

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ
МЕТОДЫ
ПОИСКОВ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ОЛОВА,
ВОЛЬФРАМА
И РТУТИ**

Владивосток
1979

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ НАУЧНЫЙ
ЦЕНТР
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГЕОЛО-
ГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ РСФСР
ПРИМОРСКОЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ
ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОЛОВА, ВОЛЬФРАМА И РТУТИ

Владивосток
1979

В сборнике рассматриваются вопросы применения и комплексирования геохимических и других методов при поисках и оценке рудных месторождений на территории Дальнего Востока и Восточной Сибири; описываются геохимические и минералого-геохимические критерии и методы прогнозной количественной оценки оловянного и вольфрамового оруденения на глубину; показаны возможности применения и рационального комплексирования аналитических методов при геолого-геохимических исследованиях.

Представляет интерес для геологов производственных и научно-исследовательских организаций, занимающихся прогнозированием, поисками и оценкой рудных месторождений.

**Издано по решению Редакционно-издательского совета
Дальневосточного научного центра АН СССР**

Ответственные редакторы д. г.-м. н. И. Н. Говоров, к. г.-м. н. А. И. Бураго

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ ПОИСКАХ ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ПРИМОРЬЕ

А. И. Бураго, В. П. Василенко

Приморское территориальное геологическое управление, г. Владивосток

Территория Приморского края характеризуется высокой геологической изученностью. Так, подавляющее большинство вскрытых эрозией месторождений олова к настоящему времени оказались выявленными, а вероятность обнаружения новых объектов, характеризующихся промышленными параметрами оруденения с поверхности, значительно снизилась. В то же время результаты ранее проведенных геологических исследований свидетельствуют о достаточно высокой перспективности территории края на выявление слабозеродированных и скрытых оловорудных месторождений. Направленность работ на выявление слабозеродированных месторождений усложняет поисково-разведочный процесс и требует, с одной стороны, совершенствования геохимических методов, а с другой — их рационального комплексирования с геофизическими, геолого-структурными, минералогическими исследованиями, изучением петролого-геохимических особенностей аномальных полей, картированием метасоматической зональности перспективных территорий.

Благодаря методическим исследованиям, проведенным в последние годы сотрудниками ПТГУ, ИМГРЭ, кафедры геохимии МГУ, была получена обширная информация по особенностям распределения химических элементов в пределах оловорудных месторождений, разработаны методы поисков и выявлены критерии оценки оловянного оруденения по первичным и вторичным литохимическим ореолам применительно к условиям Приморского края. В связи с обширностью полученного материала не представляется возможным с необходимой детальностью изложить всю имеющуюся полезную информацию по затронутому вопросу. Поэтому в настоящем сообщении остановимся лишь на основных результатах исследований Центральной геохимической партии ПТГУ по изучению первичных ореолов оловорудных месторождений Приморья и использованию выявленных закономерностей при поисках и оценке оловянного оруденения.

Основные выводы, полученные в результате этих работ, сводятся к следующему.

1. Все изученные оловорудные месторождения (в том числе

и непромышленные) сопровождаются значительными по размерам и интенсивности первичными ореолами большой группы химических элементов. Эмпирический ряд вертикальной зональности первичных ореолов сульфидно-касситеритовых месторождений имеет следующее строение (сверху вниз): (мышьяк₁, серебро₁, свинец — цинк — сурьма) — марганец — ванадий — (серебро₂, германий, олово, медь) — мышьяк₂ — висмут — вольфрам — молибден.

2. Распределение отдельных химических элементов и их групп характеризуется направленными изменениями значений их концентраций, что дает возможность использовать отношения этих характеристик для оценки уровня пересечения оловянного оруденения (Бураго, Чуланов, 1974, 1978).

3. Интенсивность вертикальной дифференциации химических элементов в первичных ореолах отражает минералогический состав рудных тел и является показателем геохимической классификации оловорудных месторождений. Например, в ряду от мало- до многосвинцово-цинковых оловорудных месторождений расстояния между максимальными значениями относительных концентраций свинца и висмута составляют: в Дубровском — 1000 м, Верхнем — 645, Хрустальном — 560, Силовском — 480, Арсеньевском — 400, Нижнем — 70—100 м. Показателем вертикальной дифференциации химических элементов является отношение суммы расстояний между положением максимальных значений относительных концентраций олова и основных ореолообразующих элементов к вертикальной протяженности рудного интервала.

4. Изменение линейной продуктивности первичного ореола вверх и вниз от центра оруденения приближенно описывается логарифмическим уравнением первой степени и графически изображается прямыми линиями, наклоненными в разные стороны от уровня с максимальным оруденением: $\lg m_i = a_0 x_i + \lg m_{m.a}$, где m_i — значение линейной продуктивности ореола олова в i -м пересечении; $m_{m.a}$ — значение того же параметра на уровне с максимальным оруденением; x_i — расстояние от i -го пересечения до уровня с максимальным оловянным оруденением; a_0 — эмпирический коэффициент.

5. Изменение линейной продуктивности олова по рудному телу (или группе сближенных рудных тел) в плоскости его продольного разреза описывается логарифмическим уравнением второй степени:

$$\lg M_i = a(X_i \cos \varphi - Y_i \sin \varphi)^2 + b(Y_i \cos \varphi + X_i \sin \varphi)^2 + \lg M_{m.a},$$

где M_i — линейная продуктивность рудного тела в i -м пересечении; $M_{m.a}$ — максимальное значение того же параметра; a , b — эмпирические коэффициенты; X_i , Y_i — координаты i -го пересечения в плоскости продольного разреза рудного тела; φ — угол наклона системы координат.

Эту весьма важную в прикладном отношении зависимость, представляющую собой фрагмент геохимической модели оруденения, можно сформулировать следующим образом: значение логарифма линейной продуктивности рудного тела по олову изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния от максимума оруденения.

6. Значения линейной продуктивности рудных тел и их первичных ореолов (по олову) на уровне с максимальным оруденением связаны между собой функциональной зависимостью, которая с удовлетворительной точностью аппроксимируется одним из следующим эмпирических уравнений:

$$\lg M_{n,a\gamma} = \text{antlg} (0,1 \sqrt{m_{n,a\gamma}} - 0,68) - \frac{0,5 \lg m_{n,a\gamma}}{m_{n,a\gamma}} 0,08, \text{ или}$$

$$\lg M_{n,a\gamma} = 0,82(\lg m_{n,a\gamma})^3 - 1,7 (\lg m_{n,a\gamma})^2 + \lg m_{n,a\gamma} + 0,3.$$

7. Использование приведенных в пунктах 4—6 функциональных зависимостей для построения плоских схематических моделей сульфидно-касситеритовых месторождений с крутозалегающими жильными и жиллообразными рудными телами позволило сделать следующие выводы:

а) общая вертикальная протяженность первичного ореола олова крупного месторождения составляет 2500 м и более, среднего — 1800—2000, мелкого — 700—750 м при размахе рудного интервала соответственно 550—600 м, 400—500, 250—300 м;

б) количество олова, привнесенного в первичный ореол, превышает его количество в рудных телах крупного месторождения в 8—10 раз, среднего — в 6—7 раз, мелкого — в 2—3 раза;

в) количество олова, находящегося в пределах рудного интервала (в ореоле и рудных телах), составляет около 80% от общего его количества;

г) скрытые оловорудные месторождения могут быть выявлены по их первичным или вторичным литохимическим ореолам при залегании верхней границы рудного интервала на глубинах 500—600 м для крупного месторождения, 300—400 для среднего, 200—250 м для мелкого.

8. Оловорудные месторождения с достаточной надежностью отличаются от месторождений других рудных формаций по значениям средних содержаний химических элементов в ореолах, нормированных на значения аналогичных показателей, характеризующих месторождения широкой группы рудных формаций, т. е. на «рудный фон» соответствующих химических элементов (см. статью А. Н. Калягина, А. И. Бурого в настоящем сборнике).

Установленные закономерности и геохимические особенности оловорудных месторождений позволили разработать методы и

критерии оценки в различной степени эродированного оловянного оруденения. Критерии позволяют определить рудную формуцию и геохимический тип оловянного оруденения, установить степень эродированности объекта и его перспективность.

Для целей количественной оценки объектов на глубину с расчетом числовых характеристик ожидаемого оруденения и его положения в плоскости продольного разреза оруденения разработаны два метода, базирующихся на выявленных закономерностях и функциональных зависимостях, отражающих основные особенности распределения рудного вещества в рудных телах и их первичных ореолах.

1-й метод — оценка оловянного оруденения по параметрам первичных ореолов и рудных тел (минерализованных зон) на основе использования функциональных зависимостей между линейной продуктивностью рудных тел, ореолов олова и расстоянием от максимума оруденения. Расчет параметров ожидаемого оловянного оруденения производится посредством решения системы двух уравнений с двумя неизвестными («X» и $\lg m_{a\gamma}$):

$$X = \frac{\lg m_i - \lg m_{a\gamma}}{a_0},$$

$$X = \left(\frac{1}{a_p} \right)^{0.5} [\lg M_i - \text{ant} \lg (0.1 \sqrt{m_{a\gamma}} - 0.68) - \frac{0.5 \lg m_{a\gamma}}{m_{a\gamma}} - 0.08^{0.5}].$$

В результате решения этой системы уравнений определяются главные характеристики ожидаемого оловянного оруденения: значение максимальной продуктивности рудных тел по олову, расстояние до максимума оруденения, размах оруденения с промышленными параметрами, прогнозные запасы в пределах изученного интервала рудных тел и первичных ореолов. Этот метод количественной оценки оловянного оруденения может применяться при условии, если известно положение изучаемого сечения относительно уровня максимального оруденения. В противном случае полученное решение неоднозначно. Кроме того, к недостаткам метода следует отнести и то, что значения коэффициентов a_p и a_0 не определяются на каждом конкретном объекте, а подставляются с эталонных месторождений. Положение уровня пересечения объекта относительно максимума оловянной минерализации определяется по значениям мультипликативных геохимических показателей (Определение эрозийного среза..., 1972).

2-й метод — оценка оловянного оруденения по значениям линейной продуктивности рудных тел или минерализованных зон, полученным не менее чем по шести пересечениям, не лежащим на одной прямой в плоскости продольного разреза рудного тела или минерализованной зоны. Метод основан на использовании функциональной зависимости, связывающей зна-

чения логарифма линейной продуктивности рудного тела в любом пересечении через квадраты расстояний со значением этого же параметра в точке с максимальным оловянным оруденением. В расчетах используется система квадратных логарифмических уравнений, составленных на основе использования уравнения, приведенного выше в пункте 5.

Если на оцениваемом объекте имеется более шести пересечений, то необходимо выполнить операцию «сглаживания» наблюдаемых значений линейных продуктивностей или решить задачу оценки оруденения по методу наименьших квадратов.

Система уравнений решается аналитически и имеет единственные действительные корни. В результате могут быть получены следующие данные: а) координаты максимума оруденения в плоскости продольного разреза рудного тела; б) степень эродированности объекта; в) расчетное значение линейной продуктивности рудного тела, ожидаемой на уровне с максимальным оруденением; г) размах и протяженность оруденения с промышленными параметрами; д) прогнозные запасы олова в оцениваемом интервале рудного тела.

Исходными данными для оценки являются значения линейной продуктивности оцениваемой минерализованной зоны и координаты используемых в расчетах пересечений в плоскости продольного разреза зоны.

Преимущество этого метода по сравнению с предыдущим заключается в следующем: а) прогнозная количественная оценка оруденения может быть выполнена по одному химическому элементу — олову; б) все неизвестные характеристики, в том числе и координаты центра оруденения, определяются в процессе расчета для каждого оцениваемого объекта, а не переложены по принципу аналогии с эталонных месторождений; в) расчетами учитывается не только вертикальная (осевая), но и горизонтальная (продольная) изменчивость продуктивности рудного тела; г) одновременно с основными прогнозными характеристиками оцениваемого оруденения определяется и степень его эродированности; д) при достаточном числе исходных пересечений рудного тела (6 и более) определяется склонение рудной залежи (рудных столбов).

К числу недостатков метода следует отнести: необходимость «сглаживания» исходных значений линейных продуктивностей; «минимальный» характер оценки (т. е. невозможность оценки 2-го яруса оруденения); допущение, что в пределах локального расчетного пространства (рудного столба или его части) значения эмпирических коэффициентов постоянны.

В настоящее время в Приморском территориальном геологическом управлении геохимические методы применяются на всех стадиях геологоразведочных работ.

На этапе обобщения поисковых геохимических материалов производится их обработка и предварительная интерпретация

с составлением карт прогнозной оценки геохимических аномалий как основы выбора участков для постановки детальных поисковых и поисково-оценочных работ. При этом максимально используются разработанные методы, приемы и критерии оценки перспективности объектов на олово по первичным и вторичным ореолам. На карте прогнозной оценки аномалий отражаются наиболее важные данные по их перспективности; наиболее вероятная рудная формация; степень эродированности; перспективность.

На стадии общих поисков геохимические работы сопровождаются геологической съемкой, геологическое доизучение территорий, а также проводятся самостоятельно при специализированных поисках м-ба 1:50 000—1:25 000, составляя их основу. Цель и задачи этих работ определены действующей «Инструкцией...» (1965). Поиски оловянного оруденения гидрохимическим и литохимическим (по потокам рассеяния) методами проводятся в управлении в ограниченных объектах. Литохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния ведутся обычно в комплексе с геофизическими методами (магниторазведкой, электроразведкой и др.).

При геологической съемке и геологическом доизучении территорий выявленные ранее геохимические аномалии и рудопроявления в обязательном порядке оцениваются профильными геохимическими работами по первичным или вторичным ореолам рассеяния с применением новейших методов и приемов обработки и интерпретации геохимических материалов.

На стадии детальных поисков (м-б 1 : 10 000 и крупнее) из геохимических методов применяются литохимические поиски по вторичным и первичным ореолам рассеяния в комплексе с геофизическими методами и изучением метасоматической зональности территории. Задачи этих работ заключаются в детализации геохимических аномалий, выявленных на стадии общих поисков (оконтуривание локальных ореолов, вскрытие рудных тел) и прогнозной оценки перспективности оруденения на глубину. Первая задача решается проведением литохимической съемки по вторичным ореолам рассеяния (м-б 1 : 10 000, редко 1 : 25 000), вторая — путем изучения первичных ореолов объекта по нескольким профилям в комплексе с картированием метасоматической зональности площади, включающей оцениваемую аномалию. При необходимости такие работы сопровождаются структурными и минералого-геохимическими исследованиями.

На стадиях поисково-оценочных работ, предварительной и детальной разведки изучаются в основном первичные ореолы с целью увязки рудных тел, определения их перспективности на глубину, выявления «слепого» оруденения и т. д.

Особо следует выделить работы по прогнозной оценке перспективности на оловянное оруденение выявленных ранее

геохимических аномалий, рудопоявлений, недостаточно изученных месторождений. Эти работы в управлении выполняются геохимическими методами в комплексе с картированием метасоматической зональности оцениваемых площадей. Последний вид работ целесообразно проводить с опережением. Опыт показал, что работы по оценке ранее выявленных аномалий целесообразно проводить в 2 этапа.

На первом этапе оценка оруденения выполняется по ограниченному количеству профилей с отбором проб как из коренных пород, так и каменной фракции делювия. По результатам работ определяется формационная принадлежность, уровень эрозийного среза и весьма приближенно промышленная значимость объекта. Оцениваемые объекты подразделяются на «неперспективные» и «возможно перспективные», т. е. требующие дальнейшего изучения. Применяемые критерии и методы обеспечивают необходимую надежность распознавания подавляющей части непромышленных объектов с четко проявленными признаками слабой рудоносности на глубине. На этом этапе работ отбраковывается 75—85% «безрудных» (непромышленных) аномалий и зон рассеянной минерализации.

На втором этапе оценка выделенных «возможно перспективных» объектов производится только по первичным ореолам и характеристикам рудных тел, вскрытых с поверхности (м-б работ 1 : 25 000, 1 : 10 000). На этом этапе производится количественная оценка перспективности оруденения на глубину, уточняется его формационная принадлежность, вскрываются рудные тела и в итоге подсчитываются прогнозные запасы олова.

До 1971 г. основным видом геохимических работ в ПТГУ были литохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния, которые ограничивались в основном выявлением, фиксации и изучением аномалий с поверхности без прогнозной оценки их перспективности на глубину, что объясняется отсутствием в то время соответствующих методов оценки. В итоге в Приморье было зафиксировано большое количество «оловянных» геохимических аномалий.

За годы 9-й пятилетки на территории Приморского края было выявлено еще около 200 новых аномалий и рудопоявлений, в том числе геохимическими методами — 168 аномалий, из них гидрохимических и литохимических по потокам рассеяния — 81, литохимических по вторичным и в меньшей степени первичным ореолам рассеяния — 87 аномалий. Число аномалий, которые могут принадлежать оловорудной формации, составляет 30—35.

В течение 1972—1976 гг. с применением геохимических методов было оценено 158 геохимических аномалий, в том числе оловорудных — 132. По результатам оценки оловорудных аномалий 110 из них признаны неперспективными, 22 аномалии

**Прогнозная оценка перспективности оловорудных объектов
различными методами с результатами заверки бурением
(за период 1971—1976 гг.)**

Объект	Метод и оценка (+ положительная, — отрицательная)				Результаты заверки бурением
	Общегеологические (металлогенетические, литологические, структурные, минерал.)	Геофизические	Метасоматические	Геохимические	
Голубое месторождение	—	+	+	+	+
Встречное месторождение		+	+	+	+
Южно-Силинский участок	+	+	+	+	+
Быстрый участок	+	?	—	+	?
Фурмановское месторождение	+	+	+	—	—
Пихтовый участок	+	+	—	—	—
Туманный-1 участок	+	+	—	—	—
Левопартизанский участок	+	+	+	—	—
Восточно-Силинский участок	+	?	—	—	—
Западно-Силинский участок	+	?	+	—	—
Медвежий участок	+	?	?	—	—
Мирное месторождение	?	+	+	—	—
Ноябрьское месторождение (северный фланг ж. Северной)	+	?	?	—	—

* Метод для оценки объекта не применялся.

получили оценку как «возможно перспективные», в том числе 14 — только на первом этапе работ без подсчета прогнозных запасов с определением геохимического типа и степени эродированности оруденения. Заверочные буровые и горные работы проведены на 13 объектах, в том числе на четырех, оцененных положительно, и девяти — отрицательно. Такое соотношение положительно и отрицательно оцененных оловорудных объектов, охваченных заверочными работами, объясняется принципиальными различиями в оценке их перспективности, полученной различными методами. Отрицательный прогноз по геохимическим данным подтвердился на всех заверенных объектах, показав хорошую сходимость прогнозных и фактических параметров оруденения. Перспективы положительно оцененных геохимическими методами участков подтвердились по трем из четырех объектов. Прогноз не подтвердился по участку Быстрому, хотя рудное поле участка изучено недостаточно.

Проверка прогнозов буровыми и горными работами показала, что наиболее надежно перспективность объекта определяется в том случае, если принципиальная его оценка, сделанная разными методами, совпадает (см. таблицу).

Из опыта проведения подобных работ по оценке оловянного оруденения следует, что на конечном этапе положительную оценку получают 3—5% от числа изученных объектов. Следовательно, можно ожидать, что из 1000 недостаточно изученных аномалий положительную оценку получают 30—50, большую часть из которых, вероятно, будут составлять мелкие и, возможно (по разным причинам), непромышленные месторождения. Чтобы повысить эффективность поисковых работ в условиях Приморья, необходимо увеличить количество ежегодно оцениваемых объектов до 100—150, что, естественно, сопряжено с увеличением ассигнований на эти работы, обеспечением их транспортом, буровой техникой и лабораторной базой.

ЛИТЕРАТУРА

Бураго А. И., Чуланов Э. И. Количественная оценка оловянного оруденения по первичным ореолам. — Информ. листок № 97—74. Владивосток: ДВЦНТИ, 1974. 4 с.

Бураго А. И., Чуланов Э. И. Первичные ореолы оловорудных месторождений Приморья и методы их оценки. — В кн.: Геохим. основы поисков и прогнозирования рудных месторождений. Новосибирск: Наука, 1978, с. 119—138.

Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1965. 227 с.

Определение эрозийного среза эндогенных ореолов рудных тел оловосульфидной формации. — В кн.: Литохимические методы при поисках скрытого оруденения / Э. С. Кравченко, В. С. Лахнюк, Г. Ю. Гинзбург, Н. Ф. Еремин, М. Ф. Пальгуева, М. Н. Сюзов, Ю. Д. Терехин, И. В. Трефилова, В. А. Шугина. М.: Изд-во ИМГРЭ, 1972, с. 35—37.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ ОЛОВЯННОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ХАБАРОВСКОМ КРАЕ И АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

П. Н. Селезнев, В. А. Кравцов, Л. В. Эйриш, Н. В. Огнянов

Дальневосточное геологическое управление, г. Хабаровск

На территории деятельности Дальневосточного геологического управления основные оловоносные площади сосредоточены в Комсомольском районе, на Малом Хингане, в Северном Сихотэ-Алине, Баджалском хребте, в верховьях Буреи, Селемджи и Керби. Промышленное значение имеют месторождения касситерито-сульфидной и касситерито-силикатной формаций, представленные обычно линейными минерализованными зонами дробления, реже штокверками. Рудные тела локализуются

в осадочных породах юры и мела и в позднемеловых вулканах.

Плохая обнаженность территории предопределила широкое использование геохимических методов поисков. Особенно интенсивно они стали применяться в последние 15—20 лет. В настоящее время комплекс геохимических методов является обязательным на всех стадиях поисково-разведочного процесса. Ежегодно при поисково-разведочных работах на олово в ДВТГУ отбирается около 90—100 тыс. геохимических проб.

Исторически сложилось так, что новые оловоносные площади и районы выявились шлиховым опробованием аллювия гидросети и штучным опробованием при обзорных геологопоисковых работах. Дальнейшее развитие поисковых и разведочных работ во многом базировалось на данных геохимического опробования. Принятая в ДВТГУ схема развития геохимических (и минералогических) поисков оловянного оруденения следующая.

1. Поиски м-ба 1 : 50 000 — шлиховое, донное и гидрохимическое опробование по гидросети с шагом отбора проб 150—300 м; литогеохимическое опробование делювиальных и элювиальных суглинков по сети 500×50 м; штучное опробование аллювия, делювия, коренных пород с произвольным шагом отбора проб.

2. Поиски м-ба 1 : 10 000 — шлиховое, донное и гидрохимическое опробование по гидросети с шагом отбора проб 50—100 м; литогеохимическое опробование делювиальных и элювиальных суглинков по сети 100×20 м; штучное опробование аллювия, делювия, коренных пород с произвольным шагом отбора проб. По данным геохимического опробования производится вскрытие рудных зон горными выработками.

3. На выявленных оловорудных месторождениях изучаются геохимические особенности руд и окорудных пород с целью получения критериев оценки оруденения на глубину. В процессе разведочных работ используются геохимические методы прогнозирования оловянного оруденения, разработанные Б. Л. Барсуковым, Н. Н. Никулиным, Ю. И. Бакулиным и др.

Кратко рассмотрим эффективность применяющихся геохимических методов поисков и исследований.

Литохимические поиски по вторичным потокам рассеяния с шагом отбора проб 150—300 м (м-б 1 : 50 000) и 50—100 м (м-б 1 : 10 000) дают удовлетворительные и хорошие результаты, если опробуется песчаный, а не илистый материал. Почти все оловорудные и олово-полиметаллические месторождения фиксируются аномальными потоками рассеяния олова с содержанием 0,001—0,004% (Хинганское, Березовское, Пионерское месторождения Комсомольского района) и даже 0,006—0,08% (Уджак, Таусинское, Руднинское, Надежда). Олову обычно сопутствуют свинец (0,01—0,05%), цинк (0,04—0,2%), иногда

медь (0,01—0,05%). Донное опробование фактически дублирует результаты шлихового опробования.

Литохимическими поисками по вторичным ореолам рассеяния уже при сети опробования 500×50 м и 250×40 м (м-бы 1 : 50 000, 1 : 25 000) выявляются рудные поля и крупные минерализованные зоны. Так были открыты Карадубское (участок Нижний) и Верхнебиджанское месторождения, оконтурены рудные поля ряда оловорудных месторождений Северного Сихотэ-Алиня. Содержание олова в пробах 0,001—0,03%, редко до 0,1%. Олову сопутствуют свинец (0,005—0,5%), цинк (0,01—0,02%), иногда медь (0,004—0,03%).

Наиболее эффективными являются детальные литохимические поиски м-ба 1 : 10 000 (сеть опробования 100×20 м). Этим видом поисков покрыта центральная часть Комсомольского оловорудного района (более 600 км²), все оловорудные поля Малого Хингана и Северного Сихотэ-Алиня. Литохимическое опробование этого масштаба фиксирует все рудные поля и зоны и даже отдельные рудные тела. Именно по литохимическим ореолам рассеяния олова были выявлены рудные тела в зонах Ягодной, Западной и Водораздельной Фестивального месторождения, в зоне Майской Перевального месторождения, в зоне Ближней Лунного месторождения, в зоне Ветвистой, в рудных зонах участка Тихого, на Карадубском, Верхнебиджанском и Мопанском (3-я зона) месторождениях, а также оконтурены все оловорудные зоны месторождений Руднинское, Надежда, Пионерское и др.

Содержание олова в ореолах — тысячные и сотые доли процента, близ выходов рудных тел оно повышается до 0,1—0,3%. Ореолы рассеяния свинца, цинка, иногда меди и мышьяка чаще совпадают с ореолами олова, однако прямые корреляционные связи этих элементов с оловом проявляются не всегда (месторождение Мопан). На Джалинском месторождении (Малый Хинган) с вторичными ореолами рассеяния олова совпадают ореолы индия с содержанием от следов до 0,01%.

Эффективность литохимических поисков зависит от конкретных геологических и ландшафтных условий. При прочих равных условиях с оруденением, локализованным в осадочных породах (месторождения Таусинское, Руднинское), обычно связаны более контрастные ореолы, чем с оруденением в вулканогенных образованиях. Ландшафтно-геохимические исследования Ю. И. Бакулина, выполненные в районе Перевального месторождения, показали, что проведенное здесь ранее литохимическое опробование на площадях развития гравитационно-осыпных типов ландшафтов с кислым глеевым классом водной миграции имеет низкую достоверность.

Полученные нами предварительные данные по опробованию электромагнитной фракции шлихов и обогащенных в лотке донных проб свидетельствуют о значительных перспективах

этих методов, как более чувствительных и, возможно, пригодных для обнаружения с поверхности слабоэродированных рудных зон.

Высокой эффективностью отличается массовое (геохимическое) штучное опробование при поисках м-ба 1 : 50 000 с произвольным шагом отбора проб и при детальных поисках по сети 100×20 м. Этот метод имеет больше преимуществ перед донным и литохимическим опробованием, так как дает прямые данные о характере оруденения.

Гидрохимическое опробование проводится попутно со шлиховым и донным опробованием при поисках м-ба 1 : 50 000 и 1 : 100 000. Рудные зоны обычно фиксируются короткими (100—300 м) водными потоками с аномальными значениями суммы металлов (свинец, цинк, медь, мышьяк, серебро) и сульфат-иона. Месторождение Березовое, почти не выходящее на дневную поверхность, открыто в значительной мере благодаря данным гидрохимического опробования. В районе месторождения был обнаружен достаточно протяженный (1,5 км) поток рассеяния свинца, цинка, молибдена, серебра и мышьяка с содержанием олова до 100 мкг/л. Отметим, что некоторые месторождения (Уджак, Пионерское) фактически не обнаруживаются по данным гидрохимического опробования.

В Комсомольском рудном районе установлено, что все рудные тела и наиболее перспективные интервалы минерализованных зон сопровождаются гидрохимическими аномалиями олова и других металлов, которые по комплексу химических элементов в общем соответствуют составу нижележащих рудных тел. В отдельных случаях результаты гидрохимического опробования позволяют оценивать перспективы глубоких горизонтов зон. Так, на Октябрьском месторождении установлено, что гидрохимической аномалией олова, меди и серебра сопровождается Левобережная зона, а Центральная вообще не имеет гидрохимической аномалии, хотя с поверхности в ней были вскрыты промышленные руды. Проведенные разведочные работы показали, что в Центральной зоне промышленное оруденение выклинивается в 20—40 м от поверхности, в то время как в Левобережной промышленные руды прослежены до глубины 200 м от поверхности.

В отдельных случаях гидрохимическое опробование дает возможность оценивать интервалы зон, перекрытые мощными аллювиально-делювиальными отложениями. Так, интервал с промышленными рудами в зоне Промежуточной участка Тихого, перекрытый аллювиальными отложениями р. Силика мощностью до 20 м, четко фиксируется контрастной гидрохимической аномалией олова, свинца и цинка. Оловянными гидрохимическими аномалиями сопровождаются многие рудные зоны Комсомольского района, а комплексными аномалиями фиксируются почти все рудные объекты.

Изучение геохимии руд и эндогенных ореолов

Наиболее широко эти исследования проводятся в Комсомольском рудном районе. Геологами Комсомольской экспедиции при обобщении материалов по геохимической характеристике зон были выявлены основные геохимические особенности месторождений и возможности их использования при оценке зон минерализации. При этом установлено, что в пределах минерализованных зон типоморфные элементы совместно с оловом образуют обогащенные участки — рудные столбы. В плоскости зоны эти элементы распределены зонально, причем устанавливается довольно отчетливая вертикальная и горизонтальная зональность, а в ряде случаев наблюдаются признаки концентрической зональности вокруг центра минерализации, пространственно совпадающего с максимумом концентраций олова.

Общий ряд зональности распределения элементов выглядит следующим образом (снизу вверх или от центра к периферии): вольфрам, олово, висмут — мышьяк, медь — цинк, серебро, индий, свинец — сурьма. Из всех вышеназванных типоморфных элементов наиболее благоприятными для индикации скрытого оруденения являются цинк, свинец, серебро и сурьма, имеющие преимущественное развитие на верхних горизонтах зон. Размах ореолов этих элементов достигает 300—350 м, однако наибольшую контрастность они приобретают при удалении от границы оловорудного тела на 100—150 м. Сурьма размещается преимущественно на самых верхних горизонтах зон, образуя более локальные, чем свинец и цинк, ореолы. Как было отмечено выше, в нижних частях зон наряду с указанными элементами появляется медь, которая обычно локализуется в тесной пространственной связи с оловянной минерализацией или на 50—70 м выше рудного тела. К центральным частям оловорудных тел приурочены повышенные концентрации висмута. Мышьяк — сквозной элемент. Это объясняется, по-видимому, тем, что в рудных зонах присутствует не менее двух генераций арсенопирита: первая выделилась в касситерито-кварцевую стадию, вторая — в кварцево-сульфидную, причем первая генерация арсенопирита развита в нижних и центральных частях оловорудных тел, а вторая — на верхних горизонтах совместно с халькопиритом, сфалеритом и галенитом. Эти особенности зонального распределения типоморфных элементов широко используются в повседневной практике поисковых и разведочных работ для оценки степени эродированности объектов и выделения в их пределах наиболее перспективных интервалов.

Под методическим руководством сотрудника ВИТРа С. С. Мещерякова в районе проводились опытно-методические работы по внедрению геохимических методов поисков по первичным ореолам на основе высокочувствительного анализа на

халькофильные элементы (в комплексе с методами скважинной геофизики). Установлено, что в первичных ореолах, связанных с рудной минерализацией, постоянно присутствуют в повышенных концентрациях олово, мышьяк, медь, висмут, цинк, свинец, сурьма, серебро, индий. Зональность ореолов в ряде случаев можно использовать для оценки перспектив глубоких горизонтов рудных зон. Обычно в средней части рудного тела (по вертикали) наиболее широкие ореолы образуют серебро и свинец, затем следует зона висмута, олова и сурьмы, непосредственно к рудной зоне примыкает ореол мышьяка.

Метод В. Л. Барсукова

В. Л. Барсуковым и А. Г. Волосовым в ГЕОХИ АН СССР разработана методика глубинного прогноза оловянного оруденения, основанная на закономерностях распределения содержания фтора в околожильных породах и жильном выполнении.

Метод проверен на 24 зонах, по которым было опробовано 72 пересечения. Рекомендации были выданы по 57 пересечениям. Прогнозы проверены по 40 пересечениям.

В 20 случаях установлена сходимость прогнозов с данными проверки, из них в 17 случаях подтвердилась отрицательная оценка глубоких горизонтов зон, а в трех случаях — положительная. В 20 случаях установлены значительные расхождения прогнозных запасов с фактическими, в том числе не подтвердились 16 положительных прогнозов, а в 4 случаях при отрицательных прогнозах на глубине установлены промышленные руды.

Следует подчеркнуть, что этот метод не дает определенного решения в тех случаях, когда в составе зоны минерализации отсутствует жильное выполнение и она сложена метасоматитами, например пропилитами или кварцево-серицитовыми породами. Это является недостатком метода, так как многие слабоэродированные зоны на поверхности представлены лишь зонами пропилитизации или серицитизации. Другим недостатком метода, снижающим его разрешающую способность, является то, что в случае присутствия в рудных зонах таких фторсодержащих минералов, как флюорит и апатит, резко искажается характер распределения фтора и, как следствие, снижается надежность прогноза.

Метод Ю. И. Бакулина и Н. Н. Никулина

На Перевальном месторождении выявлена функциональная зависимость между концентрациями бора и олова, а также установлено, что изменение содержаний этих элементов с глубиной приближенно описывается параболой. По мнению авторов метода, это дает возможность использовать концентрации

бора и бор-оловянное отношение для определения уровня эрозионного среза и размаха оруденения на глубину.

На основании этих данных авторами метода составлен график в полулогарифмическом масштабе, где абсцисса — логарифмы концентраций бора и бор-оловянное отношение, а ордината — абсолютные отметки в метрах. График был использован для определения размаха оруденения на глубину при разведке флангов и глубоких горизонтов зон Северной и Майской Перевального месторождения. Экспериментальная проверка достоверности составленного графика проведена по 54 скважинам. Из них 8 скважин вскрыли зону минерализации выше верхней границы рудного тела, 1 — в подрудной части, 29 — вблизи верхней и нижней границы, а остальные 16 характеризуют центральную часть рудного тела.

Надежность определения места пересечения рудной зоны буровыми скважинами по концентрации бора и бор-оловянному отношению достаточно высока и составляет около 93% (50 подтверждений из 54). Таким образом, результаты экспериментальной проверки характеризуют данный метод как достаточно надежный.

Метод Н. Н. Никулина

Работами Н. Н. Никулина установлено закономерное снижение содержания индия в касситеритах от верхних горизонтов к нижним, и наоборот, увеличение содержаний ниобия и скандия с глубиной, что позволяет, по мнению автора, использовать отношения концентраций индия, ниобия и скандия для определения степени эродированности рудных тел и качественной оценки размаха оруденения на глубину.

Н. Н. Никулиным было дано 12 рекомендаций по оценке протяженности на глубину оловянного оруденения по девяти рудным зонам, причем три из них относились к уже разведанным зонам, и оценка размаха оруденения здесь хорошо совпала с данными разведки. 6 рекомендаций проверено в течение 1971—1973 гг., причем в 3 случаях прогнозный размах оруденения подтверждается данными разведки. Так, по скв. № 36 зоны Соболиной прогнозный размах оруденения оценивался в 400 м, по данным разведки он составляет 300—350 м по III—IV профилям Геофизической зоны, что было подтверждено последующими геологоразведочными работами. В 3 случаях установлены значительные расхождения прогнозных и фактических данных.

Приведенные выше данные по проверке рекомендаций, сделанных на основе применения метода Н. Н. Никулина, свидетельствуют о том, что данный метод является перспективным и при соответствующей доработке найдет широкое применение в практике поисковых работ.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОЛОВА, ВОЛЬФРАМА, РТУТИ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ СССР

П. В. Бабкин, Л. А. Павлюченко, М. В. Филимонов

Северо-Восточное территориальное геологическое управление, г. Магадан

Территория Северо-Востока СССР является крупной оловянной, вольфрамовой и ртутной провинцией страны. Оловянное оруденение здесь представлено кварцево-касситеритовой, кварцево-силикатной, кварцево-сульфидной, риолитовой и скарновой (оловоносных скарнов) формациями. Наибольшее промышленное значение имеют месторождения кварцево-касситеритовой формации, приуроченные главным образом к мезозойским складчатым областям и жестким структурам. Представителем этой формации является Иультинский рудный узел, в котором оловянная минерализация постоянно ассоциирует с вольфрамовой. В пределах мезозонд имеются и собственно вольфрамовые месторождения кварцево-вольфрамитовой формации (месторождение Бохапча).

Охотско-Чукотскому вулканогенному поясу присущи месторождения касситерито-силикатной, касситерито-сульфидной и риолитовой формаций. Первая характерна и для кайнозонд.

По структурно-морфологическим признакам рудные тела месторождений и проявлений различных формаций подразделяются на простые и сложные жилы, жильные зоны, линейные штокверки и прожилково-метасоматические зоны. В структурном отношении оловянное и оловянно-вольфрамовое оруденение, как правило, приурочено к местам пересечения крупных протяженных разломов с поперечными долгоживущими разрывами.

Поиски месторождений в пределах складчатых областей, жестких структур и вулканогенного пояса имеют некоторые отличия, касающиеся прежде всего геохимических методов.

Поиски месторождений кварцево-касситеритовой формации, характеризующихся рудами с крупными, до нескольких сантиметров в поперечнике, кристаллами касситерита, ведутся главным образом по механическим ореолам рассеяния шлиховым, копушным и штучным опробованием. Геохимические поиски по вторичным ореолам имеют здесь ограниченное применение. Относительно в небольшом объеме они выполняются для зонтирования рудоносных участков, реже отдельных рудных тел. Следует указать, что возможности геохимических поисков в этих районах используются еще недостаточно. Это относится к поискам как по потокам, так и по вторичным ореолам рассеяния.

При поисках месторождений олова в вулканогенном поясе, характеризующихся рудами с мелкими (до субмикроскопиче-

ских) зернами касситерита, существенную, а нередко и определяющую роль играют геохимические поиски, ведущиеся в пределах рудных узлов, полей. В зависимости от масштаба работ сеть опробования чаще составляет от 250×50 до 100×20 м. Геохимическими поисками выявляются ореолы олова, вольфрама и элементов-спутников — свинца, цинка, меди и других металлов. Протяженность ореолов в зависимости от величины рудных тел составляет десятки и сотни метров. Концентрации олова в ореолах колеблются от 10—20 г/т до 0,2%. Литохимические поиски способствуют выявлению рудоносных участков и отдельных рудных тел.

В качестве примера приведем данные по литохимическому опробованию в пределах Джагыно-Кэнского рудного поля Омсукчанского района, расположенного в восточной части Балыгычано-Сугойского прогиба Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. На площади рудного поля среди позднемеловых песчаников, алевролитов омсукчанской свиты, вулканитов среднего и кислого составов, объединенных в таватумскую и наяханскую свиты, находятся зоны гидротермально измененных пород, в пределах которых фиксируются кварцевые, кварцево-турмалиновые и кварцево-хлоритовые жилы с касситеритом и сульфидами (пирит, галенит, сфалерит, арсенопирит, халькопирит). Литохимическое опробование по вторичным ореолам выполнено на 3 участках площадью от 2 до 10 км^2 (участки Арсенид, Сарман, Красный). На участке Арсенид развиты кварцевые жилы с арсенопиритом, галенитом, сфалеритом, пиритом. В результате выполненного опробования выявлены ореолы свинца, цинка, мышьяка, реже олова. Они отчетливо фиксируют зону северо-восточного простиранья. Концентрации олова в ореолах составляют от 10—20 до 200 г/т. Наиболее устойчивые ореолы образуют свинец и мышьяк (концентрации от 0,05 до 0,1%). Ореол цинка в общем совпадает с ореолами свинца и мышьяка. Концентрации его достигают 0,1%.

Литохимические поиски, выполненные в пределах Балыгычано-Сугойского вулканогенного прогиба на площадях оловоносных Джагыно-Кэнского, Пестринского, Реконского рудных узлов наряду с другими поисковыми работами позволили выявить наиболее перспективные участки для постановки дальнейших поисковых работ, наметить места для заверочных работ, обнаружить рудоносные тела, определить их возможные размеры и перспективность.

Второй пример связан с оловорудным Хетинским месторождением, расположенным в позднемеловых вулканитах кислого состава в северной краевой части вулканогенного пояса. Оно представляет собой штокверк со столбовым оруденением и относится к касситерито-сульфидной формации. В рудах кроме касситерита присутствуют станнин, сфалерит, халькопирит, га-

ленин, пирит, пирротин, арсенопирит, самородное серебро, деревянистое олово; нерудные — кварц, кальцит, хлорит, флюорит. На рудном поле выполнена литохимическая съемка (500×100 м, а на отдельных участках — 100×50 м), которой выявлены два участка развития вторичных ореолов олова, серебра, мышьяка, цинка, вольфрама, а также калия. Один участок приурочен к самому месторождению, второй находится в 5 км южнее. На обоих участках установлены ореолы серебра размером до 500×150 м (концентрации до 50—100 г/т). Близкие по размерам ореолы образует мышьяк, концентрации которого достигают 0,05—0,1%. Ореолы олова небольшие, содержания его до 1—1,5 г/т. Цинк, вольфрам, свинец образуют нечеткие ореолы с концентрациями цинка до 500—600 г/т, вольфрама до 200, свинца до 300 г/т.

Наземными спектрорадиометрическими работами с применением гамма-резонансного и рентгенорадиометрического методов выявлены ореолы калия, наиболее высокие концентрации которого приурочены к краевым частям месторождения.

Таким образом, по геохимическим данным выявлен новый участок для постановки детальных поисковых работ.

Определенную помощь при поисках оловянной минерализации в вулканитах оказывает гидрохимический метод, фиксирующий поля гидротермально измененных пород и метасоматитов, сопровождающих оловянное оруденение. Гидрохимический метод применяется в небольшом объеме и в основном при мелко- и среднемасштабных работах. В отдельных случаях положительные результаты получены при гидрохимических поисках и в пределах рудных полей. Так, гидрохимическими поисками, выполненными сотрудниками СВТГУ и ВСЕГИНГЕО на Хетинском месторождении, в 5 км южнее известного месторождения среди каолинизированных, окварцованных позднемеловых липаритов, их туфов, игнимбритов выявлен контрастный комплексный ореол олова, цинка, меди, свинца, висмута, мышьяка, серы. Наличие высококонтрастной аномалии в бассейнах ручьев Каменный, Развилочный позволяет предполагать наличие на этих участках нескрытых рудных тел.

Геохимические поиски по первичным ореолам применяются в СВТГУ в ограниченном масштабе. При геологоразведочных работах на оловянных и оловянно-вольфрамовых месторождениях первичные ореолы, как правило, изучаются при тематических исследованиях Центральной комплексной тематической экспедицией СВТГУ или специализированными институтами.

Исследования эндогенных ореолов на Малокэнском оловорудном месторождении (касситерито-сульфидная формация) в Омсукчанском районе выявили ореолы олова, свинца, цинка, меди, серебра, галлия, молибдена, никеля, кобальта. Рудные тела месторождения, представленные кварцевыми и кварцево-хлоритовыми жилами с касситеритом и сульфидами, имеют

мощность от нескольких сантиметров до 0,6 м и находятся в пределах зон окварцованных, хлоритизированных и пиритизированных пород. Ореолы узкие, измеряются первыми метрами, реже десятками метров. Наиболее контрастные из них и широкие образуют серебро, галлий, медь. Они тяготеют к верхним частям рудных тел.

Изучение первичных ореолов на Валькумейском оловорудном месторождении, выполненное в разное время сотрудниками СВКНИИ и ВИТР, показало сложность их строения. Вокруг рудных тел фиксируются контрастные ореолы бора, индия, сурьмы, висмута, серебра, ртути, фтора. При этом концентрации сурьмы, висмута, фтора в общем возрастают к верхним частям рудных тел. Серебро, ртуть и галогены, являющиеся для месторождения элементами дальнего рассеяния, образуют ореолы, в десятки раз превышающие мощности рудных тел. Эти металлы могут быть с успехом использованы при поисковых и разведочных работах как на Валькумейском, так и на других месторождениях Певекского полуострова.

При поисках оловянных и оловянно-вольфрамовых месторождений на Северо-Востоке значительное место занимают ядерно-физические методы, в частности аэро-гамма-спектрометрическая съемка (АГС). АГС, выполненная в 1974 г. ВИРГОм в одном из районов Чукотки, позволила расширить перспективы территории для поисков оловянно-вольфрамовой минерализации. Результаты работ показали, что рудные узлы, поля, месторождения, несущие оловянно-вольфрамовую минерализацию, отчетливо фиксируются аномальными концентрациями калия, связанными с многоэтапным метасоматозом, сопровождающим рудный процесс. В результате применения АГС намечен ряд новых площадей для постановки наземных поисковых работ.

Ртутное оруденение на Северо-Востоке проявлено в различных геологических структурах. В большинстве своем оно группируется в самостоятельные рудные зоны (полосы), реже выделяется в отдельные рудные узлы, поля. Ртутная минерализация, представленная одноименной формацией, локализуется в пределах крупных тектонических краевых швов или долгоживущих зон разломов внутри и по периферии складчатых областей, вулканических поясов, жестких структур. Поиски месторождений ртути осуществляются в основном по механическим ореолам рассеяния. Для выявления и оценки ртутносных зон, узлов, полей, рудных тел в значительных объемах применяются литохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния. Они выполняются в пределах отдельных рудных узлов, полей, как правило, в масштабе более крупном, чем масштаб геологической съемки. Литохимическими поисками выявляются ореолы ртути, в десятки раз превышающие размеры рудных тел. Концентрации ее в ореолах составляют от $20-40 \cdot 10^{-6}$ до

150—200·10⁻⁶ %. Элементами-спутниками являются сурьма, барий, реже серебро, олово, медь, вольфрам.

В качестве примера применения геохимических поисков ртутных месторождений можно указать на Тамватнейское месторождение, расположенное в Корякском нагорье. Рудные тела на месторождении приурочены к протрузии гипербазитов, ближе к краевой ее части. Ртутная минерализация в виде вкрапленности находится также в осадочных породах поздне-мелового возраста. В пределах рудного поля, преимущественно по ртутоносной зоне, выполнено площадное и профильное литохимическое опробование, которым выявлены четкие ореолы ртути. Конфигурация ореолов в общем фиксирует широтную зону разломов. Концентрация ртути в ореолах достигает 150—200·10⁻⁶ %.

На Тамватнейском месторождении для экспрессной оценки содержания ртути, отбраковки безрудных проб и участков, оконтуривания рудных тел было проведено рентгенодиометрическое гамма-опробование ртутных руд в естественном залегании. Порог чувствительности рентгенорадиометрического прибора, изготовленного в Центральной лаборатории управления на базе Мёссбауэровского анализатора касситерита МАК-1, составляет 0,12% ртути. Результаты рентгенорадиометрического и бороздового опробования показали хорошую сходимость средних проб по рудным сечениям, хотя содержания отдельных проб существенно отличаются. Работы по отработке указанной методики продолжаются.

Характеризуя в целом геохимические поиски месторождений на Северо-Востоке, следует отметить, что качество и эффективность их повышаются. Реже встречаются ошибки методического характера, улучшилась лабораторная база управления и экспедиций, повысилась оперативность анализов в полевой сезон. Основные задачи, стоящие перед геохимической службой управления, следующие: повышение степени и полноты обработки результатов анализов, усиление опережающих литохимических поисков, в первую очередь по потокам рассеяния, комплексирование геохимических и геофизических работ. Так, в пределах вулканогенного пояса ежегодно выполняются опережающие литохимические поиски по потокам рассеяния на площади до 10 000 км², являющиеся первым этапом поисковых работ.

Комплексирование опережающих геохимических и геофизических работ осуществляется как при наземных работах, так и при исследованиях с воздуха. При выполнении АГС осуществляется оперативная наземная проверка выявляемых аномалий, в состав которой входят и геохимические поиски.

Выполнение указанных мероприятий позволит выявить перспективные площади для постановки оценочных работ, увеличить информативность поисков, повысить эффективность геологоразведочных работ.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОЛЬФРАМА И ОЛОВА ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ В ЗАПАДНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ

Э. Ф. Жбанов, В. И. Игнатович, Э. Н. Зеленый, М. И. Шабалин

Бурятское территориальное геологическое управление, г. Улан-Удэ

По эффективности применения литохимических поисков по вторичным ореолам на территории Бурятской АССР выделяются три периода.

Первый период (1935—1955 гг.) характеризуется проведением самых ранних, но малочисленных и разрозненных работ по выявлению и оценке вторичных ореолов.

Впервые в небольшом объеме металлометрическая съемка на территории Бурятской АССР была выполнена А. М. Виноградовым в 1935 г. на Джидинском месторождении, по результатам которой были открыты новые кварцево-гюбнеритовые жилы. В 1951—1955 гг. она проводилась в основном партиями Главгеофизики и Сибирского геофизического треста. В 1954 г. сотрудниками Сибирского треста в Курбинском районе было открыто Маланское месторождение молибдена.

Поиски рудных месторождений по их вторичным ореолам в это время выполнялись в соответствии с инструкцией, составленной А. П. Солововым. Несмотря на первые положительные результаты, геохимические поиски в Бурятии еще не достигли той массовости применения и эффективности, которые были свойственны в это время Центральному Казахстану. Причиной этому была еще очень слабая геологическая изученность Бурятии, малочисленность и узкоспециализированный характер поисковых работ (уголь, железо, нерудное сырье, вольфрам, молибден, золото).

Второй период (1956—1965 гг.) характеризуется резким увеличением поисков по вторичным ореолам рассеяния. Организация в 1957 г. Бурятского территориального геологического управления явилась началом планомерного комплексного изучения минеральных ресурсов Бурятской АССР и способствовала внедрению геохимических методов во все виды исследований. С этого времени в Бурятии ведется систематическая металлометрическая съемка м-ба 1:200 000, а с 1959 г. — 1:50 000. Уровень этих исследований был более высоким по сравнению с первым периодом, чему способствовало применение на практике теоретических и методических основ геохимических поисков, изложенных в работах И. И. Гинзбурга, В. И. Красникова, А. П. Соловова, А. И. Перельмана и в материалах I Всесоюзного геохимического совещания.

За счет быстрого роста металлометрических съемок накопилась большая разнородная информация по площадям со

сложными ландшафтно-геоморфологическими условиями, где особенности формирования вторичных ореолов были изучены недостаточно. По этой причине эффективность поисков по вторичным ореолам в первые годы их широкого применения была не всегда высокой. Уже тогда возникла необходимость повышения надежности поисков труднооткрываемых месторождений в слабообнаженных районах Бурятии, обобщения результатов металлометрической съемки, разработки методики разбраковки вторичных ореолов, определения глубины опробования рыхлого чехла в разных условиях.

Все эти проблемные вопросы были широко обсуждены в 1959 г. на сессии секция геохимии лабораторных работ экспертно-геологического Совета Министерства геологии и охраны недр СССР. Сессия рекомендовала, в частности, создание специальных геохимических отрядов и партий в территориальных геологических управлениях. Решение этой сессии стимулировало развитие научно-методических геохимических исследований в производственных организациях. С этого времени и начались специальные геохимические исследования в Бурятском территориальном геологическом управлении.

В 1961—1964 гг. специализированным геохимическим отрядом, впервые созданным в БТГУ, были осуществлены комплексные детальные геохимические съемки и первое детальное районирование территории Бурятии по условиям формирования вторичных ореолов. В 1965 г. создана геохимическая партия в БТГУ. В 1958 г. в Иркутске организуется Институт геохимии СО АН СССР, который с 1961 г. проводит систематические исследования в области изучения процессов формирования вторичных ореолов на территории Сибири.

Таким образом, во втором периоде на территории Бурятии в результате изучения вторичных ореолов открыто Зангодинское колчеданное и два редкометальных месторождения, а также около 30 рудопроявлений молибдена, полиметаллов, флюорита. Вольфрамовые и оловянные рудопроявления не были обнаружены, хотя на вольфрам и олово было проанализировано за десять лет более 1,5 миллиона металлометрических проб. Выявленные в это время ореолы олова и разрозненные аномальные точки вольфрама использовались при металлогенических построениях, но специально изучались редко и главным образом путем визуального осмотра, без учета особенностей условий формирования и элементного состава ореолов. Полноценная оценка всех выявляемых ореолов затруднялась большим разрывом во времени между отбором и анализом проб, а также низкой чувствительностью спектрального анализа на вольфрам.

В третьем периоде (1966—1977 гг.) развитие и совершенствование геохимических методов поисков в БТГУ осуществляется Центральной геохимической партией.

Металлометрические съемки уже в начале этого периода становятся основным методом поисков и как обязательный вид работ используются всеми партиями БТГУ. Дальнейший рост объемов поисков по вторичным ореолам достигает необходимого уровня — ежегодно отбирается 200—250 тыс. проб. Начиная с 1973 г., основное количество проб отбирается при съемках м-ба 1 : 50 000—10 000. К концу этого периода была выполнена одна из первоочередных задач поисков по вторичным ореолам: поисковыми металлометрическими съемками охвачены все рудные районы и за исключением труднодоступных все наиболее открытые и обнаженные площади Бурятской АССР. В конце этого периода для большей части территории Бурятской АССР завершается учет, систематизация и разбраковка всех этих выявленных вторичных ореолов и впервые начинается пересъемка по вторичным ореолам некоторых площадей, в методическом отношении неудовлетворительно изученных в прошлом. Металлометрическим опробованием в третьем периоде открыто 10 месторождений и более 200 рудопроявлений. Они были обнаружены в результате изучения примерно 700 вторичных ореолов, что составляет около половины всех потенциально-рудных вторичных ореолов, выявленных в третьем периоде.

Совершенствование методики оценки вторичных ореолов и изучение условий их формирования, а также усиление работ по практической оценке вторичных ореолов всеми геологосъемочными и поисковыми партиями БТГУ является одной из характерных особенностей этого периода.

Ежегодно партиями БТГУ выявлялось в самых различных условиях Западного Забайкалья около 1000 вторичных ореолов и аномальных точек, из которых около 150 являлись перспективными и заслуживали детальной проверки. Несмотря на заметные успехи в оценке вторичных ореолов, оставались неиспользованными большие резервы в повышении эффективности поисков по вторичным ореолам. Оформились четыре группы проблемных вопросов.

Первая организационно-техническая проблема возникла из-за того, что, несмотря на рост лабораторной базы, ежегодная ее мощность и производительность не обеспечивали выполнения анализов в тот полевой период, когда отбирались пробы. Это снижало практическое значение металлометрических съемок, которые в течение всего второго и начале третьего периодов проводились совместно с геологической съемкой. После завершения геологической съемки более 50% в среднем, а в удаленных районах до 100% перспективных ореолов оставались не изученными. Поиски по вторичным ореолам обрывались на стадии выявления и описания, не доходя до их практической оценки. Геологическая съемка в этих условиях становилась неэффективной в поисковом отношении, визуальные поиски и шлиховая съемка часто оказывались безрезультатными, в то время как

количество неизученных вторичных ореолов из года в год наращивалось. Возвращение на изученные геологической съемкой площади с целью проведения оценочных работ на выявленных литохимических аномалиях требовало дополнительных затрат труда и привлечения незапланированных ассигнований. Поэтому в наиболее доступных районах юга Бурятии с 1966 г. широко практиковалось проведение поисковых металлометрических съемок с опережением на 1—2 года геологических съемок. Это способствовало привлечению геологов геологосъемочных партий к оценке и разбраковке аномалий, передаче для детальных поисковых работ конкретных рудопоявлений и в конечном счете подготовило открытие практически всех месторождений молибдена, вольфрама, олова, свинца, цинка и редких металлов в 9-й пятилетке.

Вторая проблема связана с несовершенством количественной оценки вторичных ореолов, что определяется, с одной стороны, слабой изученностью первичных ореолов, с другой — неоперативностью современных способов составления картографического материала, учета, систематизации и разбраковки вторичных ореолов, анализа корреляционных особенностей эндогенных и вторичных ореолов. Ежегодно приходится разносить около 250 тыс. анализов только металлометрических проб, что при условии выполнения анализа в среднем на 20 элементов составляет 5 млн. «элементоопределений». Вся эта информация отражается ежегодно в БТГУ на более 500 картах и геолого-геохимических разрезах.

Быстрое выполнение картографической работы и последующая количественная оценка вторичных ореолов, расчет ожидаемых запасов, определение формационного типа и уровня эрозийного среза оруденения реально выполнимы только при широком использовании ЭВМ.

В 1967—1970 гг. были обобщены материалы по зональности и элементному составу эндогенных ореолов ряда рудных месторождений Бурятии, в том числе оловянных и вольфрамовых; разработаны стандартные требования к перечню анализируемых химических элементов для разных стадий поисковых работ; внедрена статистическая обработка результатов анализов проб на ЭВМ; выполнены работы по формализации и кодированию геохимических признаков; под руководством Института геохимии СО АН СССР и вычислительного центра Иркутского государственного университета начато оперативное составление карт ореолов с помощью ЭВМ, исключаящее «ручную» разnosку анализов.

Третья проблема объединяет вопросы, связанные с разработкой критериев районирования территории по условиям формирования вторичных ореолов в различной геологической и ландшафтно-геоморфологической обстановке, повышения качества, надежности и глубинности поисков по вторичным орео-

лам месторождений различных рудных формаций. В этом направлении Центральная геохимическая партия БТГУ проводила исследования в течение всего третьего периода: детально был изучен и опробован полный разрез склоновых отложений на более 100 рудопроявлениях и месторождениях; разработана методика составления карт условий поисков по вторичным ореолам в м-бах 1:10 000, 1:50 000 и 1:200 000; составлены обзорные мелкомасштабные карты условий геохимических поисков для всей территории Бурятии. В 1971—1975 гг. эти карты внедрены в практику металлометрических съемок всех партий БТГУ, что способствовало квалифицированной разбраковке и оценке вторичных ореолов и позволило обоснованно определять достоверность и разрешающую возможность всех модификаций поисков по вторичным ореолам.

Четвертая проблема касается подготовки квалифицированных кадров и обусловлена тем, что инженеров по специальности «геохимические методы поисков» готовит только Ленинградский горный институт в количестве, не обеспечивающем постоянно растущие потребности производственных организаций страны.

Указанные проблемы характерны в той или иной мере для геохимических поисков в других районах Союза, но до 1966—1967 гг. они решались без достаточного контакта научных и производственных организаций. В этом отношении третий период является переломным. Впервые во всеоюзном масштабе осуществляется систематическая координация усилий всех научных и производственных организаций в области дальнейшего развития теоретических и практических основ геохимических методов поисков. Созданный с этой целью в 1967 г. Межведомственный совет по проблеме «Научные основы геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых», а в 1970 г. его сибирская секция ежегодно проводят с постоянным представительством центральных геохимических партий обмен опытом в форме всесоюзных или региональных совещаний.

Примером решения первой, третьей и отчасти второй проблем являются работы, проведенные в 1968—1975 гг. по оценке оловоносности территории, расположенной в бассейне р. Турка—Кыджимит. Признаки оловоносности ее были установлены еще в первом периоде в результате выявления многочисленных шлиховых ореолов касситерита. Во втором периоде в результате средне- и крупномасштабной литохимической съемки были выявлены перспективные ореолы олова и вольфрама, но указанные выше недостатки в методике оценки ореолов не привели к открытию конкретных рудопроявлений. В третьем периоде в этом районе началось планомерное детальное изучение вторичных ореолов олова и вольфрама и пересъемка территорий, заснятых ранее крупномасштабной геологической и литохими-

ческой съемкой. Поскольку вторичные ореолы олова, выявленные крупномасштабной съемкой, отличались слабой контрастностью и располагались в полузакрытых ландшафтах, детализация ореолов проводилась с отбором проб с глубины 0,5—1,5 м. На всех перспективных участках изучалось внутреннее строение ореолов и склоновых отложений, на контрольных профилях отбор проб велся послойно на разных глубинах от поверхности. Разбровка вторичных ореолов проводилась с учетом элементного состава и элементов—примесей касситерита. Вначале В. А. Ваулиным на Кыджимитском участке, а впоследствии на всех других участках была установлена характерная особенность ореолов — вытянутость их вдоль уклона на 50—300 м и более и очень редкий выход на поверхность максимальных концентраций олова и вольфрама, непосредственно указывающих положение рудного коренного источника. Глубинный отбор проб в связи с этим обеспечил точное оконтуривание рудных тел и заложение горных выработок. В итоге в бассейне р. Турка—Кыджимит было выявлено одно месторождение (Кыджимитское) и два рудопоявления олова, три рудопоявления вольфрама (Марикитканское, Приконтактовое, Оланское), одно — молибдена (Зумбурукское), а также проявления других химических элементов, т. е. был открыт новый рудный район в Западном Забайкалье.

В процессе более совершенной и детальной оценки шлихов ореолов касситерита и шеелита, вторичных литохимических ореолов в 1974—1975 гг. на территории Бурятии были открыты новые рудопоявления вольфрама и олова, заслуживающие дальнейшего детального изучения.

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОЛОВА И ВОЛЬФРАМА

В. И. Игнатович, Э. Н. Зеленый, Э. Ф. Жбанов

Бурятское территориальное геологическое управление, г. Улан-Удэ

В последние годы в Бурятском геологическом управлении заметно повысилась эффективность геохимических методов поисков месторождений молибдена, вольфрама, олова и других полезных ископаемых. Это обусловлено повышением надежности геохимического опробования за счет применения карт условий ведения поисков на всех стадиях, начиная от проектирования. Они позволяют определить для каждой площади оптимальную методику опробования и исключить из исследований участки, на которых существующие в настоящее время методы не дают объективной информации. В связи с широким разви-

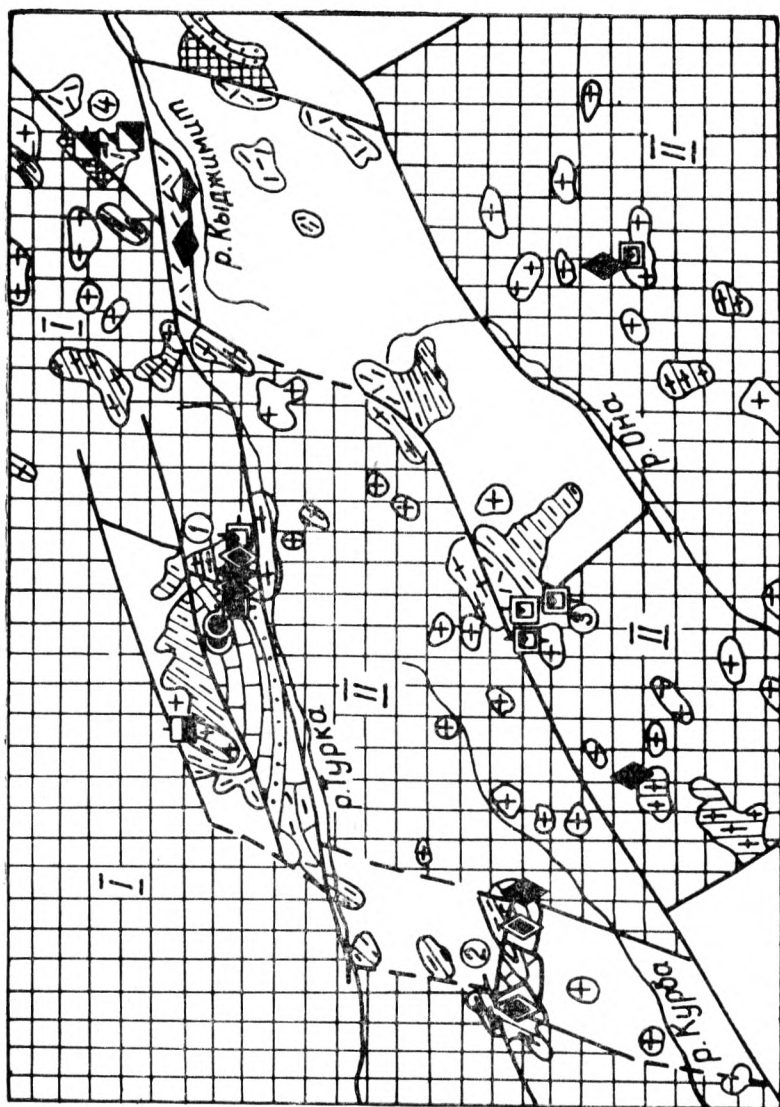
тием в регионе полузакрытых и закрытых вторичных ореолов была увеличена также на поисковых участках глубина отбора проб с интервала 0,1—0,3 м до 0,6—0,8 и 0,8—1,0 м. Кроме того, при геологической съемке м-ба 1 : 50 000 геохимические работы проводились с опережением геологосъемочных работ на 1—2 года, что решало проблему планомерной загрузки спектральной лаборатории и своевременного получения анализов. Это позволило оценить все выделенные геохимические аномалии в процессе геологической съемки. Была также усовершенствована методика оценки аномалий, разработаны принципы разбраковки аномалий с учетом индикаторных отношений ведущего элемента с определенным набором сопутствующих.

В 1968—1974 гг. в Удино-Витимской структурно-формационной зоне были выявлены геохимическими методами в комплексе со шлиховой съемкой Кыджимитское месторождение, Левокыджимитское и Хысехинское рудопроявления олова, Приконтактовое, Оланское, Верхнеалтанское вольфрамовые рудопроявления и Зумбурукское молибденовое месторождение. На этой территории литохимическим опробованием с глубины 0,1—0,3 м, проведенным до 1968 г. при геологической съемке м-ба 1 : 200 000 и 1 : 50 000, были выявлены либо единичные аномальные точки с концентрацией олова и вольфрама 0,003—0,005%, либо слабоконтрастные малопродуктивные ореолы этих элементов. Они оценивались в основном визуально в маршрутах, и поэтому источники вторичных ореолов не были установлены. Последующим литохимическим опробованием м-ба 1 : 50 000 с глубины 0,6—0,8 и 0,8—1,0 м были выявлены комплексные ореолы молибдена, вольфрама, олова, висмута, при оценке которых были открыты указанные выше рудопроявления и месторождения.

Рудопроявления редкометально-вольфрамо-молибденовой формации располагаются в зонах сочленения поднятий и прогибов, пространственно размещаясь в структурах воздымания (рис. 1). Оруденение олово-вольфрамовой формации также тяготеет к граничным зонам разломов, однако локализуется в структурах преимущественного прогибания. Конкретное положение рудных узлов, полей, месторождений и рудопроявлений определяется зонами пересечения разнонаправленных разломов.

Большая часть молибденовой и практически вся вольфрамовая минерализация редкометально-вольфрамо-молибденовой формации локализованы в кристаллических сланцах и гнейсах позднего протерозоя. Вольфрамовое оруденение олово-вольфрамовой формации выявлено среди гранитоидов раннего палеозоя.

Рудопроявления и месторождения располагаются в четырех рудных узлах, три из которых выявлены только в последние годы.



Зумбурукский рудный узел находится в зоне сочленения Верхневитимского геоантиклинального поднятия и северо-западного крыла Удино-Витимского прогиба. Восточная часть узла сложена кристаллическими сланцами, доломитами, палингенными телами гранитов позднего протерозоя, западная — терриген-

Рудные формации	Генетические типы	Минеральные типы	Знаки	
			перспект.	малоперспект.
Редкометалльно-вольфрамо-молибденовая	Гидротермальный	Кварцево-шеелито-вольфрамитовый	■	
		Кварцево-вольфрамитовый		■
		Кварцево-молибденитовый	◆	◆
	Метасоматический	Редкометалльно-флюорит-талк-сланцевистый	●	
Олово-вольфрамовая	Скарновый	Шеелит-гранат-амфибол-пироксеновый	☐	
	Грейзеновый	Кварцево-касситерито-вольфрамитовый		■
	Скарновый	Касситерито-гранат-амфибол-эпидотовый	◆	
	Гидротермальный	Сульфидно-касситеритовый	◆	

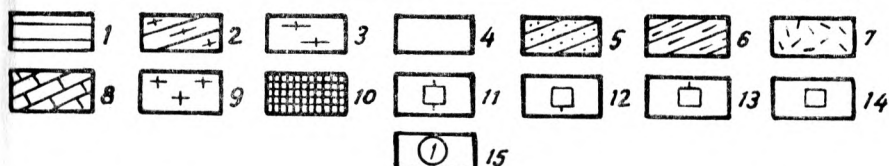


Рис. 1. Схема размещения редкометалльного оруденения в северо-западной части Удино-Витимской структурно-формационной зоны. Геоантиклинальные поднятия (1 — Верхневитимское, 11 — Курба-Онинское): 1 — преимущественно раннепалеозойские граниты; 2—3 — выступы пород байкальского комплекса фундамента (2 — кристаллические сланцы, доломиты; 3 — гранито-гнейсы, мигматиты). Геосинклинальные прогибы: 4 — преимущественно средне-, верхнепалеозойские граниты; 5—8 — провесы кровли раннего палеозоя (5 — песчаники, алевролиты, филлитовидные сланцы; 6 — биотитовые, биотито-актинолитовые микросланцы; 7 — пересланывание кислых и средних вулканитов с осадочными породами; 8 — известняки, доломиты); 9 — лейкократовые граниты и аляскиты заключительных фаз гранитоидов среднего — верхнего палеозоя; 10 — грейзенизированные породы. Морфологический тип вольфрамового оруденения: 11 — прожилково-штоковерковые зоны; 12 — залежи; 13 — жилы; 14 — тип не ясен; 15 — рудные узлы (1 — Зумбурукский, 2 — Абагинский; 3 — Замогитинский; 4 — Алтынский)

ными и карбонатными породами нижнего и среднего кембрия (рис. 2). Граница протерозойских и палеозойских пород проходит по мощной зоне смятия, сопровождающейся телами гипербазитов, штоками гранит-порфиров и фельзит-порфиров.

Рудная минерализация сосредоточена в узкой полосе субширотного простирания, фиксирующей скрытый глубинный разлом. Выделены Приконтактовое и Оланское вольфрамовые

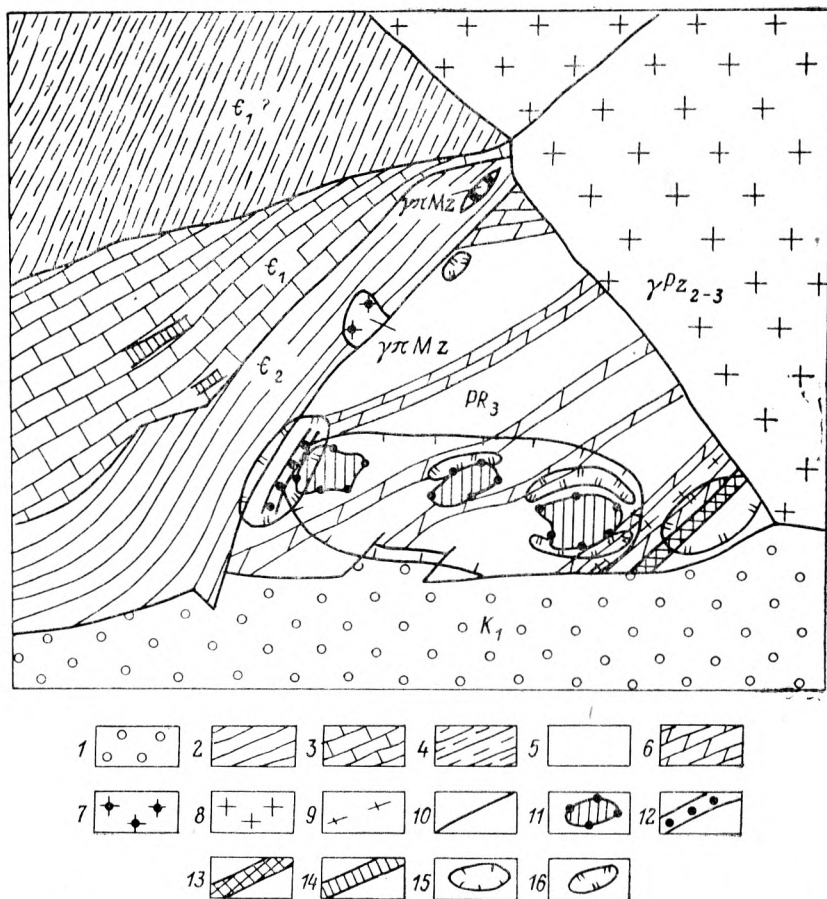


Рис. 2. Схема геологического строения Зумбурукского рудного узла: 1—песчаники, гравелиты, конгломераты; 2—филлитовидные сланцы, алевролиты, песчаники; 3—известняки, доломиты; 4—биотитовые, биотито-амфиболовые, хлорито-серицитовые микросланцы; 5—биотитовые, биотито-амфиболовые кристаллические сланцы; 6—доломиты; 7—гранито-порфиры, фельзитопорфиры; 8—лейкокатровые граниты; 9—гранито-гнейсы, гнейсовидные граниты; 10—разломы; 11—молибденовые штокверки; 12—прожилковая вольфрамоносная зона; 13—зона шеелитонесных скарнов, скарнированных пород; 14—прожилковая зона флюорит-слюдястых метасоматитов. Металлометрические ореолы: 15—молибдена; 16—вольфрама

рудопроявления, Зумбурукское молибденовое месторождение и два рудопроявления. Они расположены в плане зонально. В центре находится молибденовое, к периферии — вольфрамовое и далее редкометальное оруденения.

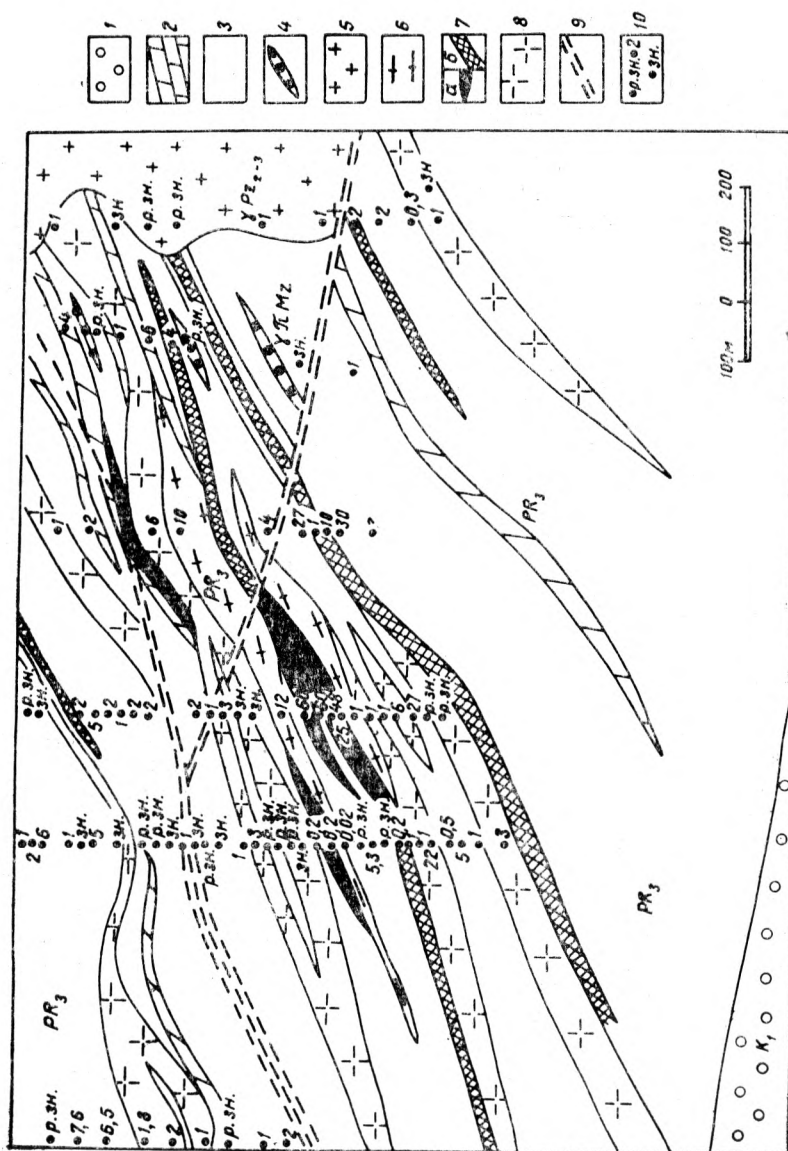
Приконтактовая вольфрамоносная прожилковая зона имеет ширину 150—200 м, протяженность 1600 м. Оруденение связано с субпараллельными кварцевыми жилами и прожилками кварца с шеелитом и вольфрамитом мощностью от 2—3 до 20—30 см. Густота прожилков изменяется от 0,5 до 2—6 прожилков на 1 м. В зальбандах кварцевых прожилков развиты грейзены кварцево-топазовой фации, интенсивность проявления которых находится в прямой зависимости от интенсивности вольфрамового оруденения. Сопутствующие минералы представлены флюоритом, топазом, в небольшом количестве отмечается пирит, молибденит, галенит, халькопирит. С поверхности вольфрамит сильно окислен и выщелочен. Среди прожилковой зоны выделяются обогащенные вольфрамом (до 0,5%) участки мощностью 3—30 м за счет увеличения густоты прожилков.

Спектральным полуколичественным анализом в прожилковой зоне установлены кроме вольфрама молибден (0,001—0,005%), висмут (0,003%), медь (0,001—0,05%), свинец (0,005—0,02%), цинк (0,01—0,03%), серебро (0,0005—0,003%).

Геохимическое опробование по вторичным ореолам рассеяния с глубины 0,6—0,8 м выявило ореол вольфрама с содержанием металла 0,003—0,005%.

Оланская вольфрамоносная зона представлена 7 пластовыми телами гранато-геденбергитовых и гранато-диопсидовых скарнов с шеелитом, сформировавшихся на границе кристаллических сланцев и доломитов вблизи контактов с пластовыми телами гранитов верхнего протерозоя, прорванных дайками диоритовых порфириров, гранит-порфиров мезозойского возраста и массивом лейкократовых гранитов среднего и верхнего палеозоя (рис. 3). Протяженность рудных тел небольшая, мощность 1—10 м.

Шеелит в скарнах образует неравномерную вкрапленность от тонкой до крупной (редко). Кроме шеелита в рудах установлены молибденит, висмутин, пирит, пирротин, халькопирит. Спектральным полуколичественным анализом обнаружены кроме вольфрама повышенные содержания таких металлов, как олово, цинк, медь. Геохимическим опробованием выявлен слабо-контрастный вторичный ореол вольфрама (0,003%) и олова (0,001—0,003%). Четкие контрастные ореолы фиксируются только шлиховым методом при отборе проб из рыхлого чехла, залегающего непосредственно под коренными отложениями. Так, над телом шеелитоносных скарнов видимой мощностью 30 м установлен шлиховой ореол шеелита (60 г/т), в 20 м вниз по склону от нижней кромки рудного тела концентрация его понижается до 26 г/т, в 40 м — до 1 г/т.



По результатам шлихового опробования имеются перспективы открытия новых тел шеелитоносных скарнов.

Зумбурукское молибденовое месторождение представлено 3 штокверками — Восточным, Центральным и Западным. Штокверки образованы разнонаправленными кварцевыми прожилками (на 1 м 4—8 прожилков) преобладающей мощностью — 15 мм. Выделены прожилки 10 стадий минерализации, 6 из них содержат молибденит.

Спектральным полуколичественным анализом установлены кроме молибдена вольфрам (0,003—0,03%), висмут, свинец, цинк (0,01—0,1%), серебро (0,001%). Геохимическим опробованием по вторичным ореолам рассеяния выявлены ореолы молибдена (0,0008—0,06%), висмута (0,003—0,01%) площадью 12 км², локальные ореолы вольфрама (0,003—0,1%), бериллия (0,001—0,003%), меди, свинца (0,003—0,008%), цинка (0,005—0,01%), серебра (0,0003—0,0001%).

Замогитинский рудный узел расположен в зоне сочленения Удино-Витимского прогиба с Она-Курбинским внутригеоантиклинальным поднятием среди кристаллических сланцев и известняков верхнего протерозоя, а также пород эффузивно-терригенной толщи нижнего кембрия, разделенных мощной зоной разломов. Метаморфические породы прорваны гранитами нижнего и средне-верхнего палеозоя. В кембрийских породах залегают полиметаллические и железорудные проявления и месторождения, выявлены прожилковые зоны пирито-кварцевого состава. В протерозойских отложениях установлено молибденовое и вольфрамовое оруденение, связанное с зонами гранато-амфиболовых скарнов и кварцевых прожилков. В скарнах и прожилках присутствуют шеелит, молибденит, пирит, пирротин, халькопирит, висмутин, галенит, сфалерит. Геохимическим опробованием выявлены локальные контрастные (до 0,1%) вторичные ореолы вольфрама, свинца, цинка и меди. Все известные рудопроявления изучены пока крайне недостаточно.

Алтанский рудный узел находится в зоне сочленения раннепалеозойского Удино-Витимского прогиба и Верхневитимского геоантиклинального поднятия среди вулканогенно-терригенных пород нижнего кембрия, гранитов нижнего и средне-верхнего палеозоя. В рудном узле установлен ряд рудопроявлений.

Рис. 3. Схематическая геологическая карта Оланской зоны шеелитоносных скарнов: 1—конгломераты, гравелиты, песчаники, глинистые сланцы; 2—доломиты; 3—биотитовые, биотит-амфиболовые кристаллические сланцы, ортоамфиболиты; 4—гранито-порфиры; 5—лейкократовые среднезернистые граниты; 6—мигматиты, гранито-гнейсы, гнейсовидные граниты; 7—скарны гранато-диопсидовые, гранато-геденбергитовые с вкрапленностью шеелита (а — обильной, б — редкой); 8—кварцево-полевошпатовые метасоматиты; 9—зоны разрывных нарушений; 10—содержание шеелита в шлиховых пробах: редкие знаки (р. зн.), знаки (зн.), весовые содержания в г/м³ (2)

Кыджимитское месторождение олова, по В. А. Ваулину, приурочено к Левокыджимитской тектонической зоне разрывов и залегает в ксенолите метаморфизованных осадочно-эффузивных пород мылдыгенской свиты нижнего кембрия. В западной части рудного поля незначительно распространены гранитоиды. На месторождении выделяются 2 рудные зоны, в пределах которых выявлено 6 субширотных рудных тел.

Наиболее изучено рудное тело № 1 значительной протяженности, представленное линзами кварцево-турмалино-касситеритового, актинолит-плагноклазо-турмалино-касситеритового, кварцево-плагноклазо-актинолит-диопсидо-касситеритового и арсенопирито-касситеритового состава. Мощность линз изменяется от 0,5 до 3,1 м, протяженность небольшая. Линейный коэффициент рудоносности равен 0,5. Содержание олова в рудах колеблется от 0,1 до 11,3%; мышьяка — от 0,1 до 2—3%; меди — от 0,1 до 0,2%.

Оловоносные зоны хорошо фиксируются литохимической съемкой по вторичным ореолам рассеяния м-ба 1:10 000 и шлиховым опробованием из шурфов, пройденных по сети 200×40 м.

Таким образом, в последние годы в Западном Забайкалье за счет совершенствования методики геохимических поисков и шлихового опробования выявлен ряд месторождений и рудопроявлений олова и вольфрама, значительно повысивших перспективы региона на эти металлы.

О МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ КРИТЕРИЯХ ПОИСКОВ И ОЦЕНКИ ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Н. Н. Никулин

Дальневосточный институт минерального сырья, г. Хабаровск

Оловорудные месторождения характеризуются разнотипной вертикальной минералогической зональностью, определяющей распределение макроэлементов. Распределение микроэлементов в отличие от макроэлементов не всегда следует общей зональности и происходит по иному плану. Всестороннее изучение закономерностей распределения как макроэлементов — хозяев минералов руд, так и заключенных в них микроэлементов открывает широкие возможности использования их в прикладных целях. Примером тому могут служить работы А. И. Гинзбурга и В. В. Матиаса (1972), В. И. Лебедева (1967), С. Ф. Лугова с соавторами (1972), Л. Н. Овчинникова (1964), А. Е. Ферсмана (1940), Ф. В. Чухрова (1972) и др.

Разбор особенностей распределения ряда химических эле-

ментов и обоснование геохимических критериев дается на примере месторождений Кавалеровского, Комсомольского и других оловорудных районов.

Бор и фтор — постоянные спутники оловянного оруденения. Они концентрируются непосредственно в рудных телах и образуют широкие в плане и протяженные по восстанию ореолы.

На месторождениях Комсомольского рудного района отмечается превалирование бора над фтором. Установлена тесная статистическая связь между концентрациями бора и олова, а также возрастание содержаний первого с глубиной. Эти особенности распределения бора, олова и соотношение их концентраций в оловорудных месторождениях района применены при разработке геохимического способа оценки степени эродированности рудных тел и протяженности оруденения на глубину. Наиболее эффективно этот способ был использован при разведке флангов и глубоких горизонтов зон Северной и Майской.

Фтор на оловорудных месторождениях присутствует в виде флюорита, топаза и др. На Хинганском месторождении (Приамурье) флюорит отлагался на протяжении всего периода процесса минералообразования. На месторождениях Кавалеровского и Комсомольского рудных районов он в основном ассоциирует с поздними минеральными парагенезисами (карбонаты и др.), локализующимися обычно в периферических частях тел. На Хинганском месторождении, на расстоянии 100—150 м по восстанию от рудных тел, фтор фиксируется в количестве 2000 г/т, а в 50 м — больше 6000 г/т.

Медь, цинк, мышьяк и свинец — постоянные спутники оловянного оруденения.

Медь широко распространена на оловорудных месторождениях, но значительные ее концентрации отмечаются нечасто. Наибольшие количества меди свойственны рудным телам Фестивального (Комсомольский район) и Высокогорского месторождений (Кавалеровский район). Причем на первом месторождении этот элемент локализуется на верхних горизонтах оловорудных тел, а на втором, как и на многих других, неравномерно распределяется по объему рудных тел.

Цинк наиболее контрастно подчеркивает различные типы юанальности, проявленной на оловорудных месторождениях. Но, к сожалению, роль цинка как элемента-индикатора в геохимических методах поисков невелика из-за его высокой миграционной способности в зоне гипергенеза. Однако сфалерит как концентратор кадмия и индия привлекателен своим химическим пинноморфизмом.

Мышьяк — широко распространенный элемент оловорудных месторождений. В Кавалеровском рудном районе им обогащены жилы Высокогорского и Дубровского месторождений. Значительно ниже содержания его в жилах Силинского месторождения. На месторождениях Арсеньевском, Дубровском и

Силинском концентрация мышьяка возрастает с глубиной. На Высокогорском месторождении наблюдается противоположная тенденция.

Свинец, так же как и цинк, имеет широкое распространение на оловорудных месторождениях и образует контрастные ореолы относительно рудных тел. Кроме того, он обладает высокой миграционной способностью в зоне гипергенеза, чем и привлекается как геохимический индикатор при поисках олова. В Кавалеровском рудном районе наиболее обогащены свинцом жилы Силинского и Арсеньевского месторождений. В жилах Дубровского и Высокогорского месторождений его содержится значительно меньше. На Арсеньевском, Силинском и Высокогорском месторождениях содержание свинца в жилах с глубиной понижается. В жилах Дубровского месторождения, наоборот, возрастает. В Комсомольском рудном районе свинцом обеднены зоны Фестивального месторождения. На Перевальном месторождении (зона Северная) им обогащены в основном верхние горизонты, в то время как на Солнечном месторождении свинец сравнительно равномерно распределен в рудных телах.

Бор, фтор, медь, цинк, мышьяк и свинец довольно часто локализируются в рудных полях вне связи с оловянным оруденением. Этим и рядом других особенностей они умаляют свою роль индикаторных элементов при поисках оловорудных тел. Фиксирование аномальных концентраций комплекса этих элементов должно рассматриваться только как признак возможного наличия оловянного оруденения и не более. Вопрос об оловянной продуктивности проявления должен решаться, вероятно, с помощью микроэлементов (серебро, кадмий, индий, олово, сурьма, висмут и др.), накапливающихся в халькопиритах, сфалеритах, арсенопиритах, галенитах и других минералах.

Кадмий следует в таблице Д. И. Менделеева за серебром и имеет изобарные пары стабильных изотопов с соседями справа. На основании этого в рудах можно предполагать определенную зависимость в характере распределения концентраций кадмия, индия, олова и сурьмы. Тем более, что она проявляется в горных породах Земли, метеоритах и породах Луны (Виноградов, 1962). Возможность первозданной связи между указанными химическими элементами вытекает из истории их образования (Тейлер, 1975).

Кадмий на оловорудных месторождениях обнаруживается в сфалерите, где формы его нахождения всесторонне рассмотрены В. В. Ивановым (1966). Он и доказал широкий изоморфизм кадмия и цинка. Присутствие кадмия в халькопиритах и пирротинах, вероятно, связано с наличием тонких вкрастаний в них сфалерита.

Линейная корреляционная связь (ЛКС) между цинком и кадмием существенна ($ЛКС=0,97$). С медью и другими хими-

ескими элементами, кроме индия, коэффициент ЛКС незначим. Поведение кадмия в сфалеритах с глубиной его отложения неоднозначно; на месторождениях Комсомольского района концентрация его в сфалеритах с глубиной возрастает, а на месторождениях Кавалеровского района чаще убывает (табл. 1).

Таблица 1

Распределение кадмия и индия в сфалеритах с глубиной

Месторождение, зона	Горизонт	Содержание, г/т		Коэффициент КИО
		кадмий	индий	
Кавалеровский район				
1. Арсеньевское	0	1800	653	2,8
»	200	1680	280	6,0
2. Силинское	0	2210	4680	0,5
»	160	2160	2450	0,9
3. Левицкое	0	1750	440	4,0
»	240	2400	210	11,4
Комсомольский район				
4. Главная	I	1790	325	5,5
»	IV	2570	161	15,8
5. Ягодная	I	1560	127	12,3
»	IV	3820	198	19,3
6. Северная	I	159	57	2,8
»	III	160	55	2,9

Примечание. Порядковые номера 4, 5, 6 данные Е. А. Радкевич и др.; — Г. А. Осиповой и др., 3 — Е. П. Сапрыкина; 1 — автора; КИО — кадмий-индиевое отношение концентраций в сфалеритах.

Индий примечателен тем, что постоянно наблюдается в природе его тесная связь с оловом. Например, на полиметаллических месторождениях Рудного Алтая, Центрального Казахстана и Забайкалья индиеносность минералов связана прямой зависимостью с содержанием в рудах олова (Мейтув, 1963; др.).

На месторождениях Кавалеровского рудного района индий тесно связан с медью и цинком. Он содержится также в касситеритах, пирротинах, арсенопиритах, сфалеритах, халькопиритах и пиритах (минералы перечислены в порядке возрастности оседлователъности отложения, за исключением пирита). В распределении концентрации индия между этими минералами наблюдается периодичность: от касситерита к арсенопириту содержание понижается, затем оно резко увеличивается в сфалеритах и снова понижается к пириту. Такой характер распределения индия между сосуществующими минералами наблюдается на месторождениях Кавалеровского, Комсомольского и других рудных районах (Никулин, 1971).

Концентрация индия в касситеритах на оловорудных месторождениях с глубиной уменьшается. Отклонение от этой нормы зафиксировано на Дубровском месторождении. Здесь на верхних горизонтах концентрация индия в касситеритах меньше, чем на глубоких, что, вероятно, связано с перекристаллизацией касситерита, т. е. очищением его от элементов-примесей. Иначе ведет себя ниобий. Содержание его в касситеритах в одних случаях увеличивается, в других понижается (табл. 2). Одна-

Т а б л и ц а 2

Изменение концентраций ниобия и индия в касситеритах оловорудных тел с глубиной

Месторождение, жила (ж) зона (з), рудное тело (р. т.)	Горизонт	Содержание, г/т		K ₁ *
		ниобий	индий	
Кавалеровский район				
Арсеньевское, ж. Южная	620	11	239	0,05
»	210	23	56	0,41
Рудное, ж. Оловянная	816	11	26	0,42
»	444	29	41	0,71
Силинское, ж. Балаганная	265	39	39	1,00
»	100	24	19	1,26
Высокогорское, ж. Северная	325	32	28	1,15
То же	225	29	19	1,53
Арминский район				
Дальнетаежное, ж. Радужная	830	10	15	0,67
То же	750	30	10	3,00
Комсомольский район				
Фестивальная, з. Ягодая	810	220	25	8,8
»	650	190	17	10,7
Лунное, з. Тропная	910	290	21	13,8
»	760	520	11	47,3
Хингано-Олонойский район				
Хинганское, р. т. Северное	480	20	620	0,03
»	80	140	230	0,61
Карадубское, уч. Нижний	525	80	32	2,5
»	425	190	28	6,8

K₁* — ниобий-индиевое отношение концентраций в касситеритах.

ко на коэффициент K₁ (ниобий-индиевое отношение концентраций в касситеритах) эти отклонения не влияют. Величина его с глубиной неизменно возрастает на оловорудных месторождениях Кавалеровского, Комсомольского и Хингано-Олонойского рудных районов.

Описанные особенности распределения ниобия и индия в кас-

ситеритах устойчиво повторяются на всех оловорудных месторождениях. Причем эти особенности химического типоморфизма касситерита не зависят от структурно-геологической обстановки и, отражая физико-химические условия образования касситерита, могут являться критериями перспективной оценки оловоносных объектов. Отношение концентраций индия и индия в касситеритах рекомендуется использовать для оценки перспектив оловорудных объектов по вторичным ореолам рассеяния касситерита и для определения глубины распространения оруденения во вскрытых рудных телах (Никулин, 1972).

На месторождениях Кавалеровского рудного района в пирротинах индий содержится в количестве от 0,2 до 121 г/т, в арсенопиритах — от 0,7 до 57, в сфалеритах — от 123 до 835, в галенитах — от 1,0 до 11,8 г/т. Присутствие индия в пирротинах, арсенопиритах, халькопиритах и пиритах, весьма вероятно, обусловлено присутствием в них сульфостаннатов. По данным линейного корреляционного анализа, концентрация индия в указанных минералах зависит главным образом от концентрации в них олова «сульфидного», видимо, станнина.

На Арсеньевском месторождении установлено увеличение концентрации индия с глубиной в пирротинах и арсенопиритах, а в сфалеритах, наоборот, — уменьшение. Аналогично индий распределяется в сфалеритах и на других месторождениях Кавалеровского района. Подобное явление наблюдается также на объектах Комсомольского района, за исключением зоны Ягодной (Радкевич, 1971).

Независимо от того, как распределяются кадмий и индий в сфалеритах от верхних горизонтов тел к нижним, отношение их концентраций в этом минерале неизменно возрастает с глубиной (табл. 1). Интересно отметить, что на олово-молибдено-вольфрамовом месторождении Кара-Оба (Центральный Казахстан) величина кадмий-индиевого отношения (КИО) концентраций в сфалеритах также возрастает с глубиной (Попова и др., 1967). Важное в прикладном аспекте свойство коэффициента КИО заключается в варьировании его величины от 0,1 до 40, при этом с уменьшением оловянной продуктивности олово-полиметаллических руд величина КИО возрастает. Значения этого коэффициента >40 характерны для сфалеритов из собственно полиметаллических тел, например Северо-Акатуевского месторождения (Трошин, Кусакина, 1964).

Олово в рудных телах распределяется крайне неравномерно с образованием рудных столбов, относительно которых концентрируются чаще зонально медь, цинк, мышьяк, свинец и др. Главным минералом этого элемента является касситерит, другие оловосодержащие минералы — тиллит, станнин и др. — имеют подчиненное значение. Последний широко распространен на месторождениях, но в количественном отношении среди минералов руд занимает чаще одно из последних мест. Выде-

ляется он в наибольших количествах в верхних частях рудных тел в тесных сростаниях с халькопиритом, сфалеритом и др. Кроме того, на месторождениях нередко наблюдается колломорфный касситерит. В Кавалеровском рудном районе колломорфная разность касситерита характерна для верхних горизонтов жил (Кига́й, 1966).

Сурьма — постоянный спутник олова, но содержание ее на оловорудных месторождениях невысокое. Корреляционный анализ концентраций указывает на слабую линейную связь сурьмы с медью, цинком, кадмием, оловом и индием. Почти на всех оловорудных месторождениях тесная линейная зависимость наблюдается между содержаниями сурьмы, мышьяка и свинца. Но она осложняется в зависимости от концентраций сурьмы в арсенопиритах и галенитах.

Из минералов сурьмы наиболее часто встречаются блеклые руды, пираргирит, джемсонит, буланжерит, ассоциирующиеся обычно с арсенопиритом, галенитом, халькопиритом. Кроме того, сурьма содержится в неизвестной форме в пирротинах, спорадически в пиритах, в повышенных количествах она редко встречается в сфалеритах. В касситеритах сурьма фиксируется на всех месторождениях олова Дальнего Востока (от 100 до 5000 г/т). Распределение сурьмы в арсенопиритах подчиняется определенной закономерности. На месторождениях Кавалеровского района арсенопирит верхних горизонтов жил содержит сурьмы больше, чем нижних. На месторождениях Комсомольского района, наоборот, содержание сурьмы в арсенопиритах с глубиной увеличивается. Для галенитов же устанавливается обратная картина. Вместе с тем интересно, что на глубине в ассоциации с галенитом получают развитие сульфoантимониты свинца, сформированные на позднем этапе минерализации (Радкевич, 1971). Аналогично распределяется сурьма в галените на месторождении Нижнем (Канищева, 1972).

Закономерное распределение сурьмы в арсенопиритах и галенитах оловорудных месторождений в прикладном аспекте привлекательно тем, что его можно использовать при дифференцировании мышьяка и свинца по принадлежности их к различным уровням ореолов рассеяния.

Висмут имеет широкое распространение на оловорудных месторождениях, но содержания его в рудных телах в среднем несколько меньше, чем сурьмы, при значительном варьировании концентраций. Общая тенденция распределения концентраций висмута в рудных телах определяется распределением мышьяка и свинца. При более тесной связи висмута с мышьяком связь его со свинцом ослабевает. Следовательно, в одном случае минералы висмута находятся в тесной ассоциации с арсенопиритом, в другом — они тяготеют к галениту и в меньшей мере к сфалериту и халькопириту. Из минералов висмута установлены висмут самородный, висмутин, айкиннит и

тетрадимит. Немногочисленные анализы галенитов из жилы Геофизической Левицкого месторождения указывают на незначительные увеличения содержаний висмута с глубиной. На месторождении Нижнем Фурмановского рудного района эта особенность в распределении висмута в галенитах выражена более четко (Канищева, 1972). В Комсомольском рудном районе висмут в минералах распределяется иначе: содержание его в галенитах с глубиной уменьшается, а в арсенопиритах, наоборот, увеличивается (Радкевич, 1971).

Анализ распределения макроэлементов (бор, фтор, медь, цинк, мышьяк, свинец) свидетельствует о том, что как для месторождений в целом, так и для отдельных рудных тел характерна геохимическая индивидуальность. Она проявляется в количественном соотношении концентраций макроэлементов и в пространственном распределении их минералов. Одним телам свойственна прямая или обратная минералогическая зональность, другим — концентрическая; довольно широко развито телескопирование минеральных ассоциаций.

Иначе ведут себя микроэлементы в минералах макроэлементов-хозяев. Микроэлементы, особенно отношения их пар, не наследуют особенности распределения минералов. Распределение их подчиняется другим закономерностям, поэтому химический типоморфизм минералов можно использовать для разработки поисково-оценочных критериев различной разрешающей способности.

В силу сравнительно небольшого эрозийного среза оловорудных полей Приморья и Приамурья практически интересная оловянная минерализация нечасто контрастно проявлена на поверхности, поэтому с прикладной точки зрения все встречаемые при геологических работах жилы и минерализованные зоны представляют интерес, хотя и не все содержат продуктивную ассоциацию. Следовательно, необходимо иметь на вооружении критерии, позволяющие на первых порах выделять перспективные на обнаружение олова объекты. Исходя из взаимосвязи кварцево-касситеритового парагенезиса с турмалином, флюоритом и сульфидами (халькопиритом, сфалеритом, арсенопиритом, галенитом и др.), таким геохимическим индикатором может быть комплекс макроэлементов — бор, фтор, медь, цинк, мышьяк, разные формы олова и свинец.

Считается, что наиболее универсальными показателями геохимических различий горизонтов рудных тел и ореолов могут служить величины отношений продуктивности различных химических элементов. Поэтому многие исследователи предлагают использовать при поисках и оценке оловянного оруждения монотонные геохимические коэффициенты. Следует отметить, что, основываясь на показателях зональности, установленных по отдельным разрезам месторождений, оценку новых объектов можно производить при наличии строгой вер-

тикальной прямой зональности минерализации. Однако преобладающая в Кавалеровском районе концентрическая вертикальная зональность минеральных парагенезисов относительно рудных тел, а в Комсомольском районе широко развитое их телескопирование снижают возможность неограниченного использования монотонных геохимических коэффициентов, причем особенно при поисках скрытого оловянного оруденения. Следовательно, при оценке объектов необходима серия критериев различной разрешающей способности, позволяющих: 1) дифференцировать области химических ореолов на «надрудные» и «подрудные»; 2) определять перспективность оловорудных объектов.

В качестве одного из таких критериев, позволяющих различать верхние надрудные сульфидные ореолы от нижних послерудных, Е. А. Радкевич (1971) предлагает использовать распределение концентраций сурьмы и висмута в арсенопиритах и галенитах. На наш взгляд, более удобно использовать при решении этих задач отношения концентраций пар химических элементов в минералах.

Выше отмечалось, что в природе существует тесная связь между индием и оловом, вытекающая из истории образования химических элементов. Исходя из этого, в Кавалеровском районе исследования по выявлению критериев распознавания оловянной продуктивности объектов были ориентированы на изучение особенностей распределения кадмия и индия в минералах—спутниках касситерита. Правомерность такого подхода в разработке критериев можно показать на примере распределения кадмия и индия в сфалеритах оловянно-полиметаллических и бедных оловом полиметаллических жил Силинского месторождения. Согласно данным Е. П. Сапрыкина, сфалериты из оловянно-полиметаллических жил характеризуются более высокими, чем сфалериты из слабооловоносных полиметаллических жил (44—340 г/т), концентрациями индия (910—8600 г/т). На величине отношения концентраций кадмия к индию и концентрации индия фигуративные точки на графике четко делятся на две группы. Одна из них представляет касситерито-галенито-сфалеритовую, а другая — галенито-сфалеритовую ассоциации. На месторождениях Комсомольского района сфалериты первой генерации, стоящие по времени образования ближе к касситериту, характеризуются содержанием индия от 100 до 800 г/т при величинах кадмий-индиевого отношения от 2 до 20; сфалериты второго поколения — от 10 до 100 г/т и от 20 до 250 соответственно. По данным В. В. Иванова (1964), на оловорудных месторождениях Якутии сфалериты первой генерации содержат индия от 350 до 1500 г/т, а второй — от 60 до 450 г/т. Другие сульфидные минералы, не связанные пространственно и во времени с минералами олова, также отличаются низкими содержаниями индия (до 10 г/т).

Итак, приведенный материал показывает, что с определенной достоверностью кадмий и индий в сфалеритах можно использовать как индикаторы для определения уровней геохимических ореолов и индикации продуктивных на олово тел и безрудных сульфидных образований в оловорудных полях. Масштабы оловянного оруденения рекомендуется определять в оловорудных объектах с помощью ниобий-индиевого отношения концентраций в касситеритах.

Минералого-геохимический аспект решения проблемы разработки методов поисков и оценки оловорудных месторождений, сочетающий как особенности распределения макроэлементов в рудных полях, так и химический типоморфизм минералов этих микроэлементов, в этом случае перспективен тем, что являются более надежные критерии различной разрешающей способности.

ЛИТЕРАТУРА

Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных изверженных горных породах земной коры.— *Геохимия*, 1962, № 7, с. 558—563.

Гинзбург А. И., Матнас В. В. Использование типоморфизма минералов в поисковых полях.— В кн.: *Типоморфизм минералов и его практическое значение*. М.: Недра, 1972, с. 26—30.

Иванов В. В. Минералого-геохимические черты и индиенность оловорудных месторождений Якутии. М.: Наука, 1964. 242 с.

Иванов В. В. Геохимия рассеянных элементов в гидротермальных месторождениях. М.: Недра, 1966. 362 с.

Канищева Л. И. Некоторые данные по распределению элементов-примесей в основных рудных минералах месторождения Нижнего.— В кн.: *Вопросы геологии рудных месторождений Дальнего Востока*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1972, с. 53—56.

Кига́й И. Н. Лифудзинское оловорудное месторождение. М.: Наука, 1966. 74 с.

Лебедев В. И. Вклад советской науки в учение об изоморфизме.— *Вест. ЛГУ*, 1967, № 6, с. 28—30.

Лугов С. Ф., Макеев Б. В., Потапова Т. М. Закономерности формирования и размещения оловорудных месторождений Северо-Востока СССР. М.: Недра, 1972. 350 с.

Мейтув Г. М. Особенности процесса рудообразования и редкие элементы в рудах свинцово-цинковых месторождений Кличкинского рудного района.— *Тр. ИМГРЭ*, вып. 10, 1963, с. 209—228.

Никулин Н. Н. Закономерности распределения индия между касситеритом и сосуществующими с ним минералами.— В кн.: *Вопросы геологии и минерального сырья Дальнего Востока*. Хабаровск: 1971, с. 80—82.

Никулин Н. Н. Способ оценки оловорудных объектов касситерито-силикатной формации по элементам-примесям в касситеритах.— В кн.: *Прогнозирование скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений*. М.: Наука, 1972, с. 47—50.

Овчинников Л. Н. Элементы-примеси как индикаторы процессов рудообразования и использования закономерностей их распределения при поисках и разведке рудных месторождений.— В кн.: *Химия земной коры*. М.: Наука, 1964, с. 215—228.

Попова Н. И., Нечелюстов Т. Н., Разина И. С. Редкие элементы в молибдено-вольфрамовых месторождениях Центрального Казахстана.— В кн.: *Формы нахождения и особенности распределения редких элементов в некоторых типах гидротермальных месторождений*. М.: Наука, 1967, с. 30—33.

Радкевич Е. А. Критерии глубинности и зональности.— В кн.: Глубинность и зональность оруденения в Тихоокеанском рудном поясе. Владивосток, 1971, с. 5—13.

Тейлер Р. Дж. Происхождение химических элементов. М.: Мир, 1975, с. 102—115.

Трошин Ю. П., Кусакина Л. В. Горизонтальная и вертикальная зональность распределения редких элементов в полиметаллических месторождениях.— В кн.: Геохимия рудных месторождений. М.: Наука, 1964. 10 с.

Ферсман А. Е. Геохимические и минералогические методы поисков полезных ископаемых. М.: Изд-во АН СССР, 1940. 447 с.

Чухров Ф. В. Некоторые вопросы типоморфизма минералов.— В кн.: Типоморфизм минералов и его практическое значение. М.: Недра, 1972, с. 6—15.

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ

А. Н. Калягин, А. И. Бураго

Приморское территориальное геологическое управление, г. Владивосток

Прогнозная оценка геохимических аномалий является важным этапом в общем процессе геологоразведочных работ. В последние годы научными и производственными организациями в разных районах страны выполнены большие объемы исследований по разработке методов поисков и критериев оценки месторождений широкого круга рудных формаций. Аналогичные исследования проводились сотрудниками ИМГРЭ, кафедры геохимии МГУ, Геохимической экспедиции ЦГТ и ПТГУ на оловорудных, оловянно-полиметаллических, полиметаллических, вольфрамовых и других месторождениях и рудопроявлениях Приморья.

Авторами настоящего сообщения сделана попытка обобщить и систематизировать все имеющиеся материалы по методам поисков и критериям оценки гидротермальных рудных месторождений и по результатам их апробации составить принципиальную схему прогнозной оценки геохимических аномалий. Из большого числа критериев и методов после апробации были выбраны наиболее надежные, удовлетворяющие конкретным геологическим и ландшафтно-геохимическим условиям Приморья. Схема оценки геохимических аномалий алгоритмизирована и реализована в виде программы ОГА (Оценка геохимических аномалий) для ЭВМ ЕС-1020. Программирование выполнено сотрудниками Тематической партии опытно-методических исследований ПТГУ В. В. Павловичем и Г. В. Фисун.

Как известно, процесс поисков рудных месторождений по литохимическим ореолам в общем случае включает в себя решение следующих основных задач: а) выявление аномалий и определение их оптимальных границ по комплексу ореолообразующих химических элементов; б) установление формационной принадлежности оруденения, с которым связана аномалия;

в) прогнозную оценку перспективности аномалии на глубину с определением степени ее эродированности и расчетом основных параметров ожидаемого оруденения.

При решении перечисленных задач использованы следующие данные: 1) известные приемы выявления литохимических аномалий, разработанные Н. И. Сафроновым (1971), А. П. Солововым (1959), С. В. Григорьяном, Е. М. Янишевским (1968), С. В. Григорьяном (1971) и др.; 2) принцип определения оптимальных границ литохимических аномалий по комплексу ореолообразующих химических элементов (неопубликованные данные ЦГХП ПТГУ); 3) метод определения формационной принадлежности литохимических аномалий по нормированным показателям интенсивности первичных ореолов, разработанный в ЦГХП ПТГУ; 4) критерии определения уровня эрозионного среза геохимических аномалий, разработанные сотрудниками ИМГРЭ (Кравченко, Морозова, 1971; Григорян, Янишевский, 1968; Григорян, 1971), кафедры геохимии МГУ (Соловов, Гаранин, 1971; Соловов, Куршев, 1975), геохимической экспедиции Центрального геофизического треста (Сафронов, 1977), Приморского территориального геологического управления (Бураго, 1973; Бураго, Чуланов, 1974, 1975) и др.; 5) методы прогнозной количественной оценки перспективности оруденения на глубину: а) метод расчета прогнозных запасов по характеристикам литохимических ореолов и рудных тел, разработанный А. П. Солововым и П. А. Куршевым (1975); б) метод прогнозной количественной оценки оловянного и оловянно-полиметаллического оруденения по параметрам первичных ореолов и рудных тел, разработанный в Центральной геохимической партии ПТГУ (Бураго, 1973; Бураго, Чуланов, 1975).

Расчеты по оценке перспективности геохимических аномалий выполняются в следующей последовательности.

1. Определяются оптимальные границы аномалий по значениям суммы коэффициентов концентраций (K_i) основных ореолообразующих химических элементов. Аномальные значения K_i рассчитываются по фоновой выборке с различной вероятностью: $K_{A1} = \bar{K} \cdot \varepsilon$; $K_{A2} = \bar{K} \cdot \varepsilon^{1.5}$; $K_{A3} = \bar{K} \cdot \varepsilon^2$; $K_{A4} = \bar{K} \cdot \varepsilon^{2.5}$; $K_{A5} = \bar{K} \cdot \varepsilon^3$, где $\bar{K}$ и ε — среднее геометрическое значение и

стандартный множитель величины K_i ; $K_i = (\Sigma - K_j) \cdot \frac{C_{ji}}{C_{j\text{лит}}}$,

C_j — содержание j -го химического элемента в i -й пробе, $C_{j\text{лит}}$ — кларк j -го химического элемента в литосфере. Аномальными считаются единичная проба или группа проб в сумме по значениям K_i , условно эквивалентных девяти и более пробам с первым аномальным значением. Условия эквивалентности: $K_{A2} = 2K_{A1}$; $K_{A3} = 4K_{A1}$; $K_{A4} = 6K_{A1}$; $K_{A5} = 9K_{A1}$. Ано-

малии отделяются друг от друга неаномальными пробами, не удовлетворяющими условию $\sum_{i=1}^{m=n} K_i \geq 9K_{A1}$.

2. Определяется наиболее вероятная рудная формация геохимической аномалии по нормированным показателям интенсивности первичных ореолов: $\gamma = \frac{X_{Aj}^A}{X_{Mj}}$, где X_{Aj} — среднее арифметическое содержание j -го химического элемента в аномалии, X_{Mj} — то же в первичных ореолах рудных месторождений. Значения X_{Mj} , рассчитанные для группы рудных формаций, включающих оловянные, оловянно-полиметаллические, полиметаллические, вольфрамовые, сурьмяно-ртутные, золотые, медно-порфировые месторождения (в г/т), следующие: олово — 27; свинец — 325; цинк — 560; медь — 684; сурьма — 38; висмут — 3,1; серебро — 3,4; молибден — 14; вольфрам — 43; ртуть — 0,732; золото — 0,0448.

Определение рудной формации производится по формационным рядам ореолообразующих химических элементов, перечисленных выше, в которых эти элементы располагаются в последовательности убывания значений γ . Принадлежность аномалии к той или иной рудной формации устанавливается двумя приемами: а) по химическим элементам, занимающим первые места в составленном формационном ряду, характеризующем оцениваемую аномалию (табл. 1); при любом другом строении начальной части формационного ряда рудная формация аномалии считается неопределенной; б) сравнением формационного ряда химических элементов аномалии с эталонными рядами, характеризующими месторождения главных рудных формаций и групп формаций. Строение эталонных формационных рядов и значения показателей интенсивности первичных ореолов по основным ореолообразующим элементам приведены в табл. 2.

Сравнение производится путем расчета коэффициента ранговой корреляции по формуле $R = 1 - \frac{6\Sigma\Delta^2}{n(n^2-1)}$, где n — количество химических элементов в частном ранжированном ряду; $\Sigma\Delta^2$ — сумма квадратов разностей порядковых номеров химических элементов в частном и эталонном рядах. В случае, когда частный ранжированный ряд состоит из меньшего, чем эталонный, числа химических элементов, из него исключаются элементы, отсутствующие в частном ряду. Предельно допустимое количество химических элементов для определения формационного типа не должно быть менее пяти.

Для каждого коэффициента ранговой корреляции рассчитывается квантиль $z(1-q)$ и соответствующий уровень значимости. Принадлежность оцениваемой геохимической аномалии к одному из формационных типов, перечисленных в табл. 2, ус-

Условия определения рудной формации по первому признаку

Химический элемент, занимающий первое место в формационном ряду	Наиболее вероятная рудная формация или группа формаций
$[Pb, Zn]^*$ $[Sn, Pb, Zn](Ag, Bi)^{**}$	Полиметаллическая группа формаций Оловянно-полиметаллическая и полиметаллическая жильная с оловом Оловянно-вольфрамовая Оловянная
$[W]$ и, другие хим. элем., исключая вышеприведенные сочетания	Вольфрамовая группа формаций
Au $[Cu, Mo] Au$	Золоторудная группа формаций
$[Sb, Hg]$ $[Cu, Bi]$	Медно-порфировая с золотом Сурьмяно-ртутная Медно-висмутовая
Hg , другие хим. элем., исключая сочетание $[Sb, Hg]$	Ртутная

* Последовательность химических элементов, указанных в скобках, может быть любой.

** Один из указанных элементов или оба в любой последовательности.

определяется по наибольшему значению рангового коэффициента корреляции и, следовательно, по $z(1-q)$. Предельное значение квантили, при котором возможно определение формационного типа аномалии, следует принять равным $z(1-q) = 0,68269$. При меньших значениях квантили формационный тип аномалии считается неопределенным.

При расхождении в определении типа формации по первому и второму вариантам предпочтение отдается второму. При этом величина коэффициента ранговой корреляции должна удовлетворять условию $R \geq \frac{z(1-q)}{\sqrt{n-1}}$, где $z(1-q)$ — квантиль, соответствующая вероятности $P=1-q$ и $q\%$ -ному уровню значимости. В практике геохимических работ могут встречаться случаи, когда значения коэффициента не выходят за пределы критических для двух эталонных рядов. В этом случае предпочтение отдается рудной формации, с которой нет расхождений по первому варианту. Если тип формации по первому варианту неопределенный, предпочтение отдается типу формации с максимальной величиной рангового коэффициента корреляции. Оловянные месторождения в зависимости от относительных концентраций олова на уровнях с максимальной продуктивностью рудных тел и суммой относительных концентраций свинца, цинка и серебра (Бураго, 1973) разделены на 4 геохимических типа: I — оловянные малосвинцово-цинковые; II — оловянные умеренно свинцово-цинковые; III — оловянные свинцово-цинковые; IV — оловянные многосвинцово-цинковые.

3. Определяется уровень эрозионного среза: а) по мульти-

Ранжированные ряды и показатели интенсивности основных рудных

Тип месторождения		Химические элементы (числитель)		
		Показатель интенсивности (знаменатель)		
Оловянное	Преимущественно сульфидно-касситеритовое	$\frac{\text{Sn}}{4,63}$	$\frac{\text{Bi}}{0,709}$	$\frac{\text{Zn}}{0,630}$
	Преимущественно силикатно-сульфидное	$\frac{\text{Sn}}{4,07}$	$\frac{\text{Bi}}{0,967}$	$\frac{\text{Hg}}{0,724}$
Полиметаллическое		$\frac{\text{Zn}}{4,11}$	$\frac{\text{Pb}}{3,69}$	$\frac{\text{Ag}}{2,94}$
Вольфрамовое	Скарново-грейзеновое	$\frac{\text{W}}{11,62}$	$\frac{\text{Bi}}{6,12}$	$\frac{\text{Au}}{1,796}$
	Кварцево-сульфидно-жильное с оловом	$\frac{\text{W}}{9,02}$	$\frac{\text{Bi}}{4,41}$	$\frac{\text{Sn}}{2,04}$
	Скарновое	$\frac{\text{W}}{0,627}$	$\frac{\text{Cu}}{0,584}$	$\frac{\text{Pb}}{0,460}$
Золоторудное	Золото-серебряное	$\frac{\text{Au}}{0,691}$	$\frac{\text{Ag}}{0,573}$	$\frac{\text{Zn}}{0,357}$
	Кварцевое малосульфидное	$\frac{\text{Au}}{3,102}$	$\frac{\text{W}}{0,372}$	$\frac{\text{Bi}}{0,296}$
	Нерасчиленное	$\frac{\text{Au}}{10,044}$	$\frac{\text{Sb}}{3,5}$	$\frac{\text{Mo}}{1,57}$
Медно-висмутное		$\frac{\text{Ag}}{2,735}$	$\frac{\text{Bi}}{2,548}$	$\frac{\text{Pb}}{1,29}$
Медно-молибденовое		$\frac{\text{Cu}}{4,67}$	$\frac{\text{Mo}}{2,70}$	$\frac{\text{Sb}}{2,42}$
Сурьмяно-ртутное и ртутное		$\frac{\text{Sb}}{1,894}$	$\frac{\text{Hg}}{1,502}$	$\frac{\text{W}}{0,358}$

* Ртуть не определялась.

пликативным показателям (эталонные значения коэффициентов и условия их применения приведены в табл. 3); б) сравнением частных концентрационных рядов с эталонным рядом, отражающим зональность химических элементов, характерную для надрудных уровней среза рудных месторождений. Концентрационные ряды составляются по убыванию значений коэффициентов продуктивных концентраций, исправленных на величины

эмпирического делителя (d): $K_n = \frac{\bar{C}_A - \bar{C}_F}{\bar{C}_{\text{лит}} \cdot d}$, где $\bar{C}_A$ — среднее геометрическое по аномалии; $\bar{C}_F$ — среднее геометрическое по

элементов для эталонных эндогенных рудных месторождений

Химические элементы (числитель)							
Показатель интенсивности (знаменатель)							
Pb	Ag	W	Au	Cu	Mo	Sb	*
0,39	0,188	0,181	0,11	0,103	0,094	0,094	✓
W	Sb	Ag	Zn	Au	Mo	Pb	Cu
0,534	0,339	0,211	0,150	0,11	0,078	0,055	0,020
Mo	Hg	Bi	Sn	Sb	W	Au	Cu
1,285	1,092	0,819	0,560	0,431	0,418	0,11	0,095
Sn	Cu	Mo	Zn	Ag	Pb	Sb	
0,65	0,536	0,361	0,249	0,198	0,062	0,03	
Zn	Au	Pb	Mo	Cu	Ag	Sb	
0,494	0,412	0,195	0,138	0,120	0,058	0,0189	
Mo	Ag	Sn	Zn	Sb	Au	Bi	
0,428	0,294	0,22	0,178	0,131	0,11	0,08	
Pb	W	Sn	Mo	Cu	Sb	Bi	
0,295	0,213	0,185	0,135	0,057	0,034	0,022	
Sn	Zn	Cu	Mo	Pb	Sb	Ag	
0,174	0,117	0,0789	0,0785	0,055	0,035	0,029	
Cu	Pb	Ag	Zn	Sn	W	Bi	
1,111	0,925	0,617	0,535	0,185	0,162	0,08	
Cu	Mo	Zn	Sn	Sb	W	Au	
1,11	1,071	0,642	0,185	0,157	0,116	0,11	
Zn	Pb	Sn	Ag	W	Bi	Au	
1,142	0,83	0,67	0,382	0,358	0,277	0,11	
Sn	Mo	Ag	Au	Pb	Cu	Zn	Bi
0,23	0,214	0,194	0,11	0,083	0,043	0,041	0,038

фоновой выборке; $C_{\text{лит}}$ — кларк литосферы. Общий эталонный ряд химических элементов и делителей к ним имеет следующий вид:

Ba—0,3; Hg—1,0; Pb—0,5; Zn—0,3; Ag—3,0; As—2,0; Sb—0,3; V—1,0; Mn—1,0; Ge—0,2; Au—1,0; Sn—0,5; Cu—0,2; Cr—0,4; Ni—0,2; Co—0,2; Bi—8,0; Mo—1,0; W—0,4; Be—1,0.

Концентрационные ряды конкретных аномалий по сравнению с эталонными в большинстве случаев состоят из меньшего числа химических элементов. В этом случае на основе общего эталонного ряда составляется частный эталонный ряд, состоящий из химических элементов концентрационного ряда оцени-

Эталонные значения мультипликативных показателей уровня эрозионного среза рудных месторождений

Мультипликативный показатель (K_i)	Уровень эрозионного среза и значение мультипликативных геохимических показателей		
	надрудный — верхнерудный	среднерудный на максимуме оруденения	нижнерудный — подрудный

Оловянные касситерито-силикатно-сульфидные
и сульфидно-касситеритовые месторождения

Оловянный малосвинцово-цинковый тип

$K_1 = \frac{Zn \cdot V}{Cr \cdot Bi}$	$> 8 \cdot 10^2$	$3,4 \cdot 10^2$	< 55
$K_2 = \frac{Pb \cdot V}{Bi \cdot W}$	$> 1,4 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^2$	< 26
$K_3 = \frac{Sn \cdot W}{Pb \cdot Sb}$	$< 4,5$	17	> 30
$K_4 = \frac{Pb \cdot Zn}{Cu \cdot Bi}$	$> 1,6 \cdot 10^3$	$2,8 \cdot 10^2$	< 35
$K_5 = \frac{Sn \cdot Mo}{Pb \cdot V}$	$< 5,5 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$> 4,6 \cdot 10^2$
$K_6 = \frac{Pb \cdot Zn}{Bi \cdot W}$	$> 4 \cdot 10^4$	$5,3 \cdot 10^3$	$< 1,8 \cdot 10^2$
$K_7 = \frac{Pb \cdot Sb}{Bi \cdot W}$	> 90	17,5	$< 2,5$
$K_8 = \frac{Pb \cdot Zn \cdot V}{Cu \cdot Bi \cdot W}$	$> 6,5 \cdot 10^4$	$6,5 \cdot 10^3$	$< 2 \cdot 10^2$
$K_9 = \frac{Pb \cdot Zn \cdot V}{Bi \cdot Mo \cdot W}$	$> 6,3 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$< 4 \cdot 10^4$
$K_{10} = \frac{Pb \cdot Zn \cdot As}{Cu \cdot Bi \cdot W}$	$> 2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^3$	$< 2,5 \cdot 10^2$
$K_{11} = \frac{Pb \cdot V \cdot Sb}{Bi \cdot Mo \cdot W}$	$> 1,5 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^3$	$< 1,8 \cdot 10^2$
$K_{12} = \frac{Pb \cdot V \cdot Ge}{Cu \cdot Bi \cdot W}$	$> 5,5 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$	$< 6,5$

Оловянный умеренно свинцово-цинковый тип

$K_1 = \frac{Zn \cdot V}{Cr \cdot Bi}$	$> 5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	< 65
$K_2 = \frac{Pb \cdot V}{Bi \cdot W}$	$> 2,8 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^2$	< 26
$K_3 = \frac{Sn \cdot W}{Pb \cdot Sb}$	$< 6,5$	19,0	> 40
$K_4 = \frac{Pb \cdot Zn}{Cu \cdot Bi}$	$> 3,7 \cdot 10^2$	$2,2 \cdot 10^2$	< 27
$K_5 = \frac{Sn \cdot Mo}{Pb \cdot V}$	$< 6,6 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$> 3,4 \cdot 10^{-2}$

Мультипликатив- ный показатель (K_i)	Уровень эрозийного среза и значение мультипликатив- ных геохимических показателей		
	надрудный— верхнерудный	среднерудный на максимуме оруденения	нижнерудный— подрудный
$K_6 = \frac{Pb \cdot Zn}{Bi \cdot W}$	$> 8 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^3$	$< 3,3 \cdot 10^2$
$K_7 = \frac{Pb \cdot Sb}{Bi \cdot W}$	> 45	17,0	$< 3,5$
$K_8 = \frac{Pb \cdot Zn \cdot V}{Cu \cdot Bi \cdot W}$	$> 1,3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^3$	$< 2,1 \cdot 10^2$
$K_9 = \frac{Pb \cdot Zn \cdot V}{Bi \cdot Mo \cdot W}$	$> 4,3 \cdot 10^6$	$5,5 \cdot 10^5$	$< 3,2 \cdot 10^4$
$K_{10} = \frac{Pb \cdot Zn \cdot As}{Cu \cdot Bi \cdot W}$	$> 2,8 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^3$	$< 1,3 \cdot 10^2$
$K_{11} = \frac{Pb \cdot V \cdot Sb}{Bi \cdot Mo \cdot W}$	$> 2,1 \cdot 10^3$	$5,5 \cdot 10^2$	$< 1,4 \cdot 10^2$
$K_{12} = \frac{Pb \cdot V \cdot Ge}{Cu \cdot Bi \cdot W}$	$> 1,2 \cdot 10^2$	30,0	$< 5,5$
Оловянный свинцово-цинковый тип II			
$K_2 = \frac{Pb \cdot V}{Bi \cdot W}$	$> 1,6 \cdot 10^3$	$7,5 \cdot 10^2$	$< 2,5 \cdot 10^2$
$K_3 = \frac{Sn \cdot W}{Pb \cdot Sb}$	$< 2,7$	4,8	$> 9,5$
$K_6 = \frac{Pb \cdot Zn}{Bi \cdot W}$	$> 3,5 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^4$	$< 6 \cdot 10^3$
$K_7 = \frac{Pb \cdot Sb}{Bi \cdot W}$	$> 1,2 \cdot 10^2$	30	$< 7,3$
$K_8 = \frac{Pb \cdot Zn \cdot V}{Cu \cdot Bi \cdot W}$	$> 1,5 \cdot 10^5$	$2,7 \cdot 10^4$	$< 8,3 \cdot 10^3$
$K_{11} = \frac{Pb \cdot V \cdot Sb}{Bi \cdot Mo \cdot W}$	$> 3,7 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$	$< 4,1 \cdot 10^2$
$K_{12} = \frac{Pb \cdot V \cdot Ge}{Cu \cdot Bi \cdot W}$	$> 1,6 \cdot 10^2$	68,0	$< 1,8 \cdot 10^1$
Оловянный многосвинцово-цинковый тип IV			
$K_{13} = \frac{Pb \cdot Zn \cdot V}{Cu \cdot Mn \cdot Bi}$	> 30	0,9	$< 2,5 \cdot 10^{-2}$
$K_{14} = \frac{Pb \cdot Zn \cdot Sb}{Mn \cdot Bi \cdot Mo}$	> 400	60	$< 1,5$
$K_{15} = \frac{Sn \cdot Cu}{Sb \cdot Ag}$	< 300	$7 \cdot 10^4$	$> 1,5 \cdot 10^5$
$K_{16} = \frac{Sn \cdot Co}{Sb \cdot Ag}$	< 60	$1,0 \cdot 10^3$	$> 1,5 \cdot 10^4$
$K_8 = \frac{Pb \cdot Zn \cdot V}{Cu \cdot Bi \cdot W}$	$> 3 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^4$	< 400

Мультипликативный показатель (K_i)	Уровень эрозионного среза и значение мультипликативных геохимических показателей		
	надрудный— верхнерудный	среднерудный на максимуме оруденения	нижнерудный— подрудный

$K_{17} = \frac{\text{Sn} \cdot \text{Co}}{\text{As} \cdot \text{Ag}}$	<4	40	>400
$K_{18} = \frac{\text{Sn} \cdot \text{W}}{\text{As} \cdot \text{Sb}}$	<0,25	5	>100
$K_{10} = \frac{\text{Pb} \cdot \text{Zn} \cdot \text{As}}{\text{Cu} \cdot \text{Bi} \cdot \text{W}}$	>1,5 · 10 ⁵	3 · 10 ⁻³	<80
$K_{19} = \frac{\text{Sn} \cdot \text{Cu} \cdot \text{Co}}{\text{Zn} \cdot \text{Mn} \cdot \text{Ag}}$	<2,5 · 10 ⁻²	0,2	>1,5
$K_{20} = \frac{\text{Sn} \cdot \text{Cu} \cdot \text{W}}{\text{Pb} \cdot \text{Ag}^2}$	<20	1 · 10 ³	>4 · 10 ⁴

Оловянно-вольфрамовые месторождения
Жилы и минерализованные зоны дробления

$K_5 = \frac{\text{Sn} \cdot \text{Mo}}{\text{Pb} \cdot \text{V}}$	<1 · 10 ⁻³	3,4 · 10 ⁻³	>7,5 · 10 ⁻³
$K_{11} = \frac{\text{Pb} \cdot \text{V} \cdot \text{Sb}}{\text{Bi} \cdot \text{Mo} \cdot \text{W}}$	>1,4 · 10 ⁴	3,5 · 10 ³	<7,5 · 10 ²

Жилы тонкопрожилковые линейные и штокверкоподобные зоны

$K_{21} = \frac{\text{V} \cdot \text{As} \cdot \text{Sb}}{\text{Pb} \cdot \text{Ni} \cdot \text{Zn}}$	>0,01	0,01	<0,01
$K_{22} = \frac{\text{W} \cdot \text{Mn} \cdot \text{Zn}}{\text{Ge} \cdot \text{As} \cdot \text{Ag}}$	<1 000 000	1 000 000	>1 000 000
$K_{23} = \frac{\text{W}^2}{\text{Ge} \cdot \text{Ag} \cdot \text{As}}$	<1000	1000	>1000
$K_{24} = \frac{\text{W} \cdot \text{Cu}}{\text{Ag} \cdot \text{Ge}}$	<50 000	50 000	>50 000
$K_{25} = \frac{\text{As} \cdot \text{Pb} \cdot \text{Ag}}{\text{Ni} \cdot \text{V} \cdot \text{Mo}}$	>0,1	0,1	<0,1
$K_{26} = \frac{\text{As} \cdot \text{Sb} \cdot \text{Ge}}{\text{Bi} \cdot \text{Cr} \cdot \text{Mo}}$	>0,1	0,1	<0,1

Вольфрамовые месторождения
Скарново-грейзеновый тип

$K_{21} = \frac{\text{V} \cdot \text{As} \cdot \text{Sb}}{\text{Pb} \cdot \text{Ni} \cdot \text{Zn}}$	>0,1	0,06	<0,02
$K_{27} = \frac{\text{Ti} \cdot \text{As} \cdot \text{Sb}}{\text{Pb} \cdot \text{Ni} \cdot \text{Zn}}$	>10	5,5	<1,0
$K_{28} = \frac{\text{Ca}^2 \cdot \text{Ti} \cdot \text{As}}{\text{Zn}^2 \cdot \text{Pb} \cdot \text{Ni}}$	>1,0	0,55	<0,1
$K_{29} = \frac{\text{Au} \cdot \text{As} \cdot \text{V}}{\text{Pb} \cdot \text{Ni} \cdot \text{Zn}}$	>0,01	0,0055	<0,001

Мультипликатив- ный показатель (K_i)	Уровень эрозийного среза и значение мультипликатив- ных геохимических показателей		
	надрудный— верхнерудный	среднерудный на максимуме оруденения	нижнерудный— порудный

Грейзено-кварцево-жильный тип

$K_{14} = \frac{W \cdot Cu}{Ag \cdot Ge}$	>6000	6000	<6000
$K_{10} = \frac{Pb \cdot Zn}{Bi \cdot Sb}$	>3000	3000	<3000
$K_{11} = \frac{Pb \cdot Zn \cdot Sn}{Bi \cdot Sb \cdot Cr}$	>500	500	<500

Полиметаллические месторождения
Скарновые

$K_{12} = \frac{As}{Cu}$	>0,29	0,14	<0,14
$K_{13} = \frac{Ba}{Cu}$	>9,5	0,45	<0,45
$K_{14} = \frac{Ag}{Cu}$	>0,62	0,09	<0,09
$K_{15} = \frac{Pb}{Cu}$	>21	1,25	<1,25
$K_{16} = \frac{Zn}{Cu}$	>35	7,5	<7,5
$K_{17} = \frac{Ag}{As}$	<0,1	0,25	>0,5
$K_{18} = \frac{Ag^2}{Ba}$	<2,0	4	>10
$K_{19} = \frac{Ag^2}{Cd \cdot Ni}$	<0,5	0,6	>1,0
$K_{20} = \frac{Ag \cdot Mn}{As \cdot Ba}$	<150	300	>500
$K_{21} = \frac{Zn \cdot Ba}{Ag \cdot Mn}$	>1	0,8	<0,5
$K_{22} = \frac{Pb \cdot Ag}{Sn \cdot Cd}$	<65	100	>125
$K_{23} = \frac{Zn \cdot Bi}{As^2}$	<10	30	>100

Полиметаллические (жильные) с оловом

$K_{24} = \frac{Pb \cdot V}{Bi \cdot Mo}$	>2,5 · 10 ⁴	4,5 · 10 ³	<2 · 10 ³
$K_{25} = \frac{Pb \cdot Sb}{Cu \cdot Bi}$	>5	1,2	<0,3
$K_{27} = \frac{Pb \cdot Sb}{Bi \cdot W}$	>70	15	<3

Мультипликативный показатель (K_i)	Уровень эрозионного среза и значение мультипликативных геохимических показателей		
	надрудный— верхнерудный	среднерудный на максимуме оруденения	нижнерудный— подрудный
$K_8 = \frac{Pb \cdot Zn \cdot V}{Cu \cdot Bi \cdot W}$	$> 5 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^3$	$< 1,5 \cdot 10^3$
$K_{10} = \frac{Pb \cdot Zn \cdot As}{Cu \cdot Bi \cdot W}$	$> 6 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^3$	$< 1,5 \cdot 10^3$
$K_{13} = \frac{Pb \cdot Zn \cdot Sb}{Cu \cdot Mn \cdot Bi}$	$> 3,5$	0,6	$< 0,1$
$K_{11} = \frac{Pb \cdot V \cdot Sb}{Bi \cdot Mo \cdot W}$	$> 2 \cdot 10^3$	400	< 80
$K_{46} = \frac{Pb \cdot Co \cdot Sb}{Mn \cdot Bi \cdot Ag}$	> 20	5	$< 1,5$
Золоторудные месторождения Золото-серебряные			
$K_{47} = \frac{Pb \cdot Zn \cdot Ag \cdot As}{Mn \cdot Ge \cdot Sr \cdot Bi}$	$> 1 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^3$	< 100
$K_{48} = \frac{Pb \cdot Zn \cdot Ag}{Mn \cdot Ge \cdot Sr}$	$> 4 \cdot 10^2$	2,0	$< 0,2$
$K_{49} = \frac{Ag^2 \cdot Au}{Bi \cdot Sr \cdot Co}$	$> 0,6$	0,006	$< 1 \cdot 10^{-3}$
$K_{50} = \frac{Ag \cdot As}{Bi \cdot Mo}$	$> 1,5 \cdot 10^3$	200	< 80
$K_{51} = \frac{Zn \cdot Ba \cdot Ag}{W \cdot Sr \cdot Ge}$	$> 3 \cdot 10^3$	200	< 15
$K_{52} = \frac{Sb \cdot As \cdot Ag}{Sn \cdot W \cdot Mo}$	> 100	5	$< 0,02$
$K_{53} = \frac{Pb \cdot Ag}{Bi \cdot Sn}$	$n \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^2$	$> 1 \cdot 10^2$
Кварцевые малосульфидные			
$K_{47} = \frac{Pb \cdot Zn \cdot Ag \cdot As}{Mn \cdot Ge \cdot Sr \cdot Bi}$	> 15	1,0	$< 0,02$
$K_{54} = \frac{Ag^2 \cdot As}{Bi \cdot Mo}$	$> 7 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$< 5 \cdot 10^{-6}$
$K_{50} = \frac{Ag \cdot As}{Bi \cdot Mo}$	> 70	5	$< 0,3$
$K_{51} = \frac{Sb \cdot As \cdot Ag}{Sn \cdot W \cdot Mo}$	> 2	0,1	$< 0,005$
$K_{55} = \frac{Pb \cdot Au}{W \cdot Co}$	$> 0,2$	0,01	$< 8 \cdot 10^{-4}$
$K_{56} = \frac{Sb \cdot As}{W \cdot Co}$	> 50	0,4	$< 0,02$

Мультипликативный показатель (K_i)	Уровень эрозионного среза и значение мультипликативных геохимических показателей		
	надрудный — верхнерудный	среднерудный на максимуме оруденения	нижнерудный — подрудный

Жильные в гранодиоритах

$$K_{57} = \frac{\text{Pb} \cdot \text{Zn} \cdot \text{As}}{\text{Sn} \cdot \text{Co} \cdot \text{Cu}} \quad \begin{matrix} > 30 & 5,0 & < 1,0 \end{matrix}$$

Ртутные месторождения

$$K_{58} = \frac{\text{As}}{\text{Hg}} \quad \begin{matrix} > 12,5 & 0,25 & < 6,8 \cdot 10^{-3} \end{matrix}$$

$$K_{59} = \frac{\text{Pb} \cdot \text{Zn}}{\text{Hg}^2} \quad \begin{matrix} < 3,5 \cdot 10^{-4} & 4 \cdot 10^{-3} & < 5 \cdot 10^{-2} \end{matrix}$$

$$K_{60} = \frac{\text{Pb} \cdot \text{Zn}}{\text{Hg} \cdot \text{As}} \quad \begin{matrix} < 4 \cdot 10^{-3} & 1,0 & < 2 \cdot 10^2 \end{matrix}$$

Оловянные, вольфрамовые и полиметаллические месторождения

Жилы. Минерализованные зоны дробления

$$K_{61} = \frac{\text{Pb} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Ag}}{\text{Cu} \cdot \text{Bi} \cdot \text{Mo}} \quad \begin{matrix} > 500 & 250 & < 1,0 \end{matrix}$$

$$K_{62} = \frac{\text{Pb} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Ag}}{\text{Cu} \cdot \text{Bi} \cdot \text{W}} \quad \begin{matrix} > 500 & 250 & < 1,0 \end{matrix}$$

Примечание. Символами химических элементов обозначены среднегеометрическое (в показателях K_1 — K_{31} , K_{44} — K_{57}) и среднеарифметическое (K_{32} — K_{43} , K_{61} , K_{62}) содержания и линейная продуктивность (K_{58} — K_{60}) первичного ореола по соответствующему элементу.

ваемой аномалии. Так как для различных типов месторождений частные эталонные ряды различаются между собой по комплексам и количеству химических элементов, возникает необходимость использовать при сравнении концентрационных рядов характеристику, которая не зависит от количества химических элементов, участвующих в расчете. Такой характеристикой является уровень значимости (q), с которым рассчитан коэффициент ранговой корреляции и его функция — квантиль $z(1-q)$. Последняя и используется для определения уровня среза в сочетании со знаком ($\pm$) рангового коэффициента. Пользуясь эталонными значениями квантили, приведенными в табл. 4 и рассчитанными по формуле $z(1-q) = \sqrt{n-1} \cdot \left(1 - \frac{6\Sigma\Delta^2}{n(n^2-1)}\right)$, определяется уровень эрозионного среза, где z — квантиль; n — число химических элементов в концентрационном ряду; $\Sigma\Delta^2$ — сумма квадратов разностей мест (номеров) химических элементов в индивидуальном и эталонном концентрационных рядах.

Эталонные значения квантили

Уровень эрозионного среза	Значения квантили	
	оловянные, оловянно-полиметаллические и полиметаллические месторождения	золото-серебряные и ртутные месторождения
Надрудный	1,96	3
Верхнерудный	1,96—1,28	3,0—2,0
Среднерудный выше максимума оруденения	1,28—0	2,0—1,0
Среднерудный ниже максимума оруденения	0,0—(—0,68)	1,0—0,0
Нижнерудный, подрудный	(—0,68)	0,0

4. Прогнозная оценка перспективности аномалии. На предварительной стадии оценки рудопроявлений промышленные месторождения можно отличать от непромышленных и зон рассеянной минерализации по среднеореольному значению коэффициента концентрации главного рудного элемента в сочетании с величиной уровня эрозионного среза. Перспективность оценивается по положению точки относительно кривых, описанных уравнениями 1 и 2.

$$z(1-q) = \frac{1,2}{\sqrt{x}} - \frac{x^2}{4,5} - \frac{0,06}{3,3-x}, \quad (1)$$

$$z(1-q) = \frac{1,8}{\sqrt{x}} - \frac{x^2}{6,75} - \frac{0,06}{3,3-x}, \quad (2)$$

$z(1-q)$ — квантиль; $x = \lg K$; K — коэффициент концентрации. По положению точек относительно кривой первого уравнения оцениваются оловянные и приближенно — оловянно-полиметаллические, полиметаллические и медные месторождения; кривой второго уравнения — золото-серебряные, золоторудные и приближенно — ртутные. При этом, если $z(1-q) \geq$ правой части уравнения (1) или (2), то аномалии рудных формаций перспективны, если меньше — аномалии неперспективны.

Ожидаемый масштаб оруденения вторичных аномалий оценивается по установленным закономерностям (Соловов, Куршев, 1975) между количеством металла в ореоле и рудном теле. Для подсчета запасов используется формула $Q = 0,028 p M_o L h$; где Q — запасы металла в рудном теле в тоннах на заданную его длину (L) по простиранию и расчетную глубину по падению (h), м; M_o — линейная продуктивность ореола, м%; p — коэффициент пропорциональности ($p = \frac{M_p}{M_o}$), M_p — линейная продуктивность рудного тела.

5. Количественная оценка оловянного оруденения на глубине проводится на основе функциональных зависимостей между линейными продуктивностями рудных тел (M_p), ореолов олова (M_o) и расстоянием от максимума оруденения (x). Эмпирически установлено, что десятичный логарифм линейных продуктивностей ореолов олова с глубиной изменяется приблизительно по прямым линиям, которые описываются линейными логарифмическими уравнениями типа

$$Y_0 = a_0 x + b, \quad (3)$$

где $Y_0 = \lg M_o$ — десятичный логарифм линейной продуктивности первичного ореола олова, a_0 — коэффициент, отражающий угол наклона линии графика; $b = \lg M_o^{\max}$ — десятичный логарифм максимальной линейной продуктивности первичного ореола олова.

На оловорудных месторождениях зависимость между $M_p^{\max}$ и $M_o^{\max}$ описывается уравнением.

$$\lg M_p^{\max} = c = \text{antlg} (0,1 \sqrt{M_o^{\max}} - 0,68) + \frac{0,5b}{M_o^{\max}} - 0,08. \quad (4)$$

Менее точно эта же зависимость описывается кубической параболой следующего вида:

$$c = 0,81945b^3 - 1,697b^2 + 1,00179b + 0,30328. \quad (5)$$

После преобразования и введения дополнительных обозначений получаем систему двух уравнений с двумя неизвестными («X» и «B»):

$$Y_i = \sqrt{\frac{1}{a_x} [Y_p - \text{antlg} (0,1 \sqrt{M_o^{\max}} - 0,68) - \frac{0,5b}{M_o^{\max}} + 0,08]}, \quad (6)$$

$$X = \frac{1}{a_0} (Y_0 - b).$$

Система уравнений (6) решается методом последовательного приближения. При решении величине «в» целесообразно давать значения от -1 до $+2$.

Решив систему, мы получим две главные характеристики ожидаемого оловянного оруденения: продуктивность рудных тел на максимуме оруденения ($M_p^{\max}$) и расстояние до этого максимума (x) от изученного сечения. В уравнениях (6) $Y_i = \lg M_p$; $Y_0 = \lg M_o$; $C = \lg M_p^{\max}$; $b = \lg M_o^{\max}$; a_0 — постоянный множитель.

Возможный размах промышленного оловянного оруденения (P) определяется: а) при надрудном уровне эрозионного среза $P = x_1 + x_2$; $X_1 = \sqrt{\frac{Y_6 - c}{a_x}}$; $x_2 = \frac{Y_6 - c}{a'_x}$, где Y_6 — десятичный логарифм бортовой линейной продуктивности рудных тел; $a'_x =$

$= -0,000033$; x_1 — расстояние вверх от уровня с максимальным оруденением до уровня выклинивания промышленных руд. X_2 — то же, вниз; б) в случае, если промышленные руды выходят на поверхность своей верхней половиной, $P = x + x_1$; в) в случае нижнерудного среза $P = x_2 - x$.

Коэффициенты a_0 и a_x для месторождений с надрудными и верхнерудными срезами определяются по значениям отношения $\frac{M_0}{M_P}$ (табл. 5).

Таблица 5

Эталонные значения множителей

M_0/M_P		a_P	a_0
надрудный срез	верхнерудный срез		
до 50	до 7	$-0,000011$	$-0,0025$
50—100	7—20	$-0,000020$	$-0,0033$
более 100	более 20	$-0,000033$	$-0,0045$

Для месторождения со среднерудным срезом $a_x = -0,000011$; $a_c = -0,0025$, для месторождений с нижнерудным срезом $a_x = -0,000033$, $a_0 = -0,0035$.

По рассчитанным основным характеристикам рудного тела определяются прогнозные запасы олова $Q = 0,01 \left(\frac{1}{\%} \right) \cdot S (m^2 \%) \cdot D (t/m^3) \cdot L_n (m)$, где Q — прогнозные запасы олова в блоке, на который распространяется влияние расчетной «вертикальной» площадной продуктивности по олову; $S = \int_{\alpha}^{\beta} M_P dx$, где α и β — пределы интегрирования, соответствующие нижней (α) и верхней (β) границам сохранившейся части рудного тела; $M_P = 10^{a_x x^2 + c}$; D — объемная плотность руды, обычно равная 2,7; L_n — расстояние по простиранию (длина расчетного блока), на которое распространяется влияние характеристики S .

В ПТГУ с 1977 г. ведется обработка поисковой геохимической информации по предложенному методу. Результаты апробации показали высокую надежность предложенных критериев и позволяют рекомендовать их при оценке оруденения.

ЛИТЕРАТУРА

Бурого А. И. Геохимические основы прогнозирования и оценки оловянного оруденения Южного Сихотэ-Алиня: Автореф. канд. дис. М.: МГУ, 1973. с. 3—17. В надзаг.: Мин. высш. образ., МГУ.

Бурого А. И., Чуланов Э. В. Количественная оценка оловянного оруденения по первичным ореолам. Информ. листок № 97—74. Владивосток: ДВЦНТИ, 1974. 3 с.

Бурого А. И., Чуланов Э. И. Первичные ореолы оловорудных место

рождений Приморья и методы их оценки.— В кн.: Геохим. методы при поисках месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975, с. 40—42.

Григорян С. В. Первичные геохимические ореолы гидротермальных месторождений, методы их изучения и практическое использование: Автореф. докт. дис. М., 1971. В надзаг.: АН СССР, ГЕОХИ.

Григорян С. В. Геохимические методы при поисках эндогенных рудных месторождений. Методические рекомендации. М.: Изд-во ИМГРЭ, 1974. 111 с.

Григорян С. В., Янишевский Е. М. Эндогенные геохимические ореолы рудных месторождений. М.: Недра, 1968. 198 с.

Кравченко Э. С., Морозова Т. А. Геохимическая зональность эндогенных ореолов касситерит-сульфидных месторождений как критерий оценки геохимических аномалий.— В кн.: Геохим. методы при поисках и разведке рудных месторождений. М.: Изд-во ИМГРЭ, 1971, с. 35—36.

Сафронов Н. И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1971. 216 с.

Сафронов В. И. Геохимические предпосылки и признаки поискового прогнозирования слепых свинцово-цинковых месторождений скарновой формации: Автореф. канд. дис. М., 1977, с. 5—17. В надзаг.: АН СССР. Мин. геол. СССР.

Соловов А. П. Основы теории и практики металлометрических съемок. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1959. 265 с.

Соловов А. П., Гаранин А. В. Оценка уровня эрозийного среза оловяно-рудных проявлений при геохимических поисках.— В кн.: Геохим. методы при поисках и разведке рудных месторождений. М.: Изд-во ИМГРЭ, 1971, с. 21—23.

Соловов А. Н., Куршев П. А. Количественная интерпретация вторичных ореолов рассеяния на примере Кавалеровского рудного района.— В кн.: Геохим. методы при поисках месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975, с. 151—152.

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ ЭЛЕМЕНТОВ В ОРЕОЛАХ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СХЕМ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ АНОМАЛИЙ

С. Ф. Сегалевич

Институт геохимии СО АН СССР, г. Иркутск

Среди многих методов математической статистики, применяемых при интерпретации аномалий, высокой эффективностью отличаются методы корреляционного анализа, которые дают достоверные критерии оценки зональности строения ореолов и позволяют достаточно надежно различать отдельные аномальные совокупности в сложных ореолах, образованных в результате наложения различных рудогенерирующих процессов, разорванных во времени¹.

На основании анализа ранговых коэффициентов корреляции

¹ Григорян С. В., Янишевский Е. М. Эндогенные геохимические ореолы рудных месторождений. М.: Недра, 1968. 197 с.

для большого числа аномалий, связанных с различными типами оруденения в Восточном Забайкалье, нами установлено, что если наличие значимого коэффициента корреляции условно обозначать чертой, соединяющей каждую пару коррелирующих между собой элементов, то все разнообразие значимых связей аномалиях любого генезиса можно свести к нескольким типам корреляционных схем, которые приводятся на рис. 1.

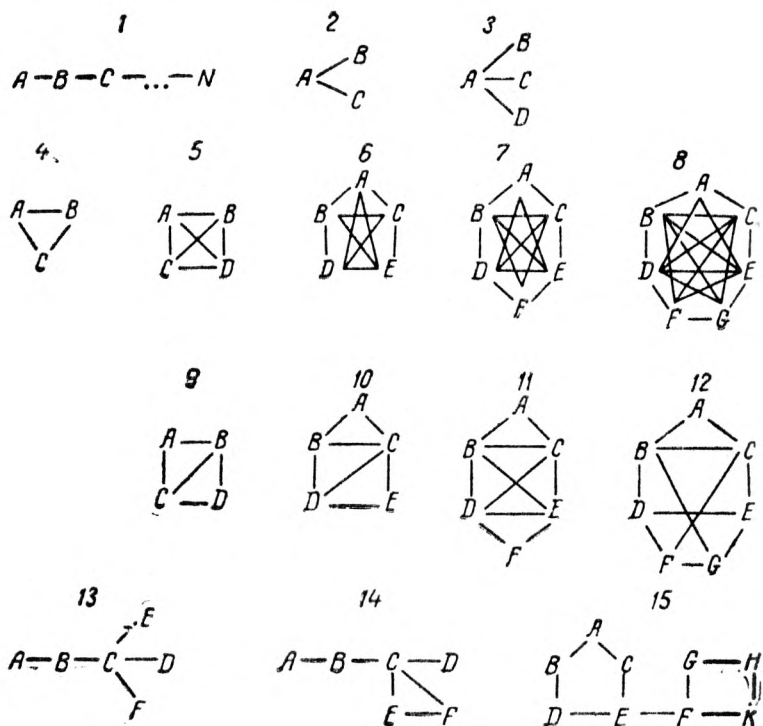


Рис. 1. Основные типы и виды корреляционной связи элементов в аномалиях: 1—3—открытый тип (виды: 1—цепочечный; 2—3—лучевой); 4—8—замкнутый тип (4—трехчленный, 5—четырёхчленный и т. д., виды с полной внутренней связью); 9—12—то же, что и предыдущий тип (с неполной внутренней связью); 13—15—комбинированный тип (виды: 13—открытый цепочно-лучевой; 14, 15—замкнутый, с боковыми связями)

Ниже на ряде примеров будут показаны особенности и виды корреляционных схем в аномалиях Шерловогорского рудного поля, анализ и использование которых оказывается чрезвычайно полезным для установления параметров ореола и особенностей его генезиса. В приводимых примерах сознательно не рассматриваются другие способы оценки таких показателей ореола, как зональность, глубина эрозийного среза и пр., что

бы в «чистом виде» продемонстрировать возможности метода при решении большого круга вопросов, связанных с оценкой аномалий.

Пример 1. На месторождении вольфрама, представленном кварцево-вольфрамитовой жилой с касситеритом и сульфидами, и залегающей в песчано-сланцевой толще вблизи скрытого купола гипабиссальной Шерловогорской интрузии отмечаются повышенное содержание 12 элементов, среди которых имеются главные (вольфрам, олово и др.) и аксессуарные (бериллий, литий и др.). Жила имеет небольшую мощность и вскрыта разведочными канавами. Околорудные изменения проявлены слабо.

Пробы, отобранные для характеристики ореола вкрест простирания рудного тела по параллельным профилям, были разбиты с учетом расстояния от рудного тела на 3 группы. Первая, в которую объединялись образцы ближнего экзоконтакта жилы с содержанием вольфрама 0,1%, условно характеризовала внутреннюю зону ореола. Пробы, образовавшие вторую группу, отбирались на расстоянии 10—20 м от проб первой группы и были отнесены к средней зоне ореола (вольфрама от 0,1 до 0,01%). Третью группу составили пробы с фоновым содержанием вольфрама, находящиеся на расстоянии 80—100 м от рудной жилы. Такой способ опробования обеспечивал возможность выявления горизонтальной зональности рудного тела.

После подсчета ранговых коэффициентов корреляции и установления значимых связей между аномальными элементами были построены схемы корреляции для каждой из упомянутых зон (рис. 2).

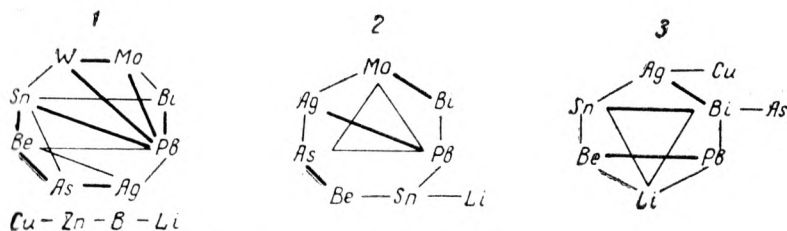


Рис. 2. Схемы корреляции аномальных элементов, характеризующие различные зоны горизонтального сечения первичного ореола кварцево-вольфрамитовой жилы: 1 — внутреннюю, 2 — среднюю, 3 — внешнюю. Связи, обозначенные утолщенной линией, соответствуют 1%-ному уровню значимости, остальные — 5%-ному

На рис. 2 видно, что во всех трех зонах связь между элементами имеет замкнутый кольцевой характер, причем ее прочность, определяемая наличием связей 1%-ного уровня значимости, убывает вполне закономерно от внутренней зоны ореола к периферийным ее частям. В том же направлении уменьшается количество элементов в главном кольце корреляционной

схемы (8, 7 и 6 соответственно), возрастает ее «рыхлость» за счет образования боковых единичных и потери значительного числа внутренних межэлементных связей. Кроме того, от внутренней зоны к внешней сокращается число элементов, обладающих корреляционными связями.

Анализ корреляционных схем позволяет выявить элементы-индикаторы вольфрамового оруденения и комплекс элементов, сопутствующих этому типу оруденения. Из корреляционной схемы внутренней зоны ореола, построенной для 1%-ного уровня значимости, следует, что в продуктивную стадию наиболее прочные связи существуют между вольфрамом, молибденом, висмутом и свинцом, что соответствует наблюдаемому в жиле парагенезису — вольфрамит, молибденит, висмутин, галенит (рис. 3, схема 1).

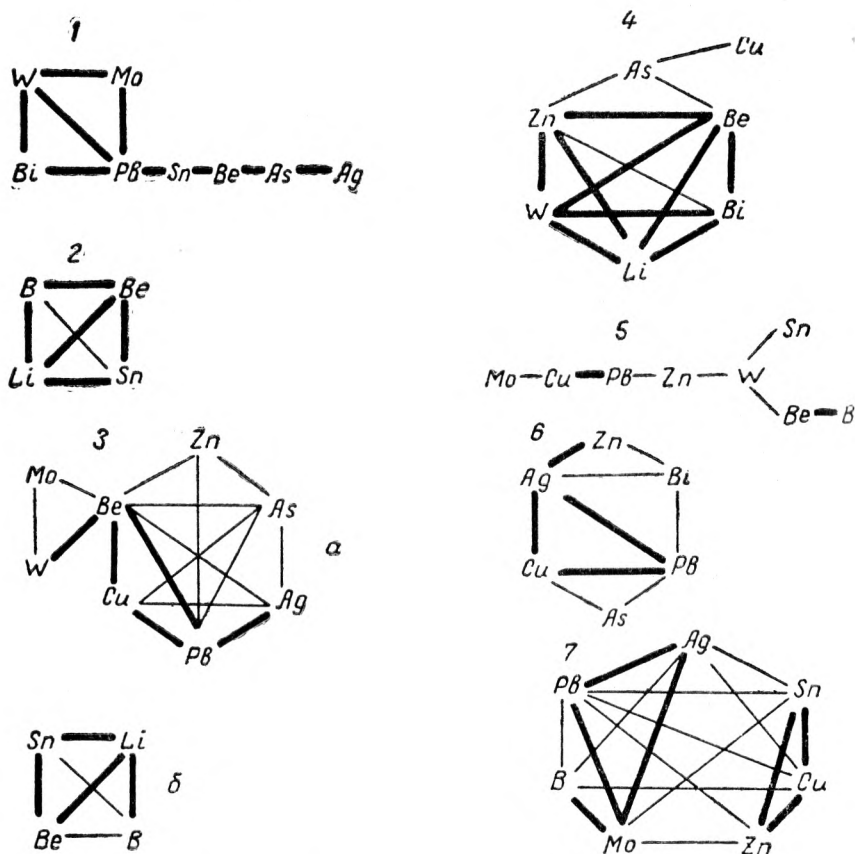


Рис. 3. Схемы корреляции элементов в первичных ореолах. Связи, обозначенные утолщенной линией, соответствуют 1%-ному уровню значимости, остальные — 5%-ному

В то же время элементы правой части схемы, связанные открытой цепочечной связью, могут рассматриваться как элементы—спутники вольфрамового оруденения. Учитывая, что на месторождении повсеместно наблюдается грейзенизация вмещающих пород, обособление группы элементов внутренней зоны ореола, в которой наблюдается прочная связь бора с литием (рис.2), свидетельствует о том, что процесс грейзенизации отделен во времени от продуктивной стадии.

Обратим внимание на то, что корреляционная схема внешней зоны ореола по своему виду и составу участвующих в ней элементов мало похожа на корреляционную схему внутренней зоны ореола. Объясняется это тем, что по мере движения от внутренних зон к периферийным частям ореола резко падает миграционная способность ряда элементов (вольфрам, молибден), в результате чего корреляционная схема ореола внешней зоны больше напоминает подобную же схему «чистого» грейзенового процесса на Шерловгорском рудном поле, для которого характерны прочные связи между литием, бором, бериллием и оловом (рис. 3, схема 2).

Такое поведение элементов в разных зонах ореола естественно, так как изменчивость корреляционных связей является отражением изменения параметров гидротермальных растворов, формирующих месторождение, а следовательно, и аномалию. Тем большее значение приобретает установление наиболее «стойких» сквозных пар элементов, неизменно присутствующих в корреляционных схемах всех трех зон, так как они могут оказать большую помощь при установлении типа минерализации по аномалии, вскрытой в периферийной своей части. Такими сквозными элементами в ореоле кварцево-вольфрамитовой жилы могут служить пары висмут — свинец из группы элементов-индикаторов и олово — бериллий из группы элементов, сопутствующих вольфрамовому оруденению. Особенностью ореола, связанного с вольфрамовым оруденением, является быстро исчезающая способность корреляции вольфрама с элементами-индикаторами, имеющая место лишь в узком интервале внутренней зоны ореола.

Для анализа вертикальной зональности подобные корреляционные схемы составляются по отдельным сечениям рудного тела с учетом уже упоминавшихся зон ореола. Полезным оказывается также построение обобщенной схемы корреляции элементов в объеме месторождения по результатам опробования скважин (рис. 3; схема 3, а, б).

Подобная обобщенная схема позволяет уточнить характер распределения элементов в ореоле и их связь с процессами, имевшими место при термировании месторождения. При построении корреляционной схемы для такого варианта опробования грейзеновый процесс четко обособляется от рудоотлагающего (рис. 3, схема 3,а).

Пример 2. Грейзенизированная зона, расположенная близ скрытого купола Шерловгорской интрузии, представлена многочисленными топазо-кварцевыми прожилками, иногда с касситеритом, залегающим в ороговикованных породах песчаносланцевой толщи. Элементарный состав аномалии аналогичен примеру 1.

Схема корреляционных связей аномального участка показана на рис. 3, схеме 4.

У свинца, серебра, цинка, молибдена, бора корреляционные связи отсутствуют, что позволяет считать главной группой индикаторных элементов для грейзенизированных участков ту, элементы которой образуют между собой полную внутреннюю связь по типу «звезды», т. е., в первую очередь олово, бериллий, висмут, литий и вольфрам.

Пример 3. Оловянное месторождение сопки Большой залегает в брекчии кварцевых порфиров. Выделенный в нем набор главных и аксессуарных элементов аналогичен примеру 1. Схема корреляционной связи аномальных элементов приведена на рис. 3, схеме 5.

Вид корреляционной схемы, состоящей из двух ветвей, свидетельствует о значительной автономии оловянного оруденения при образовании оловянно-полиметаллической минерализации, что в действительности имеет место на месторождении.

Пример 4. Аномалия юга рудного поля расположена в контактовой зоне диоритов и песчаников. Видимая минерализация отсутствует. Аномалию образуют те же элементы, что и в предыдущих примерах.

Корреляционная схема, характеризующая диориты (рис. 3, схема 6), свидетельствует о том, что здесь обособилась группа главных элементов аномалии, которые в совокупности являются для Восточного Забайкалья индикаторами свинцово-цинкового оруденения. Аномалия заслуживает проверки.

Пример 5. Аномальный участок без видимой минерализации расположен в надинтрузивной толще центральной части рудного поля. Повышенные концентрации образуют: мышьяк, свинец, олово, цинк, серебро, медь, молибден, вольфрам, висмут, бор. Корреляционные связи между элементами отсутствуют. Отсутствует и дифференциация элементов в пространстве. Участок отнесен к малоперспективным.

Пример 6. Две слабоконтрастные аномалии, имеющие сходный элементный состав, залегают в эффузивно-осадочной толще юго-востока рудного поля за пределами Шерловгорской интрузии. Аномальные элементы: цинк, медь, олово, молибден, серебро, свинец (висмут — I аномалия). Подсчет коэффициентов корреляции показал, что в первой аномалии корреляционные связи отсутствуют, во второй — существует тесная корреляция между всеми элементами по схеме 7 (рис. 3). Скважина, пробуренная на второй аномалии, вскрыла рудное тело.

Таким образом, приведенные данные и результаты обработки большого числа аномальных участков различных рудных полей Забайкалья свидетельствуют о неперенном наличии у элементов, участвующих в образовании промышленных рудных концентраций, корреляционных связей на уровне рудного и близко надрудного интервалов. Противоположное заключение, что аномалия продуктивна, если между образующими ее элементами существует корреляционная связь, еще не подтверждено необходимым количеством фактического материала. Пока мы можем лишь утверждать, что обязательным условием любой продуктивной аномалии является наличие корреляционной зависимости между определенным кругом элементов, характерным для каждого конкретного типа оруденения. Это правило неизменно подтверждается на всех месторождениях гидротермального генезиса.

Вид корреляционной схемы определяется уровнем эрозионного среза аномалии, минералогическим составом рудного тела, с которым эта аномалия связана, наличием или отсутствием на ней наложенных процессов.

Для аномалии как простого, так и сложного состава независимо от уровня эрозионного среза характерно вхождение в соответствующие корреляционные схемы лишь части элементов, присутствующих в аномалиях в повышенных концентрациях.

Как правило, околорудные — рудные интервалы характеризуются максимальным числом коррелирующихся элементов; схема корреляции аномальных элементов на этих участках имеет вид замкнутой многочленной связи. Надрудные интервалы, напротив, имеют минимальное число значимых связей между аномальными элементами, для них предпочтительнее открытые цепочечные или лучевые виды корреляционных схем.

Схемы вида 7, 11, 8, 12 и т. д. (рис. 1) и их комбинированные аналоги отмечаются у сложных аномалий, сформированных за счет наложения различных минерализующих процессов.

Построение корреляционных схем представляет собой компактный, наглядный, удобный для анализа и сравнения способ изображения конечного итога обработки обширной геохимической информации, с помощью которого можно:

- а) определить комплекс главных элементов и элементов-спутников на аномалии и таким путем установить связь ореола с определенным типом рудной минерализации;
- б) выявить зональность и оценить глубину эрозионного среза ореола, исходя из особенностей корреляционных связей элементов в различных участках ореола;
- в) выявить особенности распределения элементов в ореоле и решить генетические вопросы формирования рудных тел и связанных с ними аномалий;
- г) установить тождественность типов рудной минерализации сравнением характеризующих их корреляционных схем;

д) использовать корреляционный анализ для выделения зон рассеянной минерализации.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ ШЛИХОВЫХ ПОИСКАХ

В. И. Гаврилов, П. Е. Малямин

Дальневосточный институт минерального сырья, г. Хабаровск

Для получения дополнительной информации при шлиховом опробовании авторами, помимо традиционного минералогического анализа, был выполнен спектральный анализ отдельных фракций шлихов, т. е. использован шлихо-геохимический метод поиска различных типов рудных месторождений¹. Этот метод хорошо зарекомендовал себя при поисках оловянного оруденения и с успехом применяется на Востоке страны рядом территориальных геологических управлений. Особенно резко повышается эффективность шлихо-геохимического опробования при наличии тонкодисперсных руд, которые часто характерны для месторождений касситерито-сульфидной формации. В этом случае тончайшие зерна касситерита, находящиеся в сростании с сопутствующими шлиховыми минералами, не поддаются визуальной минералогической оценке и могут быть пропущены. Кроме того, близкие по времени образования с касситеритом рудные минералы также содержат в себе повышенные концентрации олова, которое входит в их кристаллическую структуру в виде изоморфной или механической примеси и поэтому не может быть установлено при минералогическом анализе.

Интересную и важную геохимическую информацию несут в себе лимониты, часто отмечаемые в шлиховых ассоциациях оловорудных месторождений (табл. 1). Этот минерал, образующийся в экзогенных условиях, — активный сорбент полезных компонентов, находящихся в воде как во взвешенном, так и в растворенном состоянии. Как известно, лимониты — сборное название гидроокислов железа. Одним из его главных компонентов является гётит (HFeO_2), который образуется в экзогенных условиях в результате разложения пирита, сидерита, магнетита, железистых силикатов и других минералов и находится обычно в ассоциации с гематитом, окислами марганца в образованиях типа железных шляп, в почвах, речных и озерных отложениях. О высокой сорбционной способности лимони-

¹ Костерин А. В. Геохимические исследования при шлиховых поисках. — Геол. и геофиз., 1964, № 9, с. 123—126.

Махнин В. А., Гаврилов В. И. Применение шлихо-геохимического метода при поисках месторождений олова на территории Дальнего Востока. — Экспресс-информация ОНТИ ВИЭМС. Сер. геол. М., 1970, № 5, с. 4.

Таблица частоты встречаемости олова, свинца, цинка, меди
в рудных минералах оловорудных месторождений Северного Сихотэ-Алиня

Минерал	Число проб	Число проб с содержанием более 0,01%			
		олово	свинец	цинк	медь
Лимонит	37	70	92	72	96
Халькопирит	40	85	100	94	100
Пирит	39	50	17	17	20
Пирротин	24	67	89	89	74
Турмалин	28	74	57	57	29

тов свидетельствуют приведенные выше данные, из которых следует, что лимониты оловорудных месторождений Северного Сихотэ-Алиня постоянно характеризуются высокими содержаниями олова, свинца, цинка, меди. Таким образом, этот минерал благодаря высокой сорбционной активности позволяет фиксировать, помимо механической, солевую составляющую речных потоков. Это значительно повышает информативность шлихо-геохимического метода, так как получаемый результат отражает геохимический состав не только механических ореолов, отмечаемых шлиховым опробованием, но и солевых ореолов, определяемых посредством опробования донных осадков.

Кроме того, олово, а также сопутствующие ему элементы в повышенном количестве содержатся в халькопирите, пирите, пирротине, турмалине, вольфрамите и ряде других минералов.

На примере оловорудных месторождений Северного Сихотэ-Алиня авторами проверена эффективность шлихо-геохимического метода. В результате изучения распространения олова, свинца, меди и других элементов в пробах донных осадков и различных фракциях более двух тысяч шлиховых проб, а также касситерита в этих пробах установлено следующее.

Оптимальной для определения олова является электромагнитная фракция шлиховых проб, представленная главным образом лимонитом, ильменитом, эпидотом, турмалином, реже пьелфрамитом, а также обнаруживающими в ряде случаев электромагнитные свойства касситеритом, халькопиритом, арсенопиритом и сфалеритом. В удалении от рудных зон содержание олова в этой фракции редко достигает 0,003%, тогда как оловоносные речные отложения характеризуются концентрациями этого металла, обычно превышающими 0,01%.

Частота встречаемости аномальных содержаний олова в электромагнитной фракции шлихов выше, чем в пробах донных осадков и касситерита в тяжелой неэлектромагнитной фракции. Сопоставление частот встречаемости олова в электромагнитной и касситерита в неэлектромагнитной фракциях тех же шлиховых проб приведено в табл. 2.

Частота встречаемости аномальных концентраций олова (касситерита) в электромагнитной и неэлектромагнитной фракциях шлихов

Градации содержаний	Олово в электромагнитной фракции		Касситерит в неэлектромагнитной фракции	
	число проб	частота встречаемости, %	число проб	частота встречаемости, %
Ниже предела чувствительности	700	33	—	—
Не обнаружено	—	—	1625	77
Менее 0,005% 1—3 знака	800	38	250	12
0,005—0,1%	350	17		
Более 4 знаков			125	6
Более 0,1%	250	12		
Весовое содержание			100	5
ИТОГО:	2100	100	2100	100

Из приведенных данных видно, что если за нижний предел аномальных содержаний олова в электромагнитной фракции принять концентрацию 0,005% и соответственно для касситерита в неэлектромагнитной фракции более 3 зерен, то частота встречаемости аномальных значений олова составит 29%, тогда как касситерита — всего 11%.

На исследуемой площади выявлены новые аномальные потоки распространения олова, не зафиксированные ранее обычным шлиховым и донным опробованием.

По интенсивности шлихо-геохимических аномалий переосценен ряд площадей, слабо проявленных по данным минералогического изучения и не зафиксированных опробованием донных осадков.

Проведенные работы по использованию шлихо-геохимического метода при поисках олова дают возможность оценить его преимущества. Полученные к настоящему времени результаты по эффективности этого метода при поисках вольфрама и молибдена позволяют значительно расширить спектр полезных компонентов, которые могут быть выявлены с помощью этого метода. К таким элементам в первую очередь следует отнести золото, полиметаллы, медь, бериллий.

Помимо поискового аспекта, шлихо-геохимический метод позволяет решить целый круг других вопросов, в том числе вопросы расчленения и корреляции как осадочных, так и магматических пород. В данном случае для сопоставления можно не использовать тяжелый концентрат протоколов горных пород.

Кроме того, данный метод является надежным контролем минералогических анализов и может способствовать снижению стоимости работ при одновременном повышении их эффективности.

К ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМАТИКЕ ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ЛОКАЛИЗОВАННЫХ В ВУЛКАНИТАХ—ПРОПИЛИТАХ СИХОТЭ-АЛИНЯ

Ю. Н. Размахнин, В. А. Пахомов

Приморское территориальное геологическое управление, г. Владивосток

Давно известно, что промышленные руды приурочены к определенным типам измененных пород. Систематика и типизация рудных полей по этим признакам является поэтому реальной базой для роста эффективности геохимических методов при поисках скрытого оловянного оруденения, в частности в пределах Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса. С этой позиции удастся уловить ряд промышленно-экономических и генетических особенностей рудных полей, которые характеризуют их провинциальные черты и в то же время отсутствуют у известных оловорудных месторождений Центральной Боливии (Константинов, 1969), часто служащих эталонами при изучении оловорудных месторождений, локализованных в вулканитах Востока СССР. Думается, что правильнее было бы, не умаляя значения поисков аналогов с указанными месторождениями Центральной Боливии, обратить особое внимание на упомянутые особенности оловорудных месторождений в вулканическом чехле Сихотэ-Алиня.

Ранее нами было показано, что пропилиты—вулканиты Сихотэ-Алиня расчленяются на два метасоматических яруса. Нижний ярус представлен биотитизированными андезитами, дацитами, туфами и охватывает образования сеноман-туронского вулcano-плутонического комплекса. Верхний, метасоматический, ярус — это типичные пропилиты в средних и кислых сеноман-датских вулканитах. В последнем случае выделяются внутренняя и внешняя зоны, соответственно отвечающие хлорито-эпидотовой (с альбитом и без альбита) и хлорито-карбонатной ступеням пропилитизации.

В целом из петрохимического анализа пропилитов¹ хорошо видно, что от биотитизированных пород в направлении к внешней зоне с падением температуры резко падала щелочнометаллическая растворимость (активность калия) и нарастала их кислотность, в основном за счет Si, выносимого из зоны биотитизации.

Фронт биотитизации в своем вертикальном перемещении иногда не достигал вулканического чехла, и купола биотитизации формировались тогда в породах складчатого фундамента. В этом случае в вулканитах позднего мела развивались лишь пропилиты верхнего метасоматического яруса.

¹ См. статью Ю. Н. Размахнина в настоящем сборнике.

На указанном выше фоне формирования трех зон региональных пропилитов развились околотрещинные (локальные) пропилиты—метасоматиты как наложенные более поздние образования. В региональной тыловой зоне (зоне биотитизации) как наиболее глубинной получила развитие актинолитизация на мощность до 0,5—1 км (Лысогорское, Перевальное, Лучистое и др. месторождения). Вместе с актинолитом в подчиненных количествах развиты карбонат, эпидот, кварц с примесью адуляра, альбита и турмалина.

С переходом из нижнего в верхний метасоматический ярус актинолитовая зона околотрещинных пропилитов сменяется зоной метасоматитов—пропилитов эпидото-хлоритового состава, содержащей примесь кварца, адуляра, альбита, карбоната, преhnита и цеолита. Остается сложной задачей разграничение околотрещинных эпидото-хлоритовых пропилитов от площадных (региональных) пропилитов идентичного состава. На картах их приходится выделять как полигенетические нерасчлененные пропилиты.

Самая внешняя зона околорудных пропилитов (кварцево-серицито-хлорито-гидрослюдисто-карбонатная) образует на рудных полях своеобразный рудный и надрудный чехол. Наибольшая роль принадлежит здесь кварцу, серициту, хлориту и гидрослуде, причем последняя сосредоточивается в самой приповерхностной зоне. В случае положения куполов биотитизации в породах фундамента (Нижнее и Горное месторождения) очаги раскисления подчеркнуты интенсивным кварцево-турмалиновым замещением в вулканитах у их подошвы. Иногда турмалинизация широко перемещается ниже, в верхнюю часть куполов биотитизации (Лучистое месторождение).

Во всех случаях промышленная оловянная минерализация располагается в пределах региональных эпидото-хлоритовой и хлорито-карбонатной зон, т. е. над куполами биотитизированных пород. При этом рудовмещающими являются кварцево-серицито-хлоритовые, хлорито-эпидотовые и кварцево-серицито-турмалиновые (с хлоритом) околотрещинные субфации пропилитов. Колонка последних венчается карбонатно-гидрослюдистыми метасоматитами, занимающими обычно надрудное положение. Актинолитизированные породы занимают низы этой колонки, имея подрудное положение.

Согласно литературным данным (К вопросу о происхождении..., 1973; и др.), региональная (площадная) биотитизация Сихотэ-Алиня в терригенных толщах палеозоя и мезозоя зонально сменяется породами зоны пропилитовидных, а затем березитоподобных изменений, на которые наложены локальные рудоконтролирующие метасоматиты. Следовательно, в тех случаях, когда биотитизация распространяется на вулканический чехол, эквивалентами зон пропилитовидных и березитоподобных изменений являются описанные выше пропилиты верхнего

метасоматического яруса вулканогена. При этом оловянные руды с упомянутыми локальными метасоматитами складчатого фундамента и околотрещинные пропилиты вулканического чехла продуцированы остывающими гранитоидными магмами, внедрение которых отставало во времени от регионального метасоматизма и площадной (региональной) пропилитизации. Вероятное развитие гранитоидного магматизма после этапа региональной пропилитизации, но до металлоносной околотрещинной пропилитизации следует или не исключается из материалов В. А. Руснова (1972) и М. М. Василевского (1973).

Таким образом, представляется, что оловоносность складчатого фундамента и вулканического чехла Сихотэ-Алиня порождена единым эндогенным процессом, главными звеньями которого были догранитный региональный метасоматоз, гранитоидный магматизм и постмагматический метасоматоз с сопряженным оловянным орудением.

Следовательно, и в складчатом фундаменте, и в вулканическом чехле оловоносность порождена одним и тем же многоэтапным эндогенным процессом. Это должно роднить определенным образом оловорудные месторождения фундамента и чехла. Вопрос лишь в том, какой из признаков рудных полей указывает на их генетическое родство. Ю. Н. Размахнинным было отмечено (Размахнин, Размахнина, 1973; Размахнин, 1975), что в Сихотэ-Алине существуют две генетические ветви оловорудного процесса: одна из них представлена месторождениями, локализовавшимися в эндо- и экзоконтактовых зонах гранитоидов, а вторая — в эндо- и экзоконтактовых зонах куполов биотитизированных пород. Эта закономерность была указана для оловорудных месторождений, локализованных в фундаменте, а затем отмечена и в породах вулканического чехла.

Возникновение двух генетических линий оловорудного процесса увязывается с развитием инверсии кислотных свойств постмагматических растворов, соответственно в экзо-, эндоконтактовых зонах гранитоидных массивов и куполов биотитизированных пород.

В последнем, предлагаемом ниже (рис. 1), варианте систематики оловорудных месторождений рекомендуется выделять и для вулканического чехла, и для складчатого фундамента две промышленно-генетические группы оловорудных месторождений: сингранитоидную, развившуюся в тесной ассоциации с материнскими интрузивами гранитоидов, и телегранитоидную, удаленную от интрузивных материнских пород и сопряженную с экзо- и эндоконтактовыми зонами биотитизированных пород. Сихотэ-Алинь практически лишен промышленных сингранитоидных месторождений олова, локализованных в экзо-, эндоконтактовых зонах материнских интрузивов (Иванов, 1971; Материнов, 1964, 1974). Промышленная оловоносность падает на телегранитоидную группу месторождений (рис. 1).

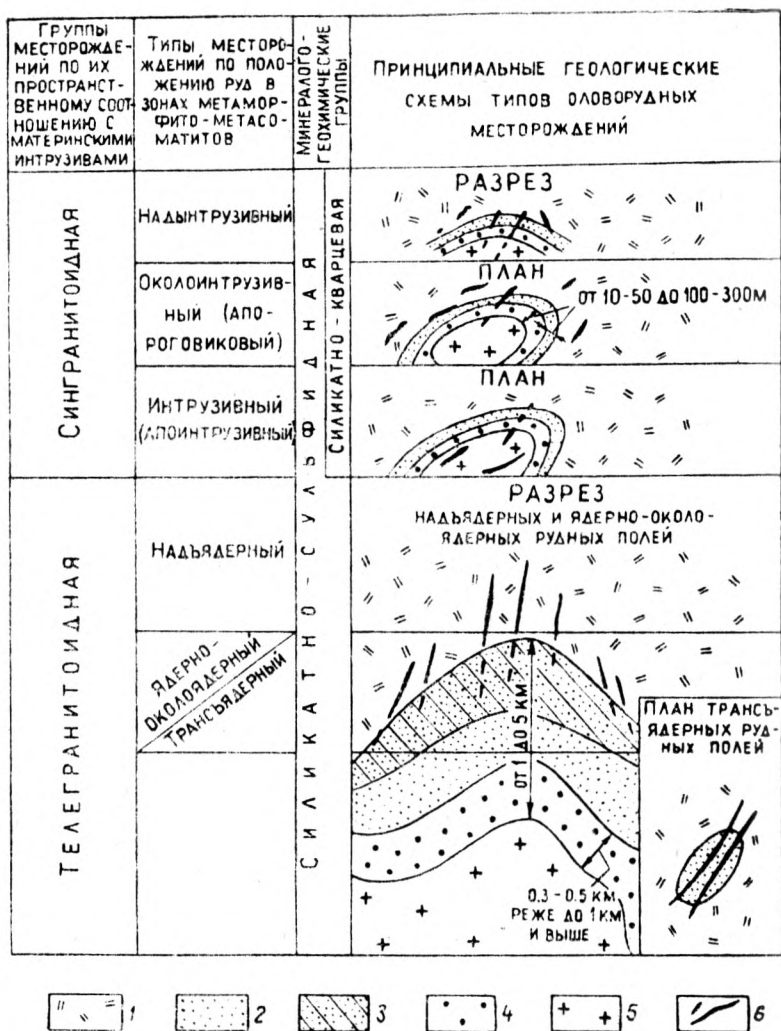


Рис. 1. Систематика оловорудных месторождений силикатно-сульфидной и силикатно-кварцевой групп по их соотношению с интрузивами и метасоматизму — метаморфизму их рудных полей: 1 — породы верхнего метасоматического яруса; 2 — биотитизированные породы; 3 — метасоматическое ядро; 4 — кордиеритсодержащие околоинтрузивные роговики; 5 — гранитоиды; 6 — рудные тела

Наличие указанных двух промышленно-генетических групп оловорудных месторождений и в складчатом фундаменте и в вулканическом чехле и есть следствие, по нашему мнению, одного упомянутого выше «сквозного» эндогенного процесса и для фундамента и для чехла.

Характеристика таких типов оловорудных месторождений, как надинтрузивный, околоинтрузивный и внутриинтрузивный, нами объединенных в сингранитоидную группу, здесь не приводится, так как это можно найти в упомянутых работах М. П. Материкова, Ю. Г. Иванова и других авторов, а геологическая суть этих типов отражена на прилагаемой схеме (рис. 1).

Надъядерный, ядерно-околядерный, трансъядерный типы телегранитоидной группы были охарактеризованы ранее (Размахнин, 1973).

Обращают внимание две крайние разновидности надъядерных месторождений в вулканогене. В одном случае (Лысогорское месторождение; рис. 2) купол биотитизации располагается в вулканитах, т. е. выше их подошвы, а в другом (Нижнее месторождение) купол не достиг вулканитов и сформировался в породах складчатого фундамента. При этом известная своей рудоконтролирующей ролью в Сихотэ-Алине и Комсомольском рудном районе область подошвы вулканического чехла (Канищева, 1974; Петраченко, 1974) утрачивает свое значение, если она располагается, например, на Лысогорском месторождении, ниже надъядерной области (рис. 2), и наоборот, условия, близкие к оптимальным, когда указанная область оказывается в надъядерной позиции, например на Нижнем месторождении.

На данном примере видно, что надъядерная позиция — это в общем случае область для оптимального развития рудного процесса, а ниже метасоматического ядра простирается подрудная область, в которой и благоприятные структуры оказываются не рудоносными.

Нашему заключению о том, что в вулканитах, так же как и в складчатом фундаменте, носителями промышленной оловосодержащей рудности являются надъядерные месторождения, противостоят тезис о генетических особенностях знаменитых оловорудных месторождений Боливии (Лялагуа, Потеси, Морококала и др.), которые связаны с близповерхностными интрузивами субвулканической природы. В работах Н. Н. Васильковой с соавторами (1959), Ю. Г. Иванова (1971) и М. П. Материкова (1964) приведены на этот счет заключения, из которых следует, что эта связь скорее парагенетическая, а магматический источник находится глубже. Наличием такого рода источника, по мнению названных авторов, объясняется большая протяженность рудных тел этих месторождений по вертикали. Следует считать возможным, что упомянутые боливийские месторождения — это сочетание надъядерных структур с упомянутыми дорудными или внутрирудными близповерхностными интрузивами. Благоприятная роль этих интрузивов заключалась в том, что они создали прогретые полости, вдоль которых рудные растворы надъядерных структур достигли близповерхностных уровней, т. е. данные интрузивы как бы увеличили мобильность рудо-

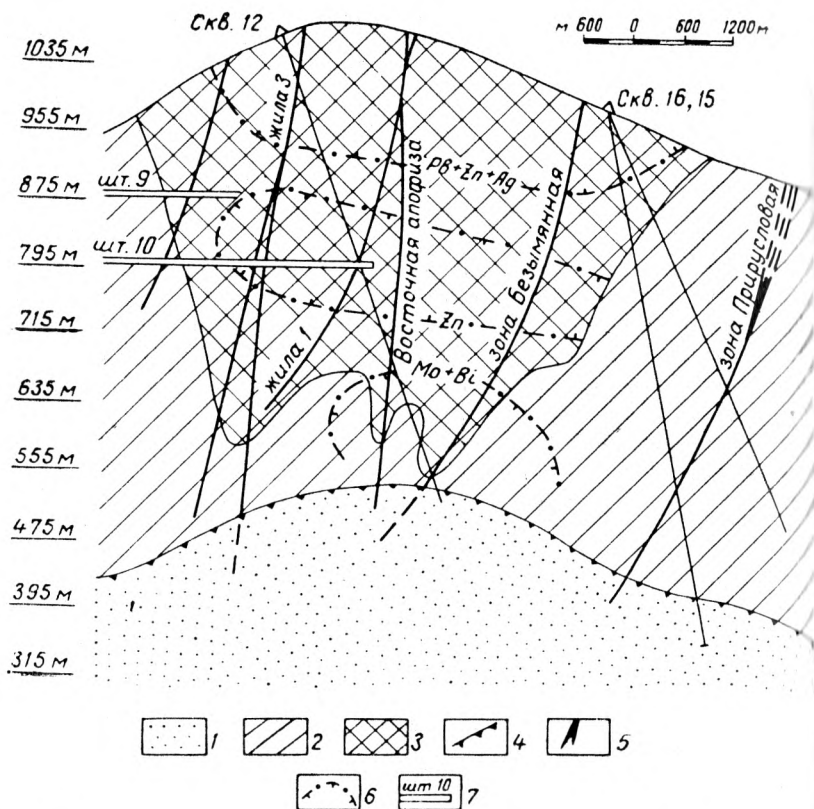


Рис. 2. Схема вертикальной метасоматической зональности рудного поля Лысогорского оловорудного месторождения: 1—биотитизированные андато-дациты с последующей актинолитизацией и кварцево-калшпато-альбит-хлорито-эпидотовым замещением; 2—хлорито-эпидотовые пропилиты, испытавшие последующие кварцево-хлорито-гидрослюдасто-серицито-карбонатное замещение; 3—кварцево-хлорито-серицитовые метасоматиты—пропилиты карбонатом и турмалином; 4—верхняя граница метасоматического ядра (биотитизированных вулканитов, гидротермально переработанных); 5—рудные тела; 6—эндогенные ореолы, индекс указывает элемент; 7—подземные горные выработки

лосных растворов, создав условия для их большей удаленности от глубинных метасоматических куполов (на 1—1,5 км) интрузивов (на 2—4 км). Последние залегают во внутренних зонах этих куполов.

Таким образом, если следовать материалам по Сихотэ-Алию, то можно предположить, что промышленная оловянная минерализация типа боливийских месторождений может быть здесь обнаружена лишь с теми близповерхностными штоками, которые «дренируют» продуктивные надъядерные структуры

Распознавание последних на глубине приобретает в этой связи важное практическое значение.

Перспективная оценка рудопроявлений сингранитоидной группы должна опираться на следующие положения — либо рудоносный гранитоидный массив пересекает на глубине еще функционировавшую систему, именуемую надъядерной структурой, либо он не пересекает таковую. В первом случае промышленные руды весьма возможны, но скрыты (надкупольные надъядерные), во втором — руды скорее непромышленные, приуроченные к зоне эндо- и энзоконтакта гранитного массива.

ЛИТЕРАТУРА

Василевский М. М. Вулканизм, пропилитизация и оруденение. М.: Недра, 1973, с. 244—245.

Василькова Н. Н., Теремецкая А. Г., Шацкая В. Т. Оловорудные месторождения, связанные с субвулканическими телами.— Сов. геол., 1959, № 10, 96.

Геология, минералогия и геохимия Комсомольского района / Е. А. Радвинич, В. Я. Асманов, Ю. И. Бакулин и др. М.: Наука, 1971, с. 274—275.

Иванов Ю. Г. Металлогения олова Приморья. М.: Недра, 1971, 350.

Канищева Л. И. Гипогенная минерализация и зональность оруденения Нижнего олово-полиметаллического месторождения.— В кн.: Вопросы металлогении и зональность месторождений Тихоокеанского рудного пояса. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1974, с. 209—211.

К вопросу о происхождении двух линий оловорудного процесса.— В кн.: Вопросы магматизма, метаморфизма и оруденения Дальнего Востока / Ю. Н. Размахнин, Э. М. Размахнина, В. П. Василенко и др. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1973, с. 27—29.

Константинов Р. М. Боливийский пояс.— В кн.: Геология месторождений олова зарубежных стран. М.: Недра, 1969, с. 249—256.

Материков М. П. Генетические группы и формации оловорудных месторождений.— Сов. геол. 1964, № 11, с. 44.

Материков М. П. Закономерности размещения и геолого-генетические группы оловянных месторождений СССР. М.: Недра, 1974, с. 124—133.

Петраченко Р. И. Сравнительная характеристика зональности метасоматитов и оруденения на Нижнем и Таухинском олово-полиметаллических рудопоявлениях и вулканитах.— В кн.: Вопросы металлогении и зональность месторождений Тихоокеанского рудного пояса. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1974, с. 221—222.

Размахнин Ю. Н. Систематика оловорудных силикатно-сульфидных месторождений Сихотэ-Алиня по метасоматизму их рудных полей.— В кн.: Вопросы магматизма, метаморфизма и оруденения. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1973, с. 25—27.

Размахнин Ю. Н. Систематика оловорудных месторождений, локализованных в вулканитах — пропилитах Сихотэ-Алиня, как основа для их перспективной оценки геохимическими методами.— В кн.: Геохимические методы при поисках месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975, с. 112—114.

Размахнин Ю. Н., Размахнина Э. М. Систематика, зональность и металлогеническое значение метасоматитов оловоносных полей Сихотэ-Алиня.— Геология рудных месторождений, 1973, № 1, с. 52—63.

Русинов В. А. Геологические и физико-химические закономерности пропилитизации. М.: Наука, 1972. 87 с.

РОЛЬ СТРУКТУРНЫХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОМ ДОИЗУЧЕНИИ РУДНЫХ РАЙОНОВ

(на примере Арминского оловорудного района Приморья)

А. В. Судаков, В. П. Уткин

Приморское территориальное геологическое управление, г. Владивосток

Рассматриваемая площадь охватывает центральную часть Арминского оловорудного района, расположенного в пределах Главной металлогенической зоны Приморья. Здесь известно около 20 рудопроявлений и месторождений, из которых только два месторождения разрабатываются, на других проводились или проводятся разведочные работы. Основное полезное ископаемое — олово, другие элементы (свинец, цинк, серебро, медь, висмут) встречаются в тех же рудных телах и образуют иногда промышленные концентрации.

Геологическое строение района, его стратиграфия, складчатые и разрывные структуры изучены очень слабо, большинство из рудопроявлений и геохимических аномалий недоизучены и перспективность их на олово неясна, поэтому в связи с развитием горнорудной промышленности и экономическим освоением района встала задача более углубленного изучения его геологического строения. С этой целью, начиная с 1971 г., проводится геологическое доизучение района в м-бе 1 : 50 000 комплексом геологических, геофизических, структурных и геохимических исследований. Задачей их является установление закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых и перспективная оценка оловоносности площади, а также получение новых данных по стратиграфии, структурно-тектоническим и геохимическим особенностям магматических, осадочных и вулканогенных комплексов.

За прошедшие четыре года комплексные работы проведены на площади 1600 км², охватывающей большое количество оловорудных объектов. При этом получены некоторые положительные результаты.

При планировании работ по геохимическому доизучению района была очевидной необходимость постановки структурно-тектонических исследований. Главный упор делался на выявление региональных разрывных рудоконтролирующих структур. В основу метода был положен анализ комплекса тектонических структур, использовавшийся при изучении разломов Казахстана и Средней Азии. Прежде всего были выявлены характерные элементы связи складчатых деформаций с разрывами. С этой целью исследовался стиль, с одной стороны, тектоники в зонах достоверно известных разрывов, а с другой — малые формы деформаций.

В исследуемом районе полевыми работами была установлена доминирующая роль сдвиговой тектоники. При этом наряду со сдвигами, с четко выраженным единым разрывом-смещением, здесь широко распространены сдвиговые зоны, представленные сериями субпараллельных относительно малоамплитудных разрывов, суммарные перемещения по которым нередко достигают значительных величин. Практически повсеместно в сдвиговых зонах и прежде всего в толщах переслаивания песчаников с алевролитами наблюдаются горизонтальные флексурные изгибы слоев контактов пород осей складок.

В результате исследований в Центральном Сихотэ-Алине были выявлены крупные флексурные зоны, линейно вытянутые на десятки и сотни километров в северо-восточном и меридиональном направлениях под углом $20-40^\circ$ к складчатости (Уткин, 1975). Флексуры обусловлены отклонением доминирующих северо-восточных простираций пород ближе к меридиональному направлению. Структурный рисунок флексурных зон близок к рисунку приразломных зон, связанных с левыми сдвигами северо-восточного простираения. Например, с зоной Центрального Сихотэ-Алинского разлома, левостороннее перемещение по которому было установлено ранее (Иванов, 1972). Исходство структурных рисунков дало основание предполагать генетическую связь флексурных зон с левыми сдвигами. Детальные работы на некоторых участках флексурных зон подтвердили это предположение.

Таким образом, в результате проведенных структурно-тектонических исследований в Центральном Сихотэ-Алине была выявлена серия разломов (сдвиговых зон), которые при ширине $1-15$ км прослеживаются в меридиональном и северо-восточном направлениях на сотни километров. Сдвиги смещают нижнемеловые отложения и позднемеловые граниты, но прерываются дат-палеогеновым вулканогенно-осадочным комплексом пород. Практически все оловорудные месторождения Центрального Сихотэ-Алиня оказались пространственно связанными со сдвиговыми зонами, поэтому последние приобретают практический интерес как рудоконтролирующие структуры. Большая роль сдвиговых зон в пространственном размещении месторождений, очевидно, обусловлена тем, что формирование этих структур было в основном закончено и наиболее значительные перемещения были близки к началу интенсивного рудогенеза, возраст которого в Центральном Сихотэ-Алине относится к концу мела — началу палеогена. В пределах исследованной площади выявлены фрагменты региональных сдвиговых зон Микулинской и Восточной, в которых локализованы известные месторождения и ряд рудопроявлений олова. Учитывая рудоконтролирующую роль сдвиговых зон, на них обращается особое внимание при проведении других видов исследований.

Для оценки перспектив оловоносности площади, выявления новых оловорудных объектов и прогнозной оценки известных месторождений, рудопроявлений и аномалий проводились геохимические поиски по первичным ореолам. Отбор проб производился из горных выработок, коренных обнажений и керн скважин колонкового бурения в соответствии с методикой, разработанной Центральной геохимической партией ПТГУ. Опробованию подвергались все типы пород с интервалом 10—20 м, реже 50—100 м. Профили геохимического опробования ориентировались вкрест простирания геологических структур и рудных тел. Все пробы подвергались приближенно-количественному спектральному анализу на 24 элемента: олово, свинец, цинк, медь, серебро, мышьяк, сурьма, висмут, вольфрам, молибден, ртуть, барий, бор, индий, марганец, магний, германий, галлий, хром, никель, кобальт, ванадий, титан, фтор. Всего было отобрано и проанализировано около 12 000 проб. Результаты спектральных анализов использовались для расчета среднефоновых содержаний элементов в главных комплексах пород района и построения карт эндогенных ореолов элементов—индикаторов оловянного оруденения: олова, свинца, цинка, меди, серебра, висмута, вольфрама и молибдена для всей площади работ в м-бе 1 : 50 000, а для отдельных месторождений в м-бе 1 : 10 000.

Выделение геохимических аномалий производилось по комплексу эндогенных ореолов как в пределах рудных полей известных месторождений и рудопроявлений, так и за их пределами. Оценка выявленных аномалий, месторождений и рудопроявлений осуществлялась путем определения уровня эрозионного среза эндогенных ореолов олова относительно максимума оловянного оруденения и параметров вскрытых рудных тел (ожидаемая максимальная линейная продуктивность, расстояние до максимума оруденения и вертикальный размах оруденения). Решение этих задач осуществлялось по методикам, разработанным на оловорудных месторождениях Кавалеровского рудного района Приморья Центральной геохимической партией ПТГУ (Бураго, Чуланов, 1974) и сотрудниками ЦГЭ ИМГРЭ (Кравченко, Морозова, 1971).

Первоначально обе методики были применены нами для прогнозной количественной оценки касситерито-арсенопиритового месторождения «Трапедия», локализованного в пределах Микулинской сдвиговой зоны. Геохимическое опробование проведено по 17 профилям на поверхности, штольневому горизонту и пяти скважинам на глубину. Выявлены эндогенные ореолы свинца, олова, цинка, меди и других элементов, сопровождающие рудные тела. При этом установлена рудоконтролирующая роль разрывных нарушений северо-восточного направления (Микулинская зона) в размещении рудных тел и их эндогенных ореолов, один из разрывов «обрезает» рудное поле с се

северо-запада. В ореолах по падению рудных тел наблюдается убывание средних содержаний олова, свинца, цинка, марганца и увеличение содержаний меди, висмута, вольфрама и молибдена при неопределенном поведении серебра и ванадия. Обобщенный ряд вертикальной подвижности (зональности) элементов имеет следующий вид:

(As)—Pb—Mn—Zn—Sn—(Ag, V)—Cu—As—W—Bi—Mo.

Этот ряд зональности близок к рядам, ранее выделенным на оловорудных месторождениях Кавалеровского района А. И. Бугаго и Э. С. Кравченко, что позволило нам использовать предложенные ими коэффициенты зональности.

Согласно расчетам, эрозионный срез месторождения и отдельных рудных тел на уровне современной поверхности — средне- и нижнерудный, а на уровне глубоких горизонтов — подрудный. Эта оценка полностью соответствует результатам ранее выполненных разведочных работ.

Выклинивание промышленного оруденения с бортовой продуктивностью по жиле «Альфа», определенного по трем сечениям (поверхность, штольня, скважина), предполагается на глубине штольневых горизонтов (170 ± 50 м). Аналогично была определена предполагаемая глубина выклинивания промышленного оруденения в других рудных телах месторождения.

Арминское месторождение относится к олово-полнметаллическому типу. Рудные тела представлены мощными послойными зонами дробления с линзами и жилами кварцево-сульфидного состава. Геохимическое опробование в пределах рудного поля месторождения проведено по 13 профилям с поверхности. Уровень эрозионного среза рудных тел в центральной части месторождения определен как верхнерудный с глубиной выклинивания промышленного оловянного оруденения около 230—320 м. По основным рудным телам сделан прогнозный подсчет запасов олова по геохимическим данным.

Полученная нами положительная оценка Арминского месторождения была позднее подтверждена геолого-геофизическими работами м-ба 1 : 25 000.

Месторождение Голубое пространственно тяготеет к Микунской сдвиговой зоне и относится к хлоритовому типу касситерито-сульфидной формации. Геохимическое опробование проведено по четырем профилям, в результате чего выявлены две геохимические аномалии в центральной и восточной частях рудного поля, соответствующие вскрытым здесь ранее рудным телам. Уровень эрозионного среза аномалий определен как верхне- и среднерудный. Аномалии признаны перспективными для обнаружения богатых рудных тел, а предполагаемая глубина выклинивания промышленного оруденения в них составляет более 100 м (120 и 320 м). На северо-восточном продолжении аномалии центральной части месторождения было вскрыто не-

сколько маломощных рудных тел с высоким содержанием олова и верхнерудным уровнем эрозийного среза. Полученная геохимическая оценка послужила одной из причин постановки на месторождении детальных поисковых работ, приведших к обнаружению новых рудных тел (зоны Золушка, Улыбка и др.). Результаты разведки месторождения подтвердили правильность его геохимической оценки.

Геохимические работы, проведенные на остальных 15 оловянных рудных объектах (мелких рудопроявлениях), позволили считать их как бесперспективные на обнаружение промышленных оловянных руд, что совпадает с результатами предшествующих и последующих детальных поисковых работ, проведенных на некоторых из этих объектов.

Выявлены две перспективные геохимические аномалии в флангах Арминского месторождения и Верхнеарминского рудопроявления. Сравнение результатов геохимической оценки рудных тел и участков с данными поисково-разведочных работ показало их хорошую сходимость и большую эффективность геохимических методов прогнозной оценки оруденения на глубину.

Таким образом, более перспективными на олово, по данным геохимических исследований, являются месторождения аномалии, тяготеющие к зонам региональных сдвигов, выявленных структурными методами. Это обстоятельство указывает на необходимость дальнейшего изучения этих структур совместно с геохимическими методами, поскольку первые позволяют установить региональные рудоконтролирующие структуры, а вторые дают возможность выявить перспективные бесперспективные оловянные объекты без проведения поисково-разведочных работ. Результаты наших работ дают основания рекомендовать структурные и геохимические исследования в качестве основных методов при геологическом изучении рудных районов. При этом изучение первичных ореолов месторождений и рудопроявлений позволит определить их формационную принадлежность, степень эродированности и дать предварительную прогнозную количественную оценку глубины горизонтов отдельных рудных тел.

ЛИТЕРАТУРА

- Бураго А. И., Чуланов Э. И. Количественная оценка оловянного оруденения по первичным ореолам.— Информ. листок № 97—74. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1974. 4 с.
- Иванов Б. А. Центральный Сихотэ-Алинский разлом. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1972. 115 с.
- Кравченко Э. С., Морозова Т. А. Геохимическая зональность эндогенных ореолов касситерито-сульфидных месторождений как критерий оценки геохимических аномалий. М.: Изд-во ИМГРЭ, 1971, с. 35—36.
- Уткин В. П. Сдвиговые деформации Центрального Сихотэ-Алия.— В кн. Геология Дальнего Востока. Хабаровск. 1975, с. 5—15.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЛЬФРАМА В РУДОНОСНЫХ МЕЗОЗОЙСКИХ ГРАНИТОИДАХ МНР

П. В. Коваль, А. И. Кузнецова

Институт геохимии СО АН СССР, г. Иркутск

Изучение характера связи распределения рудообразующих редких элементов в ассоциациях магматогенных образований с сопутствующим оруденением остается одним из наиболее важных и дискуссионных аспектов проблемы потенциальной рудоносности гранитоидов. Нами была предпринята попытка рассмотреть этот вопрос на материале вольфрамитовых проявлений кварцево-грейзеновой формации Восточной Монголии (табл. 1). Рудопроявления ассоциируют с гранитами стандартного и литий-фтористого геохимических типов (плюмазитовые редкометалльные граниты, по Л. В. Таусону, 1973). В более редких случаях они связаны с интрузиями гранито-гранодиоритового геохимического типа (палингенные гранитоиды известково-щелочного ряда). Среди рудоносных массивов, представленных в табл. 1, по характеру сопутствующей минерализации можно выделить две группы: 1 — собственно вольфрамовые и вольфрамовые с молибденом (жильные кварцево-гюбнеритовые с сульфидами, кварцево-вольфрамитовые, реже грейзеновые); 2 — оловянно-вольфрамовые и танталовые (грейзеновые, в том числе цвиттеры, жильные кварцево-вольфрамитовые).

Для анализа распределения вольфрама в гранитах «материнских» интрузий целесообразно кроме таблицы воспользоваться диаграммой, где наряду с уровнем концентраций вольфрама в главных фазах интрузий отражен характер эволюции его содержаний в интрузивных породах во времени (см. рисунок).

Как следует из этих данных, оруденение не обнаруживает непосредственной связи с уровнем концентраций вольфрама в «материнских» гранитах, который может быть в 1,5—2 раза ниже среднего для гранитов и в 4—5 раз превышать его. Ранее отсутствие такой связи было установлено для соседнего Забайкалья (Вольфрам в мезозойских..., 1972). При этом пределы колебаний средних содержаний не выходят за рамки установленных для «безрудных» массивов.

Допуская, что основные свойства диаграммы распределения средних содержаний вольфрама в рудоносных интрузивах (см. рисунок) обусловлены процессами магматической дифференциации, можно наметить кривую максимальных значений коэффициента накопления для рассматриваемых гранитоидов («кривая насыщения»). Она показывает, что степень возможного относительного накопления вольфрама в поздних магматических дифференциатах интрузий зависит от его исходной

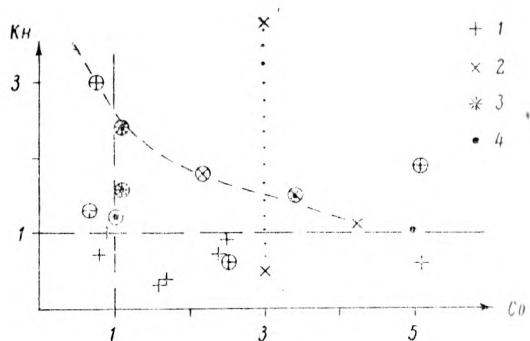
Среднее содержание вольфрама в гранитах рудоносных массивов Восточной Монголии (г/т)

Массив	Геохимический тип гранитоидов	Оруденение	Биотитовые граниты главной фазы	Лейкоокрашенные граниты (биотитовые аляскиты)	Граниты дополнительной фазы и жильной серии
Ранне-мезозойские интрузии					
Сайханульский	Стандартный	W, Mo	3,7	Н. Д.*	3,4
Дзун-Тарчагольский (Ононский)	Гранито-гранодиоритовый			»	1,8
Багаргалинский	Стандартный	W, Sn	1,5	»	Н. Д.
Салбыртинский	»	W, Mo	2,5	»	»
Юдугунинский (Восточный)	»	Sn, W	0,8	»	»
Умэдэлгерский	»	W, Sn	3,3—3,7	»	2,3
Цаган-Дабинский	»	»	1,0	1,3	Н. Д.
Юдугунинский (Западный)	Литий — фтор	W, Sn, Ta	1,7	»	»
Жанчиваланский	»	»	Н. Д.	2,7	2,9
Багазэрынский	Стандартный	W	»	6,3	7,0
Хара-Моригинский	Литий — фтор	Ta	»	4,1	Н. Д.
Югодзырский	»	W, Sn	1,7	5,5	»
	»	Ta, Sn, W	Н. Д.	5,1	7,5
	»	Sn, W	3,3	Н. Д.	5,9
	»	W, Mo	4,5	2,4—17,8	Н. Д.
Поздне-мезозойские интрузии					
Халхин-Гольский (Среднесулутинский)	Стандартный	W, Sn	7,6	Н. Д.	14,3
Хулу-Улинский (Чулун-Хуригэ)	»	»	2,9	»	Н. Д.

Туман-Цогдинский	»	»	0,7—1,0	Н. Д.	»
Их-Наротин-Хидский	»	»	7,6	»	4,5
Их-Хайрханский и Ба- га-Хайрханский	»	»	1,7; 0,8	»	0,8
Михер-Худукский	»	»	1,4	»	1,4
Ара-Унжульский	»	»	3,6	»	2,4
Опгон-Хайрханский	»	»	2,5	»	1,9
Шарахадинский	»	»	Н. Д.	»	1,3
Барун-Цогтинский	»	»	2,4	»	0,8
	»	»	Н. Д.	»	Н. Д.
	»	»	1,0—4,0	»	»
	»	»	Н. Д.	»	»
	»	»	Н. Д.	2,3	»

* Н. Д.—нет данных.

Распределение вольфрама в рудоносных интрузиях: C_0 — средние содержания вольфрама в гранитоидах главных фаз по отношению к кларку (1,5 г/т, по А. П. Виноградову, 1962), K_n — максимальный коэффициент накопления вольфрама в поздних фазах интрузий по отношению к главной фазе. 1—4 — массивы гранитоидов различных геохимических типов: 1 — стандартного, 2 — литий-фтористого, 3 — стандартного и литий-фтористого, 4 — гранито-гранодиоритового. Кругами обведены массивы с комплексным оловянно-вольфрамовым, а также танталовым оруденением. Остальные значки относятся к массивам с собственно вольфрамовым или вольфрамовым с молибденом рудопроявлением. Пунктиром соединены точки составов гранитоидов Юго-Дзырского массива, где наблюдаются обе тенденции эволюции содержания вольфрама



концентрации в ранних фазах. Чем выше исходная концентрация, тем меньше максимальное значение коэффициента накопления. Точка пересечения кривой максимальных значений коэффициента накопления с ординатой $K_n = 1$ в первом приближении может характеризовать максимальный уровень «собственно магматических» концентраций в «материнских» гранитоидах (7—8 г/т). Левая ветвь кривой позволяет грубо оценить максимальное значение коэффициента накопления (3—4) для минимальных из установленных начальных концентраций. В рамках принятых допущений можно считать, что положение точек на диаграмме выше кривой «насыщения» и правее точки пересечения ее с ординатой $K_n = 1$ обусловлено влиянием палеогенных процессов (например, послемагматических).

Наблюдаются принципиальные различия в характере геохимической эволюции гранитоидов различных интрузий. Если в массивах гранитов стандартного геохимического типа коэффициент накопления обычно не превышает единицы, достигая больших значений лишь в объектах с убогим содержанием вольфрама в главной фазе (точки с координатами K_n и $C_0 < 1$), то в массивах «литий-фтористого» геохимического типа, как правило, наблюдаются более высокие, чем средние для гранитов, содержание и накопление вольфрама в поздних фазах (поле составов с координатами K_n и $C_0 > 1$). Это отличие выступает еще яснее при сравнении массивов с неодинаковым характером оруденения. Нетрудно заметить, что в интрузиях с собственно вольфрамовым и молибдено-вольфрамовым оруденением (стандартный геохимический тип) коэффициент накопления вольфрама либо близок к единице, либо меньше. В мас-

ниях с оловянно-вольфрамовым и танталовым оруденением коэффициент накопления, как правило, больше единицы. Несмотря на известную условность номенклатурных границ в геологических классификациях и существование переходных случаев (в частности, при выделении геохимических типов гранитоидов и типов рудопроявлений), следует признать, что отмеченные выше различия существенны и носят принципиальный характер. Они подтверждают представления о литий-фтористых гранитах как «остаточных» производных магм гранитоидного стандартного геохимического типа.

Очевидно также, что по характеру геохимической эволюции можно выделить два крайних типа интрузий вольфрамоносных гранитов. В первом из них при переходе от ранних интрузивных фаз к поздним либо не наблюдается существенного изменения содержания вольфрама, либо происходит их понижение. К этому типу принадлежат массивы гранитов «стандартного» геохимического типа с вольфрамовым и молибденово-вольфрамовым оруденением преимущественно кварцево-жильного типа. В качестве примеров можно привести месторождения Их-Хайрхан, Онгон-Хайрхан, Их-Наротин-Хид, Тумэн-Цогто.

Для второго типа характерно увеличение содержания вольфрама (до 1,5—3 раз) в поздних фазах интрузий. Данный тип представлен главным образом массивами литий-фтористых гранитов и массивами, в которых литий-фтористые граниты сфокусируют с гранитоидами стандартного геохимического типа. С ними обычно связана оловянно-вольфрамовая, а также танталовая минерализация различных грейзенов штокверкового и реже жильного типа. Сюда можно отнести Бага-Газрын-ский, Жанчивланский и Цаган-Дабинский массивы. Естественно, что в силу отмеченной выше условности номенклатурных границ, а также ограниченности информации об интрузиях (в том числе и по причине недостаточной их эродированности) можно встретить различные промежуточные между выделенными типами разновидности гранитоидов, а также такие, положение которых неопределенно. Особенно это следует иметь в виду при анализе комплексного характера оруденения. Тем не менее как отражение главных тенденций геохимической эволюции рудоносных интрузий такое разделение вполне оправданно.

Исходя из приведенных данных, а также результатов изучения газовой-жидких включений, в минералах вольфрамитовых месторождений МНР (Иванова, 1976) нами предложены две модели рудообразующих систем, соответствующие выделенным типам рудоносных интрузий. Согласно первой модели, формирование вольфрамовой минерализации происходит из преимущественно слабоминерализованных послемагматических растворов, отделяющихся при кристаллизации значительных объемов гранитов «стандартного» геохимического типа.

По второй модели рудообразование происходит из относи-

тельно высокоминерализованных постмагматических растворов, которые отделяются из сравнительно небольших объемов остаточных гранитных расплавов (типа магм «литий-фтористых» гранитов), обогащенных «флюидными» компонентами. Остальные случаи будут промежуточными. В качестве примеров геологической реализации моделей можно назвать месторождения Их-Хайрхан (первая модель) и Бага-Газрын (вторая).

Оба случая различаются по общей геохимической специфике «материнских» гранитов, уровню концентраций вольфрама в них, характеру геохимической эволюции интрузий и парагенезисам рудной минерализации. Для последних, кроме общих различий в ассоциации рудных компонентов, необходимо отметить известную преемственность содержаний лития и фтора между «материнскими» гранитами и слюдами из послемагматических образований. Намечаются принципиальные различия в составе флюидов. В первом случае, это относительно разбавленные водно-углекислые растворы (месторождение Их-Хайрхан), во втором — более концентрированные, преимущественно натриево-хлоридные растворы (месторождение Бага-Газрын, Иванова, 1976).

Несомненно также, что в природе могут существовать как различные промежуточные варианты указанных «крайних моделей», так и различные их комбинации.

Как можно заключить из вышесказанного, в общем случае ни уровень исходных концентраций вольфрама в «материнских» гранитоидах, ни характер их изменения в различных фазах интрузий не могут служить безусловными признаками оруденения в том или ином массиве. Эти данные скорее могут служить для оценки наиболее вероятного типа ожидаемого оруденения. В частности, в отношении собственно вольфрамового оруденения кварцево-грейзеновой формации более перспективен, по-видимому, первый из охарактеризованных выше типов интрузий.

Важнейшая роль в переводе вольфрама из рассеянного состояния в концентрированное, очевидно, принадлежит режиму флюидных компонентов потенциально рудоносных гранитоидных интрузий, их физико-химической эволюции, механизму и структурной обстановке отделения. Надо полагать, что прямые признаки формирования рудоносных флюидов должны фиксироваться в геохимической специфике поздних и послемагматических образований интрузий, в частности в уровне концентрации рудного компонента в них. Например, содержание вольфрама в мусковитовых, грейзенизированных и альбититовых гранитах рудоносных массивов, как правило, значительно выше кларкового и в 2—5 раз и более превосходит его содержание в «материнских» гранитоидах (табл. 2). Причем такая корреляция может наблюдаться независимо от того, приурочено соб

Среднее содержание вольфрама в мусковитовых, грейзенизированных и альбитизированных (альбитовых) гранитах рудоносных интрузий МНР (г/т)

Массивы	Двуслюдяные и мусковитовые граниты	Грейзенизированные граниты и грейзены	Альбитовые* (альбитизированные) граниты
Дзун-Тарцагольский	100	Н. Д.**	Н. Д.
Багаргалинский	Н. Д.	14	»
Халхин-Гольский	11,3—24	Н. Д.	»
Чудун-Хуриэтинский	8,7—10,0	»	»
Верхнекумырский	Н. Д.	4,4	»
Гумэн-Цогтинский	40	Н. Д.	»
Цх-Наротин-Хидеский	94	13—139	»
Цаган-Дабинский	2,0—4,1	Н. Д.	79
Одугунинский (Западный)	Н. Д.	»	7,0
Жанчивланский	»	»	2,7—4,2
Багагазынский	»	11—78	16,5
Хара-Моритинский	»	17—24	Н. Д.
Югодзырский	»	19—73	»
Ара-Унчжульский	»	Н. Д.	6,9—7,6
Онгол-Хайрханский	»	»	4,9—10,4
Барун-Цогтинский	»	400—542	2,0—28

* Литий-фтористые альбитовые граниты, аналоги которых часто рассматриваются как альбитизированные.

** Нет данных.

ственно вольфрамовое оруденение к этим образованиям (например, к фазе альбитизированных гранитов) или нет (связано с более ранними фазами интрузии).

Таким образом, потенциальная рудоносность гранитондных интрузий на вольфрам определяется, в первую очередь, ассоциацией геохимических типов гранитондов и фацциальной их принадлежностью. При оценке рудной продуктивности массивов необходимо учитывать уровень и дисперсию концентраций вольфрама в породе, характер геохимической эволюции интрузии и концентрацию вольфрама в различных послемагнитных образованиях.

Авторы признательны В. С. Антипину, В. И. Коваленко, М. И. Кузьмину за предоставленные полевые материалы и Г. Ф. Ивановой за информацию о составе газово-жидких включений в вольфрамовых проявлениях МНР.

ЛИТЕРАТУРА

Вольфрам в мезозойских гранитоидах Забайкалья. Л. В. Таусон, В. С. Антипин, П. В. Коваль, В. Д. Козлов, А. И. Кузнецова, Е. М. Шеремет. Ежегодник Сибгеохи./Новосибирск: Наука, 1972, с. 244—248.

Иванова Г. Ф. Минералогия и геохимия вольфрамового оруденения Монголии. М.: Наука, 1976. 256 с.

Таусон Л. В. Геохимические типы гранитоидов.— ДАН СССР, 1973, т. 215, № 2, с. 102—115.

О ЗОНАЛЬНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ВОЛЬФРАМИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ

В. И. Сизых

Институт геохимии СО АН СССР, г. Иркутск

Вольфрам в Забайкалье встречается в пегматитах, скарнах, высокотемпературных кварцевых жилах, кварцево-сульфидных жилах и эпитермальных антимонито-ферберитовых жилах. При этом промышленные концентрации вольфрама отмечаются лишь в жильных месторождениях, где известны как собственно вольфрамовые, так и его комплексные месторождения с оловом и молибденом. В размещении этих месторождений выявляется пространственная разобщенность: вольфрамо-молибденовые месторождения расположены в Селенгино-Яблоновой, а вольфрамо-оловянные — в Монголо-Забайкальской складчатых системах.

В возрастном отношении вольфрам в Забайкалье образует две группы месторождений: юрскую с молибденом, оловом, золотом и меловую с золотом, ртутью, сурьмой и фтором. Первая генетически связана с гранитоидами, вторая не имеет видимой связи с изверженными породами и относится к эпитермальному типу. Появление двух групп оруденения обусловлено мезозойской тектоно-магматической активизацией.

Щелочной уклон вулкано-плутонических ассоциаций с золото-молибдено-вольфрамовыми месторождениями Селенгино-Яблонового и Керулен-Аргунского геоантиклинального поднятий объясняется неглубоко залегающим базальтовым слоем. В Монголо-Забайкальском палеозойско-мезозойском прогибе более мощный гранитный слой способствовал появлению гранитоидной формации с вольфрамо-оловянными месторождениями.

Особенности эндогенного оруденения зависят от магматизма, который в свою очередь обусловлен тектоническим развитием рассматриваемых складчатых систем. Вольфрамовые месторождения обычно генетически связаны с лейкократовыми гранитами и расположены либо в них, либо в породах кровли. В эндоконтактных частях гранитных интрузивов локализуется 60,8% вольфрамовых месторождений и рудопроявлений, а экзоконтактных — 39,2%, что без сомнения накладывает отпечаток на морфологические типы месторождений. Если проследить, как размещаются месторождения по складчатым поясам, то выявляется, что экзоконтактные месторождения более ха-

терны для Селенгино-Яблоновой и Керулен-Аргунской систем. В этих поднятиях большое влияние на структуру рудных тел оказали внешние тектонические напряжения. Поэтому в пределах чаще встречаются штокверки и оруденелые брекчи.

Формирование гранитоидных массивов имело различную интенсивность становления и степень дифференциации. Имеющийся материал позволяет выделить слабодифференцированные монофазные интрузивы с асхистовой дайковой серией (Хангай-Шилинский, Дульдургинский) и дифференцированные полифазные интрузивы с диасхистовой серией (Первомайский, Горхонский, Белухинский).

Слабодифференцированные гранитоидные плутоны формируются обычно в течение одной фазы и обладают фаціальными разновидностями, жильный комплекс у них простой, часто лишь гранито-пегматитовый, постмагматический процесс одно-, редко двухстадийный. В апикальных частях гранитных куполов образуются грейzenовые молибдено-вольфрамитовые и кварцево-вольфрамито-касситеритовые жилы. Зональность рудных тел обычно является зональностью отложения. Постмагматический процесс чаще начинается с кислотной стадии и сменяется щелочной. Кварцевые жилы вольфрамо-оловянных месторождений обычно выполняют непротяженные трещины отрыва, формирующиеся в спокойной тектонической обстановке. Структура месторождений и морфология рудных тел определяется внутренним состоянием самого гранитного массива и неглубокими источниками рудного вещества.

Дифференцированные гранитоидные плутоны формируются в несколько стадий, имеют сложный дайковый комплекс, представленный гранито-порфирами, кварцевыми порфирами, пегматитами и диоритовыми порфиритами, лампрофирами и сопровождаются многостадийным постмагматическим процессом. Горизонтальная рудная зональность в основном пульсационна в сочетании с зональностью отложения. Заключается она в том, что к периферии массива молибденовое оруденение сменяется вольфрамовым (Джидинское, Бом-Горхонское, Букуинское, Белухинское месторождения), иногда наоборот (Букутайское). Постмагматические изменения идут от щелочных к кислым и снова к щелочным стадиям. Для месторождений характерен значительный набор сульфидов (пирит, халькопирит, висмутин, сфалерит, галенит, молибденит).

Рудные тела вольфрамо-молибденовых и вольфрамо-сульфидных месторождений (Джидинского, Бом-Горхонского, Букуинского, Белухинского) выполняют сколовые трещины, что указывает на значительные тектонические напряжения, существовавшие во время формирования дифференцированных гранитоидных массивов и постмагматических процессов, и на более глубинный источник рудных растворов.

Этот тип рудоносных гранитоидов является аналогом дифференцированных интрузивов, выделенных А. И. Кулагашевым и А. Д. Сергеевым, с которыми связаны оловянные месторождения касситерито-силикатной и касситерито-сульфидной формаций (Хапчеранга, Шерловая гора). Примечательная особенность их — высокое содержание свинца и цинка.

Региональная зональность в размещении вольфрамоносных месторождений Забайкалья обусловлена его геотектоническим развитием. Симметрия выражена в том, что между герантклиновыми поднятиями расположен палеозойско-мезозойский прогиб с оловянно-вольфрамовыми месторождениями. Последний приобретает асимметрию в связи с приуроченностью Онон-Туринскому и Газимуро-Борзинскому разломам месторождений, обогащенных сульфидными минералами.

Юрские вольфрамовые месторождения контролируются гранитоидными массивами, а меловые — разрывными нарушениями. Предполагается, что источник рудного вещества кварцево-вольфрамито-сульфидных месторождений имеет большую глубину, чем кварцево-вольфрамитовых.

ПЕРСПЕКТИВЫ РУДОНОСНОСТИ КУРАЖИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

**А. М. Гребенников, Ю. А. Алентьев, Л. Ф. Цимбал,
В. В. Шелагуров, А. В. Монин**

Забайкальский научно-исследовательский институт, г. Чита

Одной из наиболее сложных и актуальных задач расширения сырьевой базы редкометальной промышленности является обнаружение в известных рудных районах перспективных площадей, в пределах которых можно ожидать выявления новых, главным образом скрытых, месторождений.

В статье рассмотрены различные аспекты использования комплекса геологической, геофизической и в основном геохимической информации для решения вопроса о перспективах редкометальности одного из районов юго-западной окраины Агинского срединного массива. Также показано, что применение современных методов позволяет использовать имеющиеся геолого-геохимические данные для оценки перспективности территорий на возможность выявления скрытых рудных месторождений.

Район расположен на юге Читинской области, в среднем течении р. Онон, к юго-востоку от пос. Акша. В общем тектоническом плане это область сочленения двух крупных геоструктурных единиц — Даурской мобильной складчатой зоны и Агинского срединного массива, а в структурно-металлогеническом — часть Саханайско-Дурулгуевской зоны северо-западного про-

ирования¹ с редкометальной металлогенической специализацией.

Перспективность района для поисков скрытого оруденения подтверждается следующим.

Во-первых, благоприятной геолого-структурной и металлогенической обстановкой. Описываемая территория характеризуется широким развитием рудных районов и отдельных рудных залежей (Хапчерангинский, Акшинский, Саханайский и другие районы). Региональный Ононский разлом и оперяющие его разрывные структуры, активизированные в мезозойское время, по мнению большинства исследователей металлогении Забайкалья, являются во многих случаях рудоконтролирующими структурами. В пределах выбранного района имеется серия разноплановых систем субпараллельных разрывных нарушений III и IV порядков, являющихся оперяющими по отношению к Ононскому разлому. Простирающие их северо-восточное и северо-западное.

Территория района в целом рассматривается в качестве потенциального поля со скрытыми минерализованными интрузивными куполами, линейное размещение которых контролируется тектоническими нарушениями северо-восточного направления, а места предполагаемой локализации лежат в областях пересечения нарушений северо-восточного и северо-западного направления.

Во-вторых, наличием в пределах района многочисленных магнитных и гравиметрических аномалий, которые фиксируют скрытые купола гранитных интрузий.

В-третьих, наличием в центральной части района комплексных геохимических аномалий.

Геологическое строение района характеризуется широким развитием осадочно-метаморфических пород палеозойского возраста. Наиболее древние образования в районе — кварцево-пеллошпатовые песчаники с прослоями глинистых и серицитово-кварцевых сланцев — относятся к агинской свите позднекаменноугольного-раннепермского возраста. Агинская свита распространена в восточной и юго-восточной частях района, зуткулейская, представленная переслаивающимися песчаниками, кварцево-слюдистыми сланцами и алевритами того же возраста, — в восточной. Тулугайская свита раннепермского возраста представлена преимущественно песчаниками с подчиненными прослоями туфопесчаников.

Наиболее широко распространены нижняя и верхняя подбиты усть-илинской свиты пермско-раннетриасового возраста,

¹ Гребенников А. М. Вольфрамоносные, танталоносные и ниобий-фторосодержащие типы гранитоидов и сопровождающие их продуктивные рудные формации (на примере Восточного Забайкалья). — В кн.: Минералогия и геохимия вольфрамовых месторождений. Л.: ЛГУ, 1971, с. 51—59.

характеризующиеся сложно переслаивающимися песчаниками, алевропесчаниками, алевролитами, а также различными сланцами.

Осадочные породы разбиты серией разрывных нарушений северо-восточного и северо-западного простирания, последние иногда залечены дайками кварцевых порфиров, диоритов, порфиров и керсантитов. В зоне влияния этих разрывов структур отмечено наличие гидротермальных изменений — ридзитизации, грейзенизации. Характерно большое количество кварцевых жил, преимущественно северо-восточного направления, часто «лестничных» жил и «сетчатых» зон.

Интрузивные образования представлены двумя небольшими штоками (200—300 × 500—600 м), сложенными гибридными породами, по составу соответствующими гранодиориту кварцевому диориту. Минеральный состав: плагиоклаз № 32/45 — до 60%, ортоклаз — до 20, кварц — 5—7, темновеселовитовая обманка (10—15%) и биотит (5—8%), основные акцессорные минералы — апатит (128 г/т), циркон (83,4 г/т), рудные, как правило, ассоциирующие с биотитом. Структура гипидиоморфнозернистая, в центральной части штоков средне-, в эндоконтакте мелкозернистая. По химическому составу породы соответствуют кварцевым диоритам по р. Дэли. Они слабо пересыщены кремнекислотой ($Q=7,6$) и бедны щелочами ($a:c=2,4$). По классификации А. А. Беуса, породы относятся к адамеллитам ($a/K=0,9; \frac{100 Ca}{Ca+a}=50,3$).

Жильная серия представлена дайками гранодиорит-порфиров, керсантитов и гранит-порфиров, причем жильные тела среднего состава, как правило, пересечены более кислыми дайками.

Зафиксированные на современном эрозионном срезе интрузивные образования имеют гибридный характер и образовались очевидно, в результате ассимиляции гранитной магмой вмещающих алюмосиликатных осадочных пород с внутриформационными телами среднего и основного состава. Сложенные гибридными породами штоки имеют небольшие размеры и крутые контакты. Возможно, они представляют собой апофизы не вскрытого гранитного купола, фиксирующегося на поверхности локальным гравиметрическим минимумом.

На рассматриваемом участке, где локализуется один из штоков, а по геофизическим данным предполагается нескрытый гранитный купол, нами были проведены крупномасштабные (1:10 000—1:50 000) геохимические исследования с целью оценки перспектив редкометаллоносности.

В качестве оценочных критериев использовались особенности состава и строения эндогенных ореолов акцессорных элементов танталовых гранитов. Основные из них следующие:

1. Рудоносные метасоматически измененные гранитные массивы (апограниты) сопровождаются комплексным эндогенным ореолом лития, рубидия, цезия, фтора, бериллия, ниобия, олова и свинца, которые являются элементами—индикаторами редкометального оруденения. Эндогенные ореолы могут смещаться в плане относительно контуров рудоносного массива, залегающего на глубине, вдоль наиболее проницаемых пород.

2. В ореолах, связанных с рудоносными метасоматически измененными гранитными массивами, установлены четкие положительные корреляционные связи между основными элементами-индикаторами (литием и бериллием, литием и оловом и др.), а также отрицательные связи между свинцом и ниобием, свинцом и оловом. При этом сила связи возрастает с приближением к рудоносным гранитам. Кроме того, в этих ореолах обычно отмечается большая вероятность появления аномальных содержания элементов.

3. В ореолах, развитых вокруг редкометаллоносных массивов, элементы-индикаторы распределены зонально. Для внешних частей ореолов характерен узкий спектр элементов — фтор, литий, рубидий, для внутренних — более широкий, где помимо указанных элементов в аномальных количествах присутствуют олово, ниобий, свинец, цезий и другие элементы. В общем случае чем дальше расположен ореол от редкометаллоносного массива, тем меньший набор элементов в нем фиксируется. По величине отношения этих групп элементов ориентировочно может определяться эрозионный срез ореола. Внешние части ореола характеризуются высокими значениями этой величины (100 и более), внутренние — низкими (до 10—15).

В результате проведенных исследований в центральной части района выявлен и описан комплексный эндогенный геохимический ореол (литий, бериллий, ниобий, олово, фтор, свинец, вольфрам, цинк, серебро, висмут, бор, медь, молибден), располагающийся в пределах развития осадочно-метаморфических пород пермского возраста, представленных ороговичкованными песчаниками и сланцами различного состава. Площадь ореола $1,7 \times 2,3$ км. Средние содержания всех элементов в пределах описанных ореолов значительно превышают минимально аномальные содержания, рассчитанные для 5%-ного уровня значимости. Коэффициенты аномальности основных элементов — индикаторов редкометаллоносности составляют для Bi—32,8; W—28,1; Ag—23,2; Sn—19,7; Li—8,9; Be—6,7; Zr—5,4; Cu—3,3; Nb—3,0; Pb—2,9. Характерно, что наиболее высокие коэффициенты минерализации (Км), вычисленные по площади, установлены для элементов, являющихся индикаторами редкометального оруденения (литий, рубидий, цезий, фтор, олово). Немного ниже значения этого коэффициента для бериллия, вольфрама, ниобия, также характерных для редкометальной минерализации. Следовательно, данная геохимическая анома-

для по приведенным величинам основных параметров является весьма контрастной.

Максимальные концентрации элементов в пределах ореолов зафиксированы в зонах сопряжения разноориентированных разрывных нарушений, где породы брекчированы, раздроблены. Это дает возможность интерпретировать разрывные нарушения как подводящие каналы для ореолообразующих растворов. Кроме того, локальные максимумы содержаний отмечены на участках развития окварцованных, хлоритизированных и грейзенизированных пород. Между основными элементами—индикаторами редкометальности установлены четкие корреляционные связи на высоком уровне значимости (Li—Be—0,86 ; Li—Sn—0,75 ; Li—W—0,68 ; W—Sn—0,64 ; Be—W—0,702 ; число проб $N=104$).

Широкая гамма типоморфных элементов, характеризующих как внешние, так и внутренние части ореолов, высокая контрастность комплексного ореола, высокие значения коэффициентов корреляции указывают на неглубокий эрозионный срез ореола. Сопоставление коэффициента—показателя эрозионного среза¹ данной геохимической аномалии с коэффициентами, вычисленными для известных редкометальных месторождений (табл. 1), свидетельствует о небольшой (порядка 300 м) глубине залегания возможного гранитного купола.

Таблица 1

Индикаторные отношения аксессуарных элементов

Тип оруденения	Индикаторные отношения элементов	Уровень эрозионного среза			
		для известных месторождений			для данной аномалии
		рудный	0—200 м	200 м	
Танталовый	$\frac{\text{Li} \times \text{Rb}}{\text{Nb} \times \text{Pb}}$	1·п	10·п	100·п	30,3
То же	$\frac{\text{Li} \times \text{Rb}}{\text{Pb} \times \text{Sn}}$	0,1—1,0·п	1—10·п	10—100·п	8,6
Редкометально-вольфрамов.	$\frac{\text{Li} \times \text{Be}}{\text{Nb} \times \text{W}}$	0,1·п	1·п	10·п	0,62

В составе комплексного ореола выделяются две группы элементов (литий, рубидий, цезий, фтор, олово, бериллий, вольфрам, ниобий) — индикаторы редкометального, в частности танталового и редкометально-вольфрамового, оруденения, и

¹ Коэффициент — показатель эрозионного среза — величина средних содержаний элементов, характеризующих внешние зоны ореола, отнесенная к средним содержаниям элементов его внутренних зон.

халькофильные, указывающие на возможное развитие оловянного оруденения, т. е. данный полиэлементный ореол, очевидно, имеет полиформационный характер. Среднее содержание всех элементов в пределах оконтуренных ореолов значительно превышает минимально аномальное содержание, рассчитанное для 5%-ного уровня значимости. Наряду с контрастным комплексным геохимическим ореолом, зафиксированным в осадочных породах участка, отмечаются повышенные содержания ряда редких элементов (литий, рубидий, цезий, олово) и в гибридных интрузивных породах штока, а также в его приконтактной части (табл. 2).

Таблица 2

Среднее содержание аксессуарных элементов в изверженных породах (г/т)

Порода	Число анализов	Элемент						
		Sn	W	Be	Bi	As	F, %	Li
Гранодиорит	5	60	1,6		1,8	—	0,16	115*
Кварцевый диорит	4	50	3	1	—	—	0,11	86*
Диоритовый порфирит	2	30	4	1,5	—	150	He опр.	50
Керсантит	3	30	—	1,5	—	—	»	100
Грейзен	4	200	35	23	40	260	0,44*	370*

Порода	Число анализов	Элемент						
		Rb	Cs	Nb	Ta	Cu	Pb	Zn
Гранодиорит	5	258*	44*	21,0*	0,46*	52	17	390
Кварцевый диорит	4	240*	34*	18,8*	—	50	15	500
Диоритовый порфирит	2	He опр.	—**	6	—	80	50	400
Керсантит	3	»	—	6	—	30	8	300
Грейзен	4	596*	97*	14,4*	0,4*	83	3	330

* Количественные определения.

** Содержание ниже предела чувствительности анализа.

Таким образом, выявлена интенсивная геохимическая аномалия, охватывающая как интрузивные породы штока, так и вмещающие осадочные породы, имеющая довольно значительные размеры. Наиболее вероятно, что она отражает на современном эрозионном срезе нескрытое редкометальное оруденение, локализующееся в апикальной части гранитного купола, который фиксируется по гравитационному минимуму. Апофизой купола является шток кварцевых диоритов. Полиформационный характер ореола, а также наличие единичных кварцево-касситеритовых и кварцево-вольфрамитовых маломощных жил и прожилков дают возможность рассчитывать на то, что здесь

сохранились незродированные рудные тела аналогичного состава.

Кроме того, в нашем распоряжении имеются предварительные результаты геолого-геохимических исследований среднего масштаба (1:50 000) на территории, расположенной к северу от данной аномалии.

Во-первых, выявлены и прослежены восемь разноплановых разрывных нарушений, области пересечения которых рассматриваются в качестве структур, контролирующих размещение возможных скрытых интрузивных куполов.

Во-вторых, зафиксированы мощные (до 300 м) зоны окварцевания, в непосредственной близости к которым отмечены зоны ороговикования, грейзенизации и флюоритизации вмещающих пород, сопровождающиеся резкими аномальными концентрациями фтора, лития и ряда других литофильных элементов.

Комплекс приведенных геолого-структурных, геофизических и геохимических данных свидетельствует о перспективности как района в целом, так и его центральной части, в особенности для поисков скрытого редкометального оруденения.

Проведение дальнейших геолого-геохимических исследований среднего и крупного масштаба позволит локализовать в пределах района наиболее перспективные площади для поисков, а также предварительно установить тип оруденения и оценить его масштабность.

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ ЭРОЗИОННОГО СРЕЗА ЗОЛОТО-СУРЬЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ

**В. А. Бородин, И. Ф. Бровчук, А. П. Игнатович,
Б. О. Макучарьянц, Э. А. Маркова**

Центральный геофизический трест, г. Москва

Участок месторождения сложен алевролитами и глинистыми сланцами, среди измененных разностей которых в зоне крупного Рудного взброса локализована кварцево-золото-антимонитовая жила северо-западного простирания с крутыми (70—80°) углами падения к северо-востоку. Рудовмещающее нарушение осложнено дорудными поперечными разрывами, что обусловило образование на участке месторождения отдельных блоков (Северо-Западного, Центрального, Юго-Восточного) и способствовало формированию рудных столбов. Наиболее продуктивным считается Центральный блок. Главными минералами являются кварц, антимонит и самородное золото; отмечаются пирит, арсенопирит, редко сфалерит, халькопирит, буланжерит.

Изучались формы нахождения ртути в образцах минералогически чистого кварца, отобранных из рудной жилы в горных выработках и скважинах, расположенных на разных гипсометрических уровнях золото-сурьмяного месторождения, которое разведано до глубины 600 м. Определения валовых содержаний ртути и разделение на отдельные составляющие формы, соответствующие различным температурам ее возгонки из матернала проб, выполнялись при помощи фотометра «ФЛЮР-1», созданного в Геохимической экспедиции ЦГТ Степановым И. И. Чувствительность определений ртути составляет $n \cdot 10^{-6} \%$, производительность анализа около 40 проб в смену, что позволяет использовать метод в широких масштабах при геохимических поисках (см. таблицу).

Результаты исследований, приведенные в таблице, позволяют сделать следующие выводы.

Валовое содержание ртути до глубины 300 м практически не меняется, колеблясь от 11 до $32 \cdot 10^{-6} \%$, и лишь в зоне диагенетического нарушения достигает значения $61 \cdot 10^{-6} \%$. Дифференцированный анализ позволил достаточно четко установить две ее низкотемпературные составляющие с температурами возгонки ртути в интервалах 200—240 и 240—280°, которые на основе температур возгонки синтетических и природных соединений ртути можно отождествить соответственно с хлоридами, оксихлоридами (каломель, эггестонит и др.) и фторидами ртути.

Пространственное положение проб исследованного кварца совпадает с установленной в центральном блоке месторождения серией рудных столбцов, для которых характерно развитие ведущей золото-кварцево-антимонитовой минеральной ассоциации. Причем дифференцированный анализ самородного золота (мелкие золотишки до 1 мм) показал высокое содержание валовой ртути (до 0,02%) и установил наличие двух составляющих: одной — с температурой возгонки 200—210° и другой — 560—600° в приблизительно равных количествах.

Появление же в ряде проб (№ 8, 16, 31) форм ртути с более высокой температурой возгонки может быть объяснено нахождением этих проб кварца в юго-восточном блоке, где на горизонте 734 м после раздува мощностью 6 м жила постепенно переходит в тонкий прожилок, а ширина зоны дробления составляет 10 м.

Ниже глубины 300 м валовое содержание ртути в кварцах резко падает, составляя $3 \cdot 10^{-6}$ — $9 \cdot 10^{-6} \%$, за исключением проб № 121, которая отобрана из мелкого прожилка с заметным количеством сульфосолей. Составляющие ртути отличаются резким накоплением ее форм, имеющих высокие температуры возгонки (280—330 и более 330°), которые можно отождествить либо с сульфатными (сернокислая закись ртути), либо с сульфидными соединениями ртути (метацинабарит,

Таблица содержаний форм ртути (римские цифры) в пробах кварца

Гипсо-метриче-ский уро-вень, м	Выработ-ка, ее номер	Номер пробы	Температура возгонки, °С				Содержание ртути по формам (п.10-6 %)				Валовое со-держание ртути в кварце (п.10-6 %)	
			I		II		III		IV			
			(200—240)	(240—280)	(240—280)	(280—330)	(280—330)	(330)	I	II		III
Свыше 830	Поверхность	149	208	242	—	—	—	10,0	7,0	—	—	17,0
830	Рассечка	355	228	248	—	—	—	6,5	7,5	—	—	14,0
784	»	304	227	264	—	—	—	10,0	10,0	—	—	20,0
734	»	107	218	260	—	—	(330)	12,0	12,0	—	—	24,0
734	»	158	218	272	—	—	(344)	7,2	6,2	—	(3,8)	17,1
734	»	16	—	262	—	—	—	—	18,0	14,0	—	32
734	»	8	212	(258)	314	314	—	8,5	(5,0)	4,5	—	18
720	Скв. 20	31	—	262	328	340	—	—	2,8	4,0	5,0	11,8
680	Скв. 135	65a	227	—	—	—	—	15,5	—	—	—	15,5
600	Скв. 44	44	—	260	—	—	—	—	61,3	—	—	61,3
550	Скв. 164	193	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4
»	»	209	—	244	294	354	—	—	—	1,8	2,5	25,5
500	Скв. 80	115	—	246	315	—	—	(1)	—	8,5	17	3
440	Скв. 172	578	—	—	318	—	—	—	1,15	0,75	—	3,3
370	Скв. 80	121	—	254	—	362	—	—	—	—	1,6	50,0
300	»	356	—	(260)	328	334	—	—	28,0	—	22,0	3,6
250	»	132	200	(250)	300	346	—	2,25	(1,4)	2,2	2,7	9,0

Примечание. В скобки заключены температуры возгонки ртути, характеризующиеся невоскृतными максимумами.

киноварь, ливингстонит и др.). Следует отметить, что в отдельных образцах кварца (№ 578) встречена высокотемпературная форма ртути (температура возгонки 600°), аналогичная таковой в золоте.

Отмечается общая тенденция к увеличению количества высокотемпературных форм ртути по падению рудной жилы, что согласуется с установленной многоэлементностью состава ореолов на глубоких горизонтах месторождения.

Изучение температурных форм нахождения ртути в минералогически чистых кварцах позволяет получить дополнительную геохимическую информацию об уровне среза золото-сурьмяного оруденения и оценить перспективы глубоких горизонтов месторождения.

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАССЕЯНИЯ— КОНЦЕНТРАЦИИ РУДНОГО ВЕЩЕСТВА НА РТУТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

О. Г. Епифанцев

Западно-Сибирское геологическое управление, г. Новокузнецк

Распределение химических элементов в земной коре неравномерно. Рассеянное распределение элементов — совершенно естественный процесс, тогда как возникновение концентраций — аномальное явление, связанное с действием локальных энергетических процессов, развивающихся на фоне рассеянной среды. Связи полей рассеяния и концентрации изучены слабо.

Современные геохимические исследования основываются на представлении об идентичности закономерностей образования эндогенных ореолов и концентрированных рудных скоплений (рудных тел). Предполагается, что с приближением к рудному телу интенсивность ореола увеличивается и на определенном интервале он переходит в рудное тело. Фактический материал, которым располагает автор, показывает, что процессами формирования первичных ореолов рассеяния и концентрированного оруденения управляют значительно более сложные закономерности.

Под геохимическим фоном рудогенных элементов нами понимается первично-конституциональное, сингенетическое с породами рассеяние рудного вещества. Элементы находятся в безминеральной ионной или атомарной формах или в виде молекулярных твердых и жидких растворов в породах (Вернадский, 1954; Сафронов, 1957). Зональность в размещении рудогенных элементов отсутствует, что обусловлено сингенетическим характером рассеяния и случайностью сонахождения элементов, объединенных процессами кристаллизации магмы или седиментоген-

незом. Таким образом, геохимический фон — это наивысшая, первичная форма рассеяния рудного вещества.

Первичный ореол рассеяния применительно к ртутным месторождениям — не однородное образование. Он разделяется на две зоны, выступающие самостоятельно.

Ореолы I порядка — обширные геохимические поля, по размерам сопоставимые с рудными полями. Они характеризуются низким содержанием рудогенных элементов, также безминеральной формой нахождения ртути и других элементов, слабо выраженной зональностью, слабо проявленными гидротермальными изменениями вмещающих пород. Эти поля, по-видимому, — наиболее ранние образования и созданы в основном парами легколетучих компонентов, опережающих жидкостную часть гидротермальной рудоносной колонны. Такое происхождение ореола объясняет его широкое распространение, безминеральные формы нахождения рудогенных элементов, слабый контроль со стороны структурных элементов.

Ореолы II порядка имеют более локальное распространение, строже контролируются структурными элементами. Для них характерно повышенное содержание рудогенных элементов, которые находятся в виде рассеянной вкрапленности собственных минералов (сульфидов и примесей в них). Наиболее важной отличительной чертой ореолов этого порядка является их зональное строение, вызванное различной подвижностью элементов в ходе процессов рудогенеза. В общем случае рамки развития ореолов II порядка совпадают с полями развития интенсивно гидротермально измененных пород. Для редких и рассеянных элементов ореолы II порядка нередко имеют промышленное значение. Формирование ореола сопровождается выносом наиболее подвижных петрогенных элементов. Такие депрессии в содержании некоторых петрогенных элементов в контурах ореола II получили название «отрицательных ореолов», «ореолов истощения», «ореолов выщелачивания».

Концентрированное рудное скопление — это локализованное скопление рудного вещества, достигающее пригодных для эксплуатации содержаний. Применительно к ртутным месторождениям для концентрации оруденения необходимы структурно-литологические рудные ловушки. Рудные элементы находятся в виде скоплений собственных минералов в сочетании с одним или несколькими безрудными минералами. Зональность рудных тел явно выражена, однако внутрирудные подвижки на фоне эволюции рудоносного раствора приводят к усложнению первичной зональности.

Ураганные рудные скопления образуются в особых структурно-литологических условиях при стечении ряда благоприятных факторов. Они образуют преимущественно небольшие по размерам гнездообразные тела и представлены густовкрапленными, густопржилковыми или сливными скоплениями одного

или нескольких рудных минералов. Это высшая форма концентрации рудного вещества.

Первичный ореол выщелачивания — своеобразное геохимическое поле, формирующееся вдоль особо проницаемых зон дизъюнктивных нарушений. Оно характеризуется собственными условиями накопления и выноса элементов, наиболее интенсивной гидротермальной переработкой пород. Эти особенности обусловлены длительным и интенсивным воздействием гидротермальных растворов (что характерно для зон рудоподводящих каналов). В таких условиях выщелачиваются и выносятся наиболее подвижные элементы и накапливаются менее подвижные. В зонах рудоподводящих каналов зачастую накапливаются элементы, мобилизованные из вмещающих пород (барий, стронций, магний). Весьма характерные явления возникают в случае наступления ореолов выщелачивания на отложенные ранее руды — условия регенерации руд и появления самородной ртути.

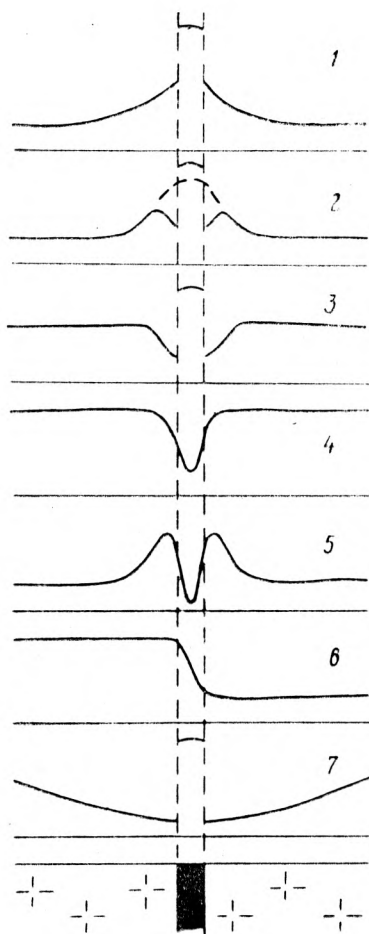
Таким образом, области с различной концентрацией рудного вещества имеют генетическую природу. Рассмотрим теперь пространственно-генетические особенности взаимоперехода описанных геохимических полей.

Пространственные взаимоотношения фонового рассеяния элементов и первичных ореолов по существу не изучены. Детальные исследования, проведенные на некоторых полиметаллических месторождениях, показали, что между ореолом и фоном существует резко очерченный фронт (Зональность гидротермальных месторождений..., 1970). Более детально были изучены пространственные взаимоотношения первичных ореолов и концентрированных рудных скоплений на ртутных месторождениях Горного Алтая (см. рисунок). Выделяются семь наиболее характерных форм взаимоотношения содержаний различных элементов (и других признаков) в ореолах и рудных телах.

1. С приближением к рудному телу отмечается повышение содержания элемента, а содержание его в самом рудном теле во много раз превышает содержание в ближайшей ореольной пробе. В качестве примера служит ртуть. Такая закономерность характерна для весьма подвижных наложенных элементов.

2. На фоне ореола непосредственно вблизи рудного тела отмечается снижение содержания элемента («провал»), а содержание его в рудном теле намного выше, чем в ореоле. Примером служит распределение свинца, меди, мышьяка, марганца, титана. Данный тип перехода от ореола к рудному телу характерен для менее подвижных наложенных элементов, которые в процессе рудоотложения мобилизуются из ореолов с образованием зон истощения внутри их.

3. В рамках ореола образуется поле пониженных содержаний элемента — «ореол истощения», а содержание этого элемента в рудном теле значительно выше, чем в породах вне поля распространения ореола. Примером является распространение



Наиболее распространенные формы (1—7) графиков распределения содержания химических элементов в поперечном сечении первичного ореола и рудного тела: а — вмещающие породы; б — рудное тело; в — график распределения признака и его тип



циркония. Такой тип распределения характерен для мобилизованных петрогенных элементов относительно малой подвижности.

4. Наиболее подвижные мобилизованные элементы при относительно малом содержании во вмещающих породах образуют в рамках ореола «ореол истощения» и при этом характеризуются очень низким содержанием в самих рудных телах. Такими элементами являются стронций в карбонатных породах и барий в терригенных.

5. Некоторые физико-химические свойства пород (химическая активность, пористость) в пределах рудного тела образуют

еткий минимум, тогда как вокруг наблюдается поле их повышенных значений.

6. Иногда наблюдается своеобразный переход от ореола к рудному телу при интенсивной гидротермальной проработке пород. Рудное тело располагается между полями повышенных и пониженных значений данного признака, на участке его максимального градиента.

7. Установлено своеобразное взаимоотношение вмещающей руду зоны нарушения и параллельной ей зоны трещиноватости. С приближением к зоне рудовмещающего нарушения интенсивность трещиноватости снижается. По-видимому, в пределах рудовмещающей зоны разгрузка тектонических напряжений реализована в единичном нарушении.

Рассматриваемые особенности рассеяния — концентрации рудного вещества находят свое отражение в статистических параметрах распределения содержаний элементов и других геологических признаках оруденения. Установлено, что распределение содержаний ртути в породах имеет полимодальный вид и состоит из ряда элементарных распределений. Генетически каждая элементарная совокупность объединяет массив объектов опробования, концентрация или рассеяние ртути в котором обусловлены определенным комплексом физико-химических условий. Характерно, что для одних и тех же литологических разностей пород, взятых в различных частях рудного поля, параметры функции распределения содержаний ртути остаются близкими, а моды совпадают. По-видимому, полимодальный вид функции распределения содержаний рудогенных элементов в рудах и околорудном пространстве отражает генетическую неоднородность геолого-геохимических полей с различной степенью рассеяния концентрации.

Перечисленные выше геолого-геохимические образования различаются видом функции распределения содержаний ртути. В пределах геохимического фона наиболее вероятно нормальное распределение. Для последующих образований характерен все более асимметричный вид функции. Характер функции распределения содержаний в обобщенном виде отражает состояние рудного вещества, начиная от рассеянного в геохимическом фоне и кончая высококонцентрированным в рудном теле.

В ходе процесса оруденения приходит в мобильное состояние определенная часть петрогенных элементов, заимствованных из вмещающих пород. На разных стадиях рудного процесса многие элементы проявляют различные тенденции в поведении, что приводит к многократному изменению корреляционных связей между ними. Нами исследовалось изменение корреляционных связей между многими элементами по мере накопления ртути в различных литологических разностях пород. Намечены следующие основные формы поведения корреляционных связей: а) связь между элементами остается положительной во

всех классах содержаний ртутн; б) связь отрицательная во всех классах содержаний ртутн; в) связь между элементами меняется с положительной на отрицательную, или наоборот, в определенном интервале содержаний ртутн; г) связь между элементами отсутствует во всех классах содержаний ртутн. Интерпретация различных форм поведения связей хорошо осуществляется на логическом уровне. Наиболее важной особенностью поведения корреляционных связей является то, что их изменение происходит для большинства элементов на определенных (фиксированных для данного типа оруденения) интервалах содержания ртутн. Изменение знака связи между элементами мы называем инверсией связи.

Наибольшее число инверсий происходит дважды: при переходе от геохимического фона к первичным ореолам и при переходе от ореола к рудному телу. Интервалы содержания ртутн, на которых происходит инверсия корреляционных связей, необходимо рассматривать в качестве статистических границ между различными геолого-геохимическими образованиями.

Изложенные представления о рассеянии—концентрации рудного вещества в рудах и окорудном пространстве соответствуют ступенчатой модели минералообразования. Пространству каждой ступени отвечают поля с определенным уровнем концентрации рудного вещества. Это согласуется с положением о ступенях минерализации, выдвинутых И. И. Гинзбургом (1957), который выделял безрудную, рассеянную, обогащенную и рудную ступени минерализации.

В геохимическом плане уровням концентрации рудного вещества отвечают категории: фон, ореол I порядка, ореол II порядка, концентрированное рудное скопление, ураганное скопление рудного вещества, первичный ореол выщелачивания. Дискретный характер распределения рудного вещества в пространстве может быть проинтерпретирован следующим образом. По-видимому, под влиянием определенного комплекса рудообразующих факторов насыщение объема породы рудными компонентами может происходить только до определенного уровня. Появление в рудообразующей системе еще одного благоприятного фактора приводит к более интенсивному накоплению рудного вещества, созданию качественно нового уровня его концентрации. Каждый последующий уровень концентрации развивается на фоне предыдущего, внутри него, и является аномалией на его фоне. Созданию рудной концентрации более высокого уровня должно предшествовать последовательное образование всех предыдущих уровней.

В литологически неблагоприятных для размещения оруденения породах рудный процесс обычно не развивается далее формирования первичного ореола. В случае попадания такой породы в зону действия гидротермальной колонны происходит ее насыщение до количеств, обусловленных физико-механиче

скими свойствами и химической активностью. В дальнейшем порода ведет себя как среда инертная по отношению к данному рудному процессу. Благоприятные для размещения оруденения породы способны к интенсивному насыщению рудными компонентами с образованием всех уровней концентрации, вплоть до концентрированных рудных скоплений.

Существует определенное соотношение между описываемыми геохимическими образованиями и металлогеническими категориями. Геохимический фон представляет собой сингенетически рассеянное состояние рудного вещества в породах вне зон действия рудоносных растворов. Первичный ореол рассеяния I порядка пространственно отвечает рудному полю. Контуры первичных ореолов II порядка в пространстве отвечают участкам распространения струй рудоносного гидротермального потока. В его пределах развита рассеянная рудная минерализация, породы интенсивно изменены и вмещают концентрированные рудные скопления. Все это применительно к ртутным месторождениям и отвечает понятию рудного столба.

На фоне первичного ореола рассеяния II порядка и внутри него в особо благоприятных структурно-литологических условиях (рудных ловушках) возникают концентрированные рудные скопления — рудные тела.

ЛИТЕРАТУРА

Вернадский В. И. Очерки геохимии. Избр. соч., т. 1. М.: Госгеолтехиздат, 1954, с. 43—45.

Гинзбург И. И. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков. М.: Госгеолтехиздат, 1957, с. 46—68.

Зональность гидротермальных месторождений как основа поисков глубокозалегающих рудных тел / В. В. Поликарпочкин, Л. В. Таусон, Р. И. Дубов, Н. А. Пампура, Б. П. Санин, Ю. П. Трошин. — В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих месторождений. Иркутск, 1970, с. 252—340.

Сафронов Н. И. Формы рассеянного состояния элементов в природе и их поисковое значение. — В кн.: Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1957, с. 60—62.

РАЦИОНАЛЬНОЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

**Г. В. Остроумов, Н. С. Масалович, К. С. Дегтяр, И. Д. Иванова,
В. И. Афанасьева**

Всесоюзный институт минерального сырья, г. Москва

Современные требования к повышению экономической эффективности геологоразведочных работ, комплексному изучению и использованию месторождений полезных ископаемых,

охране окружающей среды накладывают на аналитическую службу определенные обязанности по дальнейшему совершенствованию методов и организации аналитических исследований.

В настоящее время в центральных и экспедиционных лабораториях Мингео СССР ежегодно выполняют 200 млн. элементопределений, из которых приблизительно 95% падает на полуколличественные, в основном спектральные анализы, и лишь 5% — на количественные. При этом затраты на полуколличественные анализы составляют 12%, а на количественные — 88%. Основной объем количественных определений выполняется химическими методами, однако за последние годы в геологической службе существенно возрос удельный вес аналитических работ, выполняемых физическими и химико-физическими методами. Применение того или иного метода часто определяется составом анализируемого объекта и интервалом содержания определяемого компонента.

Реальная чувствительность методов определения элементов в различных видах минерального сырья в настоящее время достаточно велика и продолжает повышаться за счет дальнейшего развития собственно физических методов и их рационального сочетания с химической подготовкой. На рис. 1 приведены данные нижних пределов количественного определения ряда элементов, достигнутых к 1975 г. Естественно, что высокая чувствительность требует в большинстве случаев применения достаточно сложной и дорогой аппаратуры, а также трудоемких методов, что может быть реализовано лишь в крупных, соответствующим образом оборудованных, лабораториях.

Наряду с повышением чувствительности метода в последние годы все большие требования предъявляются к аналитикам по сокращению сроков выполнения анализов. На металлургических заводах и горнодобывающих предприятиях это осуществляется за счет использования экспрессных автоматизированных систем на базе рентгеновских и оптических квантометров, гамма- и нейтронно-активационных комплексов и других устройств, рассчитанных на поточный анализ мало меняющегося по составу материала. В условиях работы центральных лабораторий применение этих методов также имеет немалую перспективу. Так, например, показано, что использование рентгеновского квантометра при силикатном анализе позволяет в 2 раза повысить производительность труда. Широко используются за рубежом и получают все большее применение в нашей геологической практике методы атомной абсорбции, в частности для определения порообразующих элементов анализа полиметаллических руд, руд благородных и некоторых редких металлов. Не отстают в своем развитии, особенно в части повышения скорости проведения анализа, и другие, в том числе химические и спектральные методы анализа.

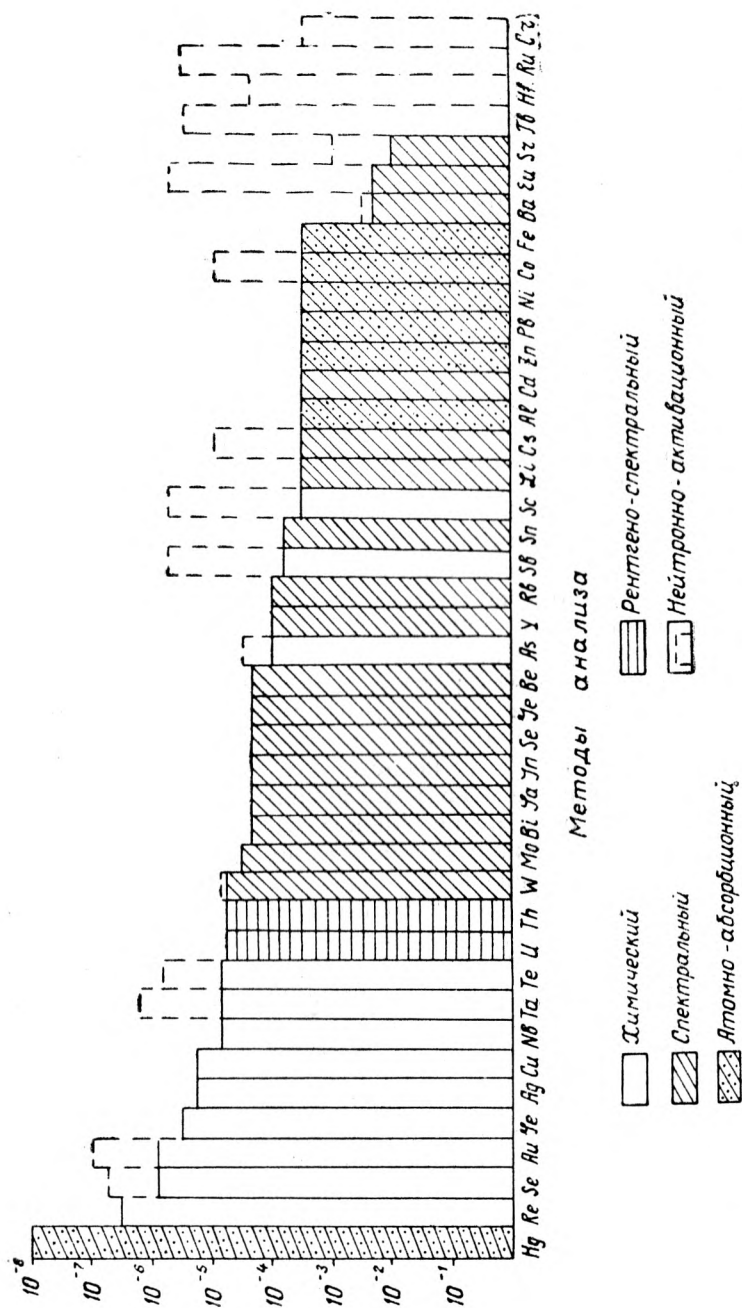


Рис. 1. Предел обнаружения элементов химическими и физическими методами, достигнутый к 1975 г.

Тем не менее применение указанных экспрессных методов в геологии еще далеко не всегда обеспечивает быструю выдачу аналитических данных. Поэтому наряду с развитием экспрессных стационарных методов идет процесс создания и внедрения методов и аппаратуры, которые позволяют вести анализ достаточно быстро и в непосредственной близости от изучаемых объектов или в ходе геологических исследований. Примером таких оперативных методов являются получившие широкое распространение радиометрические, рентгенорадиометрические, атомно-абсорбционные и некоторые другие методы.

Успешно идет развитие методов, позволяющих вести оценку содержания ряда элементов в естественном залегании. Так, с помощью полевой рентгенорадиометрической аппаратуры с высокой производительностью проводится разбраковка дубликатов проб, выделение зон с повышенным содержанием многих элементов по керну скважин, по естественным и искусственным обнажениям и, наконец, проведение опробования с минимальным отбором для контроля бороздовых или других видов проб.

Относительно низкая чувствительность рентгенорадиометрического метода (10^{-2} — 10^{-1} %) ограничивает его применение для решения большинства геохимических задач. Проведение БИМСом совместно с научно-производственным объединением «Геофизика» работы по созданию новой рентгенорадиометрической аппаратуры с применением полупроводниковых детекторов, разработанные приемы и способы учета состава проб, позволяющие проводить анализ одновременно на 3—4 компонента (при нижнем пределе количественного определения 10^{-3} — 10^{-4} %), открывают широкие перспективы использования метода при геохимических исследованиях. В табл. 1 приведены данные нижнего предела количественного определения, полученные на опытном образце прибора.

Преимущества использования таких оперативных методов на любых видах геологических работ очевидны. Однако очевидно и то, что если мы хотим иметь портативную или легко транспортируемую полевую аналитическую аппаратуру, то мы не можем от нее требовать той же чувствительности и точности, которые обеспечиваются стационарными комплексами.

В то же время, как правило, со стороны заказчиков к аналитикам предъявляются весьма высокие и зачастую противоречивые требования: анализ должен быть высокочувствительным, точным, экспрессным, оперативным и дешевым. Поэтому встает вопрос о нахождении оптимального варианта комплекса или выбора отдельного метода в зависимости от постановки конкретной задачи, которую должны выполнить полученные аналитические данные.

Таким образом, задача по выбору рационального комплекса — типичная задача оптимизации (Ли, 1966), а теория рационального комплекса аналитических методов — составная часть

**Нижний предел количественного определения элементов
рентгенорадиометрическим методом с использованием
сцинтилляционного и полупроводникового детекторов (%)**

Определяемый элемент	Нижний предел количественного определения	
	с сцинтилляционным детектором	с полупроводниковым детектором
Титан	0,04	0,001
Железо	2,00	0,01
Медь	0,03	0,008
Цинк	0,03	0,007
Иттрий	0,05	0,0002
Цирконий	0,05	0,0003
Ниобий	0,02	0,0003
Молибден	0,02	0,0002
Серебро	0,02	0,0002
Олово	0,01	0,0005
Вольфрам	0,01	0,002
Золото	—	0,001
Свинец	0,02	0,0003
Стронций	0,1	0,0002

общей теории опознавания образцов в задачах геологической разведки (Хоменюк, 1974).

Показателем рациональности комплекса аналитических методов в конкретных геологических условиях служит извлечение максимума информации об изменении содержания компонента в исследуемых объектах при минимуме затрат.

Требования к точности, правильности и надежности аналитических данных определяются влиянием этих характеристик на степень достоверности геологических и технологических показателей.

Ниже рассматриваются некоторые методологические принципы выбора комплекса аналитических методов исследования минерального сырья (рис. 2, 3).

Исследование начинается со сбора априорных данных по интересующему вопросу.

Следующий этап — выбор определяющих факторов и оценка их информативности.

Самое внимательного рассмотрения требует фактор достоверности существующих и вновь разрабатываемых методов анализа. Необходимо дать объективную оценку по их чувствительности, точности, правильности, экспрессности, стоимости. Для унифицированного представления основных сведений по методам использована идея создания аналитического паспорта, принадлежащая В. Г. Сочеванову.

Аналитический паспорт метода представляет собой единый

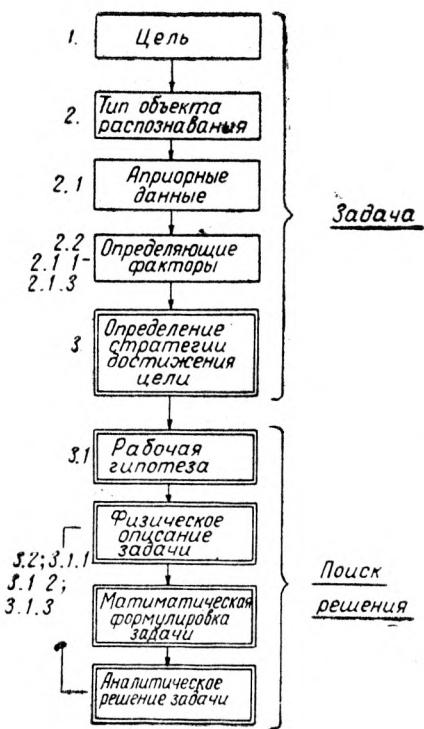


Рис. 2. Блок-схема процесса математического моделирования комплекса аналитических методов исследования минерального сырья

бланк, в который вносятся: а) методические характеристики (определяемый компонент, рекомендуемый интервал содержания, объекты исследования, принцип метода, аппаратура, избирательность, количественное влияние сопутствующих элементов); б) метрологические характеристики (величина утроенной среднеквадратичной ошибки фона (критерий Кайзера), нижний предел определения со среднеквадратичной ошибкой 30%, верхний предел определения с указанием относительной среднеквадратичной ошибки, точность и правильность метода (воспроизводимость по результатам определений зашифрованных проб, ошибка за счет неконтролируемых вариаций состава проб, суммарная среднеквадратичная ошибка, остаточные систематические абсолютные и относительные ошибки, запас точности по отношению к допустимым расхождениям для данной категории анализа) (Методы лабораторного контроля..., 1975). Помимо этого, в паспорт вносятся ряд экономических характеристик: средняя продолжительность определения, средняя трудоемкость одного определения, стоимость, удельная пропускная способность, эффективность и экономичность метода.

Метрологические характеристики методов устанавливаются путем обработки архивных данных внутреннего и внешнего

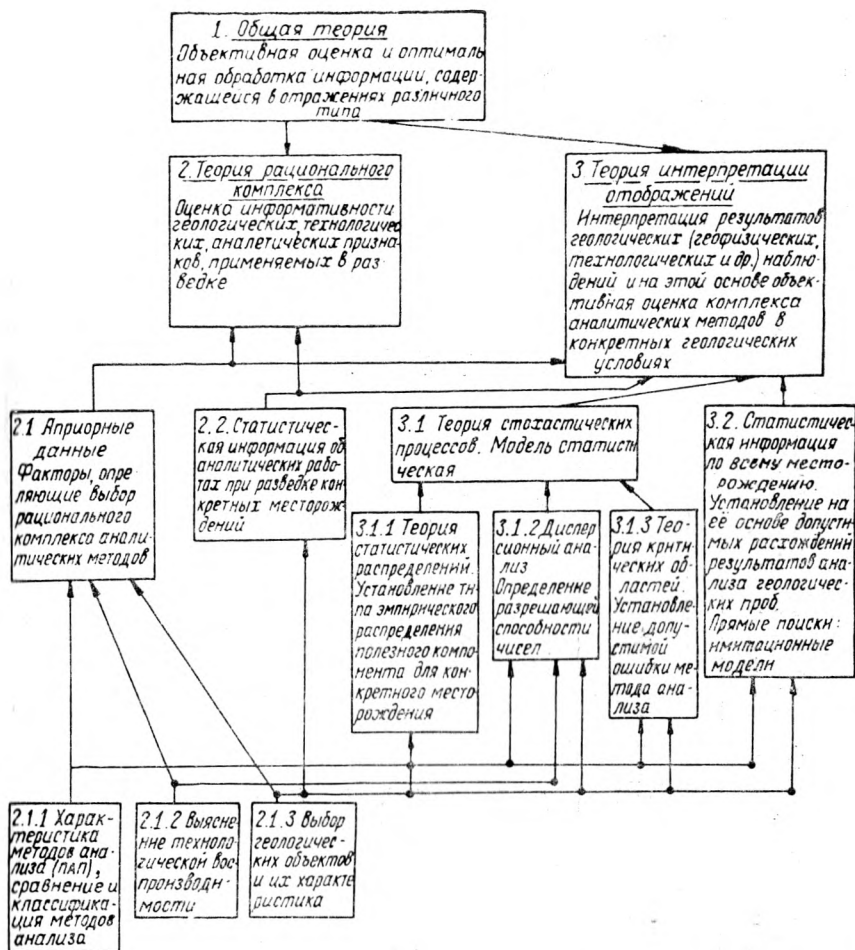


Рис. 3. Расшифровка блок-схемы процесса математического моделирования

контроля, а также по результатам анализа контрольных проб и стандартных образцов.

Результаты статистической обработки более тысячи данных внутрилабораторного контроля по основным методам определения олова и вольфрама, проведенные Центральной лабораторией Приморского ТГУ, показали, что при массовом определении Sn и WO_3 химическими методами запас точности достаточно высок. Эмпирическое среднеквадратичное отклонение иногда превышает допустимое в 1,5—2 раза.

В табл. 2 приведена оценка среднеквадратичной ошибки при определении олова йодометрическим методом.

Ценную информацию о воспроизводимости и правильности

Оценка величины среднеквадратичных ошибок при определении олова (окисное) йодометрическим методом по результатам внутрилабораторного контроля Центральной лаборатории ПГУ за 1970—1973 гг.

Содержание олова (окисное) в класс, %	Объем выборки, шт.	Среднее содержание олова, %			Среднеквадратичная ошибка			Запас точности $(\sigma_{\text{теор}})$ г
		по основному анализу (C_1)	по контрольному анализу (C_2)	по выборке (C)	абсолютная, ($\sigma_{\text{эм}})$	относительная, ($\sigma_{\text{эм}})$ г	относительная, ($\sigma_{\text{теор}})$ г	
2—4,99	33	2,70	2,71	2,71	0,0500	1,8	4,3	2,4
1—1,99	69	1,30	1,30	1,30	0,0344	2,6	5,7	2,2
0,5—0,99	124	0,69	0,70	0,70	0,0327	4,7	7,5	1,6
0,2—0,499	189	0,32	0,33	0,32	0,0145	4,5	9,6	2,1
0,1—0,199	146	0,14	0,15	0,15	0,0128	8,8	12,5	1,4
0,05—0,099	65	0,07	0,07	0,07	0,0128	18,2	16,0	0,9
0,02—0,049	30	0,03	0,03	0,03	0,0074	24,6	20,0	0,8

Примечание. Минимально допустимый запас точности $\approx 0,7$.

методов анализа несут аттестационные анализы стандартных образцов природных проб. Так, по результатам аттестационных анализов были уточнены требования к полным силикатным анализам.

Вопрос о конкретном и обоснованном требовании к точности, чувствительности, экспрессности анализа, как правило, вызывает значительные трудности и решается заказчиком во многих случаях по наитию: как можно точнее, быстрее и дешевле и исходя из традиционных, часто необоснованных метрологических требований. Примером этого может служить обязательное условие силикатного анализа, при котором сумма должна быть в пределах 99,5—100,5%. В этом случае считается, что содержание отдельных компонентов определено правильно и результаты анализа используются для далеко идущих выводов.

В то же время проведенные исследования показывают, что при этом доверительный интервал суммы компонентов при однократном полном анализе лежит в пределах 98,5—101,5%, что подтверждается опытом работ многих лабораторий (Сочеванов и др., 1975; Шоу, 1969).

Характеристика информативности аналитических методов будет неполной без их сравнительной оценки.

При разработке рационального комплекса аналитических методов целесообразно провести исследование, позволяющее классифицировать методы по их способности различать пробы друг от друга. В качестве критерия используется отношение сигнала к шуму (SN), определяющему как σ^2_M/σ^2_E , где σ^2 — дисперсия, обусловленная изменением сигнала от пробы к пробе анализируемой партии проб, σ^2_M — дисперсия аналитического метода (Fujimori et al., 1974). Этот критерий особенно эффективен в случае применения физических методов.

Для выяснения значимости систематических расхождений между результатами, полученными различными методами, рекомендуется следующая методика проведения работы. Методом дисперсионного анализа устанавливается однородность проб, проанализированных различными методами. Далее, по $m_i \geq 10$ групповым пробам, в которых содержание определяемого компонента принадлежит одному интервалу, согласно Инструкции внешнелабораторного контроля, представляются два параллельных результата. При этом параллельные определения проводятся в разное время, т. е. их можно считать независимыми. Одновременно с анализом групповых проб выполняется анализ одного или нескольких стандартных образцов (СО), причем состав и содержание определяемого компонента СО должны приблизительно соответствовать таковому определяемого компонента в групповых пробах. По каждому СО необходимо получить два параллельных определения. Значимость систематических расхождений устанавливается с помощью дисперсионно-

го анализа, t -критерия и u -критерия (Миллер, Кан, 1965; Коган, 1972).

Данные по аналитическим методам, включенные в паспорта, и результаты сравнения методов позволяют достаточно полно и объективно охарактеризовать возможности аналитических методов.

Следующий этап при решении задач оптимизации — планирование эксперимента. Необходимо обосновать объективный подход к выбору норм при аналитических измерениях для конкретных геологических условий и на этой основе рекомендовать комплекс аналитических методов.

Принцип, положенный в основу выбора комплекса аналитических методов, состоит в определении достаточной разрешающей способности чисел, характеризующих изменения содержания компонента в геологических пробах и в продуктах обогащения, т. е. выбор метода анализа определяется максимальным допустимым пределом ошибки (Шоу, 1969; Дальберг, 1973).

Из методов с одинаковой точностью, ошибки которых не превосходят установленного максимального предела, рекомендуется метод, обладающий наибольшей экспрессивностью — принцип наименьших затрат времени (Крейтер, 1961).

Оценка погрешности аналогии (природной изменчивости) и ошибок, привносимых опробованием, обработкой проб, их анализом, технологическими операциями, которые являются источниками вариации геологических и технологических показателей, оценка эффекта указанных вариаций требуют либо специальных экспериментов, либо использования архивных материалов, например для подсчета запасов.

Естественно, что применение статистических критериев требует выполнения определенных условий. Например, случайность данных, знание типа эмпирического распределения и т. д. Поэтому необходимо со всей ответственностью подходить к выбору элемента выборки и к объективной проверке основных положений используемых математических методов.

Выбор статистической модели на стадии поисково-оценочных работ при изучении месторождений III—VI оправдан относительно небольшим количеством данных (малое количество выработок, координированная изменчивость отсутствует) и типом месторождения (неравномерное распределение полезного компонента в рудном теле) (Каждан, 1974). Применение статистического аппарата при технологических исследованиях не вызывает сомнений.

Примером такого подхода могут служить результаты исследований, проведенных совместно с ПТГУ.

При выборе методов анализа продуктов обогащения (сульфидная флотация) эксперимент по установлению технологической ошибки воспроизводимости и соотношения ее с аналитической планировался в соответствии со следующей схемой

(рис. 4). Контроль за процессом сульфидной флотации вольфрамовой руды велся по меди, содержание которой определялось химическим методом.

При статистическом анализе результатов данного эксперимента использовался дисперсионный анализ. Суммарная дисперсия (σ^2_{Σ}) флотационных опытов (суммарная ошибка) складывается из следующих составляющих:

а) дисперсии σ^2_T , обусловленной факторами, медленно меняющимися во времени (изменение результатов опытов, проведенных через большой промежуток времени, например через месяц);

б) дисперсии σ^2_B , обусловленной факторами, быстро меняющимися во времени (воспроизводимость флотационных опытов за короткий промежуток времени);

в) дисперсии σ^2_0 , обусловленной воспроизводимостью метода анализа:

$$\sigma^2_{\Sigma} = \sigma^2_T + \sigma^2_B + \sigma^2_0.$$

Аналогичный эксперимент проведен по выщелачиванию мышьяка из предварительно подвергнутой хлорирующему обжигу окисленной полиметаллической руды одного из месторождений Средней Азии. Контроль за выщелачиванием мышьяка из огарка осуществлялся определением содержания мышьяка рентгеноспектральным методом. Результаты расчетов погрешностей определения содержания и извлечения меди и мышьяка приведены соответственно в табл. 3, 4, 5. Данные, приведенные в табл. 3, показывают, что погрешности, вносимые химическим анализом при определении содержания меди, составляют всего 10% от общей ошибки. Ошибка же флотационного опыта (90%) значительно превышает ошибку аналитического метода, причем при расчете извлечения доля аналитической ошибки становится еще меньше — 5% (табл. 4). Следовательно, для определения меди в концентратах и в хвостах после флотации в данном случае вполне мог быть применен менее точный, но более экспрессный метод, например рентгеноспектральный.

Расчет составляющих погрешностей определения мышьяка в кеках (табл. 5) рентгеноспектральным методом, отвечающим по точности требованиям III—VI категории, показывает, что погрешность, вносимая технологической воспроизводимостью, согласно критерию Фишера, значительно превосходит погрешность, обусловленную методом анализа ($F_{\text{мат.}} = 3,3$; $F_{0,05}(14, 15) = 2,4$) (Лн, 1966) и по отношению к общей ошибке составляет 53,1%.

Величина аналитической погрешности при единичном определении находится на максимально допустимом пределе. Следовательно, в данном случае метод анализа выбран в соответствии с принципом равной достоверности. Таким образом, про-

Навески для флотации (Сопытов) и для х.а (Инавеска)

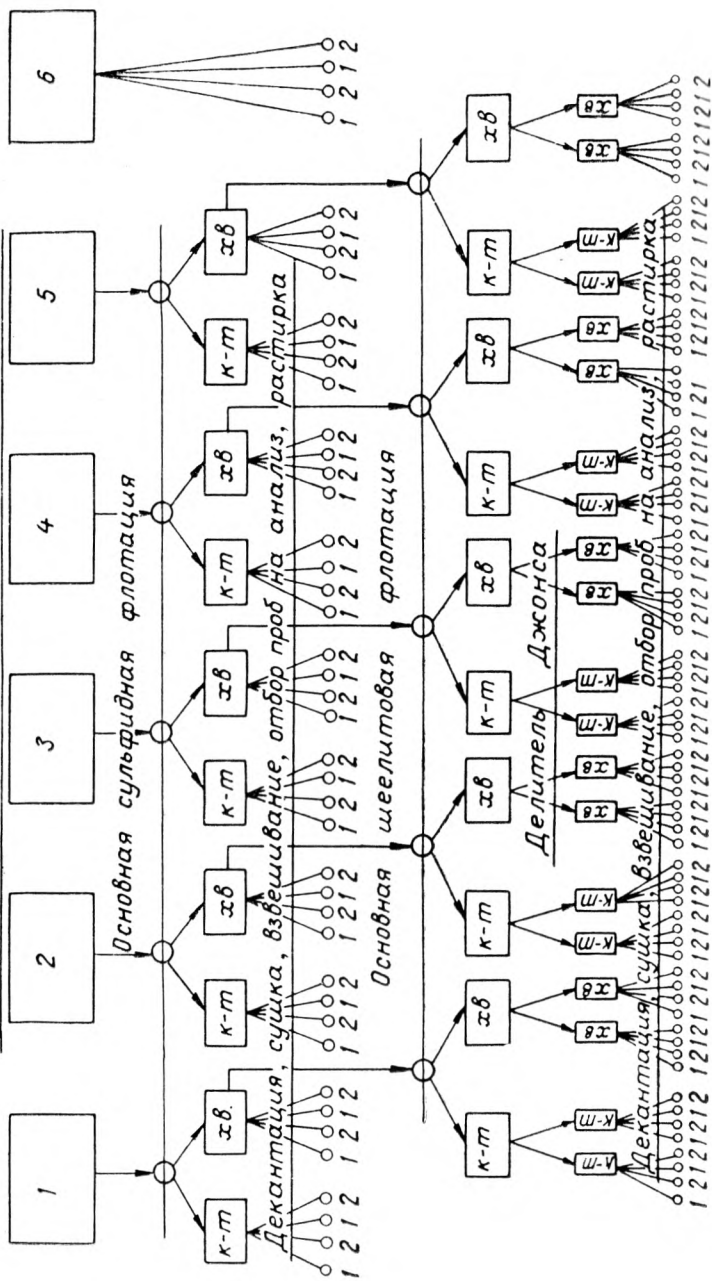


Таблица 3

Расчет составляющих погрешностей определения содержания меди в концентрациях ($C_{сч} = 0,86\%$)

Составляющие погрешности	Оценка σ^2 сод. меди	Оценка σ сод. меди	σ^2 сод. относ. %	Относит. % от общей ошибки
Химический анализ ($\sigma_{ан}$)	0,0020	0,045	25	10,0
Технологическая ошибка (σ_T)	0,0165	0,13	225	90,0
Сульфидная флотация в целом ($\sigma\Sigma$)	0,0185	0,136	250	100,0

Таблица 4

Расчет составляющих погрешностей извлечения меди в концентрат ($\epsilon = 90\%$)

Составляющие погрешности	Оценка σ^2_{ξ}	Оценка σ_{ξ}	σ^2_{ξ} относит. %	Относит. % от общей ошибки
Химический анализ ($\sigma_{ан}$)	0,57	0,73	0,67	4,5
Технологическая ошибка (σ_T)	10,99	3,3	13,92	95,5
Флотационный опыт в целом ($\sigma\Sigma$)	11,56	3,4	14,59	100,0

Таблица 5

Расчет составляющих погрешностей определения содержания мышьяка в кеках ($C_{ас} = 0,6\%$)

Составляющие погрешности	Оценка σ^2 сод. мышьяка	Оценка σ сод. мышьяка	σ^2 относ. %	Относит. % от общей ошибки
Химический анализ ($\sigma_{ан}$)	0,0004	0,020	10,79	46,9
Техническая ошибка (σ_T)	0,00044	0,021	12,25	53,1
Операция выщелачивания в целом ($\sigma\Sigma$)	0,00084	0,029	23,04	100,0

веденное исследование позволяет сделать вывод о возможности более широкого применения физических методов для анализа технологических проб. Следует отметить, что если при технологических исследованиях условия, необходимые для корректного использования дисперсионного анализа, выполняются достаточ-

Рис. 4. Схема проведения экспериментов по флотации сульфидно-скарново-шеелитовой руды

Исходная руда — 1+0 мм. Квартование (отбор 16 навесок по 1 кг). Измельчение до —0,15 мм (мокрое, перед каждым опытом)

Условные обозначения: к-т — концентрат, хв — хвосты, х. а. — химический анализ

по строго, то в задачах геологической разведки возможно их нарушение. Тем не менее можно утверждать, что в общем случае

$$(\sigma^2_{\Sigma})_r = (\sigma^2_{np})_r + (\sigma^2_{tex})_r + \sigma_{ан}^2, \quad (1)$$

где $(\sigma^2_{\Sigma})_r$ — суммарная дисперсия (в % этн.) определения содержания в единичной пробе;

$(\sigma^2_{np})_r$ — дисперсия, обусловленная «природной» изменчивостью компонента;

$(\sigma^2_{tex})_r$ — дисперсия, обусловленная технологическими погрешностями (пробоотбором, обработкой проб);

$(\sigma^2_{ан})_r$ — дисперсия, обусловленная анализом пробы.

Суммарное относительное среднеквадратичное отклонение коэффициента вариации, характеризующее степень представительности сопряженных проб для месторождений III и IV групп (неравномерные и весьма неравномерные), колеблется в пределах 50—150% (10, 11). В частности, суммарный коэффициент вариации (σ_{Σ}), определенный по результатам опробования Лермонтовского месторождения, составляет $\approx 70\%$. Для контроля проб использовался химический метод определения вольфрама, максимальная относительная ошибка которого ($\sigma_{ан}$) составляет 7%, для интервала содержаний вольфрама (5 9,99)%, согласно Инструкции по внутрилабораторному контролю (Методы лабораторного контроля..., 1975), т. е.

$$4900 = (\sigma^2_{np})_r + (\sigma^2_{tex})_r + 49, \quad (2)$$

Таким образом, дисперсия метода анализа составляет 1% от общей дисперсии. Увеличение ошибки анализа до 30% практически не повлияет на оценку суммарной вариации (дисперсии) признака, т. е.

$$(\sigma^2_{\Sigma})_r = (\sigma^2_{np})_r + (\sigma^2_{tex})_r + 900,$$

где $(\sigma^2_{np})_r + (\sigma^2_{tex})_r \approx 4900$ из уравнения (2) и суммарная вариация составляет ~ 4000 . На долю «представительности проб» по-прежнему приходится основная часть (4000) суммарной вариации.

Следовательно, даже ориентировочный расчет показывает возможность использования метода анализа с ошибкой порядка 30—40%. Имеется в виду анализ единичных проб месторождений III и IV групп.

Суммарный коэффициент вариации на стадии поисково-оценочных работ приближенно может быть оценен по результатам рентгенорадиометрических анализов. Максимальный предел аналитической ошибки уточняется на основе допустимой погрешности определения среднего при подсчете запасов (для категории $C_2 \approx 50\%$) и определенных вероятностей ошибок первого и второго рода (теория граничных областей) (Лп, 1966).

Для проверки правильности сделанных выводов о допустимости

мых нормах на анализы используются имитационные модели на основе данных разведанных месторождений (прямые поиски).

Могут возникнуть опасения, что при таком подходе на фоне большой случайной ошибки будет пропущена систематическая ошибка. Но, во-первых, при геологических работах пробы поступают на внешний контроль, который проводят в центральных лабораториях. Во-вторых, аналитический паспорт и результаты сравнения методов дают определенную информацию о систематической ошибке, характерной для метода. Наконец, при разработке метода возможно установить наличие определенного систематического расхождения по средним результатам анализа стандартного образца, т. е. установить значимость систематики на фоне даже малой ошибки, например по t -критерию $\left(t = \frac{\bar{d}}{S_{\bar{d}}} , S_{\bar{d}} \approx \frac{S_{ан.}}{\sqrt{n}} \right)$. В приведенных формулах $S_{ан.}$ —

среднеквадратичное отклонение единичного определения СО, n — количество определений; $S_{\bar{d}}$ — среднеквадратичное отклонение среднего ($\bar{d}$); $\bar{d}$ — систематическое расхождение между результатами анализа СО и паспортным значением.

Проверке систематических отклонений необходимо уделять самое пристальное внимание, так как очевидно, что даже систематическая ошибка порядка 10% приведет к повышению (занижению) запасов минимум на 10%.

Традиционно идет выбор методов для определения отдельных компонентов (группы компонентов) без какого-либо учета изложенных выше определяющих факторов. Приведенные здесь примеры показывают, что без ущерба для точности во всех этих случаях можно использовать более экспрессные, дешевые, мобильные методы.

Настоящая методика предлагается для рационального комплексования аналитических методов на стадии поисково-оценочных работ. Естественно, ее можно совершенствовать. Можно сказать, что в ней отображены необходимые, но недостаточные условия рациональности комплекса методов анализа. Основные положения методики могут быть рекомендованы для выбора рационального комплекса практически на всех стадиях геологоразведочного цикла изучения месторождений. Очевидно, может меняться и принцип, положенный в основу выбора норм на аналитические исследования.

Для геохимических поисков при выборе методов анализа использование принципа равной достоверности не только целесообразно, но и необходимо, что подтверждается как нашими исследованиями, проведенными в последние годы, так и рядом работ советских и зарубежных авторов (Шоу, 1969; Дальберг, 1973; Думлер, Шейнина, 1973).

ЛИТЕРАТУРА

- Дальберг Е. К. Алгоритмическое развитие программы геохимических поисков. — В кн.: Геохимические поиски, фундаментальные затраты зарубежных ученых по геологии, геофизике, геохимии. М.: Мир, 1973. 309 с.
- Думлер Ф. Л., Шейнина Г. А. Статистическое планирование эксперимента для дифференциального исследования аналитической и природной дисперсии. — Геохимия, 1973, № 3. 465 с.
- Каждан А. Б. Методологические основы разведки полезных ископаемых. М.: Недра, 1974, с. 210—219.
- Коган Р. И. Интервальные оценки запасов полезных ископаемых. М.: Недра, 1972. 77 с.
- Крейтер В. М. Поиски и разведки полезных ископаемых. М.: Гостехиздат, 1961. 78 с.
- Ли Р. Оптимальные оценки, определение характеристик и управление. М.: Недра, 1966. 3 с.
- Методы лабораторного контроля качества аналитических работ. Методические указания № 9. М.: ВИМС, 1975. 30 с.
- Миллер Р. Л., Кан Дж. С. Статистический анализ в геологических науках. М.: Мир, 1965, с. 92—219.
- Сочеванов В. Г., Бернштейн Л. Е., Масалович Н. С. Обоснование новых требований и точности полных анализов в горных породах. — Экспресс-информация. Лабораторные и технологические исследования и обогащение минерального сырья. М.: ВИЭМС, 1975, вып. 2. 1 с.
- Хоменюк Ю. В. Геологическая разведка как проблема опознания образцов. — В кн.: Математические методы исследования в геологии. М.: ВИЭМС, 1974, вып. 7, с. 8.
- Шоу Д. М. Геохимия микроэлементов кристаллических пород. М.: Недра, 1969, с. 19—30.
- Fujimori T., Miyazu T., Ishikawa L., Evalotion of Analytical Methods Nsing Signal — Noise Ration as a Statistical Criterion. — G. Microchemical, 19, 1974, p. 74—85.

О ВОЗМОЖНОСТЯХ РЕНТГЕНОРАДИОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА ОЛОВО ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ

Б. С. Григоркин

Якутское территориальное геологическое управление, г. Якутск

На северо-востоке Якутии наибольшим распространением пользуются механические ореолы рассеяния, солевые же ореолы играют подчиненное значение. В этих условиях шлиховой поисковый метод является основным. В настоящее время он не пользуется на всех этапах геологоразведочных работ, особенно при поисках россыпных месторождений олова. Кроме того, в Якутии широко применяются различные геохимические методы, в том числе литохимические. Одной из модификаций геохимических методов поисков является рентгенорадиометрическая (рентгенооловометрическая) съемка. Использование рентгенорадиометрической аппаратуры в полевых условиях позволяет успешно осуществлять поиски коренных и россыпных месторождений олова и некоторых других металлов по их механиче-

ким и солевым ореолам рассеяния. Применение этого метода при поисках россыпных месторождений олова позволяет сократить количество отбираемых шлиховых проб и, следовательно, минералогических анализов. По существу, основные наши исследования были связаны с решением этой проблемы. К конкретным задачам, которые решались при выполнении этих исследований, относятся: рентгенорадиометрический карottage скважин колонкового и ударно-механического бурения, изучение стенок шурфов, опробование выкладок шурфов, рентгенорадиометрический анализ керно-шламовых проб без предварительного их дробления и истирания, анализ «серых» шлихов и концентратов естественного гранулометрического состава. Решение перечисленных задач связано с изучением механических ореолов рассеяния олова и выяснением возможностей использования рентгенорадиометрической аппаратуры в полевых условиях для проведения рентгенооловометрической съемки.

Предпосылки применения рентгенорадиометрического метода (РРМ) на россыпных месторождениях

Рентгенорадиометрический метод на россыпных месторождениях ранее не применялся из-за специфических особенностей этого класса месторождений и особого подхода к методике опробования и подсчета запасов металла.

К промышленным россыпям олова относятся те, в которых содержание его в песках составляет около 500 г/м^3 , или $0,025\%$. Одновременно, по данным промывки проб, осуществляется оконтуривание россыпи по бортовым содержаниям, равным 40 г/м^3 , или $0,002\%$ олова. Указанные содержания достаточно малы, и обнаружение олова при таких его концентрациях не обеспечивается чувствительностью существующей аппаратуры. По существу, это и препятствовало применению методов ядерной геофизики на россыпных месторождениях вообще и рентгенорадиометрического метода, в частности. Повышение чувствительности приборов в настоящее время и в перспективном плане является важной проблемой, частные задачи которой могут быть решены в рамках серийной спектрометрической аппаратуры.

В общетеоретическом плане потенциальные запасы любого россыпного месторождения, в том числе олова, можно разделить на несколько составляющих.

1. Полезный компонент, представленный в россыпи минералом или самородным металлом различных классов крупности и извлекаемый в результате промывки шлихов обычными способами. Для определения его содержания используются минералогический, объемный, химический, рентгенорадиометрический и другие методы анализа. В зависимости от качества промывки

содержание металла в шлихе может изменяться в известных пределах. Как правило, горнодобывающими предприятиями на разведанных площадях извлекается больше металла в сравнении с запасами, подсчитанными по результатам разведки с использованием намывочного коэффициента. Это объясняется несовершенством методов опробования, применяемых на поисково-разведочной стадии работ.

2. Мелкая фракция полезного компонента также представлена минералом или самородным металлом, как правило, не извлекаемыми при обогащении обычными приемами.

3. Связанный полезный компонент входит в виде включений в другие минералы и не извлекается при обогащении.

4. Замаскированный полезный компонент находится в обломках минералов и пород в виде отдельных зерен, скоплений, которые обычно смываются и не попадают в концентрат. Для его извлечения требуется дополнительное дробление пробы и последующие обогащение. По технико-экономическим причинам эти операции не выполняются, и невыявленный полезный компонент попадет в отвалы.

Таким образом, только часть запасов металла, сконцентрированного в пробе, выделяется при промывке. Предварительная и детальная разведка сопровождается технологическими испытаниями, по результатам которых принимаются определенные меры для более полного извлечения металла. На поисковой и оценочной стадиях такие испытания не проводятся, поэтому оценка участка основывается на данных лотковой или полумеханизированной промывки.

С учетом вышесказанного попытаемся дать приближенную оценку общего содержания олова. Предположим, что, по данным промывки, среднее содержание олова в расчетном контуре россынного месторождения $C_1 = 0,025\%$ (500 г/м^3), намывочный коэффициент для месторождения $K_n = 2$, т. е. $C_2 = 0,025\%$ (500 г/м^3), среднее содержание олова в техногенной россыпи (в отходах крупной фракции) $C_3 = 0,05\%$ олова (1000 г/м^3), а содержание олова в илистой фракции $C_4 = 0,05\%$ (1000 г/м^3), то общее содержание олова на месторождении составит

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 = 0,025 + 0,025 + 0,05 + 0,05 = 0,15\%,$$

или 3000 г/м^3 , т. е. в 6 раз больше, чем по данным промывки ($K = C : C_1 = 0,15 : 0,025 = 6$). Определение общего содержания (C) обеспечивается серийной спектрометрической аппаратурой типа РРША-1, РПСЧ-0,1, Минерал-4, порог чувствительности которых изменяется в интервале $0,05 - 0,1\%$, на месторождениях относительно простого вещественного состава.

Как уже отмечалось выше, минимальное содержание олова, по данным промывки, которое учитывается при разведке, по отношению в забалансовый контур, составляет 40 г/м^3 ($0,002\%$).

Общее содержание олова ($C_{\text{общ./мин.}}$) с учетом пересчетного коэффициента ($K=6$) составит

$$C_{\text{общ./мин.}} = C_{\text{пл./мин.}} \cdot K = 40 \cdot 6 = 240 \text{ г/м}^3 (0,012\%),$$

где $C_{\text{пл./мин.}}$ — содержание олова в шлиховой пробе по данным минералогического анализа.

Отсюда видно, что для определения минимальных содержаний олова требуется спектрометрическая аппаратура с нижним порогом чувствительности 0,01%. Эти теоретические представления были положены в основу методики проведения работ первой стадии, начатых Янской экспедицией в 1971 г., когда были сформулированы задачи по применению ядерной геофизики в россыпной геологии.

Вопрос о действительных значениях коэффициента сноса олова при длительной обработке пробы (промывка, обогащение, доводка «серого» шлиха до «черного» и т. д.) — достаточно сложный и дискуссионный. Здесь необходимо отметить лишь основные причины, которые будут влиять на коэффициент сноса касситерита при промывке. К ним относятся: типы оловянных россыпей, ландшафтно-климатические условия, гранулометрическая характеристика продуктивных песков, содержание глинистой фракции в песках, способ и качество промывки проб и другие методические и технические вопросы. Следует также подчеркнуть, что, согласно проведенному обоснованию, рентгенорадиометрический метод может успешно применяться на всех стадиях геологического процесса при изучении механических ореолов рассеяния, где общее (а не извлекаемое) содержание металла в отложениях превышает 0,01%. Этот метод становится связующим звеном между шлиховым и металлометрическим методами, поскольку получаемые при его использовании результаты являются более полными, учитывают содержание полезного компонента в различных формах и фракциях рыхлых отложений.

В механических ореолах рассеяния, изучением которых занимается шлиховая съемка, извлекается только свободное олово в форме касситерита. Связанное олово в крупной фракции в форме касситерита и других минеральных включений не учитывается. Мелкая фракция также не учитывается, так как выносится со сливом при промывке. При металлометрической съемке учитывается в основном мелкая фракция и полностью учитывается связанное олово и свободный касситерит более крупной фракции. В отличие от этих методов, рентгенорадиометрическим методом определяется суммарное содержание олова, что дает более объективные и надежные результаты.

Вопросы точности работ, пороговой чувствительности, представительности анализа и другие методические вопросы с вытекающими из них выводами рассматриваются по результатам лабораторных исследований и поисковых работ.

Результаты сопоставления рентгенорадиометрического и шлихового методов опробования по выкладкам шурфов

В зимний период 1973/74 г. на выкладках из шурфов россыпного месторождения Хонор с целью определения содержания олова в проходках и сопоставления результатов с данными геологического опробования был применен рентгенорадиометрический метод.

В геологическом отношении район месторождения сложен осадочными породами триаса, которые прорываются гранодиоритами. Рудная минерализация (олово, вольфрам) контролируется разрывными нарушениями и многочисленными трещинами. Оловянно-вольфрамовое оруденение приурочено к штокверкоподобной зоне северо-восточного простирания. Распределение металла внутри зоны неравномерно, изменяется от сотых долей до нескольких процентов.

Делювиальная россыпь образовалась за счет разрушения коренного источника (штокверковая зона) и сноса по склону механического ореола. Рыхлые отложения представлены щебнем, связанным супесью. Мощность рыхлых отложений колеблется в пределах 2—7 м. Пески месторождения легкообогатимые. Гранулометрическая характеристика концентрата по фракциям представляется следующим образом: 0,5—2,0 мм (72,3%); <0,5 мм (22,2%); >2,0 мм (5,5%).

Методика изучения выкладок заключалась в следующем. Измерения выкладок шурфов проводились на промывочной фабрике геологоразведочной партии. С каждой проходки шурфа (интервал проходки 0,4 м, сечение шурфа 1,25 м²) отбиралась проба по 2 ендовки (≈ 80 кг) для выполнения оперативной промывки и выявления содержания металла. Перед промывкой проба исследовалась рентгенорадиометрическим методом. Для этого она раскладывалась на противни в виде четырехугольной усеченной пирамиды высотой 7—10 см, размером верхнего сечения 0,7×0,7 м². Измерения поверхности выкладки выполнялись по квадратной сети с набором 100 и 50 точек измерения, квадратной и прямоугольной сети — с набором 20 точек, по диагональной схеме — непрерывно по диагоналям. Затем пробы перемешивались до глубины 1,5—2 см с последующими контрольными измерениями. Далее с поверхности выкладки отбиралась задиrkовая проба (глубина 1,5 см). Геологические пробы дробились до фракции 2 мм, анализ которой осуществлялся прибором, а затем после истирания до 200 меш пробы анализировались химическим и рентгенорадиометрическим методами.

Изучение выкладок, проб с фракцией >2 мм и порошков выполнено на приборе РРША-1 с датчиком для стенок горных выработок и вычислительным устройством конструкции

ИЗК-ЛГУ. Характерное излучение олова возбуждалось тремя источниками америций-241 активностью по 50 мКи каждый и промежуточной мишенью из окиси тербия.

Измерения выполнялись по способу стандарт — фон с нормированием на величину отношения на модели «пустой» породы. Вычисление постоянного фона автоматическое.

Аналитическим параметром служит выражение η/η_0 , где η — отношение средней величины характеристического излучения олова в точке измерения, а η_0 — аналогичный параметр на модели «пустой» породы. Измерения выполнялись в энергетических интервалах 23 ± 2 кэВ и 36 ± 2 кэВ. Детектор рентгеновского излучения состоит из кристалла NaY (Ti) размером 18×2 мм с фотоумножителем ФЭУ-85. Разрешение счетчика составляет 33% по K_{α} серии олова. Одновременно информация от пробы в датчик поступает с площади 20 см^2 . Прибор позволяет рассчитывать среднее значение аналитического параметра по выкладке в целом. Для этого все единичные измерения по профилям суммируются и находится среднее значение от количества измерений.

В табл. 1 приводятся результаты сопоставления рентгено-радиометрического опробования поверхности выкладок и химического анализа задириковых проб с указанием содержания извлеченного олова по результатам промывки 39 проб, отобранных из пяти шурфов двух разведочных линий. Средняя относительная ошибка составляет 8%. Инструкцией ГКЗ для класса содержаний менее 0,05% олова нормы ошибок не устанавливаются. Среднее отношение фактического расхождения ($P, \%$) к допустимому ($D, \%$) составляет $\frac{P}{D} = 0,75$ и допустимо

для проб III категории с низкими содержаниями. Из анализа материала, приведенного в правой половине табл. 1, видно, что среднее содержание олова в проходках, по данным геологического опробования, занимает в 6 раз и более. Это отражено в графах 10 и 11 (табл. 1), где указано весовое содержание олова в пробах и результаты пересчета весового содержания его в процентах с учетом объемного веса песков (2 г/см^3). Другими словами, средние потенциальные запасы олова в проходках составляют 450 г/м^3 , в то время как количество извлекаемого олова не превышает 70 г/м^3 .

Средние коэффициенты, согласно табл. 1, следующие. Абсолютная случайная погрешность $P = 0,0093\%$; среднее содержание олова в пробах, по данным химического анализа, $M = 0,850 : 39 = 0,0218\%$; среднее содержание олова в тех же пробах, по данным рентгенорадиометрического анализа, $M_1 = 0,916 : 39 = 0,0236\%$, относительная погрешность $P_1 = 8\%$, среднее значение фактического расхождения составляет $P_{\text{ср}} = 56,5\%$; допустимого — $D_{\text{ср}} = 60\%$. Средние значения рас-

Сопоставление результатов рентгенорадиометрического (РРА) и химического (ХА) анализов выкладок

№ п/п	Номер про- ходки	Номер пробы	Содержание олова		Знак откло- нения	Вели- чина откло- нения	Фак- тиче- ское рас- хож- дение (П), отн. %	Допу- сти- мые (отно- сит.) рас- хож- дения, % %	Содержание олова по результатам хим. анализа		Отноше- ние ре- зульта- тов РРА к данным хим. ана- лиза шлинговых проб (K=5:11)	Отношение результатов ХА задирик. проб к дан- ным хим. анализа шлинговых проб (K ₁ =4:11)
			по ХА задирик. ков. пробы, % %	по РРА по- верхн. вык- ладки, % %					г/м ³	весовой % проб		
Линия 60, шурф 104												
1	23-24/1	35	Н/Б	0,034	+	0,034	200	55	137	0,00685	4,96	—
2	25-26/1	15	0,02	0,028	+	0,008	33	55	101	0,0051	5,49	3,93
3	33-34/1	34	0,03	0,018	—	0,012	50	55	67	0,0034	5,30	8,80
4	35-36/1	16	0,02	0,021	+	0,001	4,9	55	77	0,0039	5,39	5,15
5	39-40/1	40	0,04	0,038	—	0,002	5	55	139	0,0070	5,44	5,71
6	41-42/1	39	0,04	0,040	0	0	0	55	114	0,0057	7,02	7,01
7	45-46/1	38	0,05	0,038	—	0,012	27	55	181	0,0090	4,22	5,55
8	47-48/1	37	0,02	0,034	+	0,014	52	55	111	0,0056	6,06	3,58
9	47-48/2	14	0,02	0,036	+	0,016	57	55	111	0,0056	6,44	3,58
10	49-50/1	36	0,02	0,041	+	0,021	67	55	113	0,0057	7,20	3,52
Линия 64, шурф 92												
11	5-6/1	18	0,01	0,007	—	0,003	35	67	Знаки	—	—	—
12	7-8/1	19	0,02	0,009	—	0,011	76	67	4	0,0002	45,00	100,00
13	9-10/1	9	0,02	0,010	—	0,010	66,7	67	3	0,00015	66,7	133,0
14	15-16/1	20	Н/Б	0,012	+	0,012	200	67	Знаки	—	—	—
15	17-18/1	21	0,01	0,017	+	0,007	52	67	»	—	—	—
16	21-22/1	22	0,02	0,008	—	0,012	86	67	»	—	—	—
17	23-30/1	23	0,02	0,009	—	0,011	76	67	»	—	—	—

18	31—32/1	24	0,01	0,020	+	0,010	66,7	67	»	—	—
19	33—34/1	25	0,02	0,010	—	0,010	66,7	67	»	—	—
20	7—8/1	13	0,02	0,011	—	Линия 64, шурф 96		58	67	36	0,0018
						Линия 64, шурф 100				6,11	11,10
21	3—5/1	1	0,02	0,017	—	0,003	16	67	80	0,0040	5,00
22	5—6/1	26	0,01	0,029	+	0,019	97	55	53	0,0027	3,71
23	5—6/2	27	0,03	0,027	—	0,003	10	55	53	0,0027	11,10
24	7—8/1	2	0,02	0,019	—	0,001	5	67	71	0,0036	5,55
25	7—8/2	3	0,03	0,028	—	0,002	7	55	71	0,0036	8,35
26	9—10/2	28	0,01	0,024	—	0,014	82	55	75	0,0038	2,64
27	11—12/1	29	0,03	0,027	+	0,003	10	55	44	0,0022	13,63
28	11—12/2	4	0,01	0,020	+	0,010	66,7	67	44	0,0022	4,55
29	13—14/1	31	0,01	0,024	—	0,014	82	55	118	0,0059	1,70
30	15—16/1	30	0,02	0,018	—	0,002	11	67	117	0,0058	3,45
31	15—16/2	8	0,03	0,031	+	0,001	3	55	117	0,0058	5,17
32	17—18/1	12	0,02	0,026	—	0,006	26	55	96	0,0048	4,16
33	17—18/2	5	0,04	0,035	—	0,005	13	55	96	0,0048	8,33
34	19—20/1	32	0,05	0,038	—	0,012	27	55	88	0,0044	11,35
35	21—22/1	33	0,02	0,029	+	0,009	37	55	82	0,0041	4,88
36	23—24/1	6	0,05	0,029	—	0,021	53	55	161	0,0081	6,18
37	23—24/2	7	0,03	0,026	—	0,004	14	55	161	0,0081	3,70
						Линия 64, шурф 104					
38	7—8/1	10	0,01	0,014	+	0,004	33	67	Знаки	—	—
39	13—14/1	11	Н/В	0,014	+	0,014	200	67	»	—	—
	Итого	Σ 0,850		Σ 0,916	—	Σ 0,362	Σ 2200	Σ 2337	Σ 2717	Σ 288,75	Σ 394,38

Примечание. Отклонение с отрицательным знаком установлено для 20 проб, с положительным — для 18.

четных и допустимых расхождений без учета проб 1, 14, 39 следующие:

$$P_{cp} = 44,5; \quad D_{cp} = 59,7\%.$$

Средние величины отношений результатов РРА и химического анализа задириковых проб к данным химического анализа шлиховых проб (K_{cp} и K_{lcp} соответственно) без учета проб 12, 13 составляют

$$K_{cp} = 6,32; \quad K_{lcp} = 5,99.$$

Расчет статистических характеристик результатов рентгенорадиометрического опробования по 39 пробам (табл. 1), выполненный по методу моментов, показал высокую надежность этого вида опробования. Так, значение среднеарифметического содержания олова (0,0236%), полученное в результате расчета, совпадает с его значением, приведенным в табл. 1, а среднеквадратичное отклонение единичного измерения, равное 0,01%, приблизительно соответствует чувствительности прибора. Ошибка среднеарифметического отклонения составляет 0,0016%, а его предельные границы при доверительном интервале 99,6% равны $0,0236 \pm 0,0048\%$. Значение коэффициента вариации (42,2%) соответствует равномерному распределению металла. Все это свидетельствует о достаточно высокой надежности рентгенорадиометрического метода опробования.

Результаты рентгенорадиометрической съемки в закопушках

Полевые испытания метода выполнены на делювиальной россыпи олова Эге-Хая. Рыхлые отложения месторождения (мощность 2—5 м) представлены щебнем алевролитов и сланцев с суглинками. Ситовый анализ пробы в объеме двух эндоков, отобранной из закопушки 172 (профиль II, пикет 725), дает следующую гранулометрическую характеристику (табл. 2).

Минералогический состав хвостов электросепарации класса (—0,5+0,25 мм) следующий. Обломки алевролитов и сланцев составляют 50%, лимонита — 28, кварца — 12, касситерита — 4, тонкозернистых агрегатов касситерита, кварца, лимонита — 6%.

Площадная рентгенорадиометрическая съемка проведена по закопушкам в отвалах канав глубиной 0,4 м по сети $(40—80) \times (10—20)$ м. Измерения по дну закопушки (1×1 м²) производились анализатором РРША-1. Техника и методика работ соответствует описанной выше.

В результате выполненной съемки устанавливаются две крупные аномалии северо-восточного простирания, отстоящие друг от друга на 375 м (по профилю II) и соответствующие рудным телам месторождения Эге-Кая. Максимальная интенсивность восточной аномалии составляет 1,08% при мощности зоны 90 м и фоновом содержании 0,01%. Западная граница восточ-

Гранулометрический состав рыхлых отложений делювиальной россыпи олова Эге-Хая

	Класс крупности частиц, мм						
	+50	-50 +25	-25 +10	-10 +4	-4 +2	-2 +1	-1 +0,5
Выход, г	6050	14500	9300	7495	4576	2807	2254
Выход, %	8,75	20,97	13,45	10,84	6,62	4,06	3,26

Окончание табл. 2

	Класс крупности частиц, мм				
	-0,5 +0,25	-0,25 +0,14	-0,14 +0,07	-0,071	Итого
Выход, г	2475	1092	6457	12134	69140
Выход, %	3,58	1,58	9,34	17,55	100,0

ной аномалии примерно соответствует выходу рудного тела на поверхность. Восточная граница смещается по склону на 75—80 м.

Западная аномалия характеризуется максимальным содержанием олова, равным 0,59%, при мощности аномальной зоны 275 м и фоновом содержании 0,01%. Восточная граница аномалии соответствует выходу рудного тела на поверхность, а западная смещается вниз по склону на 250 м.

Локальный характер аномалий, существенно высокое содержание олова в механическом ореоле рассеяния указывают на необходимость изучения аномалий по канавам. Проходка выработки вверх по склону неизбежно приведет к выявлению рудного тела под наносами.

Согласно гранулометрической характеристике частиц, удельный вес щебнистых образований достаточно велик (43%), что приводит к неоднородности распределения частиц щебенистой, гравийной и песчано-глинистой фракций. Пропуска механического ореола по РРМ не происходит, но конфигурация аномалии может уточняться в зависимости от характера отложений на дне закопушки.

Результаты работ по профилю II свидетельствуют о наличии примерно логарифмически-нормального распределения олова по профилю наблюдения, которое выражается зависимостью вида

$$C_x = C_{\max} \cdot e^{-\frac{(\ln x)^2}{2\sigma^2}},$$

где C_x — содержание олова (г/м^3); $C_{\max}$ — максимальное содержание олова в эпицентре аномалии; x — расстояние от эпи-

центра аномалии (м); σ — коэффициент рассеяния ($\sigma=1,25$ м).

Если нижний порог чувствительности аппаратуры равен 0,01% (200 г/м³), то аномалия принимает уровень порога на расстоянии 41 м от эпицентра и 81 м от рудного тела (эпицентр аномалии смещен от рудного тела на 40 м — профиль II, Восточная аномалия). Результаты расчетов по формуле удовлетворительно согласуются с опытными данными.

Анализ материала позволяет сделать следующие выводы.

Рентгенорадиометрический метод — дополнительный метод геологического опробования на россыпных месторождениях олова. С его помощью можно установить общее содержание олова в пробах, а затем и потенциальные запасы его в недрах. Традиционным методам опробования (ручная промывка проб на лотках или механизированная промывка на полупромприборах) свойственны недостатки, главные из которых — потери касситерита при промывке и доводке шлиха за счет мелкой фракции. Кроме того, рентгенорадиометрический метод может использоваться при поисках и оценке коренных месторождений олова.

Сопоставление содержаний олова по РРМ и химическому методу задириковых проб указывает на хорошую сходимость при относительно низких содержаниях олова в пробах. Этот результат одновременно свидетельствует о равномерном распределении касситерита в массе песков. При выемке породы из шурфов происходит перемешивание материала, в том числе касситерита. Эти результаты создают предпосылки для выполнения оперативного опробования шурфов по выкладкам.

Достоинством РРМ является оперативность получения результатов опробования (анализа) на месте залегания пород. Метод рекомендуется комплексировать на перспективных площадях с металлометрической и шлиховой съемками.

РРМ может выгодно применяться в комплексе с горными выработками и, таким образом, непосредственно влиять на их размещение на участке работ при поисках и прослеживании рудных тел.

РРМ параллельно решает и важный методический вопрос о глубине отбора пробы при металлометрической съемке. Непрерывное опробование разреза рыхлых отложений в горных выработках позволяет оперативно выявить наиболее представительный горизонт опробования.

Геохимические исследования по механическим ореолам рассеяния в оловоносных районах Якутии могут успешно выполняться современными анализаторами серийного производства типа СРП-4-0,1, РРША-1 с порогом чувствительности приборов 0,50—0,1% по олову. При более низких содержаниях олова в ореолах рекомендуется использовать прибор РРША-1.

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОЛОВА, ВОЛЬФРАМА, РТУТИ

А. А. Меняйлов, Д. М. Воинков, В. Д. Нартиков,
Н. И. Рафиенко, Х. М. Тимербаева

ВНИИЯГГ, г. Москва

Развитие методов ядерной геофизики применительно к поискам и разведке месторождений олова, вольфрама и ртути идет по линии разработки и внедрения: 1) экспрессного ядерно-физического анализа Sn, W, а также некоторых сопутствующих элементов в естественном залегании с помощью малогабаритной ядерно-физической аппаратуры; 2) высокочувствительного и высокоточного анализа основных полезных элементов, а также элементов-индикаторов, образующих геохимические ореолы; 3) гамма-спектрометрической съемки (аэро- и наземных вариантов); а) ядерно-геофизического каротажа скважин.

Во ВНИИЯГГе проводятся исследования по разработке методов экспрессного анализа на олово, высокочувствительного количественного определения широкого круга редких и рассеянных элементов в горных породах, рудах и минералах применительно к геохимическим поискам месторождений Sn, W и Hg, наземных и аэро-гамма-спектрометрических измерений и т. д.

Для экспрессного анализа руд олова в полевых лабораториях и в естественном залегании хорошо зарекомендовали себя рентгенорадиометрический метод и метод ядерного гамма-резонанса.

Опыт применения прибора МАК-1 на месторождениях олова различных формаций и типов (Иультинском, Валькумейском, Депутатском, Дубровском, Хрустальном и др.) показал высокую экспрессность и точность анализа.

Известно, что состав оловянных руд зависит от генетической и формационной принадлежности месторождения. Руды могут быть только оловянными и комплексными, в которых наряду с оловом промышленный интерес представляют вольфрам, медь, свинец и цинк. Комплексообразование рентгенорадиометрического и ядерного гамма-резонансного методов позволяет одновременно определять в естественном залегании олово, вольфрам, цинк, свинец, медь и железо.

Широко используется на крупнейших коренных оловорудных месторождениях Востока СССР мессбауэровский анализатор касситерита (МАК-1), который был создан ВНИИЯГГом в содружестве с Институтом химической физики АН СССР и НИИ КГ приборостроения. Этот прибор позволяет определять содержание окисного олова не только в порошковых

пробах, но и в естественном залегании горных пород по резонансному рассеянию гамма-квантов.

Сущность метода заключается в следующем. Часть гамма-квантов с энергией 23,8 кэВ, испускаемых неподвижным радиоактивным источником $\text{Sn}^{119\text{m}}\text{O}_2$, резонансно поглощается (или рассеивается) ядрами стабильного изотопа Sn^{119} , входящего в состав пробы в виде соединения SnO_2 . Относительное изменение скорости счета импульсов при неподвижном и движущемся источнике характеризует количество ядер Sn^{119} в пробе, т. е. и количество четырехвалентного олова в ней.

Для определения окисного олова в порошках используются сухие пробы (размер зерен 250 меш). Время анализа одной пробы в среднем 8 мин, точность в диапазоне 0,05—5% олова удовлетворяет требованиям анализа геологических проб.

При геологоразведочных работах на штокверковых месторождениях олова, а также на редкометалльных месторождениях с зонами метасоматитов и площадных грейзенов рудные тела обычно выделяются только по данным опробования, что задерживает темпы разведочных работ и их целенаправленность.

С помощью разработанного во ВНИИЯГГе инструментального нейтронно-активационного метода анализа можно определить ряд элементов — Fe, Se, Zn, Cr, Ag, Sb, Co, Sc — в малых навесках мономинеральных фракций. Изучено распределение их в арсенопиритах, пиритах и галенитах, некоторых месторождений касситерито-кварцевой, касситерито-кварцево-сульфидной и касситерито-сульфидной формаций Забайкалья и Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Так, для месторождений представляют интерес Sb, Co, Se, Ag, причем арсенопириты из месторождений разных рудных формаций четко различаются по содержанию в них Sb и Co, пириты — по содержанию Se, а галениты — по Se и Ag. Для арсенопиритов из месторождений касситерито-кварцевой формации Забайкалья характерно низкое содержание Sb и Co. Среднее содержание этих элементов составляет соответственно 3,7 и 3,6 г/т, в то время как для месторождений касситерито-кварцево-сульфидной формации оно увеличивается примерно в 2 раза (соответственно 7,3 и 6,4 г/т). Концентрации Se в арсенопиритах для месторождений обеих рудных формаций остаются одинаковыми и составляют в среднем 42 и 35 г/т. Содержания Ag очень низки и не превышают 0,1 г/т в обеих формациях. Значительно выше содержание Sb, Co, Se в арсенопиритах из месторождений касситерито-сульфидной формации Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Здесь средние концентрации Sb, Co и Se достигают 58, 163 и 116 г/т, а содержание Ag остается низким (0,1 г/т).

Если сравнить вышеприведенные средние содержания элементов-примесей в арсенопиритах из месторождений касситерито-сульфидной формации Охотско-Чукотского пояса с таковыми

из месторождений Средней Азии, то для них в пределах средних содержаний Sb —200—1200, Se —2—30, Ag —30—550 г/т устанавливается существенное различие по этим элементам. Приведенный материал по распределению элементов-примесей в арсенопиритах позволяет четко различать по ним не только месторождения разных формаций, но и месторождения одной формации, но различных регионов.

Анализами пиритов охарактеризованы месторождения касситерито-кварцево-сульфидной и касситерито-сульфидной формаций. При этом пириты из месторождений касситерито-сульфидной формации Охотско-Чукотского пояса резко отличаются от пиритов из месторождений касситерито-кварцево-сульфидной и касситерито-сульфидной формации Забайкалья по содержанию Sb , Co и Se . В пиритах из месторождений касситерито-сульфидной формации Охотско-Чукотского пояса средние содержания Sb —45, Co —0,1, Se —11 г/т, а в аналогичных месторождениях Забайкалья — 3,7; 15,7; 56 г/т. Пириты из месторождений касситерито-кварцево-сульфидной формации Забайкалья содержат в среднем Sb —2,9; Co —25,8; Se —4 г/т.

Сравнивая полученные данные средних содержаний Co —15,7; Se —56 и Ag —930 г/т в пиритах из месторождений касситерито-сульфидной формации Забайкалья с содержанием этих элементов в пиритах из месторождений касситерито-сульфидной формации Карамазара в Средней Азии — 10; 33 и 68 г/т соответственно, можно констатировать достаточно отчетливые различия пиритов по содержаниям этих элементов.

Приведенные данные подтверждают, что количественные показатели распределения элементов-примесей в разных минеральных видах сульфидов характеризуют их принадлежность к разным рудным формациям. Дальнейшее изучение закономерностей распределения элементов-примесей в сульфидах месторождений разных формаций может иметь не только теоретическое, но и практическое значение. Так, изучение элементов-примесей в сульфидах из оловорудных месторождений Комсомольского района на Дальнем Востоке позволило Е. А. Радкевич с сотрудниками использовать эти данные даже для определения глубины и температуры формирования рудной минерализации.

Возможности использования естественных радиоактивных элементов выявлены для ряда месторождений таких полезных ископаемых, как бокситы, фосфориты, тантало-ниобаты, редкие земли, вольфрам, олово, молибден, бериллий, алмазы, ртуть и др. Многие из них в своих рудах содержат радиоактивные элементы или входят как изоморфная или эндокриптная примеси в порообразующие или рудные минералы. При этом одни из них содержат значительные примеси тория, иногда в виде самостоятельных радиоактивных минералов, другие — урана (фосфориты), третьи — в основном высокотемпературные

пневматолито-гидротермальные месторождения—отличаются либо слабоповышенными содержаниями тория и урана, либо резким привносом или выносом калия. Калий является наиболее чувствительным элементом для высокотемпературных месторождений. Так, месторождения, залегающие в алюмосиликатной среде, характеризуются обычно альбитизацией, грейзенизацией, окварцеванием и калишпатизацией. Причем для околорудного процесса, связанного с альбитизацией и окварцеванием, характерным является резкий вынос калия при незначительном привносе урана и тория. При грейзенизации и калишпатизации, наоборот, калий привносится. На участках, где гидротермальный процесс проявлен слабо и рудные тела маломощны (менее 0,2 м), практически изменения содержания радиоактивных элементов, и особенно калия, не намечается. Хорошие результаты по калию получаются в тех случаях, когда месторождения залегают в интрузивных породах, имеют штокверковую форму или мощные протяженные рудные зоны с интенсивно развитым метасоматическим процессом, который находится в прямой зависимости от кислотности — щелочности рудоносных растворов.

Работами последних лет в ртутных провинциях показана принципиальная возможность использования наземных гаммаспектрометрических измерений для выделения зон дробления и участков гидротермального изменения пород, перспективных на ртутное оруденение. Анализ результатов исследования содержания радиоактивных элементов и их взаимоотношений с вещественным составом вмещающих пород, гидротермально измененных зон и ртутно-рудных тел показал, что, хотя содержание урана и тория в ртутно-рудных телах и зонах практически остается постоянным, имеются случаи наложения на них ураноториевой минерализации по мелким трещинам обычно пострудного характера.

Резко противоположно поведение в них калия, содержание которого в рудных телах и околорудно-измененных зонах снижается до 4—7 раз. Отсюда гидротермально измененные породы, ртутные тела и зоны дробления, перспективные на ртутное оруденение, можно выделить в сочетании с геолого-геохимическими факторами по Th/k , u/k или u/Th отношениям. При этом величина Th/k может использоваться как критерий для оценки месторождений, залегающих в терригенных толщах, u/k -месторождений, находящихся в эффузивных и u/Th -месторождений, преимущественно в карбонатных породах.

Таким образом, проведенные исследования по использованию естественных радиоактивных элементов показали, что они могут с успехом использоваться в поисковых целях и в сочетании с геолого-геохимическими факторами способствовать более целенаправленному ведению работ.

СОДЕРЖАНИЕ

Бураго А. И., Василенко В. П. Геохимические методы при поисках оловянных месторождений в Приморье	3
Селезнев П. Н., Кравцов В. А., Эйриш Л. В., Огнянов Н. В. Геохимические поиски оловянного оруденения в Хабаровском крае и Амурской области	11
Бабкин П. В., Павлюченко Л. А., Филимонов М. В. Геохимические поиски месторождений олова, вольфрама, ртути на Северо-Востоке СССР	18
Жбанов Э. Ф., Игнатович В. И., Зеленый Э. Н., Шабалин М. И. Эффективность геохимических поисков месторождений вольфрама и олова по вторичным ореолам в Западном Забайкалье	23
Игнатович В. И., Зеленый Э. Н., Жбанов Э. Ф. Особенности методики и результаты геохимических поисков месторождений олова и вольфрама	28
Никулин Н. Н. О минералого-геохимических критериях поисков и оценки оловянных месторождений	36
Калягин А. Н., Бураго А. И. Прогнозная оценка геохимических аномалий	46
Сегалевич С. Ф. Основные типы корреляционной связи элементов ореолов и использование корреляционных схем при интерпретации аномалий	61
Гаврилов В. И., Малямин П. Е. Использование геохимического метода при шлиховых поисках	68
Размахнин Ю. Н., Пахомов В. А. К генетической систематике оловянных месторождений, локализованных в вулканитах—пропилитах интрузивной области	71
Судаков А. В., Уткин В. П. Роль структурных и геохимических исследований при геологическом доизучении рудных районов (на примере Арминского оловянного района Приморья)	78
Коваль П. В., Кузнецова А. И. Распределение вольфрама в рудосносных мезозойских гранитоидах МНР	83
Сизых В. И. О зональности пространственного размещения вольфрамитовых месторождений Забайкалья	90
Гребенников А. М., Алентьев Ю. А., Цимбал Л. Ф., Шелагуров В. В., Юнин А. В. Перспективы рудоносности Куражинского рудного поля восточного Забайкалья	92
Бородин В. А., Бровчук И. Ф., Игнатович А. П., Макучарьянц Б. О., Ларкова Э. А. Минералого-геохимическая оценка уровня эрозийного выноса золото-сурьмяного оруденения	98
Епифанцев О. Г. Некоторые общие закономерности рассеяния—концентрации рудного вещества на рудных месторождениях	101
Остроумов Г. В., Масалович Н. С., Дегтяр К. С., Иванова И. Д., Фанасьева В. И. Рациональное комплексирование аналитических методов при геологических исследованиях	107
Григоркин Б. С. О возможностях рентгенорадиометрического метода при геохимических исследованиях на олово по вторичным ореолам рассеяния	122
Меняйлов А. А., Воинков Д. М., Нартиков В. Д., Рафиенко Н. И., Семирбаева Х. М. Ядерно-физические методы при поисках и разведке месторождений олова, вольфрама, ртути	133

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОЛОВА, ВОЛЬФРАМА
И РТУТИ

Редактор **Е. П. Горovenko**
Художник **Т. Е. Дурнова**
Техн. редактор **Л. С. Гришина**
Корректоры **Е. А. Рамм, В. В. Краснова**

ВД 14460. Сдано в набор 16.VII.1979 г. Подписано к печати
20.12.1979 г. Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 9. Уч.-изд. л. 9,8. Тираж
500 экз. Бумага тип. № 1. Цена 1 р. 50 коп. Заказ 369.

Редакционно-издательский отдел Дальневосточного научного
центра АН СССР. Владивосток, Ленинская, 50

Полиграфический комбинат Управления издательств, полиграфии
и книжной торговли Приморского крайисполкома. Владивосток,
Океанский пр., 69

Геохимические методы при поисках оловорудных месторождений в Приморье. Бураго А. А., Василенко В. П.— В кн.: Геохимические методы поисков месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 3—11.

Описываются геохимические критерии и методы, применяемые при поисках и оценке оловянного оруденения в Приморском крае, территория которого характеризуется сравнительно высокой геологической изученностью. Рассматриваются вопросы применения и комплексирования геохимических методов с геофизическими и общегеологическими на различных этапах и стадиях геологоразведочных работ. Приводятся сведения о результатах проверки бурением и горными работами геохимических прогнозов по оценке перспективности оловорудных объектов. Табл. 1.

Геохимические поиски оловянного оруденения в Хабаровском крае и Амурской области. Селезнев П. Н., Кравцов В. А., Эйриш Л. В., Огнянов Н. В.— В кн.: Геохимические методы поисков месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 11—17.

В Хабаровском крае и Амурской области при поисках оловянных руд достаточно эффективно применяются донное, литогеохимическое, гидрохимическое, массовое штучное опробование. При оценке оруденения на глубину применяются методы изучения первичных геохимических ореолов и минералого-геохимических особенностей руд, используются геохимические методы Ю. И. Бакулина, Н. Н. Никулина, В. Л. Барсукова. Приводятся сведения по надежности этих методов.

Геохимические поиски месторождений олова, вольфрама, ртути на Северо-Востоке СССР. Бабкин П. В., Павлюченко Л. А., Филимонов М. В.— В кн.: Геохимические методы поисков месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 18—22.

Приводятся конкретные примеры применения геохимических, ядерно-физических, рентгенорадиометрических методов при поисках месторождений олова, вольфрама и ртути. Обращается внимание на необходимость комплексирования геохимических методов с геофизическими и в том числе с аэро-гамма-спектрометрической съемкой.

Эффективность геохимических поисков месторождений вольфрама и олова по вторичным ореолам в Западном Забайкалье. Жбанов Э. Ф., Игнатович В. И., Зеленый Э. Н., Шабалин М. И.— В кн.: Геохимические методы поисков месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 23—28.

Описывается история развития и эффективность геохимических методов поисков месторождений олова и вольфрама в Западном Забайкалье. Выделяется три периода (1935—1955; 1956—1965; 1966—1975 гг.), характеризующиеся различным качеством и эффективностью работ. Рассматриваются основные проблемы, возникающие при литохимических поисках рудных месторождений и пути их решения.

Особенности методики и результаты геохимических поисков месторождений олова и вольфрама. Игнатович В. И., Зеленый Э. Н., Жбанов Э. Ф.—В кн.: Геохимические методы поисков месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 28—36.

Описываются особенности методики геохимических поисков в Западном Забайкалье в зависимости от ландшафтно-геохимических условий и детальности поисковых работ. Учет этих факторов, опережающее геохимическое опробование при геологической съемке м-ба 1 : 50 000, а также совершенствование методики оценки аномалий позволили повысить эффективность геохимических поисков. Это привело к выявлению месторождений молибдена, вольфрама, олова, пропущенных ранее при средне- и крупномасштабной геологической съемке.

Ил. 3.

УДК 551.84.094 : 553.45

О минералого-геохимических критериях поисков и оценки оловорудных месторождений. Никулин Н. Н.—В кн.: Геохимические методы поисков месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 36—46.

На примере месторождений Кавалеровского, Комсомольского и других оловорудных районов рассматриваются особенности распределения в них бора, фтора, меди, цинка, мышьяка, кадмия, индия и других химических элементов. Предлагается использовать кадмий-индиевое отношение содержания этих элементов в сфалеритах для определения уровня оруденения и разделения оловорудных объектов на перспективные и неперспективные. Масштаб оловянного оруденения рекомендуется определять с помощью индий-индиевого отношения концентраций этих элементов в касситеритах.

Ил. 1, табл. 1, библи. 17.

УДК 550.4 : 681.3

Прогнозная оценка геохимических аномалий. Калягин А. Н., Бурого А. И.—В кн.: Геохимические методы поисков месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 46—61.

На основе использования геохимических критериев и методов, разработанных в Приморье и других регионах страны научно-исследовательскими и производственными организациями, составлены алгоритм и схема прогнозной оценки оловянного, вольфрамового, свинцово-цинкового и другого оруденения, позволяющие решать комплекс поисковых задач, начиная от выделения аномалий и определения возможной рудной формации и кончая прогнозной оценкой их перспективности. Алгоритм реализован в виде комплекса программ ОГА-2 для ЭВМ ЕС-1020.

Табл. 5, библи. 12.

УДК 550.42:546:550.84.092.1(551.55)

Основные типы корреляционной связи элементов в ореолах и использование корреляционных схем при интерпретации аномалий. Сегалевич С. Ф.—В кн.: Геохимические методы поисков месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 61—68.

На примере Шерловогорского рудного поля рассмотрены особенности и виды корреляционных схем, отражающих связи химических элементов в первичных ореолах. Описаны принципы интерпретации

этих схем для выделения ассоциаций химических элементов, установления параметров ореола и особенностей его генезиса.

Табл. 3.

УДК 550.841

Использование геохимического метода при шлиховых поисках. Гаврилов В. И., Малямин П. Е.— В кн.: Геохимические методы поисков месторождения олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 68—70.

Рассмотрены возможности шлихо-геохимического метода. На примере ряда оловорудных месторождений Северного Сихотэ-Алиня проверена эффективность этого метода, выявлены минералы—концентраты олова. Показаны основные направления дальнейшего развития и совершенствования метода и расширения круга решаемых им задач.

Табл. 2.

УДК 553.45 : 553.24 (571.63)

К генетической систематике оловорудных месторождений, локализованных в вулканитах — пропилитах Сихотэ-Алиня. Размахнин Ю. Н., Пахомов В. А.— В кн.: Геохимические методы поисков месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 71—77.

Продуктивный оловорудный процесс и для складчатого фундамента и для вулканического чехла Сихотэ-Алиня рассматривается как единый «сквозной» процесс. При этом выделены две генетические группы месторождений — сингранитоидная, объединяющая месторождения, локализованные в экзо- и эндоконтактной зонах гранитоидов, и телегранитоидная группа. Месторождения последней располагаются в зоне экзо- и эндоконтакта куполов биотитизированных пород. Соответственно месторождения первой группы отвечают литофильной ветви оловорудного процесса, а месторождения второй группы соответствуют халькофильной ветви этого процесса. Возникновение двух промышленно-генетических линий оловорудного процесса увязывается с развитием инверсии кислотных свойств постмагматических растворов в одном случае в зоне эндо- и экзоконтакта гранитоидов, а во втором — в зоне экзо- и эндоконтакта куполов биотитизированных пород. Месторождения обеих групп подразделены на типы разной промышленной ценности.

Ил. 2, библ. 14.

УДК 550.84.092.1 : 553.45 (571.63)

Роль структурных и геохимических исследований при геологическом доизучении рудных районов (на примере Арминского оловорудного района Приморья). Судаков А. В., Уткин В. П.— В кн.: Геохимические методы поисков месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 78—82.

Рассмотрены вопросы проведения комплексных структурно-тектонических и геохимических исследований при геологическом доизучении рудного района, методика этих работ и их результаты. Структурно-тектонические исследования способствовали выявлению фрагментов региональных сдвиговых зон, в пределах которых размещены известные месторождения и рудопроявления. Геохимические исследования позволили дать прогнозную количественную оценку объектов на глубину и выделить среди них наиболее перспективные. На ряде объектов пра-

тельность сделанных прогнозов подтверждена последующими детальными поисковыми работами. Показана целесообразность применения обоих методов при поисках, геологической съемке и геологическом доизучении рудных районов.

Библ. 4.

УДК 550.4 : 546.78 : 552.3 (517.3)

Распределение вольфрама в рудоносных мезозойских гранитоидах МНР. Коваль П. В., Кузнецова А. И. — В кн.: Геохимические методы поисков месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 83—90.

Проведен анализ распределения вольфрама более чем в 20 рудоносных массивах мезозойских гранитоидов Восточной Монголии. Обосновывается выделение двух крайних типов геохимической эволюции вольфрамоносных интрузий и соответствующих им моделей рудообразующих систем и признаков потенциальной рудоносности.

Ил. 1, табл. 2, библ. 3.

УДК 553.46.078 (571.53/55)

О зональности пространственного размещения вольфрамитовых месторождений Забайкалья. Сизых В. И. — В кн.: Геохимические методы поисков месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 90—92.

Рассматриваются вопросы пространственной и генетической связи вольфрамового оруденения Забайкалья с интрузивным магматизмом и тектоническим развитием складчатых систем. С этих позиций объясняется разнообразие морфологических и минеральных типов вольфрамового оруденения. Отмечается, что юрские вольфрамовые месторождения контролируются гранитоидными массивами, а меловые — разрывными нарушениями. Предполагается, что источник рудного вещества кварцево-вольфрамито-сульфидных месторождений имеет большую глубину, чем кварцево-вольфрамитовых.

УДК 550.84.092.1 : 553.3.078 (571.53/55)

Перспективы рудоносности Куранжинского рудного поля Восточного Забайкалья. Гребенников А. М., Алентьев Ю. А., Цимбал Л. Ф., Шелагуров В. В., Монин А. В. — В кн.: Геохимические методы поисков месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 92—98.

Рассмотрены различные аспекты использования комплекса геологической, геофизической и геохимической информации для решения вопроса о перспективах редкометаллоносности одного из районов юго-западной окраины Агинского срединного массива. В качестве основных признаков рудоносности использовались особенности состава и строения эндогенных геохимических ореолов, развитых вокруг метасоматически измененных гранитных массивов. В результате проведения комплексных геолого-структурных, геофизических и геохимических исследований выявлена интенсивная геохимическая аномалия, свидетельствующая о перспективности на скрытое редкометальное оруденение как района в целом, так и его центральной части в особенности.

Показаны возможности применения современных методов интерпретации геолого-геохимической информации для прогнозной оценки перспективности территорий на скрытое промышленное оруденение редкометального типа.

Табл. 2.

Минералого-геохимическая оценка уровня эрозионного среза золото-сурьмяного оруденения. Бородин В. А., Бровчук И. Ф., Игнатович А. П., Макуcharьянц Б. О., Маркова Э. А.— В кн.: Геохимические методы поисков месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 98—101.

Показаны возможности использования форм нахождения ртути в образцах минералогически чистого кварца для определения уровня эрозионного среза и оценки перспектив глубоких горизонтов золото-сурьмяного оруденения.

Табл. 1.

Некоторые общие закономерности рассеяния — концентрации рудного вещества на ртутных месторождениях. Епифанцев О. Г.— В кн.: Геохимические методы поисков месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 101—107.

Распределение рудного вещества на ртутных месторождениях носит дискретный (ступенчатый) характер. Выделяются уровни концентрации рудного вещества: геохимический фон, первичный ореол I порядка, первичный ореол II порядка, концентрированное рудное скопление (рудное тело), ураганное скопление рудного вещества, первичный ореол выщелачивания. Между ними существуют четкие пространственные границы, а переход осуществляется посредством качественного скачка по мере накопления определенных количественных характеристик. Выделяется семь форм поведения различных геолого-геохимических признаков при переходе от первичного ореола к рудному телу.

Ил. 1, библи. 4.

Рациональное комплексирование аналитических методов при геологических исследованиях. Остроумов Г. В., Масалович Н. С., Дегтяр К. С., Иванова И. Д., Афанасьева В. И.— В кн.: Геохимические методы поисков месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 107—122.

Дается краткая характеристика аналитической службы системы Министерства геологии СССР по объемам работ, достигнутой чувствительности определения и пределу обнаружения различных элементов по состоянию на конец 1975 г. Рассматриваются некоторые методологические принципы выбора рационального комплекса аналитических методов при геологических исследованиях.

Ил. 4, табл. 5, библи. 12.

О возможностях рентгенорадиометрического метода при геохимических исследованиях на олово по вторичным ореолам рассеяния. Григоркин Б. С.— В кн.: Геохимические методы поисков олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 122—133.

Приводится обоснование рентгенорадиометрического метода поисков месторождений по их вторичным литохимическим ореолам рассеяния. Показано, что поиски месторождений олова могут осуществляться с применением аппаратуры типа РРША-1, СРПЧ-0,1 и др. при условии, если содержание металла в механических ореолах рассеяния

составляет 0,01% и более. Метод рекомендуется комплексовать с литохимической и шлиховой съемками, а также с горными выработками при вскрытии и прослеживании рудных тел.

Ил. 1, табл. 2.

УДК 550.84.082 : 543.5

Ядерно-физические методы при поисках и разведке месторождений олова, вольфрама, ртути. Меняйлов А. А., Воинков Д. М., Нартикоев В. Д., Рафиев Н. И., Тимурбаева Х. М.—В кн.: Геохимические методы поисков месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 133—136.

Применение инструментального нейтронно-активационного метода анализа позволило определить Fe, Se, Zn, Cr, Ag, Sb, Co, Sc в малых навесках мономинеральных фракций. Изучено распределение их в арсенопиритах, пиритах и галенитах некоторых месторождений. Количественные показатели распределения Sb, Co, Se, Ag в разных минеральных видах сульфидов позволяют различать месторождения разных формаций.