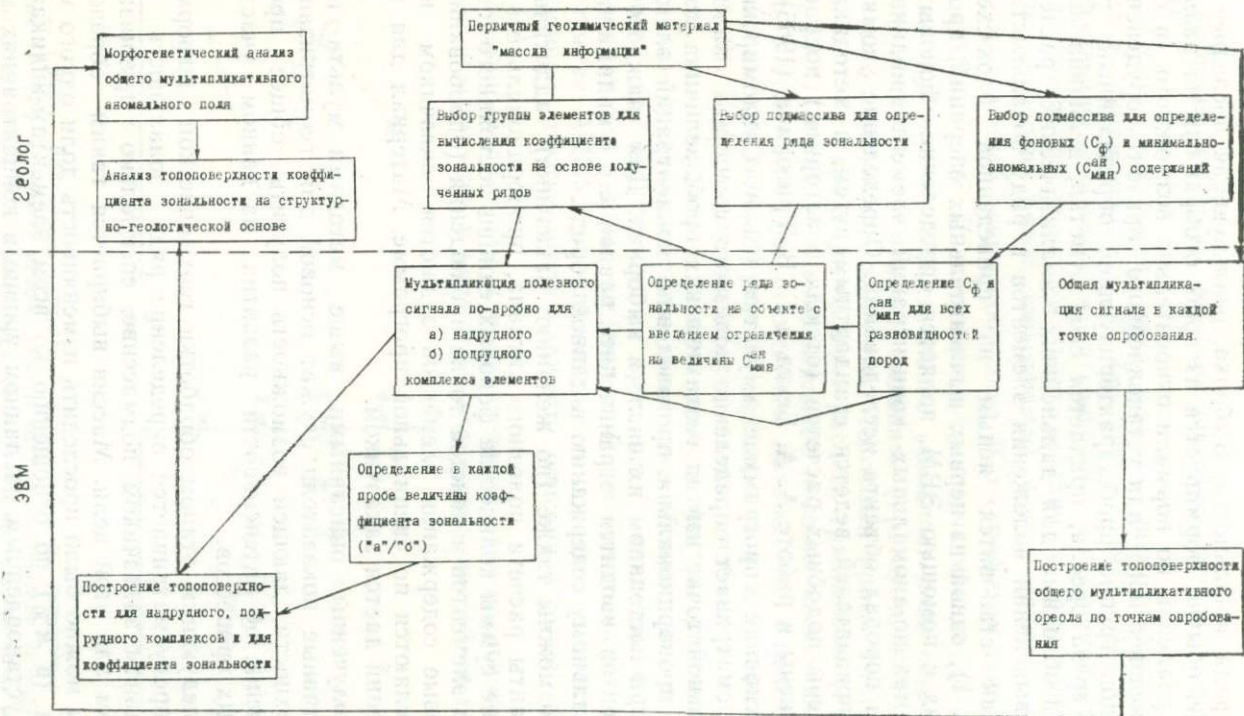


Рис. 1. Блок-схема последовательности обработки геохимической информации с применением ЭВМ

няя ряда зональности. Выборка, реализующая последнее условие, обычно формируется из проб, отобранных на различном удалении по нормали относительно возможного (в случае неизвестного) или установленного горизонта оруденения. Каждой группе проб, характеризующей определенный уровень среза ореола, придается своя отметка, величина которой необходима для дальнейших аналитических расчетов при выяснении положения элементов в ряду зональности.

Как становится ясным из приведенной блок-схемы (рис. 1), одной из первых вычислительных операций, проводимых с помощью ЭВМ, является определение фоновых и минимально-аномальных концентраций элементов-индикаторов в породах объекта исследований. Определение упомянутых показателей ведется стандартным путем, а методика и примеры подобных расчетов (отсюда и алгоритм) подробно изложены в работе А. А. Беуса и С. В. Григоряна (1965).

Основная программа «мульти» (С. А. Сандомирский) предусматривает определение полезного сигнала в каждой отдельной точке взятия геохимических проб, величина которого пропорциональна произведению концентраций элементов при постоянном их числе в выборках. Для каждого из элементов вводится ограничение, равное его минимально-аномальному содержанию в данной породе.

Возможны также (по желанию заказчика) аддитивные варианты расчета полезного сигнала, пропорционального величине суммы количества фоновых единиц постоянного комплекса элементов в каждой точке наблюдения (опробования). Фоновые содержания элементов задаются заказчиком или вычисляются по специальной программе. Материал для вычислений дается заказчиком.

Полученные описанными выше методами мульти- или аддитивные показатели служат основой для геометризации поверхности, дающей возможность получить общее представление об интенсивности развития на данном участке рудных процессов.

Следующим этапом обработки геохимической информации предусматривается определение ряда зональности на указанном заказчиком подмассиве, специально предназначенном для этой цели. Массив выбирается таким образом, чтобы можно было проследить изменчивость доли одного металла (в м%) по отношению ко всем элементам-индикаторам, установленным на данном уровне в концентрациях вы-

ше выбранного порога (минимально-аномального содержания).

Методика построения ряда зональности подробно изложена в публикациях С. В. Григоряна (1973, 1974 и др.). Единственное изменение по отношению к общепринятому, введенное в программу «мульти», связано с определением (при построении рядов зональности) центра тяжести фигуры, образованной осями координат H, \bar{p} и графиком изменения \bar{p} с глубиной, где H — протяженность изучаемой части ореола на глубину, \bar{p} — относительное (дольное) количество металла или, как его принято называть (Григорян, 1973), показатель зональности элемента. Подобный прием дает возможность без предварительного расчета градиентов (Григорян, 1974) определять относительное положение элементов в ряду зональности при совместном нахождении максимумов их показателя зональности на одном и том же горизонте (рис. 2). Вычисления градиентов удается избежать в связи с тем, что координаты центра тяжести фигуры рассчитываются как средневзвешенное в метрике абсолютных отметок уровней, что практически не приводит к совпадению этих координат для разных элементов. Ряды зональности печатаются на АЦПУ, ранжированные в порядке возрастания глубинной отметки центра тяжести описанной выше фигуры (1).

Подобный алгоритм для определения относительного положения элементов в ряду зональности использовался в про-

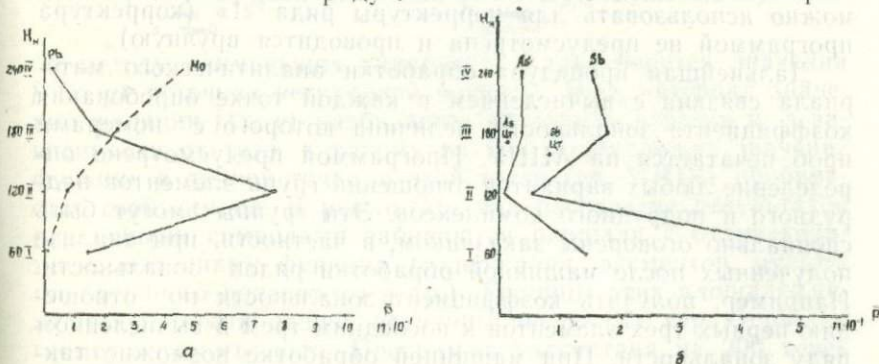


Рис. 2. График изменения показателя зональности на различных горизонтах (I—IV) — уровнях ореола («а» и «б») и положения центров тяжести фигур (ЦТ) для элементов с совпадающими максимумами накопления («б»)

грамме А. П. Соловова и др. (1973) для выбора монотонно меняющихся индикаторных отношений. Отличие указанного алгоритма от того, который реализован в программе «мульти» состоит в том, что в программе А. П. Соловова с соавторами в качестве p используются парные отношения элементов-индикаторов, и вычисление центров тяжести ведется в метрике порядковых номеров уровней, а не их абсолютных отметок. Последнее обстоятельство не позволяет вести расчеты в том случае, когда уровни удалены друг от друга на различные расстояния.

Программа дает возможность построить аналогичным образом ряд зональности (2) по изменению положения центра тяжести фигур, образованных осями координат H, \bar{m} , где \bar{m}_j — относительная (дольная) мощность ореола j — элемента на выбранных уровнях. В этом случае ряд строится также путем ранжирования отметок центров тяжести упомянутых фигур, вычисляемых для всех элементов.

Разность координат центров тяжести фигур, построенных в координатах H, \bar{p} (1) и H, \bar{m} (2) для одного элемента дает возможность определить его принадлежность к группе так называемых «верхних» или «нижних» относительно оруденения (или горизонта его локализации).

Отрицательное значение разности координат указывает на принадлежность элемента к надрудной группе, а положительное — к подрудной (приложение). Модуль же разности можно использовать для корректуры ряда «1» (корректурой программой не предусмотрена и проводится вручную).

Дальнейшая процедура обработки аналитического материала связана с вычислением в каждой точке опробования коэффициента зональности, величина которого с номерами проб печатается на АЦПУ. Программой предусмотрено определение любых вариантов отношений групп элементов надрудного и подрудного комплексов. Эти группы могут быть специально оговорены заказчиком, в частности, при анализе полученных после машинной обработки рядов зональности. Например, получить коэффициент зональности по отношению первых трех элементов к последним трем в вычисленном ряду зональности. При машинной обработке возможно также, путем ряда переборов вариантов отношений, выбрать ту группу, которая дает наиболее контрастные изменения наличия величин отношения, меняющиеся с глубиной.

Подсчитанный по-пробно коэффициент зональности (муль-

типикативный показатель) служит материалом для построения его топоповерхности. Анализ же положения экстремумов показателя зональности, привязанных к геологической основе, является исходным материалом для составления прогнозных оценок изучаемой площади.

В программе «мульти» один массив исходных данных может содержать не более 150 проб с определением в них 37 элементов. Число же таких массивов не ограничено. Результаты печатаются на АЦПУ, а время счета зависит от размера массива и скорости работы АЦПУ.

В связи с отсутствием на большинстве ВЦ графопостроителей, в настоящее время рисовку всех топоповерхностей отмеченных выше показателей предусматривается вести на АЦПУ по программе В. Джеймса (США). Перевод и отладка программы для машины ЕС-1020 осуществлены С. И. Ашкиназе. Программа предназначена для рисовки линий одинаковых значений любых величин, характеризующих точку заданной площади. Совокупность значений этих величин в точках опробования рассматривается как дискретная функция двух переменных. Эта функция приближается при помощи ряда Фурье, т. е. непрерывной функцией вида

$$f(x, y) = \sum_{n, m=0}^k a_{n, m} \cos nx \cdot \sin my + \sum_{n, m=0}^k b_{n, m} \cos nx \cdot \cos my + \\ + \sum_{n, m=0}^k c_{n, m} \sin nx \cdot \cos my + \sum_{n, m=0}^k d_{n, m} \sin nx \cdot \sin my$$

по методу наименьших квадратов. Далее берутся значения $f(x, y)$ в точках регулярной решетки. Весь интервал значений функции $f(x, y)$ разбивается на равные отрезки и, в зависимости от того, к какому из них принадлежит значение функции в данной точке, в этой точке (на АЦПУ) пробивается свой символ. В результате при распечатке результатов различными символами забиваются площади с отличающимися значениями функции (содержания элементов, мультипликативного показателя и др.). Границы этих площадей являются линиями равной величины численных характеристик геометризуемого поля. Программа рассчитана на 200 точек опробования при длине ряда приближения в 10 членов. При незначительной модификации программы (выдача карты на АЦПУ построчно, а не целиком) можно увеличить размеры карты и количество точек опробования до 1500.

Таким образом, описанная выше последовательность обработки геохимической информации с применением системной программы «мульти» в настоящее время дает возможность в значительной степени сократить время, затрачиваемое на получение конечных результатов геохимических исследований, связанных с конкретными рекомендациями по направлению геологоразведочных работ. Улучшается качество обработки самой аналитической информации и увеличивается количество вариантов расчета, что также сказывается на конечных результатах работ. Оперативность геохимических рекомендаций может обусловить значительную экономию средств, отпускаемых на разведку, своевременно корректируя последнюю.

Следует также подчеркнуть, что в программе «мульти» путем незначительных добавок можно ввести подпрограмму «зона», касающуюся определения параметров зон с рассеянной рудной минерализацией (Григорян, 1973), и ряд других разработок.

Системная программа «мульти» является не единственной в области применения прикладной геохимии при геологоразведочных работах. Естественно проведение дальнейших ее модификаций и улучшений. Необходимо введение в эту систему кластерных подпрограмм и т. д. Однако это более сложная задача, также как и оценка геохимических полей и поисков координат их экстремумов, требующая углубленной разработки.

ЛИТЕРАТУРА

Беус А. А., Григорян С. В. Руководство по предварительной математической обработке геохимической информации при поисковых работах. «Недра», 1965.

Григорян С. В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке гидротермальных месторождений. — Сов. геология, № 1, 1973.

Геохимические методы при поисках эндогенных рудных месторождений (методические рекомендации), составитель С. В. Григорян. Изд. ИМГРЭ, 1974.

Соловов А. П., Гаранин А. В., Виль П. С. Исследование зональности рудных месторождений с помощью ЭВМ. — Опти КазИМСа, Алма-Ата, 1973.

**Ряд зональности элементов,
упорядоченный по убыванию
координаты центров тяжести
показателя зональности элемента**

Элементы	Центры тяжести
Sb	26,9
Ba	74,8
Ag	105,8
As	142,8
Pb	159,8
Zn	170,2
Mo	208,6
Co	241,7
Cu	244,2
Bi	283,3
Sn	298,9

**Ряд зональности элементов,
упорядоченный по убыванию
координаты центров тяжести
относительных мощностей ореолов**

Элементы	Центры тяжести
Sb	96,2
Ag	156,9
Pb	167,4
As	176,3
Zn	183,2
Mo	189,9
Co	192,9
Ba	193,5
Cu	234,5
Bi	242,5
Sn	245,0

Расхождение между центрами тяжести элемента по показателю зональности и мощности ореолов

Элементы	Расхождение
Ba	-118,7
Pb	-7,6
Zn	-13,0
Cu	9,7
Bi	40,8
Co	48,7
Mo	18,7
Sn	53,9
Ag	-51,1
As	-33,4
Sb	-69,3

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<i>В. Ф. Мягков.</i> Вопросы теории математической обработки геохимической информации при поисках месторождений	3
<i>Р. И. Дубов.</i> Состояние и перспективы применения математических методов в поисковой геохимии	14
<i>А. Л. Павлов.</i> Первичные геохимические ореолы сульфидных месторождений как индикаторы изменения физико-химических условий среды минералообразования	20
<i>М. И. Воин, В. В. Полищко.</i> Применение тренд-анализа для выявления геохимических аномалий на золоторудных месторождениях	28
<i>Н. Н. Сочеванов, Е. К. Горелова.</i> Расчеты и методы изображения геохимической зональности по центрам тяжести продуктивностей элементов	40
<i>М. Н. Афанасьев.</i> Опыт сравнительной количественной оценки вторичных ореолов молибдена (юг Красноярского края)	52
<i>Г. И. Верес, И. А. Транквилицкая.</i> Устройство для концентрации летучих компонентов газовой-жидкой включений в минералах	58
<i>В. И. Морозов, Л. Н. Гинзбург.</i> Выбор оптимальных индикаторных показателей при оценке уровня эрозионного среза вторичных литохимических аномалий в ландшафтах аридной зоны	60
<i>В. З. Фурсов, В. А. Бабкин.</i> Ртутный пешеходный газоанализатор ИМГРЭ-4	74
<i>Н. А. Виноградова, Р. В. Вилькович, Е. И. Зайцев, В. И. Мильчаков, И. М. Шульгина.</i> Некоторые примеры использования рентгенорадиометрического анализа при геохимических поисках	83
<i>С. В. Григорян, Г. Л. Рубо, С. А. Сандомирский.</i> Обработка геохимической информации на ЭВМ типа «Ряд» с применением программы «мульти»	93

УДК 550.84 : 519.2

Вопросы теории математической обработки геохимической информации при поисках месторождений. Мягков В. Ф. Сб. «Методы обработки цифровой информации при геохимических поисках». Изд. ИМГРЭ, 1975, стр. 3.

Проанализирована теоретическая пространственная модель ореола рассеяния веществ Сафронова—Соловова. Показано, что в границах модели при условии равномерного опробования площади аномалии и прилегающих к ней участков геохимического поля пространственная задача ее выявления и оконтуривания может быть сведена к статистической. Закон статистического распределения во внимание может не приниматься. Расчеты во всех случаях подлежат только средние и дисперсии. При применении методов мультипликативных полей и отношений элементов следует учитывать пространственное соотношение их геохимических полей. Метод мультипликации дает усиление полезного «сигнала» в случае согласного изменения полей. Метод соотношений применяется при инверсионном соотношении полей. Оценка пространственных соотношений может быть выполнена по показателю соответствия рангов Спирмэна. Сформулировано правило составления комплексных показателей, представляющих собой отношения произведений содержаний элементов.

Илл. 2, табл. 1, библи. 9 назв.

УДК 550.84 : 519.2

Состояние и перспективы применения математических методов в поисковой геохимии. Дубов Р. И. Сб. «Методы обработки цифровой информации при геохимических поисках». Изд. ИМГРЭ, 1975, стр. 14.

Показаны возможности применения математических методов для совершенствования методики геохимических поисков при условии правильного выбора этих методов для конкретных условий и развития теории такого выбора, с тем, чтобы обеспечить построение систем автоматической обработки данных.

Библи. 18 назв.

УДК 550.84.

Первичные геохимические ореолы сульфидных месторождений как индикаторы изменения физико-химических условий среды минералообразования. Павлов А. Л. Сб. «Методы обработки цифровой информации при геохимических поисках». Изд. ИМГРЭ, 1975, стр. 20.

Существование функциональной зависимости между рН (и Eh) и активностью растворенных комплексов в щелочно-сульфидных растворах может обеспечить зональное разделение минеральных соединений в направлении изменения этих параметров среды в пространстве по путям движения рудообразующих растворов, приводя к формированию рудных залежей и сопровождающих их первичных геохимических ореолов.

Табл. 2, библи. 6 назв.

УДК 550.84+553.411

Применение тренд-анализа для выявления геохимических аномалий на золоторудных месторождениях. Воин М. И., Полиенко В. В. Сб. «Методы обработки цифровой информации при геохимических поисках». Изд. ИМГРЭ, 1975, стр. 28.

Выявление геохимических аномалий с помощью тренд-анализа подтверждает, что он является удобным и достаточно надежным инструментом обработки данных о содержаниях полезных компонентов при оценке и прогнозировании на глубину оруденения со сложным распределением полезного компонента.

Илл. 2, табл. 3, библи. 11 назв.

УДК 550.84 : 519.2

Расчеты и методы изображения геохимической зональности по центрам тяжести продуктивностей элементов. Сочеванов Н. Н., Горелова Е. К. Сб. «Методы обработки цифровой информации при геохимических поисках», Изд. ИМГРЭ, 1975, стр. 40.

Предлагаемая методика позволяет оценивать положение каждого элемента в ряду зональности, так, что исключение одного или нескольких элементов из ряда не требует повторных расчетов, и, кроме того, позволяет устанавливать процент запаса элемента по горизонтам, а также границу между верхними, средними и нижними элементами ряда. Следует стремиться к использованию по возможности более полных данных, с охватом надрудных и подрудных элементов.

Илл. 2, табл. 2, библи. 3 назв.

УДК 550.84 : 519.2

Опыт сравнительной количественной оценки вторичных ореолов молибдена (юг Красноярского края). Афанасьев М. Н. Сб. «Методы обработки цифровой информации при геохимических поисках».

Изд. ИМГРЭ, 1975, стр. 52.

Оценка вторичных ореолов молибдена позволила разбраковать геохимические аномалии и определить сравнительный масштаб оруденения для перспективных участков.

Илл. 1, табл. 1, библи. 4 назв.

УДК 549.08

Устройство для концентрации летучих компонентов газовой-жидких включений в минералах. Верес Г. И., Трайквилицкая И. А., Сб. «Методы обработки цифровой информации при геохимических поисках». Изд. ИМГРЭ, 1975, стр. 58.

Разработано устройство для термического экстрагирования летучих компонентов газовой-жидких включений с одновременной подачей их в накопитель или анализатор.

Илл. 1.

УДК 550.842 : 519.2

Выбор оптимальных индикаторных показателей при оценке уровня эрозионного среза вторичных литохимических аномалий в ландшафтах аридной зоны. Морозов В. И., Гинзбург Л. Н. Сб. «Методы обработки цифровой информации при геохимических поисках». ИМГРЭ, 1975, стр. 60.

В качестве наиболее информативного для средних районов Центрального Карамазара выбрано соотношение $\frac{Pb \times Ag \times Ba \times Zn}{Cu \times Bi \times W \times Co}$, по величине

которого дифференцируется уровень эрозионного среза вторичных ореолов даже для разнотипных рудных формаций. Разрешающая способность этого соотношения превышает 7 порядков, тогда как разница между первичными и вторичными ореолами по величине этого соотношения не превышает одного порядка, что свидетельствует о целесообразности его использования при интерпретации вторичных ореолов в этом районе. Илл. 4, табл. 3, библиограф. 10 назв.

УДК 543.27.

Ртутный пешеходный газоанализатор ИМГРЭ-4 Фурсов В. З., Бабкин В. А. Сб. «Методы обработки цифровой информации при геохимических поисках». Изд. ИМГРЭ, 1975, стр. 74.

Результаты газортутных исследований, выполненных прибором ИМГРЭ-4, свидетельствуют об эффективности газортутного метода для поисков сульфидных месторождений.

Илл. 4, библиограф. 2 назв.

УДК 543.52 : 550.842

Некоторые примеры использования рентгенорадиометрического анализа при геохимических поисках. Виноградова Н. А., Вилькович Р. В., Зайцев Е. И., Мильчаков В. И., Шульгина И. М. Сб. «Методы обработки цифровой информации при геохимических поисках». Изд. ИМГРЭ, 1975, стр. 83.

Высокая экспрессность рентгенорадиометрического анализа, позволяющая выдавать результаты анализа в день отбора проб, обеспечивает оперативную корреляцию разведочных работ и является эффективным средством выявления геохимических аномалий, связанных с различными типами оруденения.

Илл. 5, табл. 2.

УДК 550.842 : 519.2

Обработка геохимической информации на ЭВМ типа «Ряд» с применением программы «мульти». Григорян С. В., Рубо Г. Л., Сандомирский С. А. Сб. «Методы обработки цифровой информации при геохимических поисках». Изд. ИМГРЭ, 1975, стр. 93.

Дается описание принципа обработки геохимической информации по алгоритму С. В. Григоряна, когда при помощи ЭВМ производится построение мультипликативных ореолов и ряда зональности. Специальными программами результаты счета геометризуются на АЦПУ ЭВМ.

Илл. 2, библиограф. 4 назв.

**МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ
ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКАХ**

*Утверждено к печати
Институтом минералогии, геохимии и кристаллохимии
редких элементов*

Редакторы: *Т. И. Нафелова, Т. С. Барина*
Технический редактор *Е. А. Хазанова*

Т-00025	Подп. к печ. 7/1-1976 г.	Формат бумаги 60×90 ¹ / ₁₆
Объем 6,75 печ. л.	Тираж 400 экз.	Зак. 766 Цена 47 коп.

Типография ХОЗУ Миннефтепрома

Цена 47 коп.

2304