

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

**НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ
И ПОИСКАХ СКРЫТОГО ОРУДЕНЕНИЯ**

МОСКВА — 1976

550.84

НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ
И ПОИСКАХ СКРЫТОГО ОРУДЕНЕНИЯ

7059



Редакционная коллегия:
Э. Н. Баранов, Э. К. Буренков,
О. С. Клюев, И. Н. Резников,
Е. М. Янишевский (ответственный редактор)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Геохимические методы в настоящее время широко применяются на различных стадиях геологоразведочных работ. Их использование в комплексе с геологическими, геофизическими и техническими методами ведет к существенному повышению геологической и экономической эффективности геологоразведочных работ и способствует дальнейшему расширению минерально-сырьевой базы промышленности.

Публикуемые в настоящем сборнике статьи освещают опыт и результаты применения геохимических методов на различных стадиях геологоразведочных работ (региональные работы, поиски, предварительная разведка), полученные при работах, которые проводились Центральной геохимической экспедицией ИМГРЭ в различных рудных провинциях СССР. Данный сборник является третьим сборником работ сотрудников Центральной геохимической экспедиции и так же, как предыдущие сборники («Геохимические критерии прогнозирования и поисков рудных месторождений», 1973; «Геохимические методы прогнозирования и поисков рудных месторождений», 1976), имеет своей задачей — ознакомить работников геологических организаций с опытом применения геохимических методов и способствовать более глубокому внедрению этих методов в практику геологоразведочных работ.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКОВ ПРИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПРОГНОЗНЫХ РАБОТАХ

Современное состояние минерально-сырьевой базы Рудного Алтая, характеризующееся практической исчерпанностью фонда рудных месторождений, открываемых традиционными геологическими методами, остро ставит вопрос о внедрении в практику прогнозных и поисковых работ геохимических методов.

Первый опыт широкого внедрения их был предпринят Центральной геохимической экспедицией в процессе комплексных работ (1971—1973 гг.) по составлению прогнозно-металлогенической карты, которые проводились большим коллективом специалистов под руководством доктора геолого-минералогических наук Д. И. Горжевского (ЦНИГРИ). Анализ результатов этих работ позволил сделать вывод об их высокой эффективности, в связи с чем авторы сочли необходимым осветить эти результаты и изложить основные принципы разработанной методики.

Специфическими особенностями прогнозных геохимических работ на Рудном Алтае явились:

- а) хорошая геологическая изученность района, благодаря проведению больших объемов картировочного бурения;
- б) полный охват всей территории литогеохимическим опробованием по почвам и частично по коренным породам;
- в) наличие большого количества отобранных геохимических проб и аналитических данных по ним на 3—4 элемента (медь, свинец, цинк и частично барий).

Ограниченность числа анализируемых элементов и недостаточная чувствительность определений позволили только выделить геохимические аномалии, однако дать оценку их пер-

спективности было нельзя. В связи с этим сохранившиеся пробы были вновь проанализированы на полный комплекс элементов-индикаторов при достаточной чувствительности определения. Эти новые аналитические данные позволили уточнить контуры выделенных геохимических аномалий и произвести интерпретацию их и оценку перспектив рудоносности.

По нашему мнению, при проведении геохимических работ в условиях, аналогичных по геологическому строению и состоянию изученности районам Рудного Алтая, с целью выделения площадей, перспективных для выявления скрытого оруденения колчеданной формации, наиболее эффективной будет следующая очередность этих работ.

1. Анализ геологической информации с выделением по геологическим предпосылкам площадей развития продуктивных толщ и благоприятных структур.

2. Проведение при благоприятной мощности рыхлого покрова литогеохимического опробования почв (гор. А₁) на потенциально рудоносных участках для выявления экзогенных геохимических аномалий, их разбраковки и оценки с учетом ландшафтно-геохимических условий; на этом этапе могут быть использованы и качественные (достаточный комплекс элементов, удовлетворительная чувствительность и др.) результаты предшествующего литогеохимического опробования почв, проведенного на достаточном методическом уровне (достаточные комплекс элементов и чувствительность анализа).

3. Бурение на участках развития перспективных экзогенных геохимических аномалий неглубоких скважин по сети 100×500 м для вскрытия коренных пород. Целесообразность такого бурения обуславливается относительно небольшими размерами площадей развития ореолов известных месторождений этого района, составляющими 200×1000 м, а также необходимостью вскрыть эндогенный геохимический ореол не менее чем в двух-трех точках.

4. Геохимическое опробование керн картировочных скважин и обнажений (в случае их наличия), выделение эндогенных геохимических ореолов, их интерпретация и оценка, отбраковка ореолов, обусловленных проявлениями неколчеданного типа, эродированных рудных проявлений и уверенно установленных зон рассеянной минерализации. На этой стадии могут использоваться аналитические данные предшествующего геохимического опробования керн ранее пройден-

ных буровых скважин и обнажений (в случае удовлетворительного качества анализов). Могут быть переанализированы также дубликаты геохимических проб, ранее отобранных по коренным породам.

5. Проведение детальных поисков в пределах перспективных (по геохимическим данным) участков (рудных полей) в масштабе 1:10 000 с применением поисково-разведочного бурения.

Основные результаты геохимических исследований

Как итог прогнозных геохимических работ составляется карта, являющаяся геохимической основой прогнозно-металлогенической карты изучаемого района. В практике работ Центральной геохимической экспедиции уже имеется некоторый опыт составления подобных карт (Баранов и др., 1971; Резников, Янишевский, 1971).

В результате проведенных прогнозных геохимических работ, нами была составлена такая карта, являющаяся геохимической основой прогнозно-металлогенической карты крупного масштаба (фиг. 1). На эту карту были вынесены и обозначены определенной штриховкой все перспективные эндогенные геохимические аномалии (ореолы), выделенные с учетом геолого-структурных условий их залегания. Основой для классификации аномалий является степень их перспективности с учетом геохимических параметров, геолого-структурной позиции и степени изученности. На карте в контуре перспективной эндогенной геохимической аномалии обозначается наличие ее эпицентра и элементы залегания. Особыми значками показывается минералого-геохимический тип оруденения, обусловившего интерпретируемую аномалию, и степень его сохранности.

Сближенные площади развития аномалий, обусловленных неперспективным высокотемпературным оруденением, ореолы корневых частей эродированных рудных тел и заведомо установленных зон рассеянной рудной минерализации и другие неперспективные аномалии объединены и показаны на карте общим контуром неперспективных площадей. Особым крапом показаны площади, на которых признаки геохимических аномалий не были выявлены, неперспективные для выявления скрытого полиметаллического оруденения до глубины 300—500 м.

На изученной геохимическими методами территории Руд-

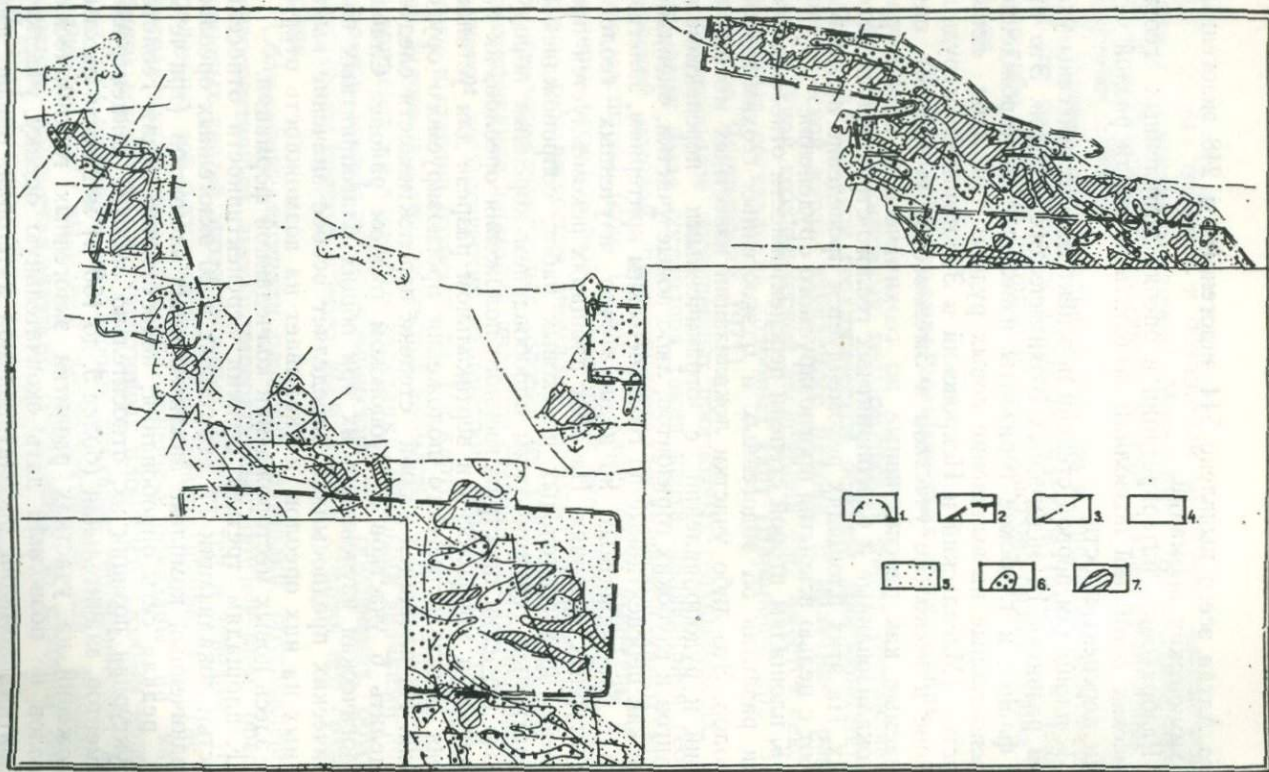
ного Алтая всего выявлено 544 эндогенных и 248 экзогенных геохимических аномалий.

Разбраковка, интерпретация и оценка выявленных геохимических аномалий позволили выделить площади разной степени перспективности.

К площадям первой степени перспективности отнесены участки развития 16 эндогенных геохимических ореолов. Это либо фланги и глубокие горизонты известных месторождений, перспективные на выявление новых рудных тел, либо новые участки (Масальский и Искровский в Золотушинском рудном районе и несколько участков в Змеиногорском районе), оцениваемые как перспективные по геохимическим параметрам и локализованные в благоприятных геолого-структурных условиях. На этих площадях рекомендуется проведение поисковых работ с целью вскрытия прогнозируемого оруденения.

К площадям второй степени перспективности отнесены участки развития 55 эндогенных и 6 экзогенных геохимических ореолов. Это либо участки локализации известных месторождений и рудопоявлений с ограниченными перспективами флангов и глубоких горизонтов, либо новые участки, оцениваемые как перспективные по геохимическим критериям, залегающие в благоприятных, но недостаточно изученных геолого-структурных условиях. На этих площадях рекомендуется проведение предварительных поисковых работ, сопровождаемых оперативным геохимическим опробованием коренных пород с целью изучения пространственного положения ореолов, их параметров и морфологии в вертикальном разрезе для установления пространственного положения прогнозируемого оруденения. Из площадей второй степени перспективности следует выделить 6 участков в Рубцовском рудном районе. Слабая геологическая изученность их при общих благоприятных геологических предпосылках определяет особое значение выявленных на них ореолов и указывает на возможность открытия здесь новых месторождений колчеданной формации.

К площадям третьей степени перспективности отнесены участки локализации 77 эндогенных и 20 экзогенных ореолов. Ограниченный комплекс анализируемых элементов (три-четыре), редкая сеть опробования, недостаточно ясная геолого-структурная позиция их, относительно высокие концентрации элементов, значительная (более 5, до 150 м) мощность рыхлых отложений на участках развития экзогенных геохимических ореолов не позволили дать окончательную оценку участкам развития аномалий рассматриваемой категории, однако име-



ется возможность рекомендовать проведение на них предварительных поисков второй очереди.

Остальные 406 эндогенных и 22 экзогенных геохимических аномалий отбракованы как малоперспективные на обнаружение скрытого и перекрытого оруденения колчеданной формации.

Таблица 1

Эффективность прогнозных работ с применением геохимических методов

Категория площадей	Размер площади (кв. км)	Соотношение площадей, %		
		I—IV	II—IV	III—IV
I. Общая изученная площадь	3300	100	—	—
II. Площадь развития продуктивных девонских отложений	1350	40,9	100	—
III. Площадь, перспективная по данным геолого-статистического анализа	578	17,5	42,8	100
IV. Площади, в различной степени перспективные по геохимическим данным	128,3	3,9	9,5	22,2

Анализ фактического материала, приведенного на фиг. 1, а также данные, приводимые в табл. 1, убедительно свидетельствуют о высокой эффективности применения геохимических методов при прогнозировании скрытого оруденения. Из общей площади, перспективной по геологическим критериям, 60% от-

Фиг. 1. Фрагмент геохимической основы к прогнозной карте (Рудный Алтай)

1—контур развития продуктивных девонских отложений; 2—контуры площадей, перспективных по данным геолого-статистического анализа (Овчинников, Баранов, 1973); 3—разрывные нарушения; 4—площади, перспективные по геологическим предпосылкам; 5—площади, благоприятные по геологическим предпосылкам, лишенные геохимических аномалий, неперспективные на обнаружение скрытого полиметаллического оруденения; 6—площади развития нерудогенных аномалий, ореолов корневых частей рудной минерализации, ореолов достоверно установленных зон рассеянной минерализации, малоперспективных на обнаружение скрытого полиметаллического оруденения; 7—участки развития ореолов с комплексом благоприятных геохимических признаков, перспективные на выявление скрытого полиметаллического оруденения

браковывается в результате предварительной геологической обработки в связи с отсутствием на них геохимических аномалий. Применение более тонких и точных методов геологостатистического анализа позволяет отбраковать в качестве неперспективной еще более 20% площади. После такого анализа, когда перспективная площадь уменьшена в 5,7 раза, применение геохимических критериев выявления, разбраковки, интерпретации и оценки геохимических аномалий позволяет провести дополнительное сокращение перспективных площадей, уменьшив их еще в 4,5 раза.

— Необходимо отметить, что резкое сокращение перспективных площадей (в 25,7 раз) по сравнению со всей изученной площадью на стадии крупномасштабного прогнозирования достигается лишь применением хорошо проверенных геохимических критериев, используемых при выявлении аномалий и отбраковке безаномальных участков, разбраковке рудогенных аномалий и безрудных, определении минералого-геохимического типа прогнозируемого оруденения и степени его сохранности.

Геологические предпосылки и поисковые признаки для выявления площадей, перспективных на скрытое оруденение

Известные промышленные полиметаллические месторождения Рудного Алтая, относящиеся к колчеданной формации в широком ее понимании (Овчинников, Баранов, 1973), сосредоточены в двух металлогенических зонах: Алейско-Иртышской и Змеиногорско-Зырянской. В их пределах они распределены неравномерно, группируясь возле субширотных разломов глубокого заложения (Гармаш и др., 1967; Горжевский, 1970; Яковлев, 1962 и др.).

Основная часть месторождений приурочена к породам липарито-дацитово-гранитной формации девона, концентрируясь в отложениях эйфельского (73,8% суммарных запасов), франского (19,8%) и живетского (5,5%) ярусов. Количество месторождений, расположенных на осадочных и вулканогенных площадях, равно, а по суммарным запасам 68% их приурочено к осадочным породам. Наиболее благоприятны для локализации руд горизонты смешанного состава с переслаиванием осадочных пород и вулканитов. Половина всех рудных полей приурочена к участкам блоковой складчатости с коробчатой, сундучной формой складок, треть рудных полей — к линейно вытяну-

гым складкам и крутопадающим моноклиналям, флексурам в зонах смятия, 14% полей—к пологим брахиантиклиналям.

В локализации рудных тел заметную роль играет экранирование. Формационными экранами являются слабо тектонически проработанная толща отложений верхнеберезовской свиты и толща метаморфических сланцев нижнего палеозоя. Местными экранами служат прослой глинистых пород, горизонты туфов основного состава, пласты известняков, тела субвулканических порфиров, дайки, зоны дислокаций, трещины с глиной трения.

Многие исследователи указывают на тесную пространственную связь месторождений с полями широкого развития поздних даек основного состава, с субвулканическими телами кварцевых альбитофиров и их эруптивными брекчиями. Полиметаллические месторождения Рудного Алтая сопровождаются в основном однотипными гидротермальными изменениями: окварцеванием, серицитизацией, карбонатизацией, хлоритизацией.

На месторождениях различного структурно-морфологического и минералого-геохимического типов отмечается повторяемость одних и тех же минеральных ассоциаций и комплексов редких и рассеянных элементов в рудах, однотипная минералогическая зональность, выражающаяся в смене барит-полиметаллических и полиметаллических ассоциаций на верхних горизонтах колчеданно-полиметаллическими и медноколчеданными на нижних (Гармаш, Рубо, 1972).

Вместе с тем, по количественным соотношениям главных рудных компонентов можно выделить (Горжевский, Яковлев, 1957; Иванкин и др., 1961; Овчинников, Баранов, 1973) медноколчеданные, колчеданно-полиметаллические, полиметаллические и барит-полиметаллические месторождения.

Выявленные закономерности распределения промышленного оруденения на Рудном Алтае, однотипные факторы структурно-формационного контроля очевидно указывают, что все известные промышленные месторождения Рудного Алтая представляют собой единую совокупность гидротермальных образований, связанных общностью происхождения и источника рудообразующего вещества. Различные соотношения главных минералов в рудах отражают пространственную дифференциацию многокомпонентного полиметаллического оруденения.

Изложенные выше геологические предпосылки локализации полиметаллического оруденения на Рудном Алтае позволили исключить более 80% всей изученной территории описывае-

мого региона из числа объектов поисков скрытого оруденения. Однако дальнейшая локализация перспективных площадей с применениями указанных предпосылок невозможна, а опоскование всей выделенной по геологическим предпосылкам площади в условиях закрытого района с применением дорогостоящего глубокого бурения малоэффективно.

Критерии выделения, разбраковки, интерпретации и оценки геохимических ореолов — признаков скрытого оруденения в условиях Рудного Алтая

Дальнейшая локализация площадей, перспективных для поисков скрытых полиметаллических месторождений, возможна лишь на основе использования геохимических аномалий, являющихся, по классификации В. М. Крейтера (1960), прямыми поисковыми признаками месторождений. Значительное развитие ореолов по вертикали над рудными телами, площадные размеры ореолов, превосходящих в 4—6 раз горизонтальную проекцию рудных тел, особенности состава и строения ореолов надежно гарантируют от пропуска месторождений при работах применительно к масштабу 1:50 000 на глубину, по крайней мере, до 200—500 м и вместе с тем позволяют значительно ограничить перспективные площади, что значительно повышает эффективность поисковых работ.

В основе геохимических критериев лежат особенности состава и строения геохимических ореолов, установленные на известных месторождениях Рудного Алтая рядом исследователей (Россман, 1963; Баранов и др., 1967, 1971; Гармаш, Рубо, 1972; и другие).

Комплекс элементов, на который необходимо анализировать геохимические пробы в условиях Рудного Алтая, помимо типоморфного набора элементов-индикаторов: цинка, меди, свинца, бария, серебра, молибдена, кобальта и мышьяка должен включать кадмий, висмут, хром, ванадий, марганец, олово, вольфрам. Это обусловлено тем, что наряду с колчеданными здесь распространены скарново-полиметаллические проявления, для которых характерны ореолы вольфрама, олова, марганца и хрома, и проявления редкометальной минерализации.

Выявление геохимических аномалий может проводиться различными способами. Наиболее перспективными, на наш взгляд,

являются метод полей естественных геохимических ассоциаций (ПЕГАС) и метод суммированных ореолов. Нами применялся первый метод, суть и техника которого очень просты и сводятся к следующим последовательным манипуляциям:

а) расчету фоновых и аномальных (Ca_1 , Ca_2 и Ca_3) содержания элементов-индикаторов;

б) выделению в ведомостях аналитических данных различным цветом аномальных концентраций элементов-индикаторов различной интенсивности;

в) обозначению ассоциаций элементов-индикаторов, присутствующих в пробе или группе проб в аномальных концентрациях, специальными условными значками на полях ведомостей аналитических данных;

г) вынесению условных значков зон распространения полей естественных геохимических ассоциаций на карты (разрезы);

д) оконтуриванию геохимических аномалий как совокупности зон распространения естественных геохимических ассоциаций с учетом их состава, зональности, геолого-структурных условий локализации и с применением обычных методов интерполяции и экстраполяции, принятых в геологии.

Описанный метод позволяет оперативно выделить и оконтурить аномалию как поликомпонентное образование, показать внутреннее строение ее, а также по распределению полей различных ассоциаций элементов установить зональность.

Разбраковка геохимических аномалий заключается в выявлении геохимических ореолов, т. е. рудогенных аномалий, связь которых с рудными телами установлена либо предполагается, и в отбраковке геохимических аномалий, не обусловленных рудообразующими процессами. Разбраковка геохимических аномалий проводится по составу и другим параметрам с учетом геологических условий их локализации. В разбраковке заключается первый этап локализации перспективных площадей за счет исключения петрогенных и метаморфогенных эндогенных и ландшафтных экзогенных геохимических аномалий. Аномалии, подлежащие отбраковке, как правило, характеризуются закономерной приуроченностью к ландшафтам или породам определенного состава, к эндо- и экзоконтактам интрузий. Они характеризуются простым составом, специфическими ассоциациями элементов и низкими их концентрациями.

На этом же этапе исключаются из объекта поисков площади, лишенные аномалий, которые, исходя из размеров ореолов известных промышленных полиметаллических место-

рождений Рудного Алтая, уверенно можно считать бесперспективными на обнаружение скрытых месторождений подобного типа до глубины 300 м в случае пологих структур (Золотушинское, Ново-Золотушинское месторождения и др.), до 500—1000 м в случае крутопадающих структур (Тишинское, Березовское месторождения и др.). Необходимо подчеркнуть, что полностью скрытых месторождений, ореолы которых не достигали бы поверхности коренных пород, на Рудном Алтае пока не известно.

Как показал опыт работ, проведенных в Рудном Алтае, на этапе разбраковки аномалий возможно, как правило, значительно локализовать перспективные участки, исключив до 60—75%, исследуемой площади из разряда перспективной (см. фиг. 1).

Интерпретация геохимических ореолов предусматривает определение минералого-геохимического типа рудной минерализации, обусловившей выявленный ореол. Интерпретация основывается на количественных соотношениях элементов (концентрации, размеры) в эндогенных геохимических ореолах и учитывает металлогенические особенности исследуемого района. Так, в составе ореолов проявлений скарново-полиметаллической формации, широко распространенных на Рудном Алтае, помимо свинца, цинка и меди встречаются олово, вольфрам, хром и марганец, не характерные для состава «колчеданных» ореолов.

Исключение участков развития геохимических ореолов подобного типа, не имеющих промышленной ценности в условиях Рудного Алтая, из объектов поисков позволяет провести дальнейшую локализацию перспективных площадей.

Более сложной задачей является определение по параметрам ореолов минералого-геохимического типа колчеданного оруденения. Интерпретация «колчеданных» ореолов нами проводилась на основе использования рядов нормированных продуктивностей элементов в ореолах полиметаллических месторождений различного минералого-геохимического типа.

Анализ имеющихся данных по ореолам месторождений различного минералого-геохимического типа указывает на определенные отличия, которые проявляются прежде всего в различии относительных размеров ореолов отдельных элементов и их относительных концентраций в пределах общего ореола. Наиболее контрастно это выражается в изменении величин отношений размеров, концентрации и продуктивностей

ореолов различных элементов. Использование относительных размеров ореолов отдельных элементов и их относительных концентраций (в коэффициентах аномальности) позволяет устранить влияние многих разнородных факторов, одинаковых для разных элементов в пределах одного геохимического ореола, и выявить влияние концентрации различных элементов в рудном теле на размеры их ореолов и наоборот.

Элементы, ореолы которых обладают максимальными размерами, интенсивностью и соответственно продуктивностью, устанавливаются, как правило, во всех зонах общего ореола и являются типоморфными элементами-индикаторами ореолов определенного минералого-геохимического типа оруденения. Элементы, ореолы которых характеризуются минимальными величинами этих параметров, устанавливаются, как правило, лишь во внутренних зонах ореолов комплексного состава (табл. 2).

Результаты исследований показали, что наиболее точно соотношения концентраций элементов в рудном теле отражаются соотношениями величин нормированной условной продуктивности различных элементов в ореоле (M_n). Следовательно, для интерпретации минералого-геохимического типа прогнозируемого оруденения необходимо провести ранжирование элементов, входящих в состав ореола, по величине M_n и сравнить полученный ряд с подобными рядами, рассчитанными для ореолов известных месторождений.

Расчет величины M_n проводится по формуле

$$M_n = K_a \cdot K_m, \quad (1)$$

где K_a — коэффициент аномальности элемента в ореоле;

K_m — коэффициент минерализации (распространенности) элемента в контуре общего ореола.

$$K_a = \frac{\bar{C}_a}{C_{\text{ф}}} \quad (2); \quad K_m = \frac{N_a}{N}, \quad (3)$$

где \bar{C}_a — сумма аномальных концентраций данного элемента в контуре ореола;

$C_{\text{ф}}$ — фон данного элемента;

N_a — количество аномальных проб данного элемента в контуре ореола;

N — общее количество проб, включенных в контур ореола.

Оценка геохимических ореолов заключается на описываемой стадии работ в определении уровня исследуемого пере-

Основные особенности состава эндогенных геохимических ореолов
рудно-алтайских месторождений колчеданной формации

Геохимические особенности и примеры месторождений			Медноколчеданные	Колчеданно- полиметаллические	Полиметалли- ческие	Барит- полиметаллические
Типоморфные ассоциации основ- ных элементов-индикаторов			Cu, Zn, Mo, Bi, Co	Zn, Cu, Mo, Pb, Bi, Co	Pb, Zn, Ag, Ba, Mo, Cu	Ag, Pb, Cd, As, Zn, Ba
Элементы-индика- торы зон	фронтальных	Zn, Pb, Ag, Ba	Zn, Pb, Ag, Ba	Pb, Ag, Ba, Cd	Ag, Pb, Ba, Cd	
	тыловых	Mo, Co, Bi, Sn	Mo, Co, Cu, Bi, Sn	Cu, Co, Mo, Bi	Cu, Mo, Co, Bi	
K ₃ зон	надрудных	0,5—5,0	2,0—10,0	2,0—20,0	5,0—100,0	
	подрудных	0,05—0,2	0,1—0,5	0,1—1,0	0,3—2,0	
Примеры месторождений			Николаевское Габриель	Золотушинское Орловское Тишинское Н. Золотушинское Корбалихинское Иртышское Березовское Н. Березовское	Ленингорское Степное Таловское Среднее	Петровское Зареченское

речения ореола, т. е. в определении степени сохранности прогнозируемого оруденения.

В основе оценки уровня пересечения ореола лежат особенности строения ореолов — их зональность.

2507 В общем виде зональность ореолов проявляется в пространственной смене зон (полей) ассоциаций одних элементов другими и в изменении соотношений содержаний элементов-индикаторов в пределах общего контура ореола. Различие ассоциаций элементов и соотношений их концентраций определяют геохимический облик различных зон ореолов (фиг. 2). Анализ зональности ореолов изученных полиметаллических месторождений Рудного Алтая показал, что она характеризуется следующими общими особенностями: а) зоны наиболее полного комплексного состава с максимальными концентрациями элементов приурочены к внутренним, центральным частям ореолов, в пределах которых локализованы рудные тела; б) внешние, периферические зоны ореолов имеют относительно обедненный элементный состав и более низкие концентрации элементов при резком отличии состава фронтальных и тыловых внешних зон ореолов, что указывает на асимметричное строение ореолов относительно рудовмещающих структур; в) установлена общность относительной дифференциации элементов в ореолах в направлении от тыловых зон к фронтальным. В основном зональность проявляется в последовательном расположении максимумов (абсолютных или относительных) концентраций различных элементов в направлении от тыловых частей общего ореола к фронтальным.

Для эндогенных геохимических ореолов полиметаллических месторождений Рудного Алтая (Голод, 1972) зональный ряд элементов в направлении от тыловых частей ореола к фронтальным в обобщенном виде представляется следующим:

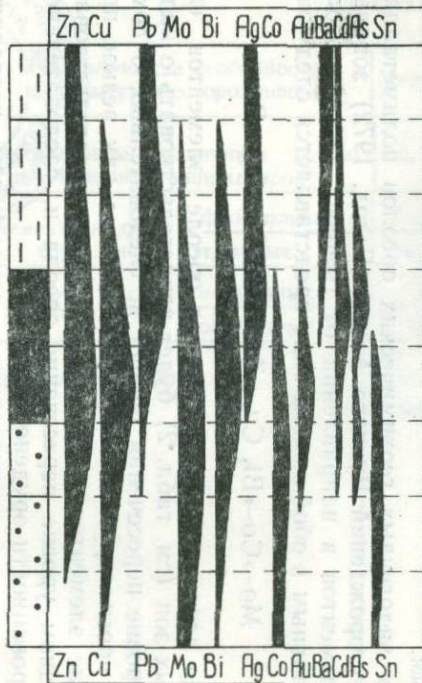
$Mo \rightarrow Co \rightarrow Bi, Cu \rightarrow Zn, Cd \rightarrow Pb, Ag \rightarrow Ba.$

Отсюда ясно, что преобладание в ореоле элементов фронтальных зон (см. табл. 2) будет свидетельствовать о надрудном уровне пересечения ореола и, следовательно, о сохранности прогнозируемого оруденения, тогда как резкое преобладание элементов тыловых зон будет свидетельствовать о подрудном уровне пересечения ореола и, следовательно, об эродированности оруденения.

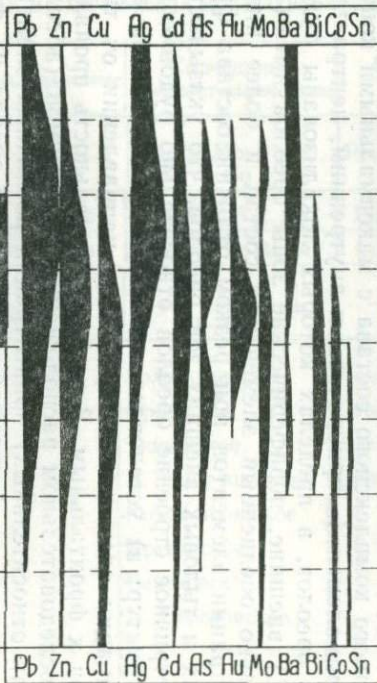
Надежным количественным показателем, позволяющим



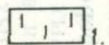
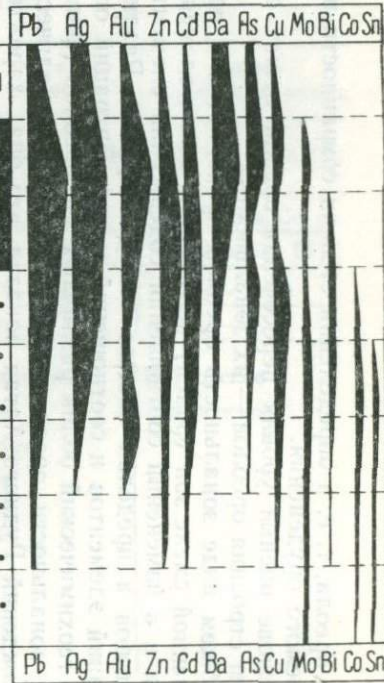
A



Б



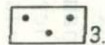
B



1.



2.



3.

устанавливать уровень пересечения ореола, является аддитивный коэффициент зональности — K (Голод, 1967).

$$K_3 = k \frac{\Sigma K_{\Phi}}{\Sigma K_T}, \quad (4)$$

где K_{Φ} — сумма коэффициентов аномальности фронтальных зон;

K_T — сумма коэффициентов аномальности тыловых зон;

k — нормировочный коэффициент, равный отношению количества элементов зон k фронтальным.

В общем случае величины K_3 больше 2,0 характеризуют надрудные сечения ореолов, а величины K_3 меньше 0,5 — подрудные, хотя эти величины и варьируют в зависимости от минералого-геохимического типа оруденения, связанного с ореолом (см. табл. 2).

Ореолы подрудных сечений, бесперспективные для поисков скрытого полиметаллического оруденения, отбраковываются, а площади их развития исключаются из объекта поисков.

Критерии интерпретации экзогенных геохимических аномалий в почвах при мощности почв и рыхлых отложений до 5 м являются по существу аналогичными вышеописанным, так как многими исследователями установлено, что в этих условиях существует тесная положительная корреляция между основными элементами-индикаторами в рудах, эндогенных и экзогенных ореолах.

Таким образом, в результате разбраковки, интерпретации и оценки геохимических аномалий выделяются участки, в разной степени перспективные на поиски скрытого до глубины 200—500 м оруденения определенного минералого-геохимического типа. Геохимическая информация, собранная и обработанная по изложенной методике, вносится в кадастры и отображается на карте геохимических аномалий. В кадастрах помимо геохимических параметров указываются степень изученности аномалии и геолого-структурные и ландшафтно-

Фиг. 2. Схема интегральной геохимической зональности эндогенных геохимических ореолов месторождений Рудного Алтая: колчеданно-полиметаллических (А), полиметаллических (Б) и барит-полиметаллических (В), по А. А. Головину

1—надрудные интервалы; 2—рудные интервалы;
3—подрудные интервалы

геохимические условия ее локализации. Карты содержат информацию о составе аномалии, ее морфологии, геохимических ассоциациях, соотношениях элементов-индикаторов и распределении величин коэффициентов зональности. Карта выполняется либо в виде прозрачной накладки на литолого-фациальную основу, либо непосредственно на упрощенной геолого-структурной основе. В комплект вспомогательных карт должны входить карты фактического материала геохимического опробования, литолого-фациальные основы с нанесенными известными месторождениями, рудопроявлениями и точками минерализации и карта районирования территории по условиям ведения геохимических поисков на ландшафтно-геохимической основе. Указанный комплекс карт необходим для оконтуривания аномалий и учета условий их локализации при разбраковке, интерпретации и оценке.

Таким образом, проведение прогнозных геохимических исследований по изложенной выше методике в комплексе с геологическими и геофизическими методами позволяет надежно и высокоэффективно оценить перспективы изучаемого района до глубины не менее 300 м. Анализ приведенного фактического материала (см. табл. 1) убедительно свидетельствует о том, что затраты на дорогостоящие буровые работы при этом могут быть сокращены без малейшего ущерба для качества поисковых работ по самым скромным подсчетам не менее чем в 4,5 раза.

ЛИТЕРАТУРА

Баранов Э. Н., Рыфтин В. М., Голод А. И., Пурик И. А., Рубо Г. Л. Эндогенные геохимические ореолы как поисковый признак скрытого колчеданного оруденения. В сб. «Эффективность геохимич. методов поисков рудных м-ний и широкое внедрение их в практику геологич. службы СССР». Изд. ИМГРЭ, М., 1967.

Баранов Э. Н., Голод А. И., Лазарев В. Н., Пурик И. А., Рыфтин В. М. Применение геохимических методов при составлении металлогенических карт колчеданных рудных районов. В сб. «Геохимические методы при поисках и разведке рудных м-ний», вып. 4. Изд. ИМГРЭ, М., 1971.

Бубличенко Н. Л., Воробьев Ю. Ю., Иванкин П. Ф., Иншин П. В., Кузевный В. С., Любецкий В. Н., Попов В. В., Стучевский Н. И. Принципы и методы прогнозирования медноколчеданного и полиметаллического оруденения. «Недра», М., 1972.

Гармаш А. А., Попов В. В., Яковлев Г. Ф. Закономерности размещения колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая — Тр. ЦНИГРИ, вып. 75, 1967.

Гармаш А. А., Рубо Г. Л. Первичная структурная и минералогическая зональность колчеданно-полиметаллических м-ний Рудного Алтая. В

сб. «Прогнозирование скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных м-ний». Изд. ИГЕМ, М., 1972.

Голод А. И. Коэффициент зональности первичных геохимических ореолов и его использование при прогнозировании скрытого колчеданного оруденения. Материалы V научной конференции молодых сотрудников ИМГРЭ, изд. ИМГРЭ, 1967.

Голод А. И. Зональность первичных геохимических ореолов колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. В сб. «Прогнозирование скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений». Изд. ИГЕМ, М., 1972.

Горжевский Д. И., Яковлев Г. Ф. Некоторые закономерности распределения полиметаллических м-ний на Рудном Алтае. В сб. «Материалы по геологии и металлогении Рудного Алтая».—Труды ВАГТ, вып. 3, М., 1957.

Горжевский Д. И. Тип полиметаллических месторождений Рудного Алтая.—ДАН СССР, т. 199, 1970, № 1.

Иванкин П. Ф., Иншин П. В., Кузубный В. С. Рудные формации Рудного Алтая. Изд-во АН Каз. ССР, Алма-Ата, 1961.

Крейтер В. М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Госгеолтехиздат, М., 1960.

Овчинников Л. Н., Баранов В. Д. О систематике типов руд Алтайских колчеданно-полиметаллических месторождений и пространственном их распределении. Чтение им. А. Н. Заварицкого, Свердловск, 1973.

Резников И. Н., Янишевский Е. М. Об использовании геохимических методов при геологосъемочных работах.—Научные собрания ИМГРЭ, 1971, вып. 9.

Россман Г. И. Первичные ореолы рассеяния некоторых элементов на отдельных полиметаллических м-ниях Рудного Алтая. В сб. «Вопросы изучения и методы поисков скрытого оруденения». Госгеолтехиздат, М., 1963.

Яковлев Г. Ф. Тектонические закономерности размещения м-ний Рудного Алтая. В кн. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. V. Изд-во АН СССР, 1962.

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ И ПОИСКАХ

Распределение химических элементов в различных по составу и генезису горных породах длительно изучалось многими исследователями, начиная с В. И. Вернадского, К. М. Гольдшмидта, Кларка, Ранкама и многих других. Громадный фактический материал был опубликован в многочисленных изданиях, где приводились сведения о средних содержаниях почти всех химических элементов, входящих в состав различных типов горных пород, слагающих литосферу. Наиболее полная сводка этих данных опубликована академиком А. П. Виноградовым в 1956 и 1962 годах.

Одновременно с исследованиями химического состава горных пород проводились работы по изучению геохимических процессов рудообразования. На основе этих работ, а также под влиянием работ А. Е. Ферсмана, А. Г. Бетехтина, И. И. Гинзбурга, Д. М. Шоу, Э. Дегенса, Г. Хардера и др., а позднее А. А. Саукова, привлекавших геохимические данные для поисков рудных месторождений, сформировалось особое направление в геохимии, получившее название «Прикладная геохимия».

В результате дальнейшего развития работ по прикладной геохимии возникло учение об эндогенных и экзогенных геохимических ореолах, образующихся около рудных тел постмагматического происхождения. Открытие многих рудных месторождений привело к широкому признанию геохимических методов поисков.

Наряду с развитием геохимических методов поисков рудных месторождений за последние годы проведены работы по изучению распределения в различных по составу горных поро-

дах химических элементов, встречающихся в них в незначительных концентрациях, преимущественно в пределах от 10^{-2} до $10^{-6}\%$. Такие химические элементы в литературе получили много различных названий «редкие», «аксессуарные», «микроэлементы», «элементы-примеси» и т. п. Авторы считают, что термин «микроэлементы» получил более широкое распространение, поэтому при изложении полученных данных он и будет использоваться в настоящей статье.

Большое количество работ было посвящено изучению распределения микроэлементов в изверженных горных породах. Исследователи ставили себе целью выявление геохимических признаков, позволяющих давать оценку перспектив их рудоносности. Изучению так называемой «специализации» горных пород посвящено за последнее время много работ.

Помимо исследований этого направления, изучение распределения микроэлементов в изверженных горных породах проводилось также для решения самых различных геологических вопросов, возникающих при геологическом изучении отдельных районов.

Закономерности распределения микроэлементов изучались также в осадочных и осадочно-вулканогенных породах. Среди них широко известны работы Н. М. Страхова, А. Б. Ронова, В. С. Яблокова, Л. Н. Ботвинкиной, Ф. П. Шепарда и многих других. Результаты многочисленных исследований по изучению распределения микроэлементов в различных по составу и генезису горных породах, а также наши исследования в этом направлении позволяют сделать весьма важный вывод, имеющий большое практическое значение, а именно: каждая генетическая разновидность горных пород характеризуется соответствующими величинами концентраций микроэлементов и их определенных групп (ассоциаций), обусловленных определенными геолого-геохимическими условиями их образования. Из этого практически следует, что одинаковые по петрографическому облику и общему составу горные породы, имеющие разные геолого-геохимические условия образования, будут существенно отличаться по параметрам распределения в них определенных микроэлементов. Если же условия образования были одинаковы или близки, то и эти параметры одинаковы или близки.

Эта геохимическая особенность распределения микроэлементов в горных породах, проявляющаяся во всех генетических типах последних, может с успехом использоваться для распознавания сходства и различия их, что весьма важно при

изучении различных геологических вопросов, решение которых обычными традиционными методами в производственных условиях весьма затруднительно или просто невозможно. В литературе уже неоднократно проводился перечень таких вопросов. Наш опыт и литературные данные позволяют перечислить следующие главные из них:

корреляция магматических, вулканогенно-осадочных и метаморфических и др. типов пород;

расчленение и сопоставление монотонных труднораспознаваемых (немых) толщ;

классификация и расчленение метаморфических пород по микроэлементному составу и их субстрату;

решение некоторых вопросов генезиса изучаемых горных пород и т. п.

Наши исследования показали, что этот перечень может быть значительно расширен и особенно в области изучения осадочных горных пород, исследования которых с применением геохимических методов в производственных условиях до сих пор имеют весьма ограниченные размеры.

В течение последних лет группой работников Центральной геохимической экспедиции ИМГРЭ, под руководством Э. К. Буренкова, впервые в значительном объеме были проведены исследования, при которых геохимические методы и критерии использовались не только для решения геологических вопросов, но также для поисков некоторых типов месторождений осадочного происхождения. Методический опыт ЦГЭ, полученный при разработке геохимических методов поисков рудных месторождений, позволил на его основе предложить соответствующие методические приемы и геохимические показатели, которые были применены при поисках фосфоритов и марганца. Усовершенствована также методика обработки геохимических данных для получения количественных показателей, которые должны использоваться при решении различных геологических вопросов.

Широкий комплекс не только геологических, но и поисковых задач, которые могут решаться на основе изучения закономерностей распределения микроэлементов в горных породах, своеобразие методики обработки геохимических данных позволили достаточно обоснованно выделить этот вид практических геохимических исследований в качестве самостоятельного микроэлементного геохимического метода (Янишевский, 1973).

Настоящая статья ставит себе целью показать широкие

возможности использования этого геохимического метода, а также рассмотреть методические приемы обработки геохимических данных, расчета параметров распределения элементов, геохимических показателей и коэффициентов, характеризующих критерии, которые следует использовать при решении различных геологических вопросов.

В основу методических приемов положено выявление геохимических признаков, по которым устанавливаются сходство и различия исследуемых объектов по микроэлементному составу. При этом могут использоваться любые аналитические методы, а в нашем случае—весьма оперативный приближенно-количественный метод спектрального анализа.

Под объектом исследования нами рассматриваются различные горные породы, литологические разности их, однотипные отложения разных стратиграфических комплексов, различные фашиально-генетические условия образования осадка и т. п.

Как будет видно из предлагаемого материала и из многочисленных литературных данных, между этими объектами почти всегда можно установить геохимические различия для пород разного петрографического типа.

Эти различия устанавливаются также для однотипных отложений (глины, туфы и т. п.), если они имеют разные условия образования. Такие однотипные породы могут нести одни и те же литологические признаки (глин, туфов, песчаников и т. п.), но различаться по признакам, характерным для конкретных условий их образования, или отражать геолого-геохимическую специфику региона или бассейна, в котором они отложились.

Эти различия в первую очередь проявляются в концентрации отдельных микроэлементов и их определенных групп (ассоциаций). Они иногда весьма значительны и могут достигать нескольких порядков. Конкретные содержания микроэлементов каждого объекта рассматриваются нами как индикационные признаки. Они обычно довольно стабильны и постоянны и с успехом могут использоваться для распознавания и сопоставления объектов. Эти признаки могут быть выражены в величинах содержаний микроэлементов или их групп, а также в виде качественных или количественных показателей и коэффициентов.

При изучении особенностей распределения элементов-индикаторов в эндогенных ореолах, образующихся около рудных месторождений, для их оценки широко используется коэффи-

циент зональности, основанный на расчетах отношений содержания элементов, характерных для надрудной или подрудной зоны ореола. Методика выбора элементов-индикаторов и расчеты показателей и коэффициентов в этой области достаточно хорошо разработаны и освещены в литературе (Янишевский и др., 1963; Овчинников, Григорян, 1970). Что же касается методических приемов выявления и использования закономерностей распределения микроэлементов в исследуемых горных породах для решения геологических вопросов, то они еще изучены слабо и это тормозит внедрение микроэлементного метода в практику геологоразведочных работ. В связи с этим представляется целесообразным на конкретных примерах осветить имеющийся у нас методический опыт.

Одним из таких примеров является использование микроэлементного метода для распознавания химического состава пород. В практике встречаются случаи, когда требуемое количество определений химического состава горных пород превышает имеющиеся возможности применения для этой цели силикатного анализа. В таких случаях могут быть использованы данные по содержанию в породах микроэлементов, определение которых может быть произведено весьма дешевым и производительным спектральным приближенно-количественным методом (Буренков, Шейнин, 1973). Для этого необходимо по пробам исследуемых горных пород, подвергавшихся силикатному анализу, установить наиболее характерные концентрации микроэлементов и их ассоциаций, присущих каждой из изучаемых разновидностей пород, для последующего сравнения их с другими пробами этих пород, проанализированными приближенно-количественным методом.

В районе наших работ в двух разновозрастных комплексах широко развиты породы основного (базальты, андезиты-базальты) и среднего (андезиты и андезиты-дациты) состава. По данным спектрального анализа (17 проб основного и 24 пробы среднего состава) устанавливается, что по мере увеличения основности пород в них увеличивается содержание кобальта, никеля, хрома, марганца, скандия и меди и уменьшается концентрация молибдена, свинца и бария и, наоборот, при снижении основности проб увеличиваются содержания второй группы микроэлементов. Сам по себе этот факт достаточно известен из литературы, однако при петрографических исследованиях используется редко. Более четко эта закономерность будет фиксироваться, если рассчитать величины отношений содержания микроэлементов, накапливающихся в основных по-

родах, к величинам содержаний элементов, накапливающихся в средних (табл. 1). В этом случае можно получить устойчивое количественное выражение геохимических характеристик любой разновидности пород в виде коэффициента накопления (K_n). Микроэлементы со значением коэффициента накопления выше единицы являются микроэлементами-индикаторами основных пород (кобальт, никель, хром, марганец, скандий и медь), а микроэлементы с величиной коэффициента меньше единицы следует отнести к индикаторам лав среднего состава. Однако не все микроэлементы, обнаруживаемые в исследуемой породе, можно относить к индикаторам основных или кислых лав. Среди них могут быть микроэлементы, содержание которых не зависит от состава пород и определяется какими-либо другими факторами. Значение величин коэффициента накопления для таких элементов будет равно или близко к единице. Такими же значениями коэффициента будут характеризоваться микроэлементы, слабо реагирующие на изменение химического состава породы, т. е. их содержание слабо различается в тех и других разностях. Включение таких элементов в расчеты коэффициента накопления может привести к ошибкам, так как вариации содержаний этих элементов не будут закономерными, а могут определяться относительно невысокой точностью спектрального анализа. Таким образом, включать микроэлементы в расчеты коэффициента, изменения содержаний которых находятся в пределах аналитических ошибок, также не следует.

В условиях анализа геохимических проб со 100%-ной ошибкой весьма надежными микроэлементами-индикаторами состава пород можно считать те микроэлементы, для которых рассчитанный коэффициент накопления выше двух для основных и ниже 0,5 для кислых разностей. С учетом всех высказанных положений и следует выбирать микроэлементы для расчетов коэффициентов накопления. Практика показывает, что общее число микроэлементов можно ограничить шестью (три для числителя и три для знаменателя).

Различия в распределении микроэлементов в исследуемых горных породах часто могут выражаться в виде геохимического показателя, представляющего собой величину содержаний группы микроэлементов, рассчитанную каким-либо суммирующим методом.

При методически представительно отобранных пробах и правильно составленных выборках можно считать, что устанавливаемые различия в содержаниях являются закономерно-

Распределение средних содержаний микроэлементов в лавах различных вулканогенных комплексов миоплиоцена

Лавы	Количество проб	Среднее содержание микроэлементов, %													Геохимические показатели (Mn, Ni, Co и Cr)	
		Ba	Sr	Pb	Zn	Cu	Mn	Sn	Sc	Ni	Co	Cr	V	Mo	аддитивные $\text{п.}10^{-4}$	мультипликативные $\text{п.}10^{-10}$
		$\text{п.}10^{-3}$	$\text{п.}10^{-3}$	$\text{п.}10^{-4}$	$\text{п.}10^{-3}$	$\text{п.}10^{-4}$	$\text{п.}10^{-3}$	$\text{п.}10^{-4}$	$\text{п.}10^{-4}$	$\text{п.}10^{-4}$	$\text{п.}10^{-4}$	$\text{п.}10^{-4}$	$\text{п.}10^{-4}$	$\text{п.}10^{-5}$		
Миоплиоцен																
Основные	91	13	22	8	11	87	82	2,2	5,9	94	44	142	103	15	1100	482
Кислые, средние	155	24	22	15	6	47	24	1,2	2,7	22	10	33	74	23	305	1,75
Ахалкалакский комплекс																
Основные	45	9	19	5	11	90	86	2,3	6,4	105	51	153	100	10	1169	704
Кислые, средние	5	10	27	11	4	52	23	1,6	2,6	40	17	43	90	22	330	6,71
Кисатибская свита																
Основные	46	18	25	10	10	84	77	2,2	5,4	84	37	100	106	21	1021	310
Кислые, средние	150	24	22	15	6	47	3,4	1,2	2,7	22	9	33	74	23	304	1,57

стью, отражающей изменение химического состава породы и могут использоваться вместе с силикатным анализом для распознавания состава пород.

Нами показаны оптимальные условия подбора элементов-индикаторов, но на практике могут встретиться случаи, когда не будет возможности полностью придерживаться их. При таком положении следует иметь в виду, что использование для расчета коэффициента в аддитивных или мультипликативных величинах позволяет несколько снизить перечисленные требования к выбору микроэлементов-индикаторов. Применяя для расчета геохимического показателя или коэффициента тот или иной метод суммирования (аддитивный или мультипликативный), удастся частично погасить ошибку спектрального анализа. В этом случае можно использовать микроэлементы, которые имеют коэффициент накопления в интервале 1,5—2,0 (основные породы) и соответственно 0,5—0,75 (средние и кислые породы).

Имея в виду изложенные выше требования, все микроэлементы, обнаруживаемые в изучаемых разновидностях пород, можно разделить на четыре группы: весьма надежных элементов-индикаторов, надежных, условно характеризующих разновидность пород и не обладающих индикационными свойствами.

Как видно из вышеизложенного, мы имеем дело не только с ассоциациями элементов-индикаторов основных и средних лав, но и в пределах каждой такой ассоциации (в данном случае их три: элементы-индикаторы средних, основных лав и элементы, не обладающие индикационными свойствами изменения химического состава пород) выделяются группы элементов, определяющие степень надежности элементов-индикаторов.

Таблица 2
Аддитивные и мультипликативные показатели
основных и средних пород

Типы пород	Группы микроэлементов			
	Co, Cr, Mn, Ni		Ba, Mo, Pb	
	аддитивный 10 ⁻⁴	мультипли- кативный	аддитивный 10 ⁻⁵	мультипли- кативный
Основные	1090	482	986	1008
Средние	390	1,75	2472	7590

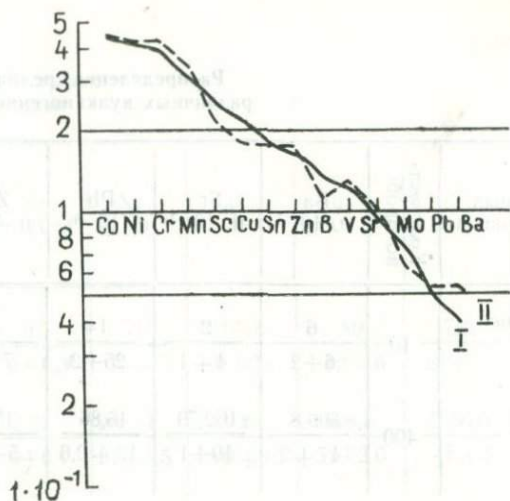
Рассчитав для элементов-индикаторов аддитивные (АП) или мультипликативные (МП) групповые полиэлементные показатели (табл. 2), можно убедиться, что изучаемые разности пород по значениям этих показателей легко разделяются.

В принципе для решения поставленной задачи разделения проб по химическому составу можно использовать любой из рассчитанных (см. табл. 1) показателей. При более дробном расчленении пород можно ввести коэффициент, равный отношению этих показателей $\left(K = \frac{AP_1}{AP_2}\right)$, однако в этом случае увеличивается объем расчетных операций, что при грубом разделении пород нецелесообразно. Следовательно, выбор количественного показателя или коэффициента определяется детальностью поставленной задачи. В рассматриваемом случае вполне достаточно использовать только один (АП или МП) из них, а к расчетам второго можно прибегать в отдельных случаях с контрольной целью.

Как видно из той же табл. 2, рассчитанные значения AP_1 ($1090 \cdot 10^{-4}$) превышают значения AP_2 ($28 \cdot 10^{-4}$) более чем в 3 раза (контрастности для МП еще выше), причем максимальные значения AP_2 (вычисленные для каждой пробы в отдельности) ниже минимальных значений AP_1 и составляют около 20% от среднего рассчитанного значения. В таком случае нетрудно рассчитать по пробам, подвергшимся силикатному анализу, достоверные граничные значения для показателя АП, которые позволят отнести пробу или образец (по данным спектрального анализа) в группу основных или средних по составу пород.

$$\frac{AP_1 \times n_1 + AP_2 \times n_2}{N} = \frac{0,1090 \times 17 + 0,328 \times 24}{41} = 0,0644 \pm 0,0129, \text{ т. е. } \pm 20\%.$$

N — общее число проб. Таким образом, пробы со значением AP_1 более $0,0644 + 0,0129$ достоверно могут быть отнесены к группе основных пород, а при $AP_1 = 0,0644 - 0,0129$ и менее — к группе средних. Пробы со значениями AP_1 , находящимися в пределах $0,0644 - 0,0129 \div 0,0644 + 0,0129$, к той или иной группе могут быть отнесены весьма условно, а скорее всего, будут представлять промежуточные разности и, следовательно, для их выделения необходимо выводить самостоятельные градации показателей



Фиг. 1. Отношение средних содержаний микроэлементов в миоплиоценовых лавах основного и кислого состава (содержание микроэлементов в лавах кислого состава принято за единицу).

I—в выборку объединены пробы, для которых выполнен силикатный анализ; II—в выборку включены пробы, разделенные на группы по микроэлементному составу.

или коэффициентов. Однако в рассматриваемом случае не было ни одной пробы АП, которая попала бы в этот интервал.

Правильность и достоверность разделения проб по химическому составу и по данным спектрального анализа (в нашем примере 205 проб) подтверждается на фиг. 1. Необходимо отметить, что близкие результаты получены для эффузивных пород по разновозрастным комплексам.

В практике геологических исследований, проводимых при геологической съемке, часто приходится сталкиваться с большим разнообразием разновозрастных комплексов пород. В этом случае важным является вопрос сопоставления и расчленения пород одного облика и состава, развитых в районе исследований и принадлежащих различным геологическим комплексам. Особенно это актуально для областей развития мощных немых толщ вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований. Однако можно с уверенностью утверждать, что и в этих случаях рекомендуемый нами методический прием позволит уверенно справиться с задачей их сопоставления и корреляции.

Распределение средних содержаний различных вулканогенных комплексов

Туфы разных комплексов	Количество проб	Ba п. 10 ⁻³	Sr п. 10 ⁻³	Pb п. 10 ⁻⁴	Zn п. 10 ⁻³	Cu п. 10 ⁻⁴
Ахалкалакского комплекса	10	$\frac{6}{6+2}$	$\frac{2}{4+1}$	$\frac{14}{25+2}$	$\frac{2}{7+1}$	$\frac{33}{30+11}$
Кисатибской свиты	490	$\frac{399,8}{17+2}$	$\frac{162,79}{19+1}$	$\frac{46,86}{12+0,6}$	$\frac{15,3}{5+0,3}$	$\frac{1606}{47+3,5}$

Примечание: В числителе—средние содержания микроэлементов элементов (S²).

Нами изучались вулканогенные толщи, сложенные пирокластическими породами, туфами и туфобрекчиями, принадлежащими двум разновозрастным вулканогенным комплексам (кисатибская свита и ахалкалакский комплекс). Туфы в разрез обеих толщ имеют подчиненное значение. Мощность отдельных горизонтов обычно колеблется от нескольких сантиметров до 1—3 м, достигая иногда 40 м. Туфы характеризуются сложным гранулометрическим составом (псаммитовые, алевитовые, пелитовые и смешанные разности). По данным полного силикатного анализа 52 проб, все изученные туфы относятся к андезитовым, андезито-дацитовым и дацитовым разностям и, подобно лавам в предыдущем примере, объединены в одну группу.

Средние содержания микроэлементов и дисперсия в туфах обоих комплексов приведены в табл. 3. Из этой таблицы видно, что четко устанавливаются существенные различия в средних содержаниях микроэлементов в различных комплексах. Так, туфы кисатибской свиты характеризуются повышенными содержаниями Ba, Sr, Cu, Ni, Co и Sg, а туфы ахалкалакского комплекса — Pb, Mo, Zn, Mn и V, причем содержания Ba, Sr и Pb изменяются более чем в два раза, что позволяет отнести эти элементы к весьма надежным индикаторам для распознавания указанных свит. Следует отметить, что барий и

микроэлементов в туфах миоплиоцена Закавказья

Mn п. 10 ⁻³	Sn п. 10 ⁻⁴	Sc п. 10 ⁻⁴	Ni п. 10 ⁻⁴	Co п. 10 ⁻⁵	Cr п. 10 ⁻⁴	V п. 10 ⁻⁴	Mo п. 10 ⁻⁵
$\frac{40}{35+4}$	$\frac{0,2}{2+0,3}$	$\frac{0,3}{2+0,3}$	$\frac{71}{16+5}$	$\frac{1448}{59+2,4}$	$\frac{89}{19+6}$	$\frac{782}{61+17}$	$\frac{105}{22+6}$
$\frac{3103}{29+5}$	$\frac{8,35}{2+0,2}$	$\frac{2,77}{3+0,1}$	$\frac{285,18}{21+1,5}$	$\frac{21087}{79+13}$	$\frac{868,3}{24+2,6}$	$\frac{1856,5}{41+5}$	$\frac{353,3}{17+2}$

$(\bar{X} + X_{5\%})$ %, в знаменателе — дисперсия средних содержаний микро-

свинец как в туфах, так и в лавах характеризуются повышенными содержаниями в средних по составу разностях пород, со слабыми индикационными признаками, а стронций вообще ими не обладает. Следовательно, если между туфами обоих комплексов и существуют незначительные различия в химическом составе, то они не настолько велики, чтобы могли быть выявлены по этим элементам. Такие элементы, как олово и скандий, в рассматриваемом случае относятся к элементам, не проявляющим индикационных признаков.

Установленные выше геохимические различия туфов этих двух комплексов можно представить в виде суммирующих геохимических показателей или коэффициента (табл. 4).

Как видно из таблицы, при помощи рассчитанных показателей выявляются весьма существенные и контрастные различия туфов, принадлежащих двум вулканогенным, близким по возрасту, комплексам пород, образовавшихся из одних источников. Не исключено, что показатели с малым количеством элементов-индикаторов могут отражать и другие различия, не связанные с различными периодами проявления вулканизма. В связи с этим предпочтительнее использовать более широкий круг микроэлементов и, в частности, включать в расчеты содержания даже элементы со слабыми индикационными свойствами. В первую очередь в рассматриваемый пока-

Геохимический показатель и коэффициенты туфов

Туфы разных комплексов	Геохимический показатель (Ba × Sr) · 10 ⁻⁶	Геохимический коэффициент	
		$\frac{\text{Ba} \cdot \text{Sr}}{\text{Pb}} \cdot 10^{-2}$ (K ₁)	$\frac{(\text{Pb} + \text{Mo} + \text{Zn} + \text{Mn} + \text{V})}{(\text{Ba} + \text{Sr} + \text{Cu} + \text{Ni} + \text{Co} + \text{Cr})} \cdot 10^{-5}$ (K ₂)
Ахалкалак- ский комп- лекс	24	0,9	3,0
Кисатиб- ский	323	27	0,8

затель следует включать такие микроэлементы, различия в содержании которых мало или неконтрастны относительно нашей градации, но в то же время в многочисленных (нескольких) разрезах проявляют одну общую тенденцию (или, когда эта тенденция проявляется достаточно часто). По такому принципу рассчитан коэффициент K₂ (см. табл. 4). Для туфов кисатибской свиты K₂=0,8, а для туфов ахалкалакского комплекса K₂=3,0, т. е. в этом случае различие их весьма существенно.

Незначительные различия с устойчивой направленностью выявляются по значению этого коэффициента и для отдельных частей разрезов этих свит. Сравнение значений K₂ для туфов кисатибской свиты, опробованных на различных участках и в различных частях разреза, представлено в табл. 5.

Таблица 5

Отношение сумм содержаний элементов в туфах кисатибской свиты

Участки работ	$K_2 = \frac{\text{Pb} + \text{Mo} + \text{Zn} + \text{Mn} + \text{V}}{\text{Ba} + \text{Sr} + \text{Cu} + \text{Ni} + \text{Co} + \text{Cr}} \cdot 10^{-5}$
Кисатибское месторождение	0,7
Район с. Вардзия	0,8
Долина р. Паравани	1,0
Район с. Толоши	1,0
Район Годердзского перевала	1,4

Из этой таблицы видно, что, значения K для каждого разреза близки средней его величине, а имеющиеся разли-

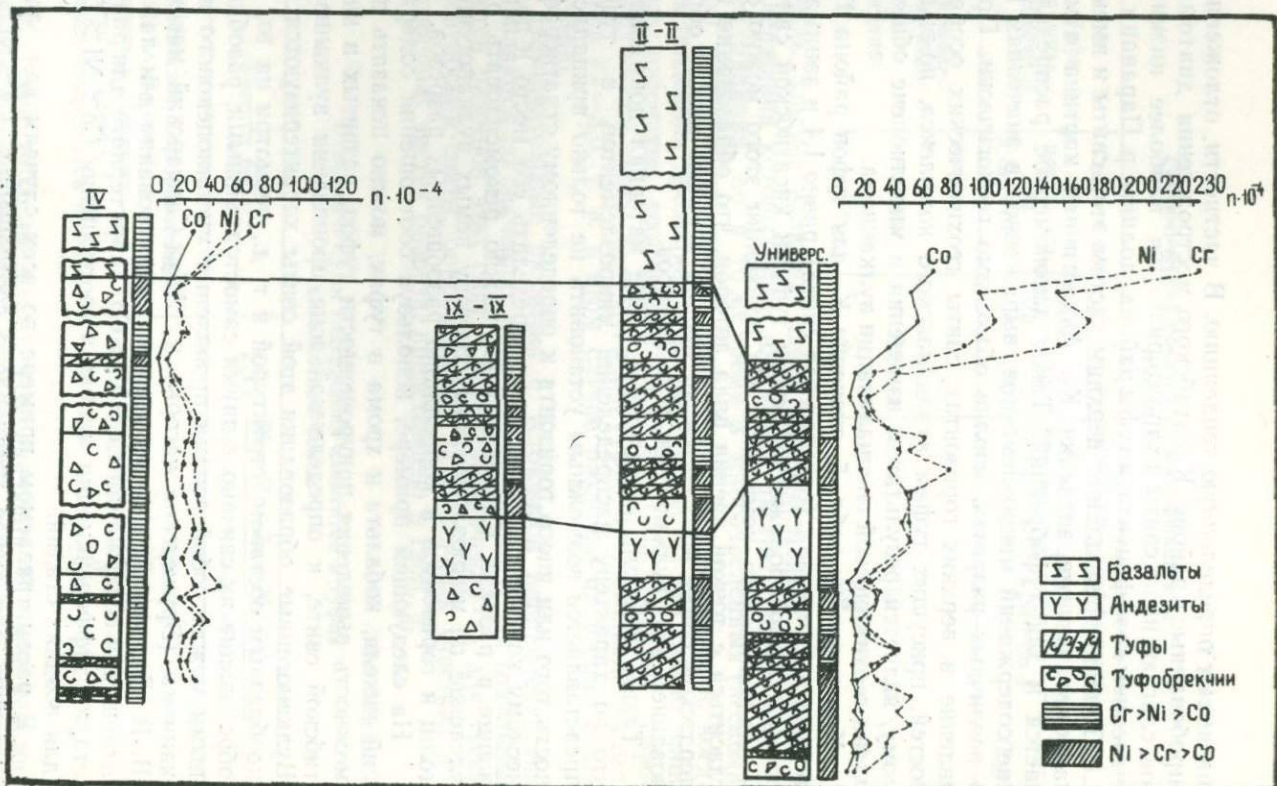
чия имеют определенную тенденцию. В частности, отложения, опробованные в районе Кисатибского месторождения диатомитов, слагают низы свиты и характеризуются наиболее низким значением коэффициента, а туфы района долины р. Паравани и у с. Толоши принадлежат верхним частям этой свиты и имеют наиболее высокие значения K_2 . Аналогичная картина отмечается и для туфобрекчий. Такое закономерное распределение содержаний микроэлементов, выраженное в значениях K_2 в различных разрезах, вполне объяснимо геологически. Проявление в верхних горизонтах свиты геохимических особенностей, присущих туфам ахалкалакского комплекса, по-видимому, является результатом изменения в миоплиоцене общего плана геохимической специализации вулканизма.

Как видно из табл. 5, значение K_2 для туфов района Годердзского перевала (годердзская свита) равно 1,4 и занимает промежуточное положение между туфами кисатибской свиты и ахалкалакского комплекса. На основании этого можно согласиться с точкой зрения ряда авторов, что образование годердзской свиты приходится на период времени между образованием этих вулканогенных комплексов.

Таким образом, приведенный выше материал показывает, что по характеру распределения микроэлементов в туфах представляется возможным установить не только принадлежность того или иного горизонта к определенному стратиграфическому комплексу пород, но и определить его место и положение в разрезе. Следовательно, можно рекомендовать расчленение по микроэлементному составу немых вулканогенных толщ и горизонтов и корреляцию разобщенных разрезов.

На следующем примере, используя соотношения содержания никеля, кобальта и хрома в туфах, можно показать возможность выявления приуроченности туфов, развитых в кисатибской свите, к определенной зоне проявления вулканизма. Вулканогенные образования этой свиты характеризуются однообразным составом, структурой и т. д., несмотря на то, что образование их связано с двумя самостоятельными, разобщенными между собой зонами проявления миоплиоценового вулканизма (Эрушетское нагорье и Абул-Самсарский массив). В. В. Ляхович ранее указывал на существование для лав соотношения содержаний $Cr > Ni > Co$, хаарктерного для ранних стадий дифференциации магмы, и соотношения $Co > Ni > Cr$ — для поздних стадий.

В рассматриваемом примере во всех случаях для лав и частично для туфов установлено соотношение $Cr > Ni > Co$,



что указывает на принадлежность их к ранней стадии дифференциации магмы. В туфах выявлено и другое соотношение содержаний этих элементов— $Ni > Cr > Co$, причем общий объем туфов с таким соотношением возрастает (фиг. 2) в направлении от разреза IV к разрезу Универсальному, т. е. в направлении Абул-Самсарского массива. В разрезах IX—IX и II—II наиболее часто чередуются туфы, характеризующиеся различными соотношениями этих элементов.

Нам представляется, что приведенные данные свидетельствуют о наличии туфов, образование которых связано с обеими стадиями вулканизма. В данном случае лавовые покровы принадлежат одной зоне Эрушетского нагорья, в то время как более молодые лавовые образования принадлежат зоне Абул-Самсарского массива.

Наметившиеся различия между описанными двумя группами изверженных пород по соотношению содержаний хрома, никеля и кобальта находят отражение и в абсолютных содержаниях. Так, туфы с соотношением $Cr > Ni > Co$ характеризуются по сравнению с туфобрекчиями более высокими, а туфы с соотношением $Ni > Cr > Co$ —более низкими содержаниями этих элементов. Наиболее контрастны эти различия для хрома (более чем в два раза). Таким образом, эти различия можно выразить и в виде количественных показателей или коэффициента. Такая геохимическая оценка, на наш взгляд, может быть использована не только для распознавания пород, но и при прогнозных работах в качестве критерия выделения потенциально рудоносных образований, связанных с определенной зоной вулканизма.

Изучение отложений осадочного происхождения (морские и озерные фации) показало наличие строгих закономерностей в распределении содержаний в них микроэлементов. Абсолютные содержания в породах варьируют в широких пределах и во многом определяются фациально-генетическим типом отложений, их минералогическим составом и рядом других факторов. Все различия осадочных пород находят отражение в их микроэлементном составе. При этом различия в содержаниях весьма существенны, а выявляемые закономерности довольно постоянны и выдержаны. На основании этого нами ранее для

Фиг. 2. Распределение кобальта, никеля и хрома в разрезах вулканогенных отложений правого борта р. Паравани

Масштаб: горизонтальный 1:25 000, вертикальный 1:1000

«идеального» (Страхов, 1968) литолого-фациального профиля были выявлены ряды геохимической подвижности и выделены ассоциации элементов, для которых характерны максимумы концентрации в той или иной, но строго регламентированной части этого профиля.

Установленные закономерности зонального распределения микроэлементов на фациальном профиле проявлены одинаково в различных изученных нами палеобассейнах с разнообразными условиями осадкообразования и неоднородностью состава поступающего в него терригенного материала, вне зависимости от того, какого происхождения (морского или озерного) эти отложения. Изменяются лишь абсолютные содержания элементов. В связи с этим, например, наблюдается, что все литологические разности пород морского происхождения характеризуются по сравнению с однотипными озерными отложениями более высокими концентрациями большинства микроэлементов, что в значительной мере объясняется их лучшей сортировкой.

Выявленные закономерности в распределении содержаний микроэлементов в осадочных отложениях могут быть использованы в первую очередь при прогнозных работах с целью выделения внутри бассейна фациально-генетических типов отложений, потенциально перспективных на тот или иной тип полезного ископаемого. Их использование позволяет определять положение и удаленность древней береговой линии, расчленять и коррелировать осадочные толщи и отдельные горизонты, а также устанавливать принадлежность их к определенному фациальному типу отложений (морские, озерные, прибрежные и т. д.). Но самое главное значение данных закономерностей— это возможность использовать микроэлементный метод при поиске месторождений осадочного происхождения. На этом разделе более подробно остановимся несколько ниже.

Рассматривая методику обработки геохимических данных, следует отметить, что решение некоторых геологических вопросов возможно и с помощью ограниченного количества микроэлементов, и даже одного, двух, что и делается многими авторами. Но имеющийся в нашем распоряжении обширный методический материал показывает, что выводы в этом случае менее контрастны. К тому же невольно встают вопросы, связанные с необходимостью увеличения точности и чувствительности применяемого метода анализа, что усложняет проведение исследований. Так, наши многочисленные работы показали, что бор дает хорошие результаты по расчленению озер-

ных или морских, прибрежных или более глубоководных осадков (этот его индикационный признак описан многими авторами). Еще лучшие результаты получаются при изучении форм его нахождения, но во всех случаях требуются дополнительные критерии, подтверждающие правильность сделанных выводов. Изменение концентрации бора зависит от большого количества других факторов, в связи с чем необходимо иметь подтверждение того, что их влияние на распределение концентраций незначительно, а это довольно сложная работа, выполнение которой в производственных условиях не всегда бывает возможно. Д. М. Шоу (1969) указывал, что использование геохимических признаков более надежно по комплексу элементов, так как их содержания в породе или минерале находятся в тесной зависимости между собой, а следовательно, такие характеристики более представительны, а выводы, сделанные на их основе, более достоверны. Предлагаемый коэффициент накопления как раз и является оценкой, базирующейся на широкой гамме микроэлементов. Однако нам представляется, что не всегда необходимо иметь данные по очень широкому кругу элементов. Изменение содержания многих элементов может быть просто не связано с изучаемым процессом формирования породы. Как мы уже указывали выше, достаточно выделить такие ассоциации элементов, увеличение или уменьшение содержаний которых непосредственно связано с определенным явлением и более точно характеризует изучаемую породу. При этом для большей надежности следует выбирать те элементы, которые дают наиболее контрастные изменения в содержаниях. Использовать же коэффициент (R) в том виде, как предлагает Д. М. Шоу, можно в случаях расшифровки геохимической характеристики исследуемых образований района, участка и т. д. или при сравнении однотипных разностей пород, принадлежащих различным комплексам, когда сопоставляемые породы имеют единые значения кларковых содержаний. Само значение кларковых величин содержаний является очень усредненным, и в случаях сравнения различных по типу пород можно получить значительную дисперсию значений коэффициента накопления.

В большинстве случаев при выборе элементов-индикаторов для расчета различных показателей и коэффициентов наиболее методически правильно использовать в этом случае ассоциации тех элементов, которые, как нами было указано выше, относятся к первой группе элементов.

В одном из районов Горной Шории (использованы первич-

ные материалы А. Д. Горшенина) были изучены интрузивные породы различного состава, принадлежащие Пистекской, Чезимской и Ортонской интрузиям. Для основных разностей пород был рассчитан коэффициент накопления R (по Шоу) и отдельно (Кн) по элементам, характерным повышением содержаний в основных (Mn, Ni, Co, Cr) и кислых (Zn, Zr, Mo и Pb) породах (табл. 6).

Таблица 6

Значение геохимических коэффициентов

Порода и интрузия	Значение коэффициента		
	R (по Шоу) по 20 элементам	К _{н1} (Mn, Ni, Co, Cr)	К _{н2} (Zn, Zr, Mo, Pb)
Габброиды (пистекская)	1,2	0,8	1,0
Гранодиориты (пистекская)	1,4	1,0	1,2
Порфириовидные граниты (ортонская)	0,4	0,3	0,38

Коэффициенты накопления R, К_{н1}, К_{н2}) рассчитываются по следующей формуле:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n r_1 + r_2 + \dots + r_n}{n},$$

где n — количество элементов (в нашем случае 20);

$$r = \frac{\sum_{K=1}^N \frac{x_1}{x_{K1}} + \frac{x_2}{x_{K2}} + \dots + \frac{x_N}{x_{KN}}}{N},$$

где x_1, x_2 и т. д. — конкретное содержание элементов в пробе; r_1, r_2 — коэффициент накопления, рассчитанный для каждой единицы пробы; x_{K1}, x_{K2} — кларковое содержание элемента для данной породы; N — количество проб в выборке.

Как видно из табл. 6, все три коэффициента дают практически одни и те же величины. Это указывает на то, что габброиды и гранодиориты Пистекской интрузии принадлежат одному и тому же интрузивному комплексу, а порфириовидные граниты Ортонской интрузии — другому. При этом набор эле-

ментов может быть не столь уж строгим, исходя из того, что использованные элементы в K_{n1} и K_{n2} несут различные (противоположные) тенденции характеристик при изменении основности пород и все-таки дают идентичный ответ относительно приуроченности пород к определенным комплексам. Таким образом, напрашивается два вывода. Первый—при оценке принадлежности пород к определенному комплексу (по близким значениям коэффициента накопления) или принадлежности к различным комплексам необходимо в первую очередь устранять влияние химического состава на значение коэффициента. В случаях изучения однотипных разностей пород кларковые содержания в расчеты вводить не следует. И второй—достаточно использовать не всю гамму элементов, а лишь те из них, которые дают наибольшие различия в содержаниях в связи с проявлением изучаемого признака породы.

Здесь следует отметить, что значения коэффициента накопления (R), например, для габброидов и гранодиоритов Пистекской интрузии, рассчитанные для каждой пробы в отдельности, изменяются в пределах от 0,8 до 2,4, в том время как значения этого же коэффициента для порфировидных гранитов в Ортоной интрузии отмечаются в пределах от 0,3 до 0,7, т. е. опять наблюдается случай, когда крайние значения коэффициента изучаемых разностей пород не попадают в область одинаковых перекрывающихся значений. Аналогичная картина установлена и по K_{n1} и K_{n2} . Следовательно, каждая единичная проба может быть достоверно отнесена по геохимическим признакам (по значению коэффициента накопления) к породам того или иного интрузивного комплекса. Это наиболее простой и наиболее часто встречающийся пример. И все же рассмотрим такой случай, когда исследуемые нами объекты достаточно хорошо различаются по средним значениям (табл. 7), и в то же время в сравниваемых выборках устанавливаются пробы со значениями предлагаемого коэффициента, близкими или попадающими в область этих значений, где разделение проб по принадлежности их к одной из выборок невозможно.

Как видно из табл. 7, в нее включены породы, различные по химическому составу. Авторы умышленно рассматривают именно задачу, связанную с различиями химического состава, хотя можно было бы привести и другие примеры, т. е. случаи, когда решаются другие геологические задачи, так как предлагаемые элементы достаточно обоснованно выбраны как элементы-индикаторы, а следовательно, не требуется дополни-

Средние значения геохимических показателей
для разных типов пород

Порода, интрузия	Значения геохимического показателя			
	(Mn·Ni·Co·Cr) ×10 ⁻⁹	(Ni·Co·Cu) ×10 ⁻⁸	(Cr·V) ×10 ⁻⁶	(Mn·Cr·V) ×10 ⁻⁸
Габброиды (пистекская интрузия)	185,0	176,0	297,0	2336,0
Диориты (чезимская интрузия)	1,83	2,0	73,9	140,4
Гранодиориты (пистекская)	0,46	0,2	34,7	90,4
Кварцевые монзониты (чезимская интрузия)	0,11	0,01	4,2	13,4
Порфиroidные граниты (ортонская интрузия)	0,0007	0,007	0,3	0,8

тельного материала, связанного с выделением элементов-индикаторов, характеризующих другие признаки исследуемых пород. Методологически подобные геологические задачи решаются аналогично рассмотренному примеру.

В табл. 7 перечисленные разности пород довольно контрастно отличаются друг от друга (особенно по показателю $Mn \cdot Ni \cdot Co \cdot Cr$) по химическому составу. Но лишь все пробы кварцевых монцититов и порфириовидных гранитов могут по предлагаемому показателю основности быть отнесены к своему классу. В других же выборках могут встретиться пробы (например в габброидах и диоритах), которые попадают в область значений показателя, не позволяющую отнести их к тому или иному типу пород. Причин такого явления может быть две. Одна заключается в том, что составлены не чистые, не однородные выборки проб пород, и вторая, менее вероятная, но, по-видимому, возможная, что исследуемые породы характеризуются значительной дисперсией значений коэффициента, т. е. более широкой, чем требуют рамки поставленной задачи. Для того, чтобы найти выход из создавшегося положения, можно пойти несколькими путями:

а) пересмотреть элементы, включенные в расчет показателя или коэффициента, и те из них, содержания которых характеризуются наибольшей дисперсией в пределах одной выборки, исключить из расчета;

б) усложнить показатель за счет введения элементов, имеющих противоположную направленность в изменении содержания, т. е. в данном случае элементов-индикаторов кислых разностей пород.

Обычно в случаях чистой выборки такими приемами удается добиться желаемого результата. В сложных примерах можно использовать два-три показателя, по которым последовательно оценивается каждая проба или группа проб. Однако если все-таки не удастся найти показатели, однозначно оценивающие пробы, то это скорее всего означает, что в выборку включены пробы других пород. В таких случаях поступают поразному. Прежде всего исключают из отчета пробы с явно «ураганными» значениями, что является наиболее простым способом. Не более трудоемка операция ограничить свою выборку двойным или более кратным значением среднего. И, наконец, можно ограничить выборку интервалами плюс—минус одним-двумя или тремя стандартными отклонениями, рассчитанными для данной выборки. Однако во всех случаях есть опасность исключить из выборки пробы, принадлежащие дан-

ному типу пород. Это неизбежные потери, но они компенсируются более высокой степенью надежности и достоверности отнесения пробы к тому или иному определенному типу пород. Как показывает опыт, пробы пород, не имеющие четкой привязки, обычно единичны и составляют первые проценты и в крайне редких случаях достигают 20% от общего объема выборки. Если их количество превышает 20—25%, то все пробы данной выборки надо пересмотреть или лучше вообще не использовать.

Перечисленные возможности применения микроэлементного метода не ограничиваются, естественно, приведенными выше примерами. Использование различий в содержаниях микроэлементов может быть применено и при стратиграфическом расчленении отложений, и что в конечном счете, является наиглавнейшим, в деятельности большинства геологических организаций, при поисках, направленных на выявление рудных концентраций в осадочных породах и породах, сингенетичных с ними. Обе перечисленные задачи неразрывно связаны друг с другом и вытекают одна из другой. Ниже рассмотрим некоторые методические приемы, применяемые для их решения на Егорьевском месторождении фосфоритов.

В районе работ широко представлены отложения юрского, мелового и неоген-четвертичного возраста, слагающие отдельные стратиграфические горизонты и представленные преимуще-

Распределение средних содержаний P_2O_5 и микроэлементов в породах

Наименование стратиграфического горизонта и характер отложений	Число проб	Средние содержания					
		P_2O_5	V п.10-3	V п.10-4	Zn п.10-3	Co п.10-4	Mo п.10-5
Неоген-четвертичный (песчано-глинистые)	36	1,5	4,2	51,4	5,3	5,5	22,2
Валажжинский (пески)	10	0,4	5,8	70,6	20,3	13,1	28,0
Рязанский (фосфориты)	15	12,5	10,0	218,8	8,4	52,9	9,3
Верхневолжский (фосфориты)	21	15,6	10,9	86,9	5,9	37,3	14,6
Верхне-средневолжский {(глауконитовые пески с фосфоритами)	30	7,8	17,1	58,9	6,2	27,8	12,3
Средневолжский (фосфориты)	13	18,1	14,9	22,3	2,6	14,8	9,8
Оксфордский (глины)	10	0,8	13,1	181,0	18,4	95,8	70,0

щественно песчано-глинистыми фациями, характеризующимися значительными различиями средних содержаний микроэлементов. Отложения юрского и мелового возраста фосфатоносны. Наиболее контрастны различия в содержании таких элементов, как никель, кобальт, молибден и некоторые другие (табл. 8). Высокая контрастность этих различий в первую очередь определяется неоднородностью литологического состава пород и условиями их образования. Кроме того, на геохимическую характеристику изучаемых пород накладывает отпечаток процесс фосфатонакопления.

Выявленные геохимические признаки и коэффициент К, а также особенности микроэлементного состава осадочных отложений по разрезу проявлены однозначно и характеризуют значительные площади развития описываемого разреза, что определяется литолого-фациальными условиями морского осадконакопления в платформенных областях (см. табл. 8).

Как видно из этой же таблицы, четвертичные отложения характеризуются максимальными содержаниями циркония, валанжинские — цинка и ниобия, породы рязанского горизонта — ванадия и хрома, отложения волжского горизонта — стронция, бора, германия и, наконец, оксфордские глины — бария, кобальта, молибдена, никеля, свинца, скандия, титана. Таким образом, для отложений каждого стратиграфичес-

Таблица 8

Центрального участка Егорьевского месторождения

микроэлементов в %										
Mn п.10 ⁻³	Cu п.10 ⁻⁴	Ni п.10 ⁻⁴	Nb п.10 ⁻⁴	Sr п.10 ⁻³	Pb п.10 ⁻⁴	Sc п.10 ⁻⁴	Ti п.10 ⁻²	Zr п.10 ⁻³	Cr п.10 ⁻⁴	
41,3	30,5	22,0	8,1	5,8	5,4	1,1	18,0	13,5	16,0	
51,2	36,0	29,2	8,6	23,2	5,3	1,1	16,2	11,9	19,7	
46,0	9,3	53,2	2,7	70,0	12,9	2,1	7,4	5,2	67,1	
67,9	7,3	39,5	2,3	70,3	9,7	0,8	6,6	3,0	40,3	
35,8	8,1	37,9	2,2	46,1	10,2	1,3	7,2	2,5	33,3	
68,8	12,5	21,6	2,2	78,2	9,11	0,6	6,4	1,8	11,6	
43,3	32,2	312,0	4,6	44,5	22,6	5,2	22,0	7,5	18,5	

кого горизонта выделяется круг элементов — индикаторов. Этот круг при помощи объективных оценок может быть расширен, а именно, кроме элементов, дающих наиболее контрастные различия в содержаниях, в него можно вводить и элементы, характеризующиеся меньшими значениями коэффициента накопления. В этом случае один и тот же элемент может являться элементом-индикатором отложений, отмечающихся в различных стратиграфических горизонтах, но степень его значимости будет неодинакова.

Выявленные таким образом индикационные свойства микроэлементов вполне могут быть в конкретных случаях рекомендованы для использования их при расчленении или корреляции осадочных или вулканогенных толщ. Вряд ли требуются какие-либо разъяснения в части методических приемов, так как они многократно рассмотрены выше. Следует напомнить, что использование нескольких мультипликативных показателей или коэффициентов может повысить надежность полученных выводов.

Все микроэлементы в зависимости от степени их концентрации и характера распределения по разрезу можно разделить на три группы. В первую объединены ниобий, цирконий, титан и медь — элементы-индикаторы неоген-четвертичных, валанжинских и оксфордских, т. е. безрудных отложений. Во вторую — стронций, бор, марганец, хром, характеризующиеся повышенными содержаниями в отложениях фосфатоносных горизонтов. Сюда же могут быть отнесены кобальт и никель, так как их положение в ряду геохимической зональности (Буренков и др., 1973) в случае оксфордских глин закономерно, а в рудных горизонтах они явно проявляют индикационные признаки фосфатоносности.

Построив ряды накопления для каждого стратиграфического горизонта, нетрудно по максимальным значениям коэффициента выделить элементы-индикаторы фосфатоносных отложений — стронций, бор, хром, кобальт и безрудных — ниобий, цирконий, титан и медь. Мультипликативные показатели, рассчитанные для перечисленных элементов, отчетливо выделяют, одни по максимумам значений, другие по минимумам, фосфатоносные отложения. Еще более четко это можно сделать по геохимическому коэффициенту «К», представляющему отношение этих показателей (табл. 9). При этом различия составляют несколько порядков.

Различия в значениях коэффициентов «К» установлены не только по средним содержаниям, но не менее отчетливо

Значение К для различных стратиграфических горизонтов
Егорьевского месторождения

Горизонты	К = $\frac{Co \cdot B \cdot Sr \cdot Cr}{Zr \cdot Ti \cdot Nb \cdot Cu}$		P ₂ O ₅	
	min	max	min	max
Q	0,00007	0,5	0,02	5,83
K _{1V}	0,008	0,4	0,06	2,00
K _{1Г}	1,0	3500	3,55	22,53
J _{3V3}	48	7000	1,00	23,20
J _{3V2-3}	10	3200	0,32	18,80
J _{3V2}	7	2600	4,23	23,70
J _{3ox}	0,1	13,0	0,36	2,82

проявлены и при их расчетах по каждой пробе. При этом не наблюдалось отклонений ни на одном из более чем сорока изученных разрезов.

В процессе изучения распределения микроэлементов в продуктивной толще было установлено, что повышенные концентрации элементов-индикаторов фосфатоносных горизонтов широко распространяются за пределы участков с промышленными концентрациями фосфора, образуя своего рода окаймляющие их шлейфы. Такие шлейфы при поисках и оконтуривании рудных тел, сингенетичных вмещающим осадочным толщам, легко фиксируются геохимическим опробованием. Это позволяет не только выявлять рудные тела, но и эффективно направлять при поисках горные и буровые работы, существенно повышая их результативность. На примере исследований, проведенных на Егорьевском месторождении фосфоритов желвакового типа, выявленные закономерности и разработанные методические приемы получили полное подтверждение.

В заключение авторы считают необходимым подчеркнуть, что при использовании микроэлементного метода для решения геологических вопросов, а также при поисках месторождений осадочного образования основными методическими приемами будут являться:

а) геологически представительный отбор геохимических проб исследуемых объектов в количестве, обеспечивающем

статистическую достоверность вычисления средних содержания микроэлементов. Имеющийся опыт показывает (Резников, Янишевский, 1971), что опробование неоднородных стратифицированных пород следует производить методом пунктирной борозды. Интервал выбирается из расчета обеспечения отбора проб не менее 20—30 по каждой изучаемой разновидности пород. Выходы однородных по составу пород, обнажающихся на поверхности, целесообразно опробовать методом «конверта», относительно равномерно размещая точки отбора проб;

б) выбор элементов-индикаторов, характеризующих изучаемые объекты, в соответствии с рекомендуемыми методическими приемами;

в) расчет параметров распределения микроэлементов в изучаемых объектах, а также соответствующих количественных геохимических показателей и коэффициентов, выражающих их признаки.

При изучении состава микроэлементов исследуемых объектов целесообразно использовать метод приближенно-количественного спектрального анализа.

Авторы считают также необходимым отметить, что микроэлементный метод не предназначается для замены вполне надежных минералогических, петрографических, литологических и других методов. Как показывают приведенные в статье примеры, он весьма эффективно может использоваться в комплексе с другими традиционными методами для повышения достоверности решений, возникающих при геологических исследованиях, и что особенно важно, при прогнозировании и поисках месторождений полезных ископаемых осадочного происхождения. Нельзя не подчеркнуть, что этот метод, наряду с относительно небольшой трудоемкостью, а следовательно, и дешевизной, в ряде случаев может иметь решающее значение. В производственных условиях для указанных целей этот метод до настоящего времени применялся весьма мало. Причиной этому в значительной мере являлась слабая разработанность методических приемов. Авторы будут считать поставленную ими задачу выполненной, если изложенный в статье методический материал позволит в какой-то степени заполнить этот пробел. Это в свою очередь может привести к резкому расширению внедрения этого вида геохимических работ и тем самым существенному повышению эффективности геологосъемочных и поисковых работ за счет снижения их трудоемкости и повышения результативности.

Буренков Э. Н., Шейнин И. С. Закономерности распределения микроэлементов в некоторых вулканогенных образованиях.—Сов. геология, 1973, № 12.

Буренков Э. К. и др. Закономерности распределения микроэлементов в осадочных образованиях как критерий поисков осадочных месторождений. В сб.: «Геохимические критерии прогнозирования и поисков рудных месторождений». Изд. ИМГРЭ, М., 1973.

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

Резников И. Н., Янишевский Е. М. Об использовании геохимических методов при геологосъемочных работах.—Научные собрания ИМГРЭ, вып. 9, М., 1971.

Страхов Н. М. Геохимия осадочных пород и руд. Материалы VII Всесоюзной литологической конференции. Изд-во «Наука», 1968.

Шоу Д. М. Геохимия микроэлементов кристаллических пород. Изд-во «Недра», 1969.

Янишевский Е. М., Григорян С. В., Баранов Э. Н., Вертепов Г. И., Каблуков А. Д. Эндогенные ореолы рассеяния некоторых гидротермальных месторождений. Гостеолтехиздат, 1963.

Янишевский Е. М. О месте и роли геохимических методов на отдельных этапах и стадиях геологоразведочных работ. В сб.: «Геохимические критерии прогнозирования и поисков рудных месторождений». Изд. ИМГРЭ, М., 1973.

**ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ГЕОХИМИЧЕСКИХ И АЭРОФОТОГЕОЛОГИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИХ
СТРУКТУР БОЛНИССКОГО РУДНОГО РАЙОНА
(ЮГО-ВОСТОЧНАЯ ГРУЗИЯ)**

Надежность прогнозирования новых рудных полей, новых месторождений и рудных тел в пределах известных полей и соответственно—направление, методика и эффективность поисковых и поисково-разведочных работ находятся в прямой зависимости от полноты знания закономерностей размещения оруденения в рудном районе. Исключительно важная роль в этом принадлежит выделению рудоконтролирующих структур. В условиях слабо обнаженных районов, где возможности прямых геологических наблюдений резко ограничены, выявление и прослеживание рудоконтролирующих структур представляет сложную задачу. Для успешного ее решения возникает необходимость привлечения наряду с традиционными геологическими методами исследований новых методов, обладающих определенной глубиной и позволяющих в условиях слабой обнаженности более полно осветить геологическое строение района и распределение рудных проявлений в его пределах. К таким методам принадлежат аэрофотогеологические и геохимические методы. Опыту применения данных методов при изучении рудоконтролирующих структур Болнисского рудного района в юго-восточной Грузии и посвящена настоящая статья.

Аэрофотогеологические работы (1968—1974 гг., Л. Н. Аистов, Г. Г. Скипин и др.—экспедиция № 12 Всесоюзного аэрогеологического научно-производственного объединения «Аэрогеология») имели целью составление аэрофотогеологической основы геологической карты района крупного масштаба; геохимические работы (1966—1974 гг., Э. Н. Баранов, И. А. Пурик, В. С. Поливанов, Л. А. Криночкин и др.—Центральная геохимическая экспедиция ИМГРЭ) проводились с целью гео-

химической оценки перспектив рудоносности района. Те и другие работы носили как опытно-методический, так и производственный характер и осуществлялись в тесном сотрудничестве с геологами Поладаурской партии «Грузгеологии» (М. И. Чохонелидзе и др.), проводящими поисковые и разведочные работы в районе. В результате работ был получен новый фактический материал по тектоническому строению района и закономерностям размещения оруденения в его пределах. Как будет показано ниже, полученные новые дополнительные данные позволяют существенно повысить достоверность изучения и оценки рудоносности структур района и дать некоторые методические рекомендации по этому вопросу.

Болнисский рудный район, занимающий значительную часть юго-восточной Грузии, имеет длительную историю геологического изучения. Вопросы его геологии и металлогении освещены во многих работах, среди которых следует особо выделить монографию «Геологическое строение и металлогения Юго-Восточной Грузии», (1965), подведшую итог многолетних работ большого коллектива геологов под руководством П. Д. Гамкрелидзе и Ю. Н. Назарова. Поэтому и с учетом методической направленности настоящей статьи характеристика геологического строения района и его рудоносности здесь не приводится. Следует только подчеркнуть, что основные рудные объекты района—Маднеульское медноколчеданное и барит-полиметаллическое, Квемо-Болнисское и Цительсепельское медноколчеданные, Давид-Гареджинское барит-полиметаллическое месторождения и Поладаурская группа железорудных (гематитовых) месторождений — находятся в пределах широтной Маднеульско-Поладаурской тектонической подзоны, занимающей центральную часть района и сложенной верхнемеловыми вулканогенно-осадочными отложениями. Подзона отделена крупными субширотными разломами от Храмского (на севере) и Локского (на юге) поднятий, в пределах которых широко развиты нижнепалеозойские метаморфические породы и палеозойские гранитоиды и отмечаются многочисленные проявления полиметаллического и молибденового оруденения.

Подробнее остановимся на некоторых особенностях ландшафтов и геологии района, определяющих возможности и условия применения аэрофотогеологических и геохимических методов.

Болнисский рудный район расположен на северо-запад-

ных отрогах Малого Кавказа и в орографическом отношении соответствует Храмско-Локскому среднегорному региону. Северо-запад, запад и юг района (Беденский массив, восточные склоны Джавахетского хребта, Самхетский хребет) представляют собой гористую местность с абсолютными отметками от 1500 до 2000 м. В центральной части района, представленной северными отрогами Самхетского хребта, высоты уменьшаются к северу и северо-востоку до 1000—1300 м, и при подходе к долинам рек Машавера и Храми хребты переходят в низкогорье и мелкосопочник. В целом для района характерен молодой рельеф с интенсивной расчлененностью склонов хребтов глубоко врезаемыми долинами временных водотоков и относительным перепадом высот до 500—600 м.

Площади развития верхнеплиоценово-среднечетвертичных лав долеритов и базальтов выражены в рельефе в виде плато.

Район сильно залесен, около двух третей его территории занимают широколиственные дубово-грабово-буковые леса. Остальная часть территории района в основном освоена, занята сельскохозяйственными угодьями.

Несмотря на интенсивную расчлененность рельефа, для района характерна недостаточная обнаженность. В горной части почти повсеместно распространены современные делювиальные и пролювиальные образования. Их мощность и состав изменяются в зависимости от морфологии местности. На крутых склонах развит делювий, имеющий небольшую мощность (1—3 м) и представленный супесями с крупнообломочным материалом. На пологих склонах делювиальные отложения встречаются совместно с пролювиальными. Они представлены плохо сортированным, нечетко слоистым суглинисто-щебнистым и песчанистым материалом мощностью до 5 м, а у подножий склонов—до 10—20 м. На платообразных возвышенностях развит в основном элювий, представленный глыбовыми и крупнообломочными россыпями или щебнистыми суглинками мощностью около 0,5—1 м, иногда до 2—3 м.

По долинам рек Храми, Машавера и их наиболее крупных притоков распространены современные аллювиальные отложения, представленные плохо сортированным валунино-галечным материалом с примесью супесей и суглинков. Их мощность резко возрастает в равнинных частях долин, достигая 100—150 м.

В почвенном покрове, формирующемся на современных

рыхлых отложениях, преобладают горно-лесные бурые почвы. Они развиты под пологом широколиственных лесов на высотах свыше 1100 м и имеют четко выраженные генетические горизонты. Мощность почв составляет 0,5—1,5 м при мощности гумусового горизонта 6—12 см. Под широколиственными лесами и лесокустарниками на высотах ниже 1100 м формируются горно-коричневые почвы.

Под вторичными лугами, возникшими на участках древних вырубок, развиты горные лесо-луговые почвы. Под кустарниковыми лугами, распространенными на северо-востоке и востоке района, формируются горно-коричневые олуговые почвы. Особенностью, сближающей их с горно-лесными бурыми почвами, является наличие четко выраженного гумусового горизонта со сравнительно высоким содержанием органического вещества (до 6—10%).

В связи со слабой обнаженностью района возможности прямых геологических наблюдений резко ограничены. Поэтому, несмотря на большой объем проведенных в районе геолого-съемочных и поисково-разведочных работ, многие вопросы геологического строения и металлогении района, его прогнозной оценки, важные для эффективного направления поисково-разведочных работ, остались недостаточно изученными. Последнее в особенности относится к выявлению разрывных структур и оценке их роли в размещении оруденения. Вместе с тем, относительно малая мощность рыхлых отложений (в основном до 5 м) указывала на возможность эффективного применения литогеохимических методов поисков по гипергенным ореолам для оценки перспектив рудоносности района. В свою очередь, аэрофотогеологические работы позволили составить более полную геологическую карту. Это и обусловило совместное применение аэрофотогеологических и геохимических методов для расшифровки рудоконтролирующих структур района.

Методика и результаты аэрофотогеологических работ

Аэрофотогеологические работы в настоящее время, как правило, опережают геолого-съемочные работы, однако их проводят также в районах, для которых ранее составленная геологическая карта требует уточнения и в первую очередь из-за того, что эти работы ранее не проводились.

При аэрофотосъемочных работах в результате предварительного геологического дешифрирования аэрофотоматериала

лов составлялись схемы этого дешифрирования. Они сопоставлялись с имеющимися геологическими картами, что позволяло придать выделенным при дешифрировании площадям определенный геологический смысл и установить дешифровочные признаки тех или иных геологических объектов (литолого-стратиграфических и интрузивных комплексов, разрывных нарушений и т. п.). Полевые исследования при аэрофотогеологических работах были направлены прежде всего на проверку результатов предварительного дешифрирования и заключались в сборе геологических данных, подтверждающих установленные на предварительном этапе дешифровочные признаки отдельных геологических объектов, а также позволяющих выявить новые дешифровочные признаки. Последующее окончательное дешифрирование аэрофотоматериалов проводилось для уточнения ранее выделенных геологических границ, прослеживания разрывных нарушений на значительные расстояния с учетом данных полевых наблюдений и выявленных новых дешифровочных признаков и увязки площадей, обработанных в различные годы. После завершения этих работ информация с аэрофотоснимков переносилась на топооснову крупного масштаба, в итоге составлялась и аэрофотогеологическая основа изучаемого района. Она представляет собой схематическую геологическую карту, составленную по данным геологического дешифрирования аэрофотоматериалов, с использованием геологических материалов предшествующих работ, частично переоцененных в процессе дешифрирования.

В результате проведенных работ в Болнисском рудном районе такая карта была составлена в крупном масштабе для площади около 2300 кв. км. Она существенно дополнила данные о геологическом строении района и уточнила геологические карты, составленные без применения аэрофотометодов. Были уточнены многие геологические границы, особенно границы четвертичных отложений, неоген-четвертичных лав основного состава, среднеэоценовых вулканогенных пород, мезозойских карбонатных пород, контуры многих субвулканических тел, выделены зоны распространения даек различного состава и отдельные вулканические аппараты. Наиболее крупным достижением применения аэрофотометодов явилось выделение большого количества разрывных нарушений, которые практически не картировались при предыдущих геологосъемочных работах. Для подтверждения вышесказанного, укажем, что на площади, приведенной на фиг. 1а,

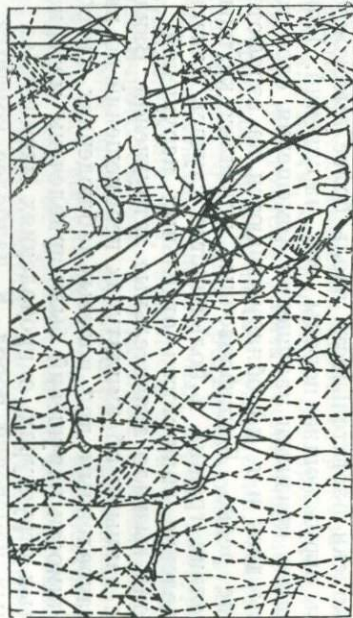
в результате предыдущих геологосъемочных работ был выделен только один широтный разлом в южной части площади. Установленные же в результате аэрофотогеологических работ многочисленные разрывные нарушения группируются в три основные, примерно равнозначные системы: субширотную, северо-восточную и северо-западную.

Вместе с тем, для выявления некоторых элементов геологического строения района аэрофотометод оказался недостаточно информативным. Это относится прежде всего к картированию мощных толщ вулканогенно-осадочных отложений. Слабая обнаженность и значительная залесенность, сходство литологического состава толщ, отсутствие маркирующих горизонтов — все это резко снизило возможности дешифрирования литологических разностей пород и фацальной изменчивости толщ.

Следует подчеркнуть, что не было установлено каких-либо прямых или косвенных дешифровочных признаков наличия рудной минерализации и околорудных изменений. Возможности использования аэрофотометодов для прогнозирования оруденения определялись таким образом только выявлением с их помощью главных рудоконтролирующих факторов.

В условиях Болнинского рудного района одним из таких факторов являются разрывные нарушения, которые дешифрируются в большинстве случаев достаточно достоверно. Ведущими при их выделении явились косвенные признаки: геоморфолого-гидрографические, выражающиеся в прямолинейности долин, ложбин стока, в цепочечном расположении седловин, понижений в рельефе, и почвенно-ботанические, обусловившие возникновение на аэрофотоснимках более темных полос или цепочек в результате повышения густоты и изменения типа, окраски растительности вдоль более высокопроницаемых, чем окружающие породы, зон нарушений. Прямые геологические признаки нарушений (смещения слоистости пород, зоны даек и т. п.) обнаруживаются на аэрофотоснимках крайне редко. Дешифровочные признаки крупных разрывов и мелких трещин в большинстве случаев близки, поэтому определение значимости отдельных нарушений в структуре района вызвало значительные затруднения. Ввиду этого наряду с данными об амплитудах перемещений по нарушениям, установленным при полевых наблюдениях, для определения значимости нарушений были привлечены материалы о складчатых структурах, о проявлениях магматизма и гидротермальных изменений пород. К наиболее крупным —

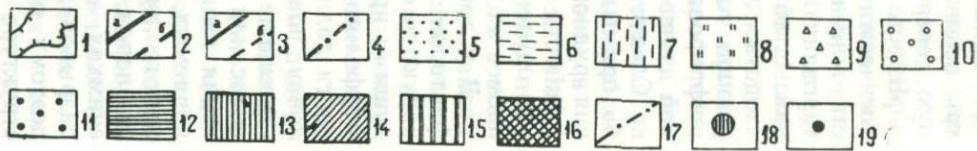
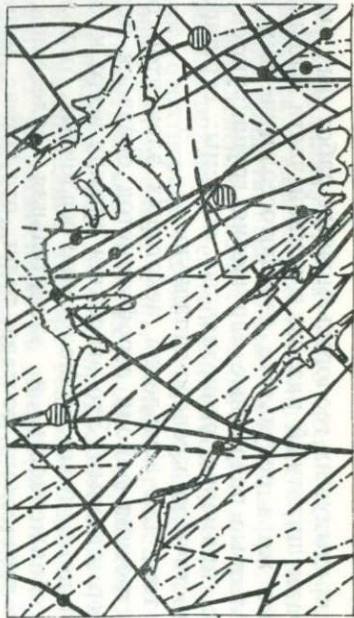
A



Б

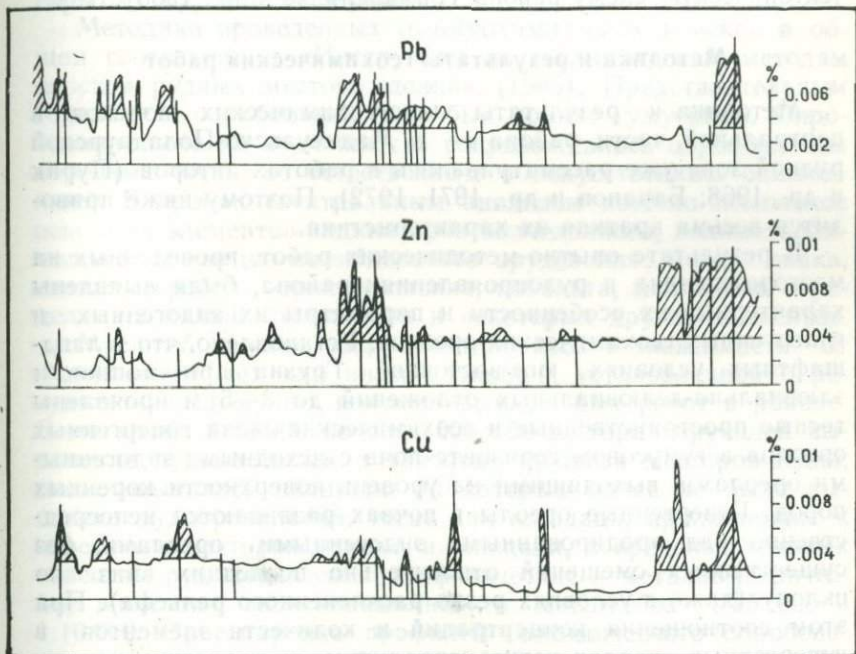


В



Фиг. 1. Схемы распределения разрывных нарушений, выделенных аэрофотогеологическими методами (а), гипергенных геохимических аномалий (б) и рудоконтролирующих разрывных нарушений (в) для центральной части Маднеульско-Поладаурской рудной зоны

1—Контуры распределения четвертичных отложений; 2—крупные разрывные нарушения, установленные (а) и предполагаемые (б); 3—средние и мелкие разрывные нарушения, установленные (а) и предполагаемые (б); 4—разрывные нарушения, предполагаемые под покровом четвертичных отложений. Гипергенные геохимические аномалии в гумусовом горизонте почв: 5—Cu, 6—Zn, 7—Pb, 8—Ag, 9—Ba, 10—Mo, 11—Co, 12—Cu+Zn, 13—Zn+Pb, 14—Cu+Pb, 15—Zn+Pb+Ba, 16—Cu+Zn+Pb; 17—разрывные нарушения, предполагаемые по геохимическим данным; 18—месторождения; 19—рудопроявления



Фиг. 2. Графики распределения содержаний меди, цинка, свинца в гумусовом горизонте почв по профилю литогеохимического опробования

На графиках заштрихованы поля аномальных содержаний элементов (более Ca_1), вертикальными линиями показано положение разрывных нарушений, выделенных на аэрофотогеологической основе

региональным нарушениям отнесены не только разломы со значительной амплитудой перемещения (такие, как Локский, Мамуло-Шихилойский), но и те разломы, которые разделяют блоки с резко различным структурным планом. Как крупные нарушения выделены также протяженные зоны сближенных близпараллельных разрывов, в пределах которых широко развиты дайки, тела субвулканических пород и гидротермальные изменения пород (Маднеульская, Абульмульская зоны и др.). Преобладающее большинство дешифрируемых нарушений отнесено к средним и мелким нарушениям (фиг. 1). Применение указанных признаков позволило достаточно обоснованно выделить крупные разрывные нарушения района и тем самым существенно дополнить существовавшую тектоническую схему района (Гамкрелидзе и др., 1965).

Методика и результаты геохимических работ

Методика и результаты литогеохимических поисков в центральной части района — в Маднеульско-Поладаурской рудной зоне уже рассматривались в работах авторов (Пурик и др., 1968; Баранов и др., 1971, 1972). Поэтому ниже приводится весьма краткая их характеристика.

В результате опытно-методических работ, проведенных на месторождениях и рудопоявлениях района, были выявлены характерные их особенности и параметры их эндогенных и гипергенных геохимических ореолов. Установлено, что в ландшафтных условиях юго-восточной Грузии при мощности элювиально-делювиальных отложений до 3—5 м проявлены тесные пространственные и геохимические связи гипергенных ореолов в гумусовом горизонте почв с исходными эндогенными ореолами, выходящими на уровень поверхности коренных пород. Гипергенные ореолы в почвах развиваются непосредственно над эродированными эндогенными ореолами, без существенных смещений относительно последних вниз по склону (даже в условиях резко расчлененного рельефа). При этом соотношения концентраций и количеств элементов в гипергенных ореолах четко коррелируют с аналогичными соотношениями в исходных эндогенных ореолах. Все это позволяет при мощности рыхлых отложений до 3—5 м надежно выделять геохимические аномалии в почвах и производить уверенную интерпретацию типа рудной минерализации и оценку уровня эрозионного среза исходных эндогенных ореолов по их параметрам. Геохимические аномалии в почвах

устанавливаются над выходами рудных тел и эндогенных ореолов и при большей мощности рыхлых отложений (до 50 м, в исключительных случаях до 100—200 м), но их интерпретация и оценка в этом случае затруднительна.

Глубинность геохимических методов поисков скрытого медного, полиметаллического и молибденового оруденения по эндогенным ореолам в условиях района, как показали результаты опытно-методических работ, превышает 300—500 м.

Отмеченные выше особенности гипергенных геохимических ореолов в почвах явились основанием для использования литогеохимических методов поисков по гипергенным ореолам в почвах в качестве основных методов геохимических поисков скрытого оруденения в районе.

Методика проведенных литогеохимических поисков в общем соответствует «Инструкции по геохимическим методам поисков рудных месторождений» (1965). Представительным горизонтом опробования почв был принят гумусовый. Опробование почв по возможности сопровождалось опробованием коренных пород по естественным и искусственным обнажениям. В пробах спектральным анализом помимо комплекса основных элементов-индикаторов колчеданного, полиметаллического и медно-молибденового оруденения: меди, цинка, свинца, серебра, бария, мышьяка, кобальта, молибдена определялись также содержания и некоторых других элементов.

Масштаб поисков дифференцировался в зависимости от рудоносности тех или иных площадей, установленной в результате предыдущих поисково-разведочных работ в районе. В масштабе 1:50 000 по сети 500×50 м, гарантирующей выявление рудных полей и ореолов крупных месторождений, описковывались площади, на которых ранее не было выявлено рудопроявлений, тогда как площади, прилегающие к известным месторождениям, и площади, в пределах которых известны рудопроявления, геофизические и металлометрические аномалии, описковывались в масштабах 1:25 000 и 1:10 000. Ориентировка профилей геохимического опробования в соответствии с субширотной и северо-восточной ориентировкой основных рудоконтролирующих структур района была принята близмеридиональной и только на участках детальных работ изменялась в соответствии с ориентировкой конкретных рудоконтролирующих и рудовмещающих структур.

Литогеохимические поиски были проведены на площади

около 1500 кв. км, охватив большую часть потенциально рудоносных геологических образований Болнисского рудного района. В результате этих работ выявлены многочисленные геохимические аномалии в почвах и составлены карты геохимических аномалий комплекса основных элементов-индикаторов. Геохимические аномалии изображались на картах в полях ассоциаций элементов (см. фиг. 16). Была проведена интерпретация и оценка аномалий в соответствии с разработанными критериями и с учетом конкретных ландшафтных условий и геологической структуры участков их локализации.

Анализ полученных геохимических данных позволил помимо геохимической оценки опосредованных площадей на скрытое оруденение до глубин не менее 300—500 м и рекомендаций по направлению поисков скрытого оруденения по новому осветить многие закономерности распределения эндогенного оруденения в районе.

Для большинства геохимических аномалий характерны линейно вытянутые формы. В этом отношении показательны узкие (шириной до 50—100 м) аномалии, которые прослеживаются по прямой линии на расстоянии нескольких километров, независимо от элементов рельефа и других ландшафтных условий (см. фиг. 16). Для обширных по площади аномалий (до нескольких кв. км) характерны близкая к прямолинейной конфигурация их контуров и линейное распределение зон совмещения максимумов концентраций нескольких элементов (геохимических осей аномалий). Резко преобладающей является северо-восточная ориентировка аномалий и их осей; отчетливо выражена линейная вытянутость некоторых аномалий в широтном направлении (см. фиг. 16).

Линейный контроль локализации аномалий проявляется не только в их морфологии. Для рудного района характерно линейное, неясное распределение геохимических аномалий, которое проявляется в том, что аномалии группируются в пределах поясов шириной 1,5—3 км, редко до 5 км и протяженностью 15—30 км. В пределах таких поясов—рудных подзон сосредоточены почти все известные месторождения, рудопроявления и представляющие практический интерес геохимические аномалии комплексного состава. За их пределами, как правило, выявляются только локальные аномалии низкой интенсивности и обедненного элементного состава. Расстояние между поясами составляет 2—6 км. Аномалии в пределах поясов распределены неравномерно; в них выделяются крупные аномальные поля, разделенные площадями со слабым

прерывистым развитием аномалий. В пределах района по геохимическим данным выделено 18 рудных подзон. Большинство из них имеет северо-восточную ориентировку, часть — широтную.

Установленная линейность морфологии и распределения геохимических аномалий указывала на их тесную связь с разрывными нарушениями определенной ориентировки. Однако структурный контроль морфологии, строения и размещения геохимических аномалий, а соответственно и эндогенной рудной минерализации, проявлениями которой они являются, получил объективные доказательства только в результате сопряженного анализа аэрофотогеологических и геохимических материалов.

Комплексирование геохимических и аэрофотогеологических методов при изучении рудоконтролирующих структур района

В наших условиях аэрофотогеологические работы осуществлялись параллельно с геохимическими исследованиями. Это позволило произвести в камеральный период сопряженный анализ данных геохимического опробования и аэрофотосъемки, среди многочисленных дешифрируемых нарушений удалось выделить рудоконтролирующие структуры и более объективно интерпретировать геолого-структурную позицию выявляемых геохимических аномалий, повысив тем самым надежность их перспективной оценки.

Как показали детальные работы на колчеданных месторождениях района, распределение и морфология геохимических ореолов в плане определяется в основном крутопадающими разрывными нарушениями, которые являлись рудоподводящими и рудоограничивающими структурами, тогда как рудовмещающие структуры — пологопадающие, обычно согласные нарушения практически не проявляются в морфологии и строении аномального поля. Рудоконтролирующая роль крутопадающих нарушений контрастно проявлена в распределении и морфологии ореолов Дамблудского полиметаллического жильного месторождения и жильных рудопроявлений полиметаллов в Баритисhevском рудном поле. Поэтому основной задачей комплексного анализа геохимических и аэрофотогеологических данных явилось выделение и изучение рудоконтролирующих разрывных структур.

Этот анализ начинался с сопоставления аэрофотогеоло-

гических основ и карт гипергенных геохимических аномалий. При сравнении этих карт прежде всего обращает внимание пространственное совпадение части линейно вытянутых геохимических аномалий с разрывными нарушениями, выделенными на аэрофотогеологической основе (см. фиг. 1). Распределение металлов в выявленных аномалиях показало закономерную приуроченность многих максимумов концентраций к дешифрируемым нарушениям (см. фиг. 2). Связь исходных эндогенных геохимических аномалий с разрывными нарушениями в этом случае несомненна. Однако для большинства линейно вытянутых аномалий не устанавливается соответствующих им разрывных нарушений. Вместе с тем такие аномалии обычно вытянуты согласно с простиранием выделенных разрывных нарушений северо-восточного, реже близширотного простирания и, по всей вероятности, связаны с подобными нарушениями, не дешифрируемыми на аэрофото снимках. Подтверждение последнему следует видеть в том, что такие геохимические аномалии иногда располагаются на продолжении дешифрированных разрывных нарушений (см. фиг. 1в).

Более сложной задачей явилось установление влияния разрывной тектоники на локализацию, морфологию и строение обширных по площади (до нескольких кв. км) аномальных геохимических полей, в пределах которых, как правило, находятся месторождения и рудопроявления и которые могут рассматриваться как геохимическое выражение рудных полей. Контролирующая роль разрывных нарушений в таких полях проявляется не только в их общей вытянутости в том или ином направлении, но и в груболинейном характере очертаний полей, часто пространственно совпадающих с нарушениями, но особенно контрастно—в локализации и конфигурации полей повышенной комплексности состава, а также в приуроченности зон максимумов концентрации элементов-индикаторов (геохимических осей аномалий) к разрывным нарушениям. Поэтому необходимой частью исследований явилось составление рабочих карт-схем распределения геохимических осей в пределах больших аномальных полей, не имеющих четко выраженную линейную форму.

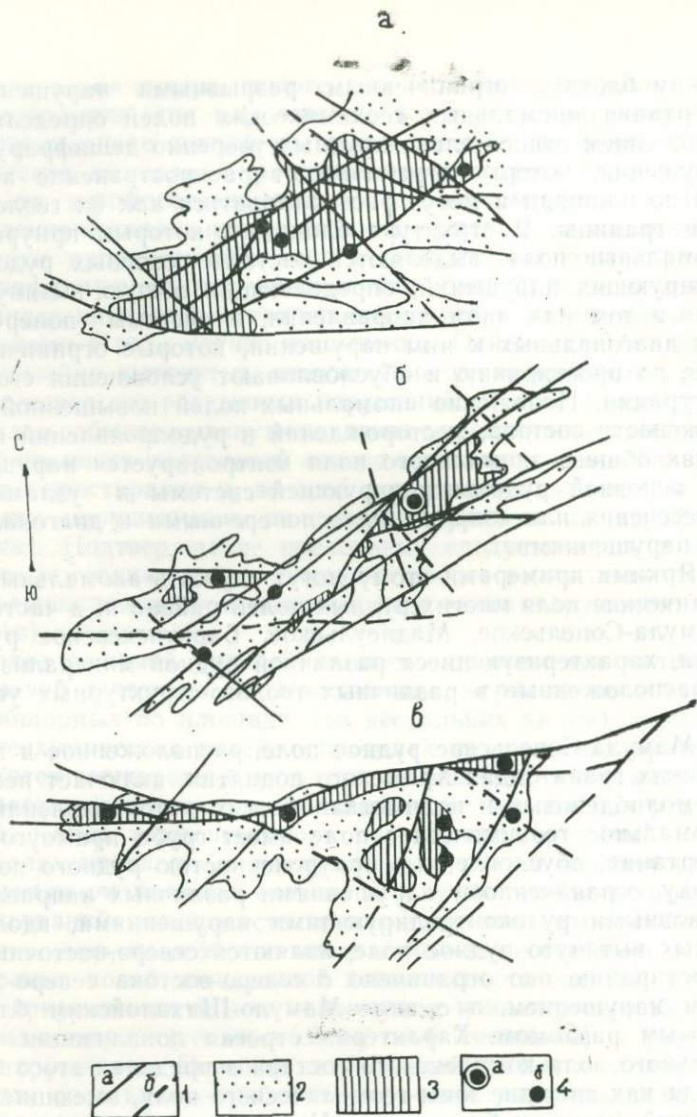
Сопоставление конфигурации аномальных полей и распределения полей повышенной комплексности состава и геохимических осей в их пределах с распределением разрывных нарушений дает основание для вывода о приуроченности большинства аномальных (рудных) полей района к тектони-

ческим блокам, ограниченными разрывными нарушениями. Очертания аномальных геохимических полей определяются положением относительно крупных уверенно дешифрируемых нарушений, которые ограничивают распространение аномалий по площади и могут рассматриваться как их геологические границы. В структуре блоков, к которым приурочены аномальные поля, выделяются система основных рудоконтролирующих нарушений, определяющих общую вытянутость поля в том или ином направлении, и системы поперечных или диагональных к ним нарушений, которые ограничивают поле по простиранию и обуславливают усложнения его конфигурации. Положение аномальных полей повышенной сложности состава, месторождений и рудопроявлений в пределах общего аномального поля контролируется нарушениями основной рудоконтролирующей системы и узлами их пересечения или сопряжения с поперечными и диагональными нарушениями.

Яркими примерами этому могут служить аномальные геохимические поля многих рудных полей района и, в частности, Мамула-Сопельское, Маднеульское, Баритисхевское рудные поля, характеризующиеся различной рудной минерализацией и расположенные в различных геолого-структурных условиях.

Мамула-Сопельское рудное поле, расположенное в палеозойских гранитоидах Храмовского поднятия, включает несколько молибденовых и полиметаллических рудопроявлений. Его аномальное геохимическое поле имеет грубо прямоугольные очертания, обусловленные приуроченностью рудного поля к блоку, ограниченному нарушениями различных направлений. Основными рудоконтролирующими нарушениями, вдоль которых вытянуто рудное поле, являются северо-восточные; по простиранию оно ограничено с северо-востока северо-западным нарушением, а с юга — Мамуло-Шихилойским близширотным разломом. Характерна строгая локализация центрального поля комплексного состава в пределах этого блока, тогда как внешние зоны геохимического поля, имеющие обедненный (моно- и биеlementный) состав, выходят за его пределы, распространяясь вдоль поперечных и диагональных нарушений (фиг. 3а).

Геохимическое аномальное поле Маднеульского рудного поля также имеет грубо прямоугольную форму, которая обусловлена его локализацией в пределах сложно построенного блока верхнемеловых вулканогенных пород. Оно вытянуто в



Фиг. 3. Структурная позиция аномальных геохимических полей Мамула-Сопельского (а), Маднеульского (б) и Баритисhevского (в) рудных полей

1—рудоконтролирующие разрывные нарушения, установленные (а) и предполагаемые (б). Аномальные поля: 2—обедненного (моно- и бивлементного) состава; 3—комплексного (3 элемента и более) состава; 4—месторождения (а), рудопроявления (б)

северо-восточном направлении согласно с системой основных рудоконтролирующих нарушений и ограничено по простиранию поперечными нарушениями северо-западного простирания. Усложнения конфигурации аномального поля контролируются поперечными северо-западными и диагональными близширотными нарушениями. Маднеульское медно-барит-полиметаллическое месторождение находится в северо-восточной части рудного поля, где локализуется в пределах блока более высокого порядка, ограниченного нарушениями различной ориентировки. В положении и очертаниях ореола месторождения отчетливо проявлен блоковый характер участка месторождения (фиг. 3б).

Баритисхевское рудное поле, в пределах которого пока известно только несколько баритовых и полиметаллических рудопоявлений, тяготеет к крупному широтному Локскому разлому и сложено гранитоидами и юрскими терригенными и вулканогенно-осадочными породами. Его аномальное поле имеет грубо треугольную форму, которая обусловлена приуроченностью рудного поля к тектоническому блоку, ограниченному с севера Локским разломом, с юго-запада нарушением северо-западного, с востока—северо-восточного простирания. Характерно, что Локский разлом, который является основной рудоконтролирующей структурой поля (к нему на всем его протяжении приурочены аномалии комплексного состава), резко ограничивает распространение аномалий к северу (фиг. 3в).

Таким образом, геохимическими признаками рудоконтролирующих разрывных нарушений являются приуроченность к ним линейно вытянутых аномалий, зон высоких аномальных концентраций элементов (геохимических осей аномалий) и полей повышенной комплексности состава. Эти нарушения обычно ограничивают площади распространения аномалий. Указанные признаки позволяют уверенно выделять среди многочисленных дешифрируемых разрывных нарушений те, которые контролируют распределение эндогенного оруденения в районе.

Как рудоконтролирующие в Болнисском рудном районе выделяется большинство крупных уверенно дешифрируемых нарушений большой протяженности и часть средних и мелких (по данным дешифрирования) нарушений. Принадлежность последних к рудоконтролирующим структурам подтверждается и тем, что они, как правило, имеют большую протяженность (до нескольких км и более). Это свидетельствует об

их принадлежности к достаточно крутым структурным элементам района. Большинство нарушений, выделяемых на аэрофотогеологической основе (как средние, так и мелкие) с различной степенью надежности, не оказывают заметного влияния на размещение геохимических аномалий и, по-видимому, действительно являются мелкими трещинами, не играющими существенной роли в структуре района. Вместе с тем, наличие многочисленных линейно вытянутых протяженных аномалий, для которых на аэрофотогеологической основе не устанавливается коррелирующих им нарушений, указывает на то, что аэрофото методами выделяются далеко не все нарушения, в том числе и не все рудоконтролирующие. Следовательно, геохимические данные позволяют объективно оценить не только структурную значимость тех или иных нарушений, но и их роль в распределении оруденения.

В итоге комплексного использования геохимических и аэрофотогеологических данных была составлена карта-схема рудоконтролирующих разрывных структур района, фрагмент которой приведен на фиг. 1в. На ней помимо рудоконтролирующих нарушений, устанавливаемых по совокупности аэрофотогеологических и геохимических признаков, показаны также нарушения, предполагаемые лишь по геохимическим данным. Анализ этой карты показал, что в Болнисском рудном районе основными рудоконтролирующими являются нарушения северо-восточного, реже близширотного простирания, а нарушения северо-западного простирания, обычно ограничивая распространение геохимических аномалий по простиранию, служат своеобразными структурными экранами для распространения оруденения. Такими «экранами» являются и близширотные нарушения. Следует особо отметить, что экранизирующая роль северо-западных и близширотных нарушений часто проявляется и за пределами крупных аномальных полей, где они часто ограничивают распространение узких линейных аномалий моно- и биеlementного состава вдоль северо-восточных нарушений. На карте рудоконтролирующих разрывных структур получает наглядное выражение одна из основных структурных закономерностей размещения медного, полиметаллического и молибденового оруденения в районе — приуроченность месторождений и рудопроявлений к участкам пересечения крупных разрывных нарушений северо-восточного, субширотного и северо-западного простирания (см. фиг. 1в).

Следует особо отметить использование геохимических и аэрофотогеологических данных для установления региональ-

ных закономерностей распределения оруденения. Как отмечалось выше, для района характерно поясное распределение геохимических аномалий, которое позволило выделить определенные рудные подзоны в его пределах. Только для двух широтных рудных подзон устанавливается отчетливая связь с крупными региональными нарушениями — с Локским и Мамуло-Шихалойским разломами. В других рудных подзонах такие крупные рудоконтролирующие нарушения не выделяются. Для них, помимо серии протяженных разрывных нарушений, часто сменяющих друг друга кулисно по простиранию, обычно устанавливается резко повышенная концентрация различно ориентированных мелких нарушений (трещин), дешифрируемых на аэрофотоснимках. На площадях, сложенных верхнемеловыми вулканогенными отложениями, пояса геохимических аномалий, как правило, сопровождаются цепочками субвулканических тел альбитофиров. Пространственная совокупность таких различных признаков, как субвулканические тела альбитофиров, протяженные разрывные нарушения, зоны повышенной трещиноватости и геохимические аномалии, дает основание рассматривать пояса их совместного проявления как специфические ослабленные зоны, которые имели длительную историю развития и, по-видимому, являются выражением скрытых разрывных нарушений в фундаменте (скрытых глубинных разломов высоких порядков; Томсон, 1964). Представления о широком проявлении в районе скрытых глубинных разломов и об их рудоконтролирующей роли позволили по-новому подойти к анализу закономерностей размещения оруденения в районе и к оценке его перспектив.

Рассмотренный выше опыт использования при геохимических поисках для выявления и изучения рудоконтролирующих структур Болнисского рудного района данных аэрофотогеологических съемок, по мнению авторов, указывает на высокую эффективность такого комплексирования в условиях недостаточно обнаженных, перекрытых площадей, на которых возможности прямых геологических наблюдений резко ограничены.

Геохимические и аэрофотогеологические работы, как уже отмечалось выше, автономны, независимо по времени их проведения. Однако комплексное использование их данных может применяться как при обработке геохимической информации, так и при составлении аэрофотогеологических основ геологических карт.

Рекомендуется обязательное использование аэрофотогеологических данных при обработке результатов литогеохимических поисков масштаба 1:50 000—1:25 000 по гипергенным ореолам. Использование аэрофотогеологических основ и в особенности данных по дешифрированию разрывных нарушений дает новые объективные предпосылки для интерполяции выявленных локальных геохимических аномалий между профилями опробования, для геологически грамотного оконтуривания аномалий и расшифровки их структуры. Использование данных аэрофотосъемки приобретает особое значение при обработке материалов глубинных литогеохимических поисков в связи с разреженностью сети опробования и схематичностью многих геологических карт для перекрытых районов.

С другой стороны, использование геохимической информации при анализе аэрофотогеологических материалов позволяет более объективно и полно расшифровать структуру района, выделить среди многочисленных дешифрируемых нарушений рудоконтролирующие структуры и более надежно установить структурные закономерности локализации оруденения.

Целенаправленный анализ геохимических данных на аэрофотогеологической основе особенно важен в тех рудных районах, где ведутся крупномасштабные прогнозные и геолого-поисковые работы с применением геохимических методов, так как знание структурных закономерностей локализации перспективных геохимических аномалий повышает надежность их прогнозной оценки. Это позволит существенно повысить достоверность выделения участков, перспективных для обнаружения скрытого или перекрытого оруденения, и тем самым резко повысить результативность прогнозных и поисковых работ.

ЛИТЕРАТУРА

Баранов Э. Н., Голод А. И., Лазарев В. Н., Пурик И. А., Рыфтин В. М. Применение геохимических методов при составлении металлогенических и прогнозных карт колчеданных рудных районов. В сб. «Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений», вып. 4. Изд. ИМГРЭ, 1971.

Баранов Э. Н., Пурик И. А., Поливанов В. С. Опыт геохимических поисков скрытого медноколчеданного и полиметаллического оруденения на Юго-Востоке Грузии. — Научные собрания (материалы), 1971, вып. 7. М., Изд. ИМГРЭ.

Баранов Э. Н., Поливанов В. С., Пурик И. А. Методика и результаты геохимических поисков скрытого оруденения в Юго-Восточной Гру-

зии. В сб. «Литогеохимические методы при поисках скрытого оруденения», М., 1972.

Гамкрелидзе П. Д., Назаров Ю. Н. и др. Геологическое строение и металлогения Юго-Восточной Грузии. — Труды геол. ин-та Груз. АН СССР. Новая серия, вып. I. Тбилиси, 1965.

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

Пурик И. А., Поливанов В. С., Баранов Э. Н. Опыт литохимических поисков скрытого медноколчеданного оруденения в юго-восточной части Грузии. В сб. «Литохимические поиски рудных месторождений». Алма-Ата, 1968.

Томсон И. Н. Глубинные разломы, их рудоконтролирующее значение и методы изучения. В кн. «Литологические и структурные факторы размещения оруденения в рудных районах». Изд. «Недра», М., 1964.

Ю. Е. САЕТ, Ю. И. БУЛАВСКИЙ, Р. И. ЕФИМОВА,
Н. В. КАРГАПОЛОВ, Л. И. КАШИНА, Н. И. НЕСВИЖСКАЯ
Л. Н. ПАВЛОВА, Е. П. ЧАВГУН

МЕТОДИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПРЕССНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ ПЕРЕКРЫТЫХ СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СУХОСТЕПНЫХ И СТЕПНЫХ ЛАНДШАФТАХ

За последние годы собран большой фактический материал, показывающий, что над сульфидными месторождениями, перекрытыми более молодыми аллохтонными отложениями, в разрезе перекрывающей толщи и почвах формируются геохимические аномалии основных элементов-индикаторов оруденения: меди, свинца, цинка, никеля, кобальта, ртути, сульфат-иона.

Такие аномалии, называемые наложенными эпигенетическими ореолами рассеяния (солевыми ореолами), формируются за счет фильтрационно-диффузионной миграции элементов-индикаторов в пленочных, капиллярных или свободных водах, осуществляющих в той или иной степени геохимическую связь между перекрытыми месторождениями, перекрывающими их аллохтонными толщами и современным ландшафтом.

Материалы по наложенным ореолам публиковались в работах С. П. Албула, Л. В. Антроповой, Г. А. Вострокнутова, Н. И. Долухановой, Л. К. Кауранны, Г. Ф. Ларионова, Н. Ф. Майорова, А. Д. Миллера, Н. И. Несвижской, Н. И. Сафронова, Ю. Е. Саета, Р. С. Шмидта, Ю. Н. Юшкова, Дж. С. Тумса, Дж. С. Узбба, Х. Е. Хоукса и других исследователей.

Данные по характеристике аномалий, связанных с перекрытыми месторождениями, и методами их выявления, детально обобщены в работах Ю. Е. Саета и Н. И. Несвижской (Сает, Несвижская, 1974; Несвижская, Сает, 1975), поэтому укажем здесь лишь основные выводы, следующие из имеющихся материалов.

1. Прежде всего необходимо отметить обнаруженное в ряде районов широкое развитие геохимических аномалий, ко-

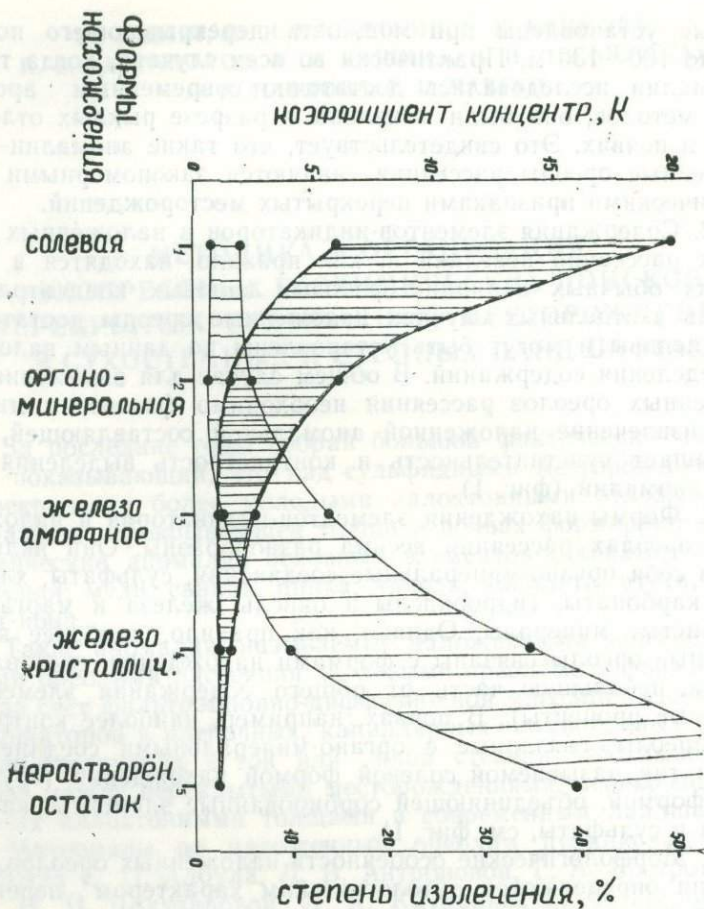
торые установлены при мощности перекрывающего покрова до 100—130 м. Практически во всех случаях, когда такие аномалии исследовались достаточно современным арсеналом методов, они были выявлены в разрезе рыхлых отложений и почвах. Это свидетельствует, что такие аномалии—наложенные ореолы рассеяния—являются закономерными геохимическими признаками перекрытых месторождений.

2. Содержания элементов-индикаторов в наложенных ореолах рассеяния невелики и, как правило, находятся в пределах обычных вариаций фоновых валовых концентраций. Лишь в отдельных случаях наложенные ореолы достаточно интенсивны и могут быть установлены по данным валового определения содержаний. В общем случае для выявления наложенных ореолов рассеяния необходимо фазовое химическое извлечение наложенной аномальной составляющей, что повышает чувствительность и контрастность выделения таких аномалий (фиг. 1).

3. Формы нахождения элементов-индикаторов в наложенных ореолах рассеяния весьма разнообразны. Они включают в себя органико-минеральные соединения, сульфаты, хлориды, карбонаты, гидроокислы и окислы железа и марганца, глинистые минералы. Однако, как правило, наиболее контрастные ореолы связаны с формами нахождения, составляющими небольшую часть от общего содержания элементов (первые проценты). В почвах, например, наиболее контрастны ореолы, связанные с органико-минеральными соединениями и так называемой солевой формой нахождения (групповой формой, объединяющей сорбированные элементы, карбонаты и сульфаты, см. фиг. 1).

4. Морфологические особенности наложенных ореолов рассеяния определяются литологическим характером перекрывающего покрова, условиями гидродинамического режима подземных вод, условиями залегания рудных зон. Для месторождений, перекрытых глинистыми отложениями с пассивным гидродинамическим режимом, характерны ореолы, имеющие в разрезе столбообразную форму и развивающиеся в пределах вертикальной проекции рудной зоны. Для месторождений, перекрытых песчаными отложениями с активным гидродинамическим режимом, морфология ореолов контролируется направлением современного или древнего стока подземных вод.

Основная задача, решаемая с помощью изучения наложенных ореолов, заключается в пространственной локализации.



Фиг. 1. Соотношение между формой нахождения тяжелых металлов и контрастностью наложенных ореолов в почвах над перекрытым месторождением

К — коэффициент концентрации суммы меди, свинца и цинка (контрастность аномалии). % — степень извлечения суммы меди, свинца, цинка в рассматриваемых формах нахождения (в % от общего содержания в почве). 1 — солевая форма нахождения (сумма воднорастворимых соединений, карбонатов и сульфатов); 2 — органо-минеральная форма нахождения; 3 — аморфные формы гидроокислов железа и марганца; 4 — кристаллические формы гидроокислов железа и окислов железа и марганца; 5 — нерастворимый остаток почвы

дни участков, перспективных для выявления перекрытых рудоносных зон последующими специализированными детальными картировочными буровыми работами. Такая задача ставится обычно на стадии крупномасштабных поисков (1 : 25 000 и детальнее), проводимых на геологически перспективных участках, выявленных в ходе крупномасштабных геологосъемочных или специализированных прогнозных работ.

Эффективным также может быть изучение наложенных ореолов рассеяния с целью подтверждения рудной природы и детализации геофизических, гидрогеохимических и биогеохимических аномалий, широко используемых при поисках в закрытых районах.

Следует подчеркнуть, что наложенные ореолы рассеяния помогают решить задачу выявления перспективных рудоносных участков и зон, но не дают (при сегодняшнем уровне изученности метода) возможности для их сколько-нибудь детальной интерпретации, подразумевая под этим определение формационного типа оруденения, уровня его эрозионного среза и ожидаемого масштаба. Последнее решается только по данным первичных ореолов, исследование которых необходимо проводить по материалам поисково-картировочных скважин, пробуренных на площади развития наложенных ореолов. Разумеется, геологическое положение ореолов — если оно известно — помогает определить формационный тип источника, но прямых критериев в характеристиках ореолов пока не обнаружено.

В связи со сказанным, важнейшей частной задачей методики поисков по наложенным ореолам рассеяния является разработка методических приемов выявления аномалий элементов-индикаторов и их интерпретации, включающей разбраковку рудогенных аномалий (наложенных ореолов рассеяния) от безрудных концентраций и определение пространственного положения рудоносных зон.

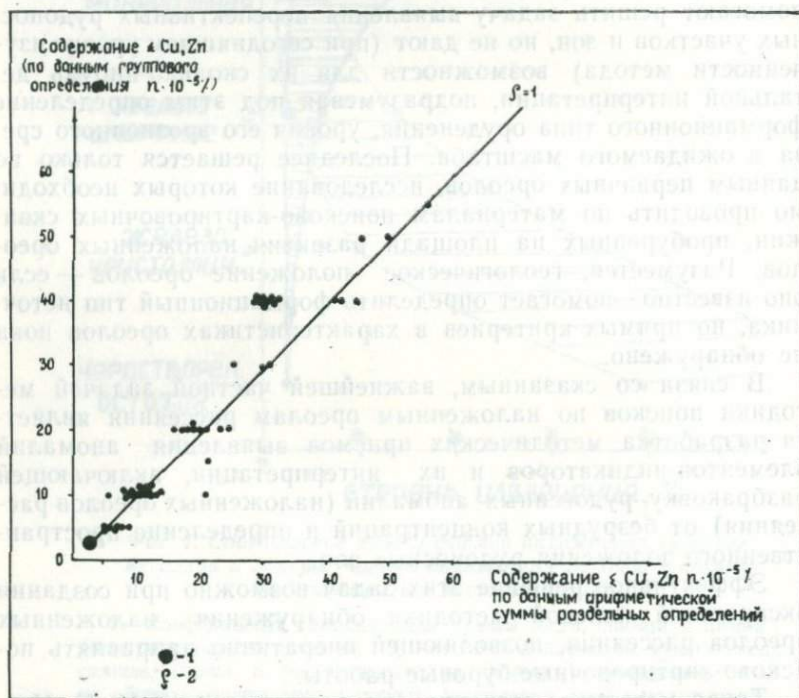
Эффективное решение этих задач возможно при создании экспрессной полевой методики обнаружения наложенных ореолов рассеяния, позволяющей оперативно направлять поисково-картировочные буровые работы.

Такая методика, детально описанная в работе Н. И. Несвижской и Ю. Е. Саета (1975), основана на двух технологических приемах:

а) использование для выявления аномалий наиболее эффективной солевой формы нахождения элементов, для выде-

ления которой разработаны достаточно экспрессные методы, применимые непосредственно в полевых условиях (см. фиг. 1);

б) замена трудоемких отдельных определений элементов-индикаторов групповым определением суммы тяжелых металлов (фиг. 2). Последнее также может быть экспрессно проведено в полевых условиях и разработано в трех вариантах: определение суммы меди и цинка (используется при поисках медноколчеданных месторождений); определение суммы свинца, цинка и меди (используется при поисках полиметаллических и других сульфидсодержащих месторождений); определение суммы меди, никеля и кобальта (используется при поисках никелевых месторождений).



Фиг. 2. Характер соотношений между суммой меди и цинка по данным группового химического и отдельных определений

1—условное изображение 86 отдельных и групповых определений меди и цинка с содержанием менее $4 \cdot 10^{-5}\%$; 2—коэффициент корреляции

Рассмотрим детальнее методику и организацию поисковых работ по наложенным ореолам рассеяния на примере наиболее хорошо изученных условий—перекрытых территорий в степных и сухостепных ландшафтах (основные районы в СССР, наиболее перспективные для поисков медных и полиметаллических месторождений,—Алтай, Казахстан, Южный Урал и Мугоджары).

Организация полевых работ при проведении специализированных геохимических поисков по наложенным ореолам рассеяния в общем не отличается от общепринятой системы. Полевые работы включают разбивку сети наблюдений, отбор и обработку геохимических проб, необходимую документацию при опробовании.

Поиски по наложенным ореолам проводятся в закрытых районах, в неэоловиальных ландшафтах, характеризующихся чаще всего равнинным или слабонаклонным рельефом. В этих условиях ориентировка поверхностного стока мало влияет на морфологию ореолов. Вместе с тем наложенные ореолы достаточно хорошо трассируют простирание рудных зон и смещаются обычно в направлении стока подземных вод. Высказанные соображения показывают, что в рассматриваемых условиях наиболее эффективна поисковая сеть опробования, ориентированная вкрест простирания рудоконтролирующих структур. Плотность сети опробования обусловлена масштабом исследования, который, в свою очередь, связан с предполагаемыми размерами выявляемых рудоносных зон и размерами наложенных ореолов рассеяния. При этом, вероятно, следует иметь в виду две задачи: выявление аномальной зоны в целом и изучение ее внутреннего строения (оконтуривание центров высоких содержаний). Имеющиеся данные по параметрам наложенных ореолов рассеяния показывают, что даже для довольно крупных месторождений размеры ореолов варьируют в пределах $200-400 \times 100-200$ м (такие параметры встречены с частотой 88% по 40 исследованным ореолам). Использование таблиц И. Д. Савинского (1964) позволяет рассчитать, что с вероятностью близкой к 100% для подсечения таких зон не менее чем двумя точками и не менее чем двумя профилями необходима сеть опробования не реже, чем 200×50 м.

Центры высоких содержаний имеют размеры порядка 100×50 м (такowymi оказались параметры 95% центров высоких содержаний из двадцати изученных). Из тех же таблиц и при тех же граничных условиях следует, что оптималь-

ная сеть для надежного выявления этих центров не реже, чем 50×50 м.

Опыт работы показывает, что для оконтуривания центров высоких содержаний (наиболее надежно локализирующих фронт поисково-картировочных буровых работ) достаточна сеть 25×25 м.

Высказанные соображения определяют стратегию опробования при поисках по наложенным ореолам рассеяния: вся намеченная к опробованию территория опробуется по сети 200×50 м; в пределах выявленных аномалий положение центров высоких содержаний намечается опробованием по сети 50×50 м и уточняется опробованием по сети 25×25 м.

Трехкратное возвращение к одним и тем же участкам не представляет особенных трудностей, так как аналитические результаты получаются непосредственно в поле, вместе с тем, экономятся значительные объемы опробования и анализа.

В конечном счете полный цикл поисковых работ (от опробования до проверки наиболее перспективных аномалий буровыми работами) может быть проведен за один полевой сезон.

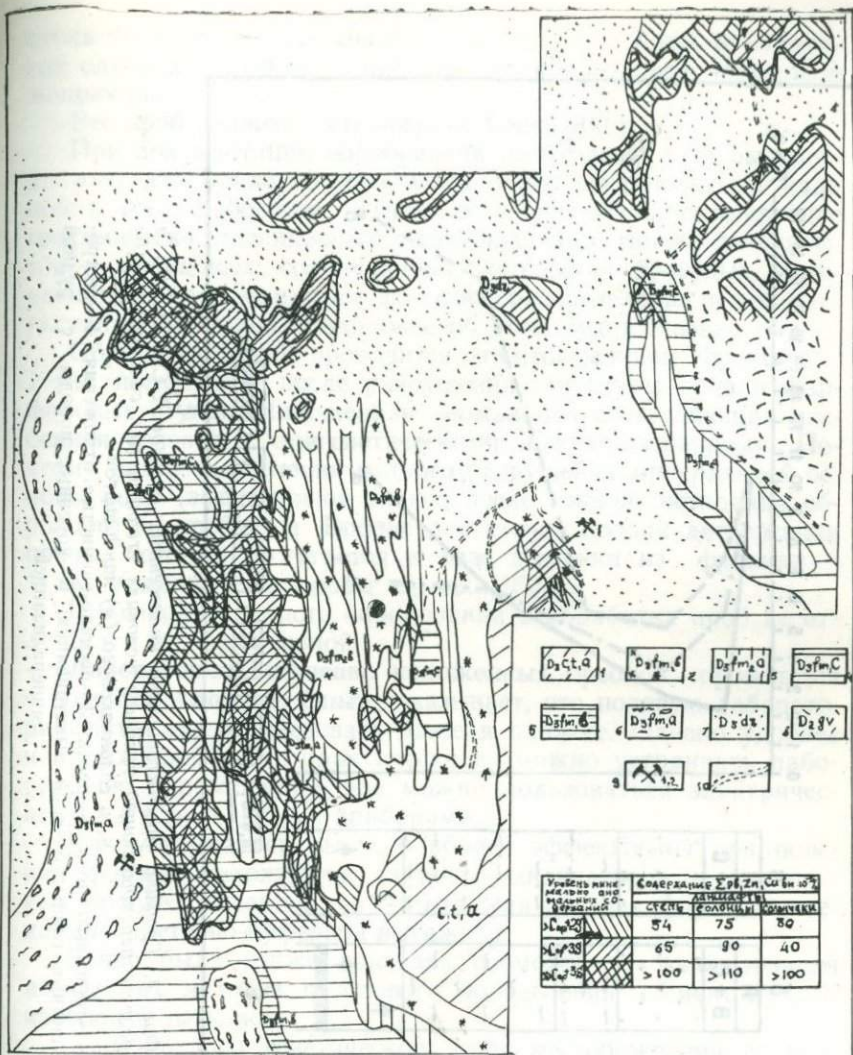
Один из примеров таких работ, проведенных в районе месторождения Ушкатын, приведен на фиг. 3.

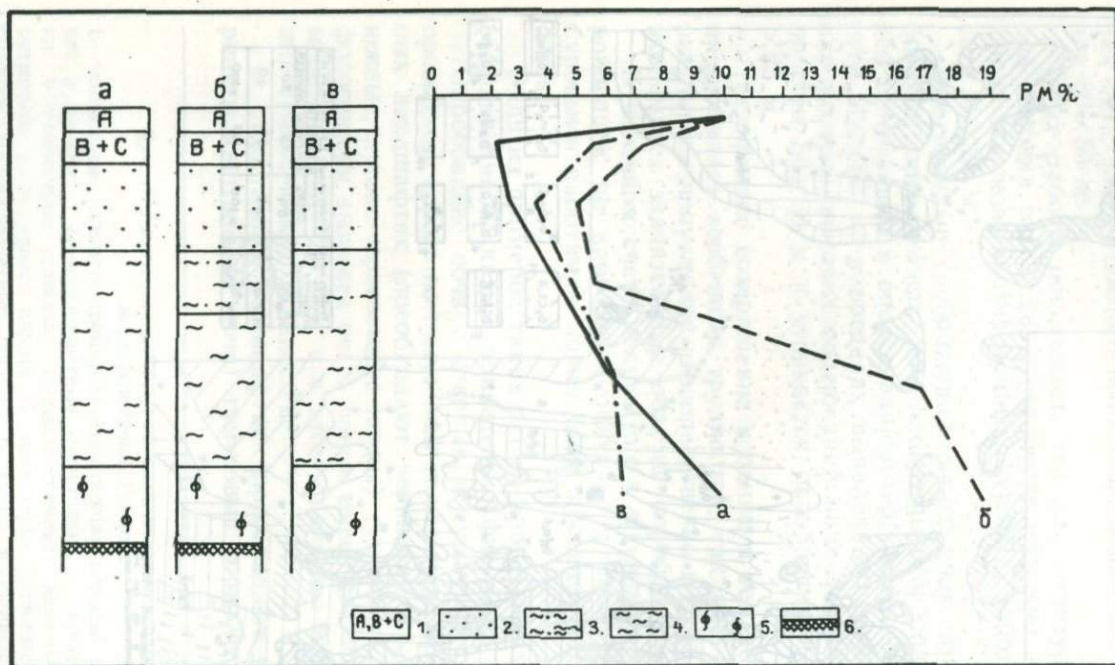
Опробование почв в степных и сухостепных ландшафтах проводится строго по гумусовым горизонтам (фиг. 4). В степных ландшафтах (преобладают черноземы обыкновенные и южные, лугово-черноземные почвы) гумусовый горизонт морфологически выражен очень четко, имеет достаточно большую мощность (15—20 см), и в этом плане его опробование не имеет технических сложностей.

В сухостепных ландшафтах (преобладают различные варианты каштановых почв) гумусовый горизонт выражен не

Фиг. 3. Карта наложенных геохимических ореолов района месторождения Ушкатын

1—темносерые глинисто-кремнисто-известковые породы с линзами кремней и кальцита; 2—красноцветные известняки; 3—сероцветные известняки; 4—темносерые углистые глинисто-кремнисто-известковые породы с ритмитами глобулярного пирита; 5—темносерые ритмично-слоистые глинисто-кремнисто-карбонатные породы; 6—серые и вишневые известняки с прослоями алевролита; 7—сиреневые и вишневые алевролиты и песчаники; 8—зеленоватые-серые туфы, порфириты, песчаники; 9—месторождения и рудопроявления: 1—Ушкатын III, 2—Ушкатын Западное (выявленное при прозрке наложенного ореола); 10—разрывные нарушения





Фиг. 4. Графики продуктивностей наложенных ореолов Σ Cu, Zn, Pb в разрезе перекрывающей толщи в условиях степного (а), солонцового (б) и солончакового (в) ландшафтов
 1—горизонты почв; 2—песок; 3—песчано-глинистые отложения; 4—пестроцветные глины; 5—кора выветривания; 6—коренные породы с рудной минерализацией.

столь четко, имеет небольшую мощность (5—7 см) и во многих случаях сверху прикрыт современной эоловой присыпкой мощностью 3—7 см.

Вес проб должен составлять не менее 200 г.

При документации опробования необходимо хотя бы кратко отмечать ландшафтно-геохимическую обстановку на каждой точке опробования. В частности, очень важно выявление геохимически подчиненных супераквальных типов ландшафтов — солонцовых, солончаковых, луговых и болотных, отличающихся по параметрам фонового распределения и характеристикам аномалий (подробнее об этом будет сказано ниже).

Обработка проб проводится отситовыванием фракции — 1 мм, получаемой после разрушения структуры почв в фарфоровых ступах. Наложенная аномальная составляющая рассеяния связана с эпитенетическими новособразованиями. Поэтому для ее извлечения полного разрушения минеральной основы почв (эффективной только после тонкого истирания образцов) не требуется. Вполне достаточно полной диспергации почвы, которая достигается в ходе вытяжки из фракции — 1 мм. Конечный вес пробы порядка 150 г.

Производительность опробования и обработки проб не отличается от нормативной.

Лабораторное изучение наложенных ореолов проводится в полевых условиях. Опыт показывает, что полевую лабораторию нетрудно организовать даже в палатке. Однако удобнее и по большей части практически возможно устраивать лабораторию в помещении, где можно пользоваться электрическими нагревательными приборами.

Как указывалось выше, наиболее эффективной при поисках формой нахождения элементов-индикаторов в наложенных ореолах является так называемая солевая форма, извлекаемая ацетатно-буферной вытяжкой.

Выше была также показана возможность использования нескольких методов группового определения элементов-индикаторов в вытяжках.

Для каждого генетического типа месторождения существует свой набор элементов-индикаторов. В зависимости от этого набора следует выбирать наиболее удобные ассоциации суммы металлов из упомянутых выше. Так, для свинцово-цинковых месторождений рационально изучение суммы свинца, цинка, меди, для медноколчеданных — суммы меди и цинка, для медно-никелевых — суммы никеля, кобальта, меди.

Вся лабораторная работа, таким образом, сводится к об-

работке пробы ацетатно-буферной смесью (рН-4,2). В фильтратах проводится комплекс определения сумм тяжелых металлов.

Лабораторные исследования удобно проводить бригадой, состоящей из двух человек: техник-химик и лаборант. Техник-химик занимается главным образом определением суммы тяжелых металлов, руководит и помогает лаборанту при производстве вытяжек. Лаборант производит вытяжки и подготавливает необходимую химическую посуду.

Производительность работы находится в прямой зависимости от организации и оборудования рабочего места.

Основной элемент, определяющий производительность, — необходимость проведения вытяжки ацетатным буфером с подогревом пробы на водяной бане. Нами используется водяная баня, позволяющая погружать колбы с пробой в кипящую воду. При этом условии обработка продолжается 30 мин. После обработки пробы на водяной бане содержимое колбы фильтруется. Следует иметь отдельный стол для фильтрования, большой запас чистых полиэтиленовых фляжек (лучше на 200—250 мл) с закручивающимися пробками. Фильтрование, как правило, проводится в горячем состоянии, что ускоряет процесс.

Как показывает опыт, в день бригада из двух человек может произвести не менее 96 вытяжек при частичном определении в них выбранной для исследования суммы металлов. Удобны партии по 24 пробы, что позволяет пользоваться водяными банями на 24 гнезда (под колбы 200 мл).

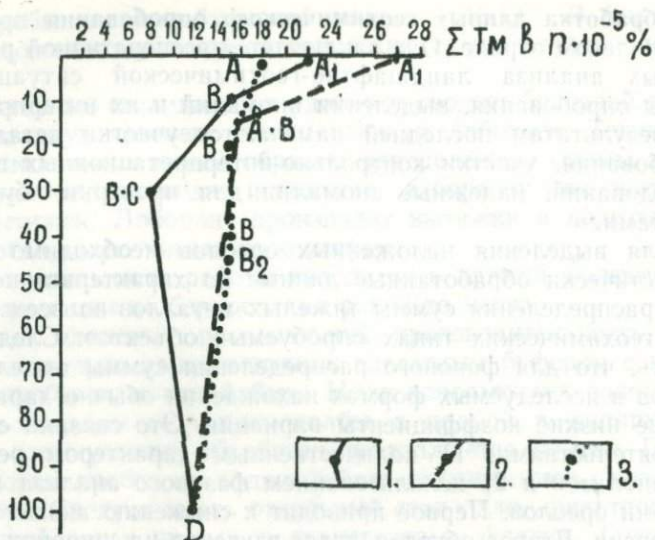
В начале работы отбирается 48 навесок по 5 г (что позволяет получить необходимые 50 мл фильтрата). Все пробы перед анализом предварительно растираются в фарфоровой ступке.

Каждый исполнитель производит вытяжку из своей партии проб (30-минутное кипячение и фильтрование в полиэтиленовые фляжки). Далее техник-химик переходит к определению суммы тяжелых металлов, а лаборант продолжает производство вытяжек из остальных проб. На следующий день оба исполнителя занимаются определением сумм тяжелых металлов как по основному (лаборант), так и по необходимым вспомогательным (химик) методам. Производительность определения сумм металлов до 60—80 анализов в смену для одного исполнителя. Детальная характеристика методики анализов приводится в уже упоминавшихся работах Ю. Е. Саета и Н. И. Несвижской (1974—1975 гг.).

Обработка данных геохимического опробования проводится в полевом отряде. Она заключается в оперативной разnosке данных анализа ландшафтно-геохимической ситуации на планы опробования, выделения аномалий и их интерпретации. По результатам последней намечаются участки детализации опробования, участки контрольно-интерпретационных полевых исследований, надежные аномалии для проверки буровыми работами.

Для выделения наложенных ореолов необходимо иметь статистически обработанные данные по характеристике фонового распределения суммы тяжелых металлов во всех изучаемых геохимических типах опробуемых объектов. Следует отметить, что для фонового распределения суммы тяжелых металлов в исследуемых формах нахождения обычно характерны крайне низкие коэффициенты вариации. Это связано с двумя обстоятельствами: 1) количественным характером результатов анализов и 2) использованием фазового анализа при выделении ореолов. Первое приводит к снижению аналитической дисперсии. Второе обуславливает изучение на широких площадях однородного в минералого-геохимическом отношении материала и, таким образом, исключает литогенную неравномерность, во многом определяющую природную дисперсию содержаний. В результате вероятность обнаружения нерудных аномалий при использовании рекомендуемой методики много ниже, чем для других вариантов геохимических методов поисков. Вместе с тем, уровень фоновых концентраций во многом определяется ландшафтно-геохимической ситуацией. Так, например, в сухостепных ландшафтах (фиг. 5) высокие содержания солевых форм тяжелых металлов, характерных для солонцовых ландшафтов, где среднее содержание в два раза выше, чем в наиболее широко развитых ландшафтах степей с каштановыми почвами. Еще более контрастны данные по степным ландшафтам (фиг. 6). Здесь в очень широко распространенных пахотных черноземных почвах солевой формы тяжелых металлов всего $6 \times 10^{-5}\%$, в целинных черноземах — $14 \times 10^{-5}\%$ (более чем в два раза больше) и в лугово-болотных почвах — $38 \times 10^{-5}\%$ (или в шесть раз больше). Таким образом, ландшафтно-геохимическая привязка данных опробования является важнейшим приемом их интерпретации.

При локализации аномалий также важно учитывать ландшафтно-геохимические особенности исследуемой территории. Аномалии, строго локализующиеся в каком-то одном ландшафте, не всегда могут быть однозначно интерпретированы

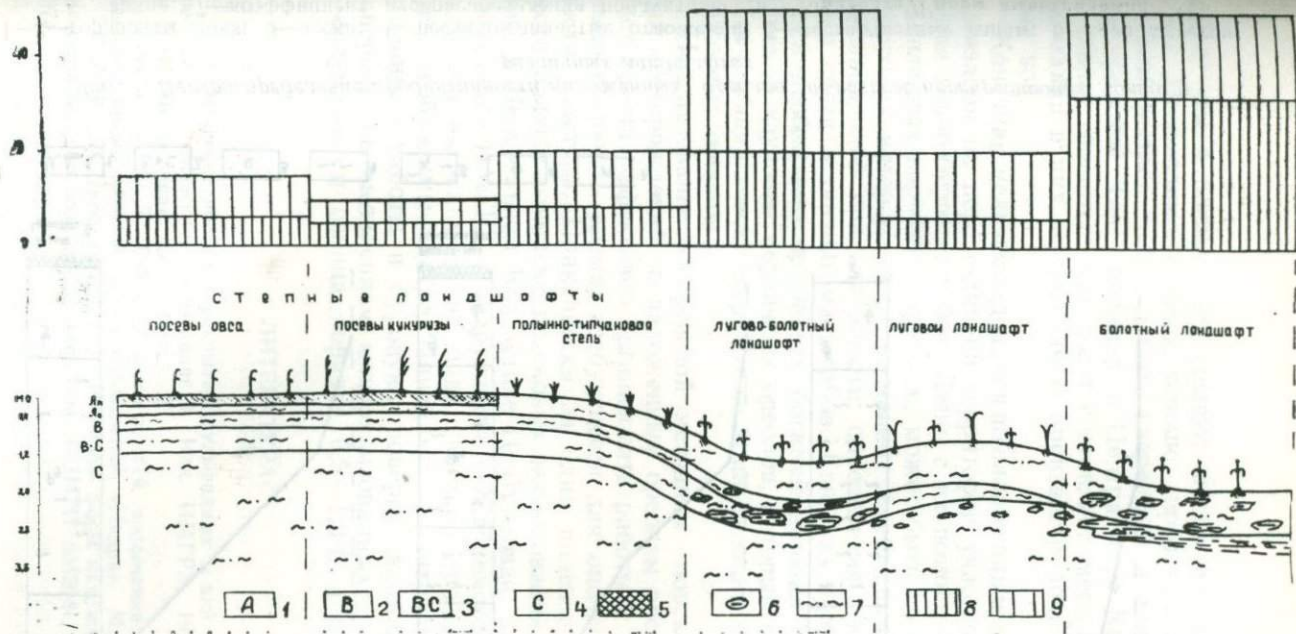


Фиг. 5. Графики распределения солевой формы нахождения тяжелых металлов в почвах Центрального Казахстана

1—каштановые почвы сухостепных ландшафтов; 2—солончаки; 3—солонцы

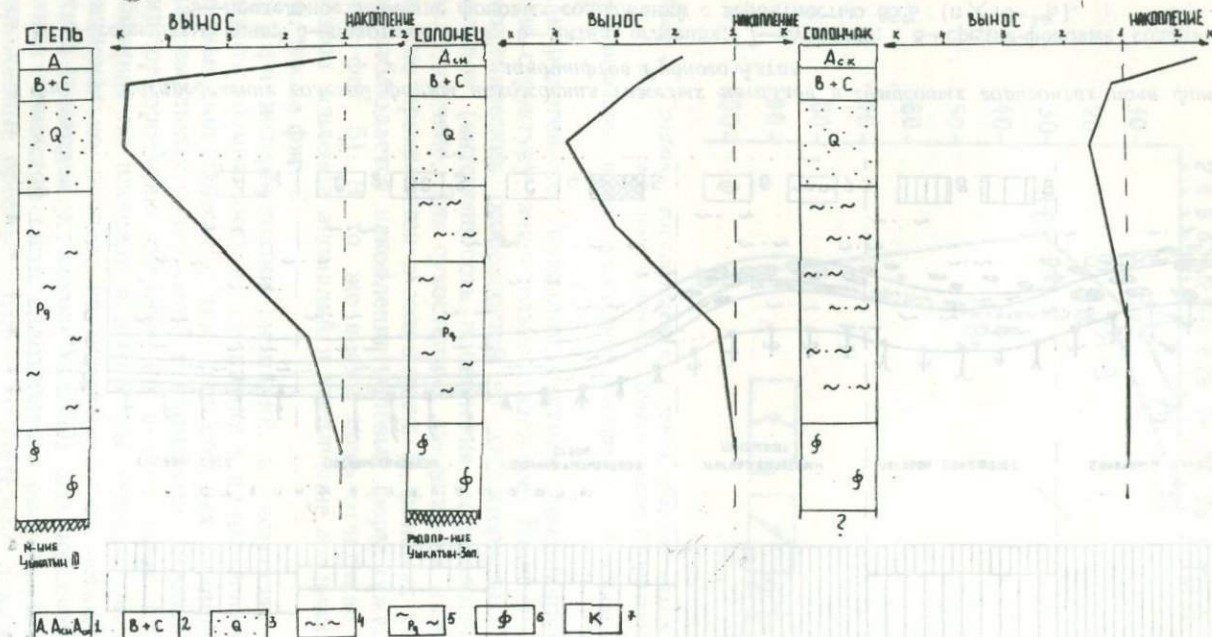
как рудогенные. Аномалии, секущие ландшафтно-геохимическую структуру, значительно надежнее. Влияние ландшафтно-геохимических особенностей на характеристики наложенных ореолов (интенсивность проявления, морфологию) пока еще мало изучено. Для сухостепных ландшафтов наиболее наглядно оно проявляется в солончаках. В фоновых условиях здесь не наблюдается накопления солевых форм тяжелых металлов (см. фиг. 5). В то же время здесь отчетливо наблюдается резкое усиление аномалий и увеличение их размеров (фиг. 7, см. также фиг. 3).

При интерпретации аномалий, в частности, следует учитывать возможность их смещения в направлении потока подземных вод. Вместе с тем, для степных ландшафтов центры максимальных содержаний в аномалиях довольно четко фиксируют проекцию погребенной рудной зоны. Если аномалии обширны по площади и эпицентры четко не выделяются, то рационально проведение буровых работ легкими станками (типа шнековой установки УГБ-50) для подсечения и опробования глинистой части аллохтонного разреза. В этих случаях наложенные ореолы в глинах значительно локальнее и более



Фиг. 6. Распределение солевой формы нахождения тяжелых металлов в гумусовых горизонтах почв фоновых ландшафтов Рудного Алтая

1—4—горизонты почв; 5—пахотный слой; 6—пятна оглеения; 7—суглинки; 8—средне-фоновые содержания; 9—предельное значение фоновых содержаний с вероятностью 85% ($p \times 10^{-5}\%$).



Фиг. 7. Перераспределение продуктивности наложенных ореолов в разрезе перекрывающей толщи в различных ландшафтах

- 1—2—горизонты почв; 3—пески; 4—песчано-глинистые отложения; 5—пестроцветные глины; 6—кора выветривания; 7—коэффициент перераспределения продуктивности $R_{\text{горизонта}}/R_{\text{горизонта выветривания}}$

четко, чем в почвах, определяют местонахождение рудной зоны. Необходимо, однако, хорошо представлять характер разреза рыхлой толщи и быть уверенным в аллохтонном характере глин. Так, например, в Центральном Казахстане, где в глинах значительную долю составляет местный материал, аномалии в них не позволяют произвести локализацию рудных зон.

Конечная цель исследования по наложенным ореолам — локализация на перспективной территории участков для проведения горно-буровых работ. Лишь с их помощью, по данным выявленных первичных ореолов, может быть произведена всесторонняя интерпретация аномалий, требующая оценки их формационной принадлежности, определения уровня эрозийного среза и оценки масштабов. Еще раз подчеркнем, что здесь необходимо применять богатый арсенал геохимических приемов изучения первичных ореолов, который следует включать в общий комплекс работ на этапе оценки выявленных наложенных ореолов.

Использование экспрессной методики поисков перекрытых месторождений по наложенным ореолам рассеяния позволяет весьма эффективно организовать работы и прежде всего резко сократить время, требующееся для оценки перспективности участков. Практически за один полевой сезон провести полный комплекс поисковых исследований. Так, например, в Центральном Казахстане Центральная геохимическая экспедиция ИМГРЭ в содружестве с Жайремской геологоразведочной экспедицией на ряде участков провела опробование, необходимые детализационные и контрольно-интерпретационные работы и буровую проверку аномалий, которая завершилась выявлением минерализованных рудоносных зон с содержанием свинца порядка 0,5—1,0% и цинка 2—4%.

ЛИТЕРАТУРА

Геохимические поиски перекрытых сульфидных м-ний по наложенным ореолам (методические рекомендации). Изд. ИМГРЭ, 1975. (Составители Н. И. Несвижская, Ю. И. Саст).

Савинский И. Д. Таблицы вероятностей подсечения эллиптических объектов прямоугольной сетью наблюдений. «Недра», М., 1964.

Саст Ю. Е., Несвижская Н. И. Изучение форм нахождения элементов во вторичных ореолах рассеяния. Изд. ОЦНТИ ВИЭМС, серия III, М., 1974.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛЕВЫХ РЕНТГЕНРАДИОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА НА ЦЕЗИЙ, ОЛОВО, БАРИЙ ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКАХ

Существующая практика спектральных, химических и других традиционных методов анализа геохимических проб в стационарных лабораториях во многих случаях по оперативности получения информации недостаточно эффективно удовлетворяет требованиям геохимических исследований. В результате геохимических поисков ежегодно выявляется большое количество аномалий, которые в связи с отставанием аналитических работ не могут быть своевременно проверены и детализированы. Сложность и высокая стоимость повторной организации небольших объемов проверочных работ на разрозненных участках зачастую приводит к тому, что большинство аномалий остается непроверенными, а поисковые работы практически незавершенными.

Таким образом, повышение эффективности геохимических поисков в значительной мере зависит от резкого увеличения оперативности получения результатов аналитических работ, и в том числе от возможности анализа элементного состава горных пород без отбора проб, в условиях их естественного залегания. Это позволит непрерывно корректировать направление поисковых работ, своевременно проверять полученные результаты, а следовательно, и завершать работы в более короткий срок.

Существенную роль при решении этой задачи могут и должны сыграть полевые ядерно-физические методы анализа горных пород портативной переносной аппаратурой. Еще до недавнего времени эти методы применялись в основном для определения высоких содержаний элементов в рудах, концентратах и продуктах их технологической переработки. В последние годы успехи приборостроения, и в первую очередь

создание эффективных детекторов излучений, расширение ассортимента ампульных радиоизотопных источников, позволили начать разработку методик ядерно-физических анализов, которые по чувствительности, точности, производительности, технической простоте отвечают требованиям геохимических поисков. Однако ввиду того, что методики полевых анализов пока разработаны лишь для сравнительно ограниченного круга элементов, они не имеют в настоящее время широкого применения.

В Центральной геохимической экспедиции ИМГРЭ исследования были направлены на разработку методик рентгенорадиометрических анализов горных пород на месте их залегания при геохимических поисках на цезий и олово в редкометалльных пегматитах в Восточном Казахстане, и на барий—при поисках полиметаллического оруденения в Рудном Алтае. Для измерений использовались одноканальные рентгенорадиометрические анализаторы типа РПС-4-01 («Гагара»).

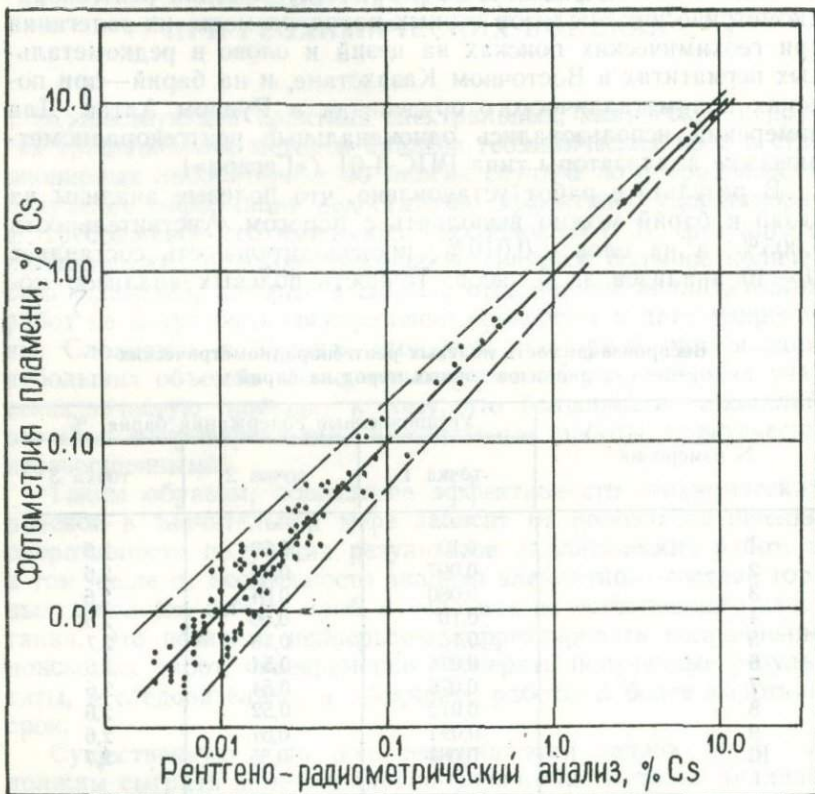
В результате работ установлено, что полевые анализы на цезий и барий можно выполнять с порогом чувствительности 0,005%, а на олово—0,010%; производительность составляет 20—40 анализов за 6 часов. Точность полевых анализов мо-

Воспроизводимость полевых рентгенорадиометрических анализов горных пород на барий

N измерения	Установленные содержания бария, %		
	точка 1	точка 2	точка 3
1	0,10	0,53	2,6
2	0,097	0,54	2,6
3	0,080	0,54	2,6
4	0,10	0,56	2,6
5	0,10	0,58	2,7
6	0,076	0,54	2,6
7	0,076	0,54	2,6
8	0,072	0,52	2,6
9	0,091	0,57	2,6
10	0,083	0,55	2,7
Среднее содержание	0,088	0,55	2,6
Средняя квадратичная ошибка	0,011	0,02	0,04
Коэффициент вариации	12,5%	3,6%	1,5%

жет быть проиллюстрирована данными по воспроизводимости многократных контрольных анализов горных пород с различными содержаниями бария (таблица) и корреляционным графиком полевых анализов на цезий в сопоставлении с внешними анализами контрольных проб методом фотометрии пламени (фиг. 1).

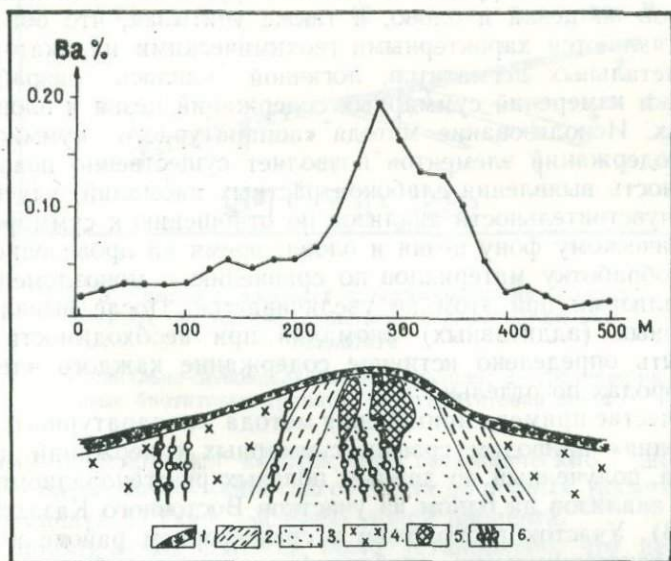
Увеличение чувствительности и точности полевых анализов на цезий, олово, барий позволило успешно применить их для решения некоторых задач при крупномасштабных геохимичес-



Фиг. 1. График корреляционной зависимости содержаний цезия в горных породах по данным полевых рентгенорадиометрических анализов и анализов контрольных проб методом фотометрии пламени

ких поисках вскрытых эрозией рудных тел в конкретных геологических и ландшафтно-геохимических условиях.

В качестве примера практического применения разработанной методики бариометрических поисков приводим график содержания бария, по данным измерений горных пород в условиях их естественного залегания на одном из участков Рудного Алтая (фиг. 2). Участок расположен в среднегорном районе и сложен эффузивно-осадочными образованиями среднего девона. Полиметаллические рудные тела залегают вблизи контакта кислых эффузивов и песчано-сланцевых образований и приурочены к узлам пересечения дизъюнктивных нарушений. Основными минералами рудных тел являются галенит, сфалерит, халькопирит; надрудная часть вмещающих пород обогащена барием. Площадь перекрыта современными элювиально-делювиальными образованиями мощностью от 2 до 5—



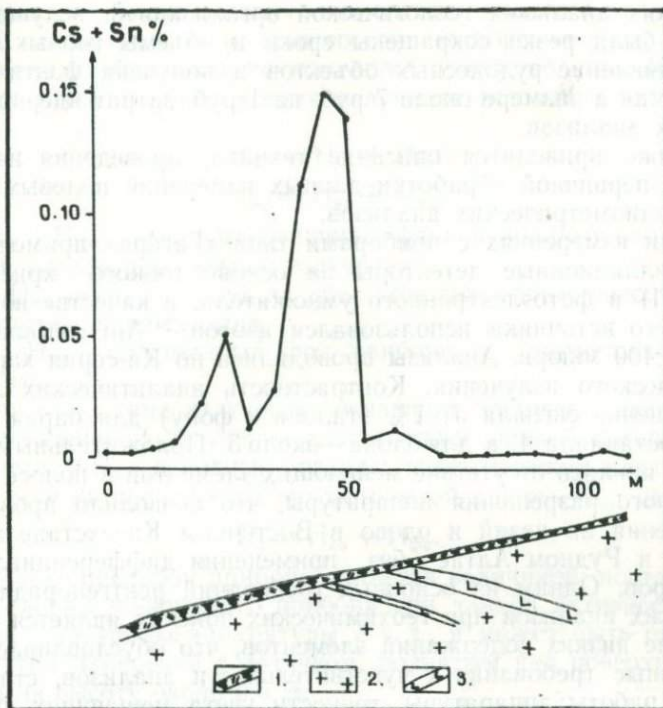
Фиг. 2. График содержаний бария в рыхлых образованиях над полиметаллическим объектом

- 1—элювиально-делювиальные образования; 2—алевролиты, аргиллиты; 3—переслаивание туффитов и песчаников; 4—кислые эффузивы; 5—полиметаллические рудные тела; 6—разрывные нарушения

10 м. Работы проводились с целью прослеживания полиметаллических рудных тел под покровом рыхлых образований по вторичным геохимическим ореолам бария. Измерения осуществлялись по горизонту A_1 , в закопушках глубиной 0,1—0,2 м. По данным измерений, местный геохимический фон бария в рыхлых образованиях составляет около 0,02%; максимальные установленные содержания бария в почвах над рудными телами составляют п. $10^{-1}\%$ и фиксируются с большой степенью надежности. Бариометрические измерения позволили уверенно проследить участки аномальных содержаний бария в почвах, которые отражали положение рудных тел.

При анализе горных пород на цезий и олово в редкометальном районе Восточного Казахстана вследствие недостаточного спектрального разрешения применявшейся аппаратуры было установлено взаимное влияние указанных элементов, приводящее к завышению определяемых содержаний одного элемента за счет другого. В связи с трудностью селективных анализов на цезий и олово, а также учитывая, что оба элемента являются характерными геохимическими индикаторами редкометальных пегматитов, логичной явилась разработка методики измерений суммарных содержаний цезия и олова в породах. Использование метода «аппаратурного суммирования» содержаний элементов позволяет существенно повысить надежность выявления слабоконтрастных аномалий, улучшить порог чувствительности анализов по отношению к суммарному геохимическому фону цезия и олова; время на проведение работ и обработку материалов по сравнению с моноэлементными анализами при этом не увеличивается. После выявления суммарных (аддитивных) аномалий при необходимости может быть определено истинное содержание каждого элемента в породах по отдельности.

В качестве примера применения метода «аппаратурного суммирования» приводим график суммарных содержаний цезия и олова, полученный по данным полевых рентгенорадиометрических анализов на одном из участков Восточного Казахстана (фиг. 3). Участок расположен в среднегорном районе и сложен среднезернистыми слабопорфировидными биотитовыми гранитами, которые прорваны жилами редкометальных пегматитов. Редкометальная минерализация в жилах представлена колумбит-танталитом, и др. Участок перекрыт элювиально-делювиальными образованиями мощностью около 1—2 м. Измерения проводились, как и на Рудном Алтае, в закопушках глубиной 0,1—0,2 м. Как видно из фиг. 3, над пегматитовыми



Фиг. 3. График суммарных содержаний цезия и олова в рыхлых образованиях над жилой редкометального пегматита

1—элювиально-делювиальные образования; 2—среднезернистые биотитовые граниты; 3—пегматитовая жила

жилами фиксируются контрастные геохимические аномалии цезия + олова интенсивностью от сотых до первых десятых долей процента на фоне тысячных долей процента.

В практических работах было установлено, что несмотря на сравнительно высокую стоимость полевых ядернофизических анализов (обусловленную в основном высокой стоимостью аппаратуры) оперативность получения геохимической информации позволяет существенно снизить время и общие затраты на изучение площади. Так, на одном из участков Восточного Казахстана за счет целенаправленной проходки горных выработок, проведенных на основании данных полевых ядернофи-

зических анализов, геологической организацией, ведущей поиски, были резко сокращены сроки и объемы горных работ на выявление рудоносных объектов и получена фактическая экономия в размере около 7 руб. на 1 руб. затрат ядернофизических анализов.

Ниже приводится описание техники, проведения измерений и первичной обработки данных измерений полевых рентгенорадиометрических анализов.

При измерениях с приборами типа «Гагара» применялись сцинтилляционные детекторы на основе тонкого кристалла NaJ(Tl) и фотоэлектронного умножителя; в качестве возбуждающего источника использовался изотоп ^{241}Am активностью около 400 мкюри. Анализы проводились по Ка-серии характеристического излучения. Контрастность аналитических линий (отношение сигнала от 1% эталона к фону) для бария и цезия составляла 4, а для олова—около 3. Положительным фактором явилось отсутствие мешающих элементов в полосе спектрального разрешения аппаратуры, что позволило проводить измерения на цезий и олово в Восточном Казахстане и на барий в Рудном Алтае без применения дифференциальных фильтров. Одним из основных требований рентгенорадиометрических анализов при геохимических поисках является определение низких содержаний элементов, что обуславливает повышенные требования к чувствительности анализов, стабильности работы аппаратуры, точности учета мешающих факторов. С целью получения наилучшего соотношения «фон-сигнал» проводился выбор оптимального положения детектора и источника оптимальной загрузки усилительно-регистрирующего тракта и применялись дополнительные экраны и коллиматоры и т. д.

Для обеспечения стабильности регистрируемого сигнала применялась регулярная настройка усилительного тракта по регулярному пику рассеянного излучения возбуждающего источника. Для учета вариаций вещественного состава анализируемых пород и непостоянной геометрии контакта «датчик-порода», что прежде всего сказывается на интенсивности комптоновской составляющей аппаратурного фона, применялся разработанный нами метод «приведения фона», который основан, как и метод «спектральных отношений», на измерениях в аналитическом канале и вспомогательном канале рассеянного гамма-излучения. Метод позволяет селективно выделять интенсивность аналитической линии, определяя в каждой точке конкретные значения аппаратурного фона.

При разработке метода «приведения фона» учитывалось, что в отсутствие мешающего характеристического излучения фон в аналитическом канале состоит из обратно рассеянного излучения возбуждающего источника и собственного фона — за счет прямого прохождения излучения источника на детектор.

$$N_{\phi_1} = N_{ка} + N_{са};$$

$$N_{\phi_r} = N_{кр} + N_{ср},$$

где N_{ϕ_a} , N_{ϕ_r} — полные величины фона в аналитическом канале и канале рассеянного излучения;

$N_{ка}$, $N_{кр}$ — часть фона за счет комптоновского рассеяния в соответствующих каналах;

$N_{са}$, $N_{ср}$ — собственный фон прибора в соответствующих каналах.

При отсутствии излучения мешающих элементов фон в канале рассеянного излучения соответствует полной интенсивности счета — N_p , а полный сигнал в аналитическом канале равен сумме интенсивностей аналитической линии — $N_{ла}$ и фона:

$$N_a = N_{ла} + N_{\phi_a}.$$

Собственный фон прибора является величиной, постоянной для каждого конкретного прибора при данной активности источника, настройке аппаратуры и т. д., и может быть определен путем измерений с датчиком, поднятым над поверхностью земли на высоту около 0,5 м.

Вариации фона в аналитическом канале и канале рассеянного излучения связаны в основном с изменениями комптоновской составляющей фона за счет непостоянства эффективного атомного номера анализируемых пород и неровностей контакта «датчик-порода». Проведенные исследования показали, что интенсивности комптоновской составляющей фона в аналитическом канале и канале рассеянного излучения связаны линейной зависимостью. Это позволяет использовать последний канал для определения фона аналитического канала (приведенного значения фона) в каждой конкретной точке измерений, имея значения фона и обратного рассеяния на стандартном фоновом эталоне

$$N_{\phi_a} = N_{ка}^0 \frac{N_{кр}}{N_{кр}^0} + N_{са} = (N_{\phi_a}^0 - N_{са}) \frac{N_p - N_{ср}}{N_p^0 - N_{ср}} + N_{са},$$

где N_{ϕ_a} — приведенное значение фона в аналитическом канале; $N_{ка}$, $N_{\phi_a}^0$, N_p^0 — интенсивность комптоновской состав-

ляющей фона и полная величина фона в аналитическом канале, интенсивность сигнала в канале рассеянного излучения—все при измерениях на фоновом эталоне.

При хорошей экранировке детектора от источника возбуждающего излучения собственный фон прибора в обоих каналах не превышает 2—5% от общей величины фона, и формула для определения приведенного значения фона с достаточной для практических работ точностью может быть упрощена

$$N_{\text{фа}} = KN_{\text{фа}}^{\circ} \frac{N_p}{N_p^{\circ}}.$$

Коэффициент «К» определяется для каждого прибора на основе сопоставления приведенных значений фона, вычисленных по полной и приближенной формулам.

Основным градуировочным параметром является интенсивность аналитической линии, которая определяется как разность полного сигнала и приведенного фона в аналитическом канале $N_{\text{ла}} = N_a - N_{\text{фа}}$.

Учет приведенных значений фона позволяет получить практически линейную зависимость интенсивности аналитической линии от содержания анализируемого элемента в интервале содержаний от порога чувствительности до 2—3% (фиг. 4); изменения абсорбционных свойств пород применительно к условиям геохимических поисков на интенсивность аналитической линии практически не влияют. Это упрощает методику градуировки аппаратуры и обработки данных измерений и позволяет применять по каждому элементу один рабочий эталон с высоким содержанием, которое можно измерять с небольшой экспозицией при высокой статистической точности.

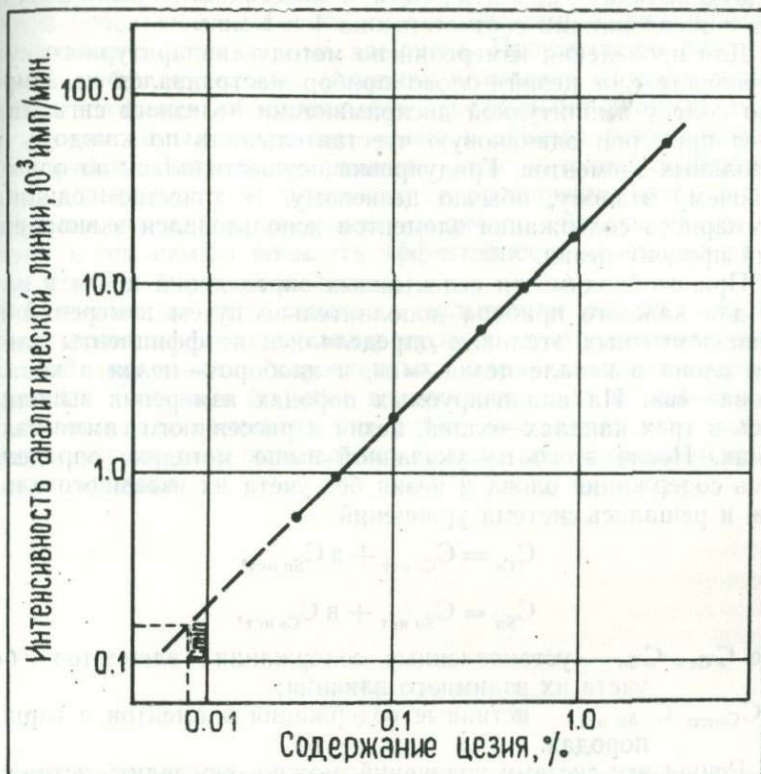
Содержания элементов в анализируемых породах определяются по формуле

$$C_{\text{п}} = C_{\text{эт}} \frac{N_{\text{ла}}^{\text{п}}}{N_{\text{ла}}^{\text{эт}}},$$

где $C_{\text{п}}$, $C_{\text{эт}}$ — содержания элементов в анализируемой породе и рабочем эталоне;

$N_{\text{ла}}^{\text{п}}$, $N_{\text{ла}}^{\text{эт}}$ — интенсивности аналитических линий от анализируемой породы и рабочего эталона.

В практических работах в качестве фоновго эталона использовалась керамическая пластина, близкая по значению эффективного атомного номера к анализируемым горным породам, размерами 15×15×2 см, а в качестве рабочих эталонов



Фиг. 4. График эталонировки прибора «Гагара» на цезий

по каждому элементу—таблетки из запрессованного с полистиролом порошка чистых соединений бария, цезия или олова, диаметром 34 мм и высотой 3 мм. По интенсивности аналитической линии рабочие эталоны соответствовали слою насыщенных растворов с содержанием соответствующего элемента около 1%.

В процессе работы измерения фона и эталона выполнялись 3—4 раза за 6 часов. Прибор обслуживала бригада в составе оператора и рабочего. Перед установкой датчика рыхлые породы в точке измерений выравнивались на глубине представительного горизонта почв (по данным элементам в конкретном районе). В каждой точке измерения выполнялись

в двух каналах—аналитическом и рассеянного гамма-излучения с экспозициями соответственно 4 и 1 мин.

Для проведения измерений по методу «аппаратурного суммирования» на цезий+олово прибор настраивался на широкую полосу амплитудной дискриминации полезного сигнала и имел примерно одинаковую чувствительность по каждому из указанных элементов. Градуировка осуществлялась по одному рабочему эталону, обычно цезиевому. В качестве единицы суммарного содержания элементов использовался эквивалентный процент цезия.

При необходимости селективных определений цезия и олова для каждого прибора дополнительно путем измерений на моноэлементных эталонах определялись коэффициенты влияния олова в канале цезия—«а», и наоборот—цезия в канале олова—«в». На анализируемых породах измерения выполнялись в трех каналах—олова, цезия и рассеянного гамма-излучения. После этого по указанной выше методике определялись содержания олова и цезия без учета их взаимного влияния и решалась система уравнений

$$C_{Cs} = C_{Cs \text{ ист}} + a C_{Sn \text{ ист}},$$

$$C_{Sn} = C_{Sn \text{ ист}} + b C_{Cs \text{ ист}},$$

где C_{Cs} , C_{Sn} — установленные содержания элементов без учета их взаимного влияния;

$C_{Cs \text{ ист}}$, $C_{Sn \text{ ист}}$ — истинные содержания элементов в горных породах.

Решая эту систему уравнений, можно определить истинные содержания цезия и олова в горных породах

$$C_{Cs \text{ ист}} = \frac{C_{Cs} - a C_{Sn}}{1 - ab}; \quad C_{Sn \text{ ист}} = \frac{C_{Sn} - b C_{Cs}}{1 - ab}.$$

Аналогично могут быть выполнены селективные анализы и в присутствии большого количества взаимовлияющих элементов, однако затраты труда на проведение измерений и обработку данных существенно увеличатся.

ВЫВОДЫ

Разработанная методика рентгенорадиометрических определений содержаний цезия, олова, бария в горных породах в их естественном залегании может с успехом применяться при крупномасштабных и детальных поисках рудных место-

рождений, вскрытых эрозией и перекрытых рыхлыми образованиями небольшой мощности, геохимическими индикаторами которых являются указанные элементы. Производство аналитических работ в полевых условиях позволяет своевременно выявлять аномалии, обусловленные перекрытыми рудными телами, и тем самым сокращать сроки и объемы разведочных горных работ. Дальнейшее развитие этих методов, особенно в части повышения чувствительности и расширения круга анализируемых элементов, позволит увеличить область их применения и тем самым повысить эффективность поисковых работ на цветные и редкие металлы.

Перспективным представляется дальнейшее совершенствование и развитие метода «аппаратурного суммирования» содержания нескольких характерных элементов-индикаторов оруденения. Особенно большие возможности в этом направлении имеются для геохимических работ на полиметаллических объектах — например определение суммарных содержаний меди, свинца, цинка.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НА СТАДИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ РАЗВЕДКИ ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Усовершенствование качества предварительной разведки является одним из основных резервов повышения эффективности капиталовложений при проведении геологоразведочных работ. В настоящее время, когда расширение сырьевой базы страны в необходимых размерах возможно лишь за счет широкого освоения скрытого сруденения, сложность решения основной задачи предварительной разведки — предотвращение излишних затрат крупных государственных средств на детальную разведку непромышленных месторождений — во много раз возросла. Практика показывает, что одним из реальных путей повышения качества предварительной разведки при одновременном сокращении затрат является широкое внедрение геохимических методов (Янишевский и др., 1963; Овчинников, Григорян, 1970; Янишевский, Резников, 1971 и др.).

В настоящей статье авторы излагают свой опыт работы в этом направлении на примере Лысогорского месторождения олова в Приморье. Геохимическая информация и соответствующие выводы были получены на основе обработки результатов спектрального приближенно-количественного анализа 1900 проб коренных пород и 4077 проб рыхлых отложений, отобранных из почвенного горизонта ВС. Анализы выполнялись в спектральной лаборатории Восточной геологоразведочной экспедиции Приморского территориального геологического управления.

Лысогорское оловорудное месторождение турмалинового типа касситерито-силикатно-сульфидной формации, по классификации Е. А. Радкевич (1968), располагается в пределах Главной металлогенической зоны Приморья на стыке Восточного вулканогена с Главным синклинорием Сихотэ-Алиня.

В соответствии с данными Р. В. Короля и Н. Ф. Костерева, которые руководят работами по предварительной разведке месторождения, в структуре его рудного поля выделяются два яруса: нижний, сложенный интенсивно перемятыми песчано-сланцевыми породами раннего мела, и верхний, представленный слабо деформированными вулканитами позднего мела. В эффузивных породах верхнего яруса выделяются вулканогенные структурные образования типа покровов, экструзий, жерл. Осадочные и вулканогенные породы прорваны многочисленными интрузиями гранитоидов.

Лысогорское месторождение локализовано в северной периферической части экструзии андезитов, вблизи контакта с перекрывающими ее туфами андезитов и туфогенными породами, содержащими флору альб-сеноманского возраста. Мощность вулканогенного чехла на Лысогорском месторождении точно не установлена и предположительно составляет 800—900 м. Ближайший от месторождения выход осадочных пород нижнего структурного яруса расположен в 1 км к северу.

Экструзия сложена пестрыми слабо дифференцированными породами, в составе которых выделяются андезиты, их туфолавы и брекчиевые лавы. На основании вытянутой формы экструзии, ориентировки петрографических разностей слагающих ее пород, длинных осей вкрапленников и флюидалности делается предположение о том, что подводящий канал экструзии, по всей вероятности, трещинного типа и ориентирован в широтном направлении.

В пределах рудного поля Лысогорского месторождения выделяются два главных типа разломов: субширотные и субмеридиональные. Основным нарушением субширотного направления является крупный разлом-сдвиг, проходящий на северном фланге месторождения.

Оловянное оруденение на месторождении относится к жильному типу. Рудные тела приурочены к трещинным структурам северо-северо-западного направления, расположенным к югу от субширотного разлома. Промышленный интерес в настоящее время представляют шесть рудных тел. В структурном плане все они субпараллельны, образуют жильную свиту шириной 900 м, ориентированную на северо-северо-запад ($340\text{—}360^\circ$) с падением на запад под углами $60\text{—}85^\circ$. Рудные тела представлены жилами выполнения с четкими границами. Руды обладают массивной пятнистой, реже полосчатой текстурой.

Во вмещающих породах вблизи рудных тел часто отмечаются тонкие (1—2 мм) прожилки с касситеритом. Ширина

призальбандовой минерализации обычно не превышает одного метра. Мощность жил в основном до 1 м. Морфология жил очень сложная: по простиранию и падению они не выдержаны, сопровождаются многочисленными апофизами, ветвятся. Протяженность основных жил небольшая и достигает несколько сотен метров. По падению оловянное оруденение прослежено на 600 м. Содержание олова в жилах крайне неравномерно. В отдельных рудных телах отмечена вертикальная зональность оруденения, выраженная в смене с глубиной бедной, практически без олова, галенит-сфалерит-джермсонитовой минерализации промышленной оловянной рудой с касситеритом, галенитом, сфалеритом и пирротинном. Вкрест простирания жильной свиты на уровне 800-метровой отметки установлена горизонтальная зональность. От центральной части серии (жилы 1, 3) к востоку и западу в рудных телах существенную роль начинают играть карбонаты, которые или нацело выполняют жильную полость (жила Карбонатная) или находятся в ассоциации с галенитом и сфалеритом (жила Прирусловая).

Среди первичных промышленных руд выделяются три типа: 1) касситерит-халькопирит-пирит-пирротинный, 2) касситерит-кальцитовый, 3) касситерит-галенит-сфалерит-пирротинный.

Оконтуривание месторождения и установление основных особенностей его строения в плоскости эрозионного среза по вторичному ореолу рассеяния

В геологоразведочной практике на объектах, выделенных под предварительную разведку, проект всех горных работ и бурения основывается на параметрах промышленных рудных тел, выявленных к началу разведки. Чем сложнее объект, тем больше вероятность того, что принятые параметры разведочной сети на первом выбранном для разведки участке не являются оптимальными для всего объекта в целом. Обычно это выясняется значительно позже, по мере изучения и оконтуривания месторождения.

Если предварительно разведываемое месторождение вскрыто эрозионным срезом преимущественно в своих верхних частях, геологам трудно перед началом работ иметь четкое представление о размерах всего рудного поля, в пределах которого возможно получить наиболее полный прирост запасов. Часто возможные перспективы месторождения до конца не выясня-

ются и после окончания предварительной стадии его разведки. В результате объект может быть оценен недостаточно обоснованно как мало или вообще неперспективный. Если же он оценен как достаточно перспективный, то общие масштабы его запасов часто выясняются лишь при детальной разведке, а иногда даже при эксплуатационных работах.

В настоящее время имеется реальная возможность существенно улучшить качество и полноту оценки объекта при предварительной разведке с помощью геохимических методов. Так, в частности, для олово-рудных месторождений касситерит-сульфидной формации Приморья разработаны методические приемы и геохимические критерии, позволяющие давать оценку перспектив месторождения на скрытое оруденение без применения горных или буровых работ (Кравченко, 1975).

Особенностью метода является возможность при мощности рыхлого покрова не более 5 м производить по вторичным ореолам рассеяния сконтурирование рудного поля месторождения, определять уровень эрозионного среза его первичного геохимического ореола и выделять основные рудолокализирующие структуры. Своевременное получение геохимической информации по перечисленным выше вопросам позволяет геологам, приступающим к предварительной разведке месторождения, выполнить эти работы с наиболее полным освещением перспектив объекта и с минимальными затратами, благодаря возможности выбора оптимального варианта разведочной сети, правильного определения последовательности выполнения разведочных работ в пределах всей перспективной площади с учетом возможности обнаружить и оценить все скрытые рудные тела.

В определенной мере наглядным примером сказанного может служить Лысогорское месторождение, на котором площадь, включающая известные вскрытые эрозионным срезом рудные тела, составляет лишь одну десятую часть общей площади, в пределах которой проявлялись процессы рудотложения. Последняя на прилагаемой фиг. 1 показана контуром первичного полиэлементного геохимического ореола. Хотя ореол месторождения оконтурен не полностью, тем не менее он достаточно четко ограничивает площадь, в пределах которой следует сосредоточить основной объем разведочных работ.

Выделение полиэлементного ореола рудного поля — это лишь одна из производных информации, получаемой по вторичному ореолу рассеяния. Так, одновременно с получением представлений о размере и форме площади, в пределах кото-

рой происходило рудоотложение, можно определить уровень эрозионного среза как месторождения в целом, так и отдельных его блоков. Наконец, в пределах выделенного эрозионного среза возможно уверенное выделение конкретных рудолокализирующих структур.

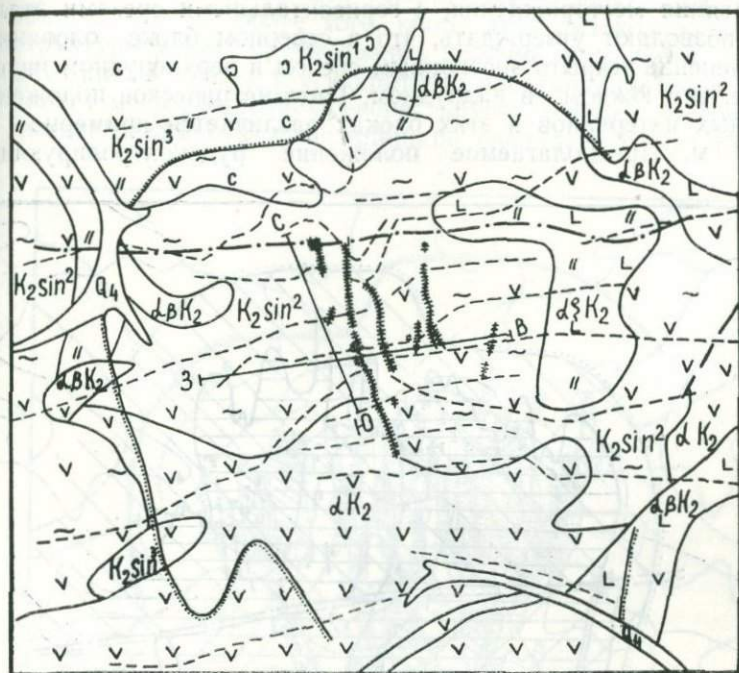
В основу метода, позволяющего определить эти перспективы, положены результаты изучения строения коренного оловянного оруденения, выраженного через величины мультипликативного показателя зональности (K_3), представляющего собой отношение произведений содержания элементов-индикаторов верхней части ореола (свинец \times цинк \times серебро) к элементам-индикаторам нижней его части (медь \times висмут \times молибден). Для надрудного, верхнерудного, среднерудного, нижнерудного и подрудного интервалов оруденения оказалось возможным выделить эталонные горизонтальные срезы, характеризующиеся определенными величинами показателя зональности и закономерным их распределением относительно рудных тел и первичного ореола олова (Кравченко, 1975).

Для получения такого эталонного разреза на многочисленных рудопроявлениях и месторождениях Приморья с различным уровнем эрозионного среза проводилось сопоставление распределения содержаний олова и величин K_3 в эндогенном ореоле и сопряженном с ним вторичном ореоле рассеяния. В результате было установлено, что определение уровня эрозионного среза месторождения и выявление рудолокализирующих структур можно производить по вторичному ореолу, так как распределение элементов в тех и других четко коррелируется.

Так, в процессе оценки уровня эрозионного среза Лысогорского месторождения в пределах выделенного контура полиэлементного ореола было выделено два примерно равных по площади блока—северный и южный (см. фиг. 2). Основные геолого-геохимические различия этих блоков заключаются в следующем.

Северный блок характеризуется величиной отношения размеров площади ореола олова (в границах 0,001%) к размерам площади со значениями K_3 500 близкой к единице, в то время как в южном блоке это отношение равно один к пяти.

В пределах северного блока элементы-индикаторы нижней части вертикального разреза первичного ореола проявлены более интенсивно и на больших площадях, чем в пределах южного блока. Кроме этого в пределах северного блока известны вскрытые эрозионным срезом верха рудных тел с высоким содержанием олова, а в пределах южного они не известны.



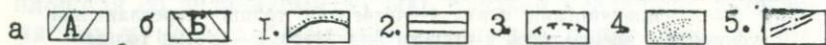
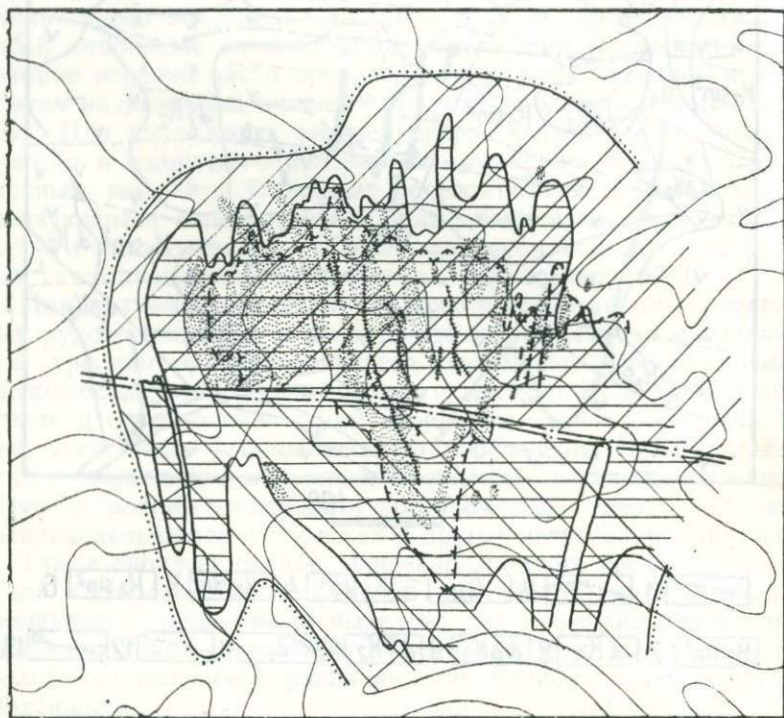
0 400

1. 2. Q₄ 3. K₂sin⁴ 4. K₂sin³ 5. K₂sin² 6.
 K₂sin¹ 7. dK₂ 8. dBK₂ 9. dδK₂ 10. 11. 12. 13.

Фиг. 1. План Лысогорского месторождения

1—известные, вскрытые с поверхности рудные тела; 2—контур полиэлементного ореола месторождения; 3—аллювиальные отложения; 4—7—синанчинская свита: 4—четвертая толща—переслаивание туфогенных алевролитов с туфами андезитов, 5—третья толща—туфы андезитов, 6—вторая толща—туфолавы андезитов с прослоями базальтов, 7—первая толща—лавы андезито-базальтов, андезитов, андезито-дацитов; 8—10—жерловая фация синанчинской свиты; 8—андезиты; 9—андезито-базальты; 10—андезито-дациты; 11—геологические границы; 12—линии геохимического опробования; 13—опорные разрезы

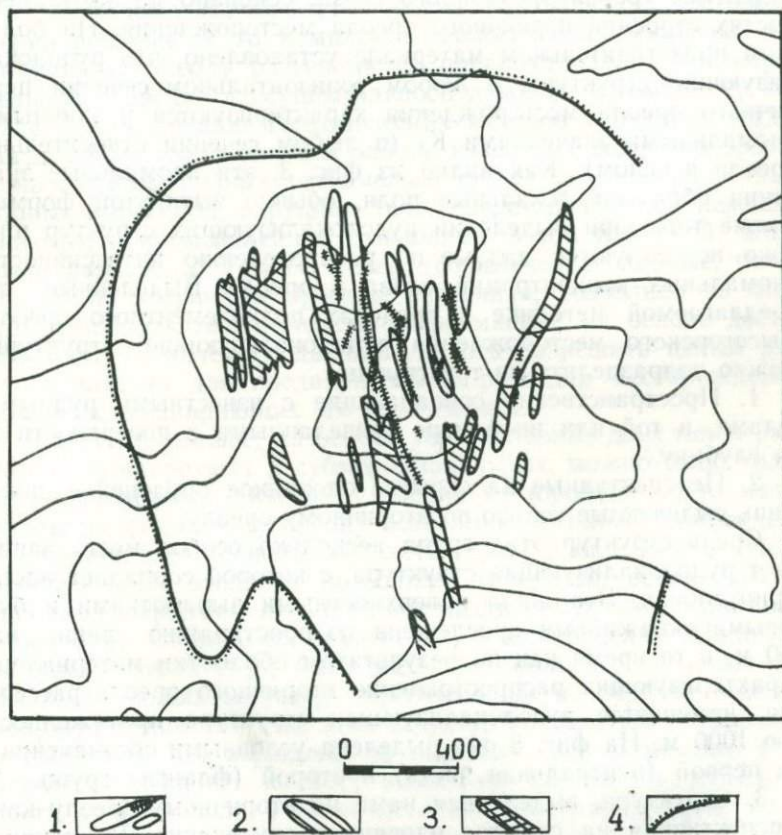
Сопоставление данных, полученных по вторичному ореолу рассеяния месторождения, с горизонтальными срезами эталона, позволяют утверждать, что в северном блоке оловянное оруденение вскрыто эрозийным срезом в верхнерудном интервале, а в южном — в надрудном. Гипсометрическое положение рудных интервалов в этих блоках различается примерно на 100 м. Предполагаемое положение рудоконтролирующей



Фиг. 2. Выделенные северный (а) и южный (б) блоки Лысогорского месторождения

- 1—контур полиэлементного ореола месторождения; 2—площадь распределения индикаторных значений K_3 более 500; 3—контур ореола олова более 0,001%; 4—ореолы меди (более 0,01%); 5—предполагаемая граница между северным и южным блоками

структуры, определяющей границу выделенных блоков, показано на фиг. 2. Более того, кроме этой рудоконтролирующей структуры можно предположить наличие по крайней мере еще двух аналогичного, т. е. широтного простирания. Одна ограничивает месторождение с севера, другая—с юга. Местоположение северной структуры в принципе совпадает с тектонической



Фиг. 3. Рудолокализирующие структуры Лысогорского месторождения, выделенные по индикаторным значениям K_3 более 50 000

- 1—рудолокализирующие структуры, подтвержденные известными рудными телами; 2—рудолокализирующие структуры перспективные на скрытое оловянное оруденение; 3—рудолокализирующая структура, перспективы которой подтверждены вскрытием на глубине нового рудного тела; 4—контур полиэлементного ореола месторождения

зоной широтного направления, выделенной геологами ранее (см. фиг. 1). В пользу такого предположения свидетельствует тот факт, что первичный ореол месторождения, имеющий субмеридиональное простирание, резко обрывается как с севера, так и с юга. Время образования этих структур не определено.

Выделение рудолокализирующих структур, так же, как и определение уровня эрозионного среза, основано на закономерностях строения первичного ореола месторождения. На большом представительном материале установлено, что рудолокализирующие структуры в любом горизонтальном сечении первичного ореола месторождения характеризуются различными аномальными значениями K_3 (в любом сечении относительно ореола в целом). Как видно из фиг. 3, эти аномальные значения образуют локальные поля, обычно вытянутой формы. Кроме того, при выделении рудолокализирующих структур широко используются данные по распределению интенсивности аномальных концентраций олова в ореоле. Выделенные по предлагаемой методике в пределах полиэлементного ореола Лысогорского месторождения рудолокализирующие структуры можно подразделить на три группы.

1. Пространственно совпадающие с известными рудными телами, в той или иной мере разведанными с поверхности и на глубину.

2. Перспективные на скрытое оловянное оруденение, пока лишь выделенные только по вторичному ореолу.

Среди структур этих групп особое место занимает рудолокализирующая структура, с которой совпадает жила Прирусловая. Эта жила поверхностными выработками и буровыми скважинами прослежена по простиранию лишь на 250 м, в то время как по результатам обработки материалов, характеризующих распространение вторичного ореола рассеяния, намечается рудолокализирующая структура протяженностью 1000 м. На фиг. 3 она выделена условными обозначениями первой (центральная часть) и второй (фланги) групп.

3. Структура, выделенная нами по вторичному ореолу как перспективная на скрытое оловянное оруденение. В отличие от структур второй группы, наличие ее в настоящее время подтверждено горными работами на ее продолжении по падению скрытого рудного тела, получившего название «жила Карбонатная».

На фиг. 3 видно, что у рудолокализирующих структур северного и южного блоков имеется линейный разрыв сплошности,

совпадающий пространственно с выделенной рудоконтролирующей структурой суширотного направления и являющийся границей между этими блоками. С другой стороны можно заметить, что рудолокализирующие структуры южного блока находятся (по простиранию) как бы на продолжении аналогичных структур северного блока. Особенно ярко этот момент подчеркивается наличием жилы З в обоих блоках.

Необходимо подчеркнуть, что на Лысогорском месторождении решение всего комплекса геологических вопросов по вторичному ореолу рассеяния не предшествовало предварительной разведке и осуществлялось даже не в самом ее начале. Использование геохимических методов началось тогда, когда на месторождении, в районе известных вскрытых эрозионным срезом рудных тел имелась густая сеть поверхностных горных выработок, а рудные тела, представлявшие перспективными в промышленном отношении, в той или иной мере были разбурены. Тем не менее, геохимические данные, полученные по вторичным ореолам рассеяния, позволили во многом дополнить геологическую информацию: на основе достоверных геохимических данных удалось разрешить целый ряд очень важных для предварительной разведки месторождения вопросов, расширяющих его перспективы.

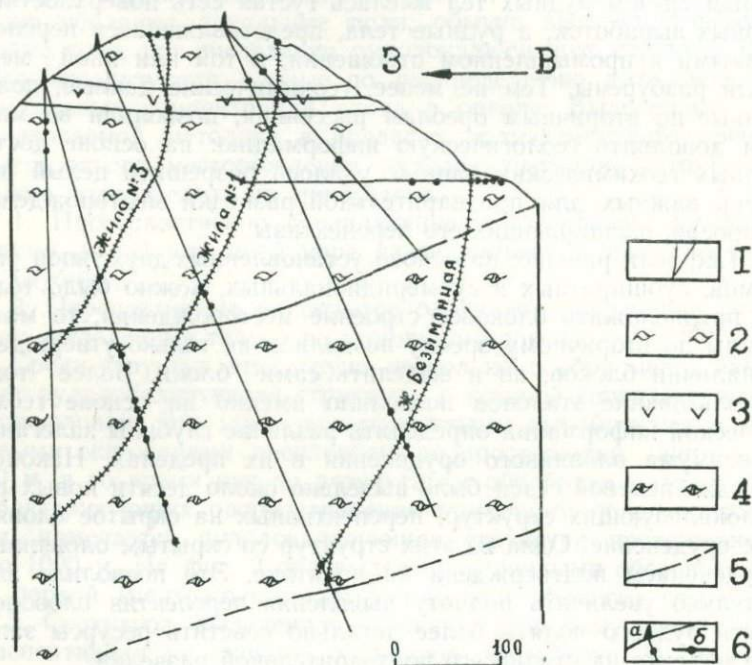
Так, если раньше, на основе установленных двух типов разломов, субширотных и субмеридиональных, можно было только предположить блоковое строение месторождения, то материалы по вторичному ореолу позволили не только утверждать о наличии блоков, но и выделить сами блоки. Более того, использование эталонов позволило именно на основе геохимической информации определить различие глубины залегания максимума оловянного оруденения в их пределах. Наконец, за один полевой сезон было выделено около десяти новых рудолокализирующих структур, перспективных на скрытое оловянное оруденение. Одна из этих структур со скрытым оловянным оруденением подтверждена на практике. Это позволило значительно увеличить полноту выявления перспектив оловоносности рудного поля и более детально осветить ресурсы запасов объекта на стадии его предварительной разведки.

Основные особенности строения месторождения в вертикальном разрезе

По мере расширения фронта разведочных работ на глубину особое значение приобретают вопросы определения прес-

ранственной ориентировки рудолокализирующих структур и вертикального размаха оловянного оруденения. В решении этих вопросов большую помощь оказывает геохимическая информация, полученная непосредственно при изучении особенностей строения первичного геохимического ореола.

Выше отмечалось, что наши работы на Лысогорском месторождении были начаты тогда, когда на участке залегания известных рудных тел уже было пробурено значительное количество скважин. На фиг. 4 приведен опорный разрез, сделанный в то время и вскрывавший рудные тела (жила 1, жила 3 и др.), его положение на плане показано на фиг. 1. Несмотря на это, по керну скважин, подсекающих рудные жилы, однозначно решить вопрос о преобладающей ориентировке рудо-



Фиг. 4. Часть широтного опорного разреза Лысогорского месторождения с вариантом выполнения с глубиной рудных тел (жила 1 и 3)

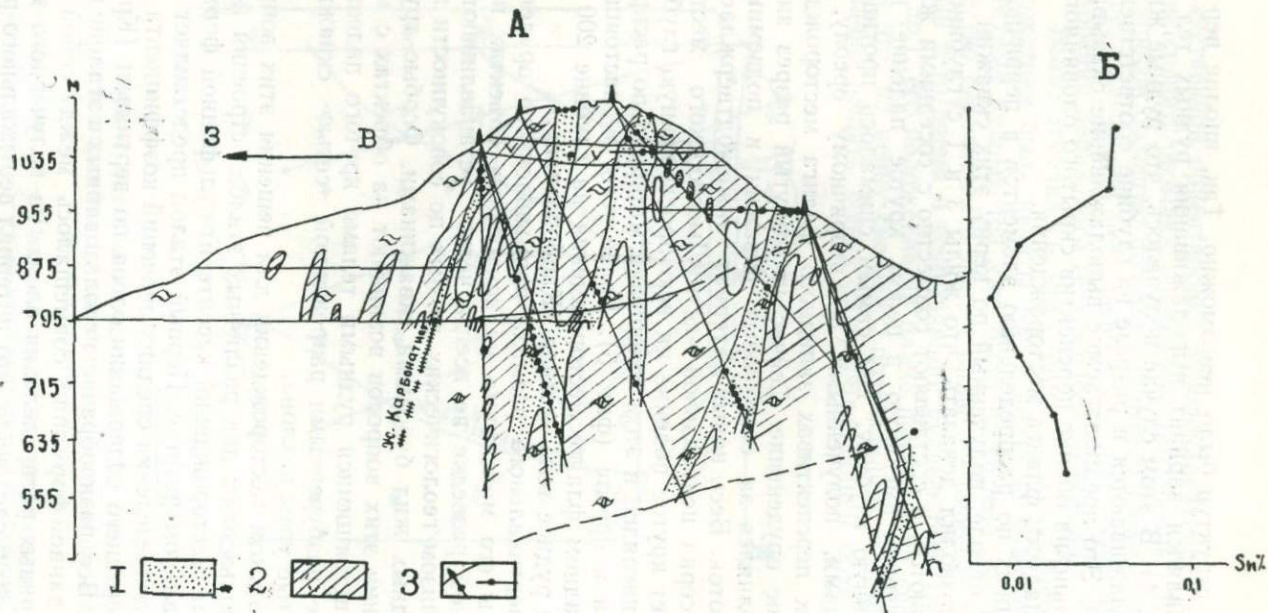
1—рудные тела; 2—туфолавы андезитов; 3—андезиты; 4—брекчиевые лавы андезитов; 5—геологические границы; 6—буровые скважины и штольни с точками рудных пересечений

локализующих структур было невозможно. Так, вполне вероятным представлялся вариант выполаживания рудных тел с глубиной (фиг. 4). В этом случае получалось, что рудные жилы 3 и 1 выполаживаются в разрезе на глубине соответственно 240 и 400 м. Это предполагаемое выполаживание сказывалось отрицательно на оценке перспектив скрытого оловянного оруденения западного фланга месторождения.

Анализ данных по распределению элементов в первичном геохимическом ореоле, полученный по керну этих скважин и поверхности, позволил доказать, что жилы 3 и 1 с глубиной не выполаживаются, а составляют совместно с соседними жилами общую серию, имеющую в целом крутое падение на всю прослеженную глубину. Тем самым снималось противоречие с выводами, полученными по вторичному ореолу, о положительных перспективах западного фланга месторождения на скрытое оруденение. Сейчас упомянутый разрез значительно пополнился за счет новых скважин и подземных горных выработок. Весь новый материал также подтверждает, что жильная серия центральной части Лысогорского месторождения имеет крутое падение на всю прослеженную глубину. Особенно нагляден в этом отношении материал по распределению олова в ореоле (фиг. 5). Более того, в настоящее время на западном фланге месторождения на глубине 200 м вскрыто новое рудное тело — жила «Карбонатная».

Вопросы вертикального размаха промышленного оруденения и глубины его максимума на конкретных объектах при предварительной разведке не всегда четко устанавливаются обычным анализом геологических данных по совокупности пересечений рудных жил буровыми скважинами. Особые трудности в решении этих вопросов возникают на объектах с маломощными, ветвящимися рудными телами крутого падения, да к тому же разбуренными разреженной сетью скважин, имеющих крутые углы наклона.

На Лысогорском месторождении для решения этих вопросов были использованы два различных эталона строения первичного ореола месторождений касситерит-сульфидной формации в вертикальном разрезе. Первый эталон представляет собой кривые распределения средних значений коэффициента зональности и среднего содержания олова по вертикали (Кравченко, 1973). Все разнообразие использованных в эталоне месторождений данной формации совмещалось между собой по максимуму кривых распределения олова. Из полученного эталона, в частности, следовало, что интервал вертикального раз-



Фиг. 5. Эндеогенный ореол (А) и кривая (Б) распределения в нем среднего содержания олова

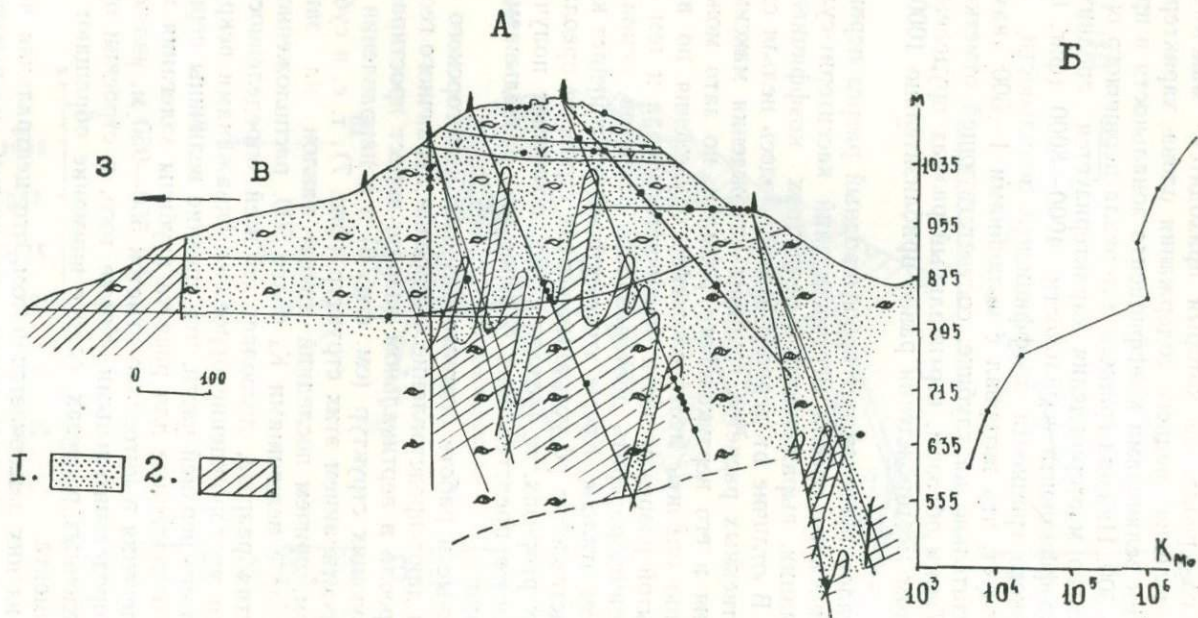
Содержание олова в процентах: 1 — более 0,01; 2 — от 0,01 до 0,001; 3 — скважины и штольни с рудными пересечениями

реза первичного ореола, на который приходится максимум кривой распределения среднего содержания олова, характеризуется средними величинами коэффициента зональности в пределах от 1 до 500. Нижняя граница интервала первичного ореола Лысогорского месторождения характеризуется средними величинами коэффициента зональности 4000—8000 (фиг. 6). Из рассчитанного градиента коэффициента зональности по вертикали следует, что интервал с величинами 1—500 находится приблизительно на глубине, соответствующей отметкам 250—350 м. Таким образом, вертикальный размах оруденения на Лысогорском месторождении равен приблизительно 1000—1200 м.

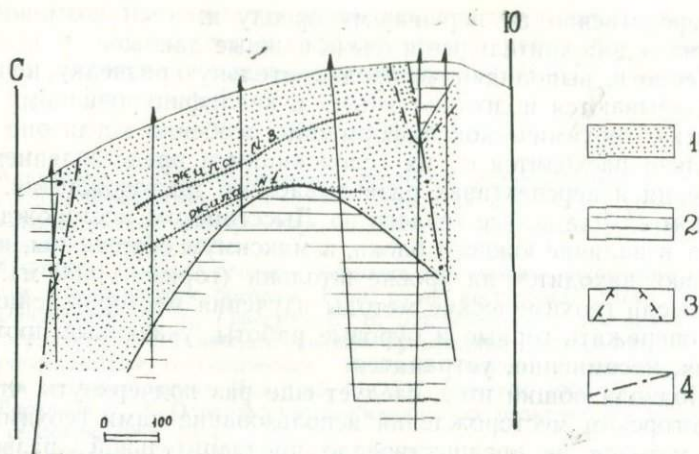
Второй эталон представляет собой сводный разрез первичного геохимического ореола месторождений касситерит-сульфидной формации, выраженного в величинах коэффициента зональности. В отличие от первого эталона, здесь нельзя сделать количественных расчетов глубины нахождения максимума оруденения и его вертикального размаха, но зато можно более уверенно оценить местоположение оруденения по вертикали вскрытой разрезом части первичного ореола и тем самым, в принципе, проверить достоверность расчетов, основанных на первом эталоне. Кроме этого, второй эталон дает конкретное представление об основных чертах строения ореола в вертикальных разрезах, а следовательно, позволяет получить пространственное представление о строении разведываемого месторождения.

Приведенные в работе спорные разрезы Лысогорского месторождения дают представление о строении первичного геохимического ореола в вертикальном разрезе вкrest простирающихся рудолокализирующих структур (см. фиг. 6) и в направлении согласном с простираанием этих структур (фиг. 7), т. е. в субмеридиональном, причем последний имеет наклон на запад. Сплошное поле с величинами K_3 более 500, расположенное в верхних частях разреза, позволяет со всей определенностью говорить, что месторождение буровыми скважинами вскрыто пока лишь в его верхней части, что средние величины первого эталона, использованные для расчета глубины залегания максимума оруденения в интервале отметок 550—950 м, являются достаточно представительными. Кроме того, в строении ореола на приведенных разрезах особое внимание обращают на себя два момента.

Первый из них заключается в том, что центральная часть северного блока, представленная известными, вскрытыми с



Фиг. 6. Эндогенный ореол месторождения выраженный в величинах K_3 (А) и кривая распределения средних величин K_3 (Б)
 1—поля с величинами K_3 более 500; 2—поля с величинами K_3 менее 500



Фиг. 7. Меридиональный опорный разрез эндогенного ореола Лысогорского месторождения, выраженного в величинах K_3

1—поля с величинами K_3 более 500; 2—поля с величинами K_3 менее 500; 3—контур ореола олова с содержаниями более 0,001%; 4—предполагаемые границы блоков.

поверхности рудными телами, приурочена к куполу, образованному «зональностью» ореола и выраженному границей полей с распространением величин коэффициента зональности больше и меньше 500. К западу и востоку в крыльях этого купола верх рудных тел располагаются на значительно более низком гипсометрическом уровне и в данном конкретном случае эти рудные тела, как известные, так и прогнозируемые, являются скрытыми.

Второй интересный момент заключается в том, что на субмеридиональном разрезе (см. фиг. 7) в верхней части его, в районе предполагаемой границы северного и южного блоков, отмечается резко выраженный «пережим» поля первичного ореола с величинами K_3 больше 500. В южной части разреза под пережимом это поле в южном блоке опущено резко и нижняя граница его не установлена. Все это подтверждает ранее сделанные выводы по данным вторичного ореола рассеяния о наличии южного блока, в пределах которого аналоги первичного ореола, наблюдаемые в северном блоке, находятся на более низком гипсометрическом уровне.

В заключение следует сказать, что в случае использования в ходе предварительной разведки геохимической информации

непосредственно по первичному ореолу имеется возможность получить дополнительные и очень важные данные.

Геологи, выполняющие предварительную разведку, не всегда оказываются подготовленными к квалифицированному восприятию геохимической информации, особенно когда она значительно расходится с их сложившимся представлением о строении и перспективах разведываемого месторождения. И в данном случае не все геологи на Лысгорском месторождении верят в наличие южного блока, а максимум оруденения, по их мнению, находится на уровне штольни (горизонт 800 м). Однако если геохимические методы изучения месторождения будут опережать горные и буровые работы, указанные противоречия, несомненно, устроятся.

Подводя общий итог, следует еще раз подчеркнуть, что на Лысгорском месторождении использование нами геохимических методов не предшествовало предварительной разведке, как это должно было бы быть сделано по схеме стадийности работ, а началось в ходе ее. Но это обстоятельство имеет и положительный момент в том отношении, что целый ряд выводов, рекомендаций, следовавших из анализа материалов по вторичным ореолам рассеяния, в более короткий срок получили подтверждение. Приведенный конкретный пример убедительно показывает необходимость своевременного, квалифицированного и последовательного использования геохимических методов, что позволит:

1. В самом начале предварительной разведки иметь конкретные границы участка, в пределах которого должен планироваться весь необходимый комплекс работ. Имеется возможность выделить все основные структурные элементы и наметить положение опорных разрезов, по которым следует вскрывать основные рудные тела.

2. Своевременный анализ материала по первичному ореолу в опорных разрезах, вскрытых буровыми скважинами в дополнение к взятой в плане по вторичному ореолу структурной обстановке, позволяет определить оптимальные варианты заложения подземных горных выработок и буровых скважин для вскрытия глубоких горизонтов.

3. По ограниченному числу опорных буровых разрезов удается получить представительный материал для определения глубины залегания максимума оруденения, его вертикального размаха и проверить на глубине основные структурные элементы строения месторождения, ооконтуренного по вторичному ореолу рассеяния.

Все это вместе взятое позволяет резко увеличить геологическую и экономическую эффективность работ по предварительной разведке оловянных месторождений в Приморье.

ЛИТЕРАТУРА

Кравченко Э. С. Геохимические критерии, используемые при поисках скрытого и перекрытого оловянного оруденения в условиях Приморья. В сб. «Геохимические критерии прогнозирования и поисков рудных месторождений», Москва, 1973.

Кравченко Э. С. О прогнозе скрытого оловянного оруденения по вторичным геохимическим ореолам. Геол. рудн. месторожд., 1975, № 1.

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

Радкевич Е. А. Оловорудные формации и их практическое значение.—Сов. геология, 1968, № 1.

Янишевский Е. М., Григорян С. В., Баранов Э. Н., Вертелов Г. И., Кабуков А. Д. Эндогенные ореолы рассеяния некоторых гидротермальных месторождений. Госгеолтехиздат, 1963.

Янишевский Е. М., Резников И. Н. О рациональном комплексе геохимических методов, применяемых при поисках и разведке рудных месторождений.—Сов. геология, 1971, № 10.

К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ СКРЫТОГО КОЛЧЕДАННОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПО ЭНДОГЕННЫМ ГЕОХИМИЧЕСКИМ ОРЕОЛАМ

Использование данных геохимических методов поисков резко повышает надежность прогноза скрытого эндогенного оруденения, поэтому эти методы в последние годы по праву начинают занимать одно из ведущих мест во всем комплексе методов, используемых при геологоразведочных работах. На современном этапе разработки геохимических методов поисков выявление рудогенных аномалий и оценка положения уровня их эрозийного среза относительно возможного оруденения, то есть отнесение аномалии к надрудным или подрудным ореолам, уже становятся ординарными задачами. В связи с большой глубиной геохимического метода поисков скрытого оруденения по эндогенным ореолам, достигающей 1 км и более, принадлежность выявленной аномалии к надрудным ореолам далеко не точно определяет ее перспективы, так как большая вертикальная протяженность надрудных ореолов резко увеличивает объем перспективного блока пород, в котором возможно наличие скрытых рудных тел. Возможности иных, в частности геофизических, методов для определения глубины залегания скрытого оруденения в этих условиях весьма ограничены. В связи с относительно малой (по сравнению с геохимическими методами) глубиной геофизических методов выявления сульфидных рудных тел (электро-, грави- и магниторазведки), не превышающей обычно 200 м, отрицательные результаты геофизических работ на участках надрудных геохимических ореолов не могут быть основанием для отрицательной оценки в отношении выявления скрытого оруденения. Поэтому одной из главных задач оценки перспективных геохимических аномалий наряду с прогнозом масштабов скрытого оруденения является прогноз возможной глубины залегания скрытых рудных тел.

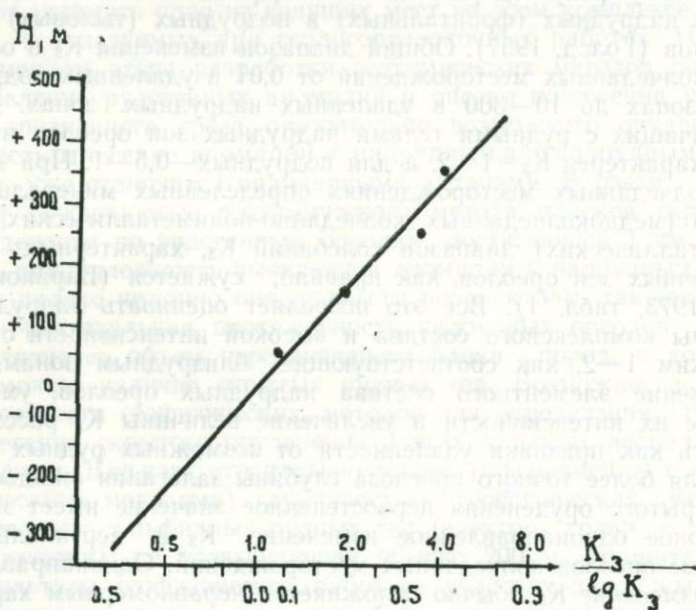
Общий принцип подхода к оценке глубины залегания скрытых колчеданных рудных тел гидротермально-метасоматического типа¹, как было показано авторами ранее (Баранов, 1971; Баранов и др., 1973), определяется их закономерным положением в зональной структуре эндогенных геохимических ореолов — в зонах наиболее комплексного элементного состава с высокоаномальными концентрациями основных рудообразующих элементов. Как показали исследования, близрудные зоны ореолов отличаются от удаленных зон прежде всего отношениями концентраций основных ореолообразующих элементов, выражающимися в строго определенных величинах индикаторных отношений элементов в близрудных зонах ореолов. При изучении ореолов колчеданных месторождений авторами использовался так называемый коэффициент зональности (K_3), представляющий отношение сумм нормированных по геохимическому фону содержания типоморфных элементов-индикаторов надрудных (фронтальных) и подрудных (тыловых) зон ореолов (Голд, 1967). Общий диапазон изменения K_3 в ореолах колчеданных месторождений от 0,01 в удаленных подрудных зонах до 10—300 в удаленных надрудных зонах. Для граничащих с рудными телами надрудных зон ореолов в целом характерен $K_3=1-2$, а для подрудных—0,5—1. При этом на колчеданных месторождениях определенных минеральных типов (медноколчеданных, колчеданно-полиметаллических, полиметаллических) диапазон колебаний K_3 , характерных для граничных зон ореолов, как правило, сужается (Баранов и др., 1973, табл. 1). Все это позволяет оценивать надрудные ореолы комплексного состава и высокой интенсивности с K_3 , близким 1—2, как соответствующие близрудным зонам, а обеднение элементного состава надрудных ореолов, уменьшение их интенсивности и увеличение величины K_3 рассматривать как признаки удаленности от возможных рудных тел.

Для более точного прогноза глубины залегания ожидаемого скрытого оруденения первостепенное значение имеет закономерное однонаправленное изменение K_3 в вертикальном разрезе ореолов колчеданных месторождений. Однонаправленное изменение K_3 обычно осложняется неравномерным харак-

¹ Колчеданные месторождения вулканогенно (гидротермально)—осадочного типа характеризуются отсутствием или локальным проявлением надрудных ореолов. Значение геохимических методов при определении глубины их залегания является резко подчиненным. В настоящем сообщении рассматривается только гидротермально-метасоматическое колчеданное оруденение.

тером распределения величин K_3 в разрезе ореола. Поэтому однонаправленность, а главное—монотонность изменения K_3 достаточно четко выявляется при использовании средних величин K_3 по достаточно крупным интервалам (100 м и более) или после соответствующего сглаживания (например, методом «скользящего окна») величин K_3 , рассчитанных для более мелких (10—50 м) интервалов разреза.

Наиболее устойчивое и закономерное изменение K_3 устанавливается в зонах ореолов комплексного состава, содержащих аномальные концентрации основных ореолообразующих элементов, тогда как в полях моно- и биеlementного состава величины K_3 уменьшаются или увеличиваются по сравнению с таковыми в соседних полях комплексного состава, приближаясь к единице (к значению K_3 в участках фона). Поэтому целесообразно определять K_3 (в предлагаемом варианте) не для

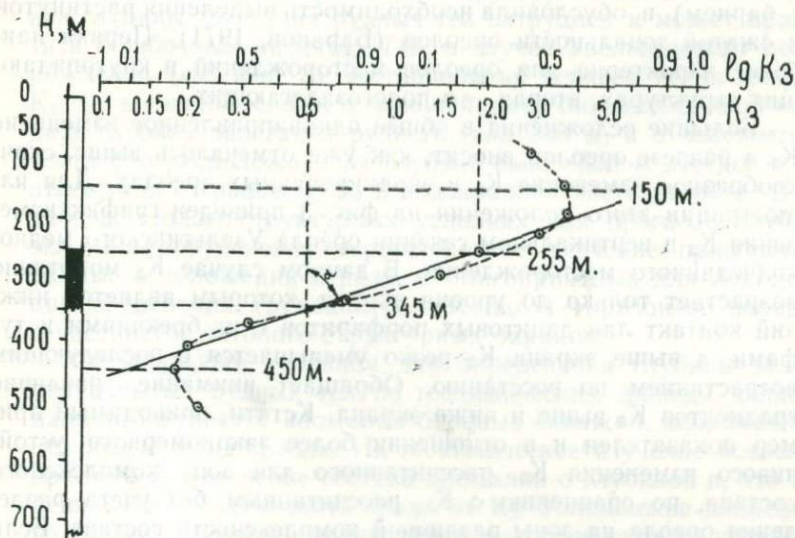


Фиг. 1. График изменения $K_3 = \frac{\Sigma \text{Pb, Zn, Ba}}{\Sigma \text{Cu, Co, Mo}}$ по вертикали в эндогенном геохимическом ореоле главного рудного тела Тишинского колчеданно-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай)

всего пересечения ореола, а только для зон комплексного состава (три элемента и более).

Необходимо также учитывать существенную зависимость характера изменения K_3 от геолого-структурных условий локализации ореола. В условиях сквозных крутопадающих и слабо экранированных пологозалегающих структур обычно устанавливается монотонно возрастающее, в зависимости, близкой к экспоненциальному закону, изменение K_3 по вертикали, снизу вверх (фиг. 1, 2). В условиях экранированных структур K_3 может возрастать монотонно только до уровня литолого-структурного экрана, а на уровне экрана часто устанавливается резкое (скачкообразное) уменьшение K_3 с последующим возрастанием по восстанию (фиг. 3).

Изменение K_3 по вертикали в зависимости, близкой к экспоненциальной, существенно упрощает построение модели вертикальной зональности ореолов в полулогарифмических координатах, в которых графики K_3 приобретают прямолинейный характер, а градиенты логарифмов K_3 соответственно имеют постоянную величину.



Фиг. 2. График изменения $K_3 = \frac{\sum Pb, Zn, Ag}{\sum Cu, Co, Mo}$ по вертикали в эндогенном геохимическом ореоле Золотушинского колчеданно-полиметаллического месторождения, центральный блок (Рудный Алтай). Черным показан интервал рудного тела

Из графиков K_3 (см. фиг. 1, 2) следует, что градиенты логарифмов K_3 (далее в тексте для упрощения и краткости — градиенты K_3) определяются наклоном графиков и соответствуют тангенсам их углов с осью ординат.

$$\text{grad lg } K_3 = \frac{d \lg K_3}{dh} = \text{tg} \alpha = \text{const},$$

где h — расстояние по вертикали.

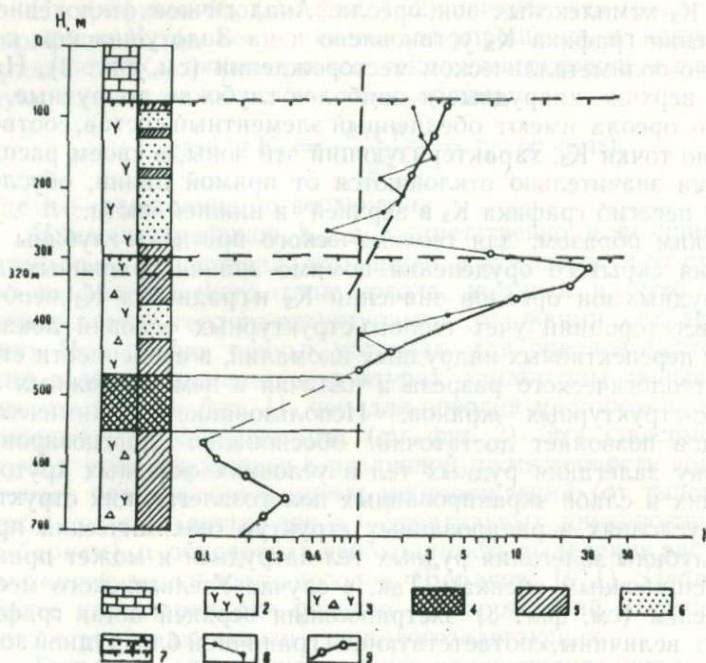
Наклоны графиков K_3 , а соответственно и величины градиентов K_3 существенно варьируют в зависимости от структурно-морфологического типа ореола, который в свою очередь определяется геолого-структурными условиями его локализации. При прочих равных условиях, для ореолов месторождений в крутопадающих структурах характерны меньшие градиенты K_3 (см. фиг. 1), чем для ореолов месторождений в пологозалегающих структурах (см. фиг. 2). Эта зависимость получает свое выражение в различной протяженности зональных колонн ореолов колчеданных месторождений (от тыловых молибдено-кобальтовых зон до фронтальных цинково-свинцовых с барьером) и обусловила необходимость выделения растянутой и сжатой зональности ореолов (Баранов, 1971). Первая наиболее характерна для ореолов месторождений в крутопадающих структурах, вторая — в пологозалегающих.

Большие осложнения в общем однонаправленное изменение K_3 в разрезе ореолов вносит, как уже отмечалось выше, скачкообразное изменение K_3 в экранированных ореолах. Для иллюстрации этого положения на фиг. 3 приведен график изменения K_3 в вертикальном сечении ореола Узельгинского медно-колчеданного месторождения. В данном случае K_3 монотонно возрастает только до уровня экрана, которым является нижний контакт лав дацитовых порфиритов с их брекчиями и туфами, а выше экрана K_3 резко уменьшается с последующим возрастанием по восстанию. Обращает внимание различие градиентов K_3 выше и ниже экрана. Кстати, приводимый пример показателен и в отношении более закономерного, устойчивого изменения K_3 , рассчитанного для зон комплексного состава, по сравнению с K_3 , рассчитанным без учета разделения ореола на зоны различной комплексности состава. Если для K_3 , определенных в пределах зон комплексного состава, устанавливается четко выраженное монотонное (между экранами) изменение с глубиной, то графики K_3 , рассчитанных по равным интервалам, характеризуются значительной флюктуацией, существенными отклонениями от прямолинейного гра-

фика K_3 комплексных зон ореола. Аналогичное отклонение в изменении графика K_3 установлено и на Золотушинском колчеданно-полиметаллическом месторождении (см. фиг. 2). Наиболее верхние надрудные и наиболее глубокие подрудные зоны его ореола имеют обедненный элементный состав, соответственно точки K_3 , характеризующий эти зоны, в своем распределении значительно отклоняются от прямой линии, обуславливая перегиб графика K_3 в верхней и нижней части.

Таким образом, для геохимического прогноза глубины залегания скрытого оруденения помимо знания граничных для близрудных зон ореолов значений K_3 и градиента K_3 необходимо всесторонний учет геолого-структурных условий локализации перспективных надрудных аномалий, в особенности строения геологического разреза и наличия в нем возможных литолого-структурных экранов. Использование геохимических методов позволяет достаточно обоснованно прогнозировать глубину залегания рудных тел в условиях сквозных крутопадающих и слабо экранированных пологозалегających структур, но в условиях экранированных структур геохимический прогноз глубины залегания рудных тел затруднен и может привести к ошибочным оценкам. Так, в случае Узельгинского месторождения (см. фиг. 3) экстраполяция верхней ветви графика K_3 до величины, соответствующей граничной близрудной зоны, дает глубину залегания рудного тела 320 м, а в действительности оно расположено на глубине около 500 м в строгом соответствии с графиком K_3 в подэкранный части разреза. В подобных геолого-структурных условиях для прогноза глубины залегания оруденения первостепенное значение приобретают данные о положении в разрезе благоприятных для локализации оруденения (рудоконтролирующих) горизонтов пород и, в частности, литолого-структурных экранов.

Оптимальным условием для определения глубины залегания скрытых рудных тел по геохимическим данным является наличие на участке аномалии буровых скважин, вскрывающих отдельные зоны ореола. Их геохимическое изучение позволяет проследить изменение состава аномалии с глубиной и, что особенно важно, установить градиент K_3 . Усложнение элементного состава аномалии, возрастание ее интенсивности указывает на приближение к возможному рудному телу, а градиент K_3 позволяет определить расстояние до него. Для определения вертикального градиента K_3 в условиях крутопадающих ореолов необходимо не меньше чем два пересечения ореола по вертикали, тогда как для ореолов в пологозалегających струк-



Фиг. 3. График изменения $K_3 = \frac{\Sigma Pb, Zn}{\Sigma Cu, Co}$ в сечении скв. 1739 на Уэльгинском медноколчеданном месторождении (Южный Урал)

1—известняки, 2—липарит-дацитовые порфириды, 3—лавобрекчи в туфы липарит-дацитовых и дацитовых порфиритов; 4—рудное тело, 5—ореолы комплексного состава (3 элемента и более), 6—ореолы обедненного элементного состава (1—2 элемента), 7—поверхности литолого-структурных экранов (а—на геологической и геохимической колонке скважины; б—на графике); графики K_3 , рассчитанных: 8—для зон ореолов обедненного состава, 9—для зон комплексного состава

турах в принципе возможно определить вертикальный градиент K_3 по сечению одиночной скважины. Конечно, в связи с относительно неравномерным изменением K_3 в разрезе ореола надежность определения градиента K_3 и соответственно глубины залегания скрытого оруденения возрастает с увеличением глубины и количества пересечений аномалий. В детально разбуренных рудных полях целесообразно установить средний по ряду разрезов градиент K_3 (эталонный) для близких геолого-

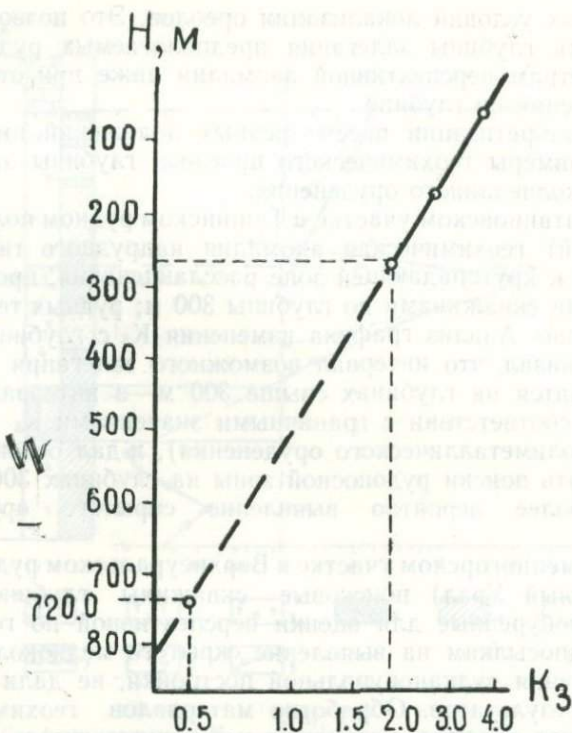
структурных условий локализации ореолов. Это позволит прогнозировать глубины залегания предполагаемых рудных тел по параметрам перспективной аномалии даже при отсутствии ее пересечений на глубине.

Для конкретизации рассмотренных положений ниже приведены примеры геохимического прогноза глубины залегания скрытого колчеданного оруденения.

На Литвиновском участке в Тишинском рудном поле (Рудный Алтай) геохимическая аномалия надрудного типа, приуроченная к крутопадающей зоне расланцевания, прослежена поисковыми скважинами до глубины 300 м; рудных тел не было встречено. Анализ графика изменения K_3 с глубиной однозначно показал, что интервал возможного залегания оруденения находится на глубинах свыше 300 м—в интервале 300—720 м (в соответствии с граничными значениями K_3 для колчеданно-полиметаллического оруденения), и дал основание рекомендовать поиски рудоносной зоны на глубинах 300—720 м, где наиболее вероятно выявление скрытого оруденения (фиг. 4).

На Каменногорском участке в Верхнеуральском рудном районе (Южный Урал) поисковые скважины глубиной 400—800 м, пробуренные для оценки перспективной по геологическим предпосылкам на выявление скрытого медноколчеданного оруденения вулканокупольной постройки, не дали положительных результатов. Обработка материалов геохимического опробования скважин позволила установить, что в сечениях скважин 3015 и 3024, пройденных в центральной части постройки, широко развиты геохимические аномалии комплексного состава, которые по своим параметрам оценены как надрудные ореолы медноколчеданного оруденения. Последнее дало основание прогнозировать возможность выявления в центральной части постройки на больших глубинах (свыше 800 м) медноколчеданного оруденения. Анализ изменения с глубиной в сечениях указанных скважин K_3 , определенных для зон комплексного состава, позволил установить, что интервал возможной локализации оруденения (в соответствии с граничными значениями K_3 для ореолов медноколчеданных месторождений района) находится на глубинах 1600—2000 м (фиг. 5).

В обоих приведенных примерах для прогноза глубины залегания возможного оруденения применялся наиболее простой и наглядный графический метод — путем экстраполяции графиков K_3 на глубину. В других случаях, при наличии единичных пересечений аномалий и значении среднего K_3 по тому



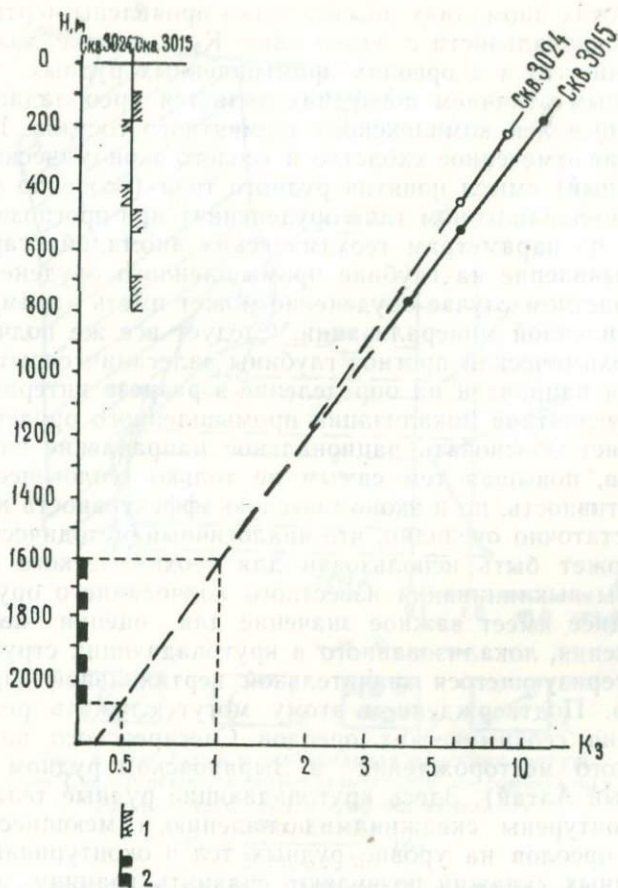
Фиг. 4. Графики изменения $K_3 = \frac{\sum Pb, Zn, Ba}{\sum Cu, Co, Mo}$
по вертикали в геохимическом ореоле
Литвиновского участка (Рудный Алтай)

или иному участку, рациональным будет использование аналитического метода — определения глубины залегания рудного тела путем вычисления по формуле

$$H = \frac{\lg K_3^i - \lg K_3^0}{\text{grad } \lg K_3},$$

где H — глубина залегания скрытого рудного тела; K_3^i — значение K_3 в оцениваемом сечении аномалии; K_3^0 — граничное значение K_3 для близрудных зон.

В связи с рассмотренными примерами уместно также подчеркнуть, что практика изучения геохимических ореолов в колчеданных рудных районах указывает на большое сход-



Фиг. 5. Графики изменения $K_3 = \frac{\Sigma Pb, Zn}{\Sigma Cu, Co}$ в сечениях скважин 3015 и 3024 на Каменногорском участке (Южный Урал)

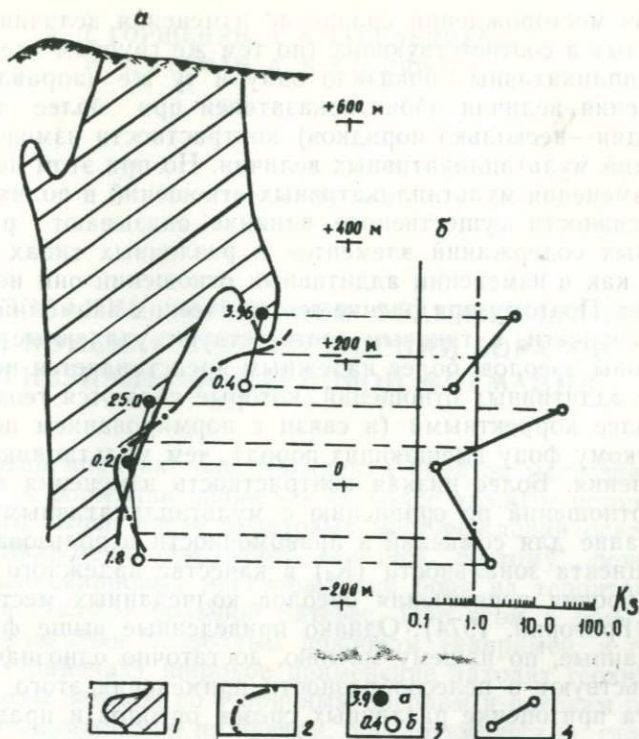
1—интервалы с ореолами комплексного оруденения.
2—прогнозируемый интервал локализации медноколчеданного оруденения

ство удаленных (свыше 300—500 м) надрудных зон ореолов глубоко залегающих рудных тел и геохимических аномалий, обусловленных непромышленной рассеянной колчеданной минерализацией. Это сходство проявляется в прерывистости их строения и низкой интенсивности. При этом в таких гео-

химических аномалиях обычно четко проявлены черты вертикальной зональности с изменением K_3 в тех же диапазонах значений, что и в ореолах промышленных рудных тел. Характерным отличием последних является преобладание в их строении полей комплексного элементного состава. Поэтому, учитывая отмеченное сходство и геолого-экономический (кондиционный) смысл понятия рудного тела (особенно при жилково-вкрапленном типе оруденения) при прогнозировании нельзя по параметрам геохимических аномалий гарантировать выявление на глубине промышленного оруденения, так как в частном случае оруденение может иметь параметры непромышленной минерализации. Следует все же подчеркнуть, что геохимический прогноз глубины залегания скрытого оруденения направлен на определение в разрезе интервала наиболее вероятной локализации промышленного оруденения и позволяет обосновать рациональное направление глубинных поисков, повышая тем самым не только геологическую результативность, но и экономическую эффективность их.

Достаточно очевидно, что аналогичный методический подход может быть использован для геохимического прогноза глубины выклинивания известного колчеданного оруденения. Последнее имеет важное значение для оценки перспектив оруденения, локализованного в крутопадающих структурах и характеризующегося значительной вертикальной протяженностью. Подтверждением этому могут служить результаты изучения геохимических ореолов Снегиревского полиметаллического месторождения в Зыряновском рудном районе (Рудный Алтай). Здесь крутопадающие рудные тела частично оконтурены скважинами по падению, и имеющиеся пересечения ореолов на уровне рудных тел и оконтуривающих их безрудных скважин позволяют сравнить границу выклинивания промышленного оруденения, установленную по данным разведочного бурения, с границей, предполагаемой в соответствии с граничным для нижнего выклинивания оруденения значением K_3 , которое для полиметаллического оруденения Зыряновского рудного района соответствует единице. Как следует из фиг. 6, расхождение между действительной и предполагаемой границей выклинивания оруденения составляет 30—50 м, что может рассматриваться как подтверждение удовлетворительной надежности геохимического метода определения глубины выклинивания оруденения.

В заключение необходимо особо остановиться на следующем положении. В практике геохимических поисков в насто-



Фиг. 6. Продольная вертикальная проекция рудной зоны Снегиревского полиметаллического месторождения, Рудный Алтай (а) и графики изменения

$$K_3 = \frac{\sum \text{Pb, Zn, Ba}}{\sum \text{Cu, Co, Mo}} \quad (б)$$

Границы промышленного оруденения: 1—установленные, 2—предполагаемые по геохимическим данным, 3—проекции пересечений буровых скважин и значения K_3 (а—рудных, б—безрудных), 4—графики K_3

ящее время широко применяются суммарные величины показателя зональности, учитывающие соотношения групп элементов. При этом используется два основных способа суммирования элементов: аддитивный—сложение содержаний или продуктивностей элементов, нормированных по геохимическому фону, или мультипликативный — перемножение абсолютных величин этих параметров. Вариантом аддитивных отношений является используемый в данной работе коэффициент зональности. Проведенное на примере ореолов ряда колче-

данных месторождений сравнение изменения величин K_3 аддитивных и соответствующих (по тем же группам элементов) мультипликативных показало одну и ту же направленность изменения величин обоих показателей при более высокой (на один—несколько порядков) контрастности изменения отношений мультипликативных величин. Но при этом на характер изменения мультипликативных отношений в полях низкой интенсивности существенное влияние оказывают различия фоновых содержаний элементов в различных типах пород, тогда как в изменении аддитивных отношений они не проявляются. Поэтому при оценке геохимических аномалий низкой интенсивности, а таковым соответствуют удаленные надрудные зоны ореолов, более надежным представляется использование аддитивных отношений, которые являются геохимически более корректными (в связи с нормированием по геохимическому фону вмещающих пород), чем мультипликативные отношения. Более низкая контрастность изменения аддитивных отношений по сравнению с мультипликативными дала основание для сомнений в правомочности использования коэффициента зональности (K_3) в качестве надежного показателя уровня пересечения ореолов колчеданных месторождений (Григорян, 1974). Однако приведенные выше фактические данные, по нашему мнению, достаточно однозначно свидетельствуют о целесообразности применения этого коэффициента при оценке различных срезов ореолов и правомочности его использования в практике геохимических поисков. Следует отметить, что при оценке эффективности того или иного геохимического показателя или коэффициента необходимо учитывать его статистическую значимость (достоверность), а не видимую контрастность.

ЛИТЕРАТУРА

Баранов Э. Н. Геохимические поиски скрытых колчеданных месторождений по эндогенным ореолам.—Научные собрания ИМГРЭ, 1974, вып. 7.

Баранов Э. Н., Головин А. А., Лазарев В. Н., Поливанов В. С., Рыфтин В. М. Геохимические критерии поисков скрытых колчеданных месторождений. В сб. «Геохимические критерии прогнозирования и поисков рудных месторождений». Изд. ИМГРЭ, М., 1973.

Голод А. И. Коэффициент зональности первичных геохимических ореолов и его использование для прогнозирования скрытого колчеданного оруденения. В сб. «Пятая научная конференция молодых сотрудников ИМГРЭ», Изд. ИМГРЭ, М., 1967.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ФРАКЦИИ ШЛИХОВ ПРИ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БОРАТОВ МАГНЕЗИАЛЬНО-СКАРНОВОЙ ФОРМАЦИИ

В мировой практике месторождения боратов магнезиально-скарновой формации являются наиболее важным источником борного сырья после боратовых месторождений осадочного и вулканогенно-осадочного генезиса, поэтому поиски магнезиально-скарновых месторождений бора на территории СССР представляют большой интерес. При этом в районах с широко развитым почвенным покровом (например, в горно-таежных районах) широкое применение находят геохимические методы поисков по вторичным ореолам и потокам рассеяния (литохимический по почвам, биогеохимический, гидрохимический по донным осадкам). В то же время такой традиционный метод, как шлиховой, при поисках эндогенных месторождений бора практически не применяется из-за трудности диагностики минералов бора (за исключением турмалина и аксинита). Кроме того, большая часть минералов бора, представляющих практический интерес, обладает низкими значениями удельного веса (2,76—3,35 г/см³) и поэтому только в ограниченном количестве попадает в шлих. В данной работе рассматривается возможность применения шлихового метода для поисков месторождений бора магнезиально-скарновой формации с использованием информации об уровне содержания бора в магнитной фракции шлиха.

Шлиховой метод с предлагаемыми дополнениями в первую очередь следует использовать для специализированных поисков магнезиально-скарновых месторождений бора в закрытых районах, геологическое строение которых благоприятно для проявления магнезиально-скарнового метасоматоза в условиях абиссальной и пипабиссальной фаций глубинности.

Геологическое строение таких районов характеризуется следующими основными особенностями (Лисицын и др., 1966).

1. Наличие магнезиальных карбонатных пород, в основном доломитов.

2. Широкое распространение гранитизированных древних гнейсовых толщ для абиссального типа и гранитоидных интрузий—для гипабиссального.

3. Образование по доломитам магнезиальных скарнов и последующее гидротермальное их изменение с широким развитием флогопита и клиногумита.

Как нами уже указывалось ранее (Горшенин, Гусельников, 1972) возможность использования магнитных фракций шлихов для поисков магнезиально-скарновых месторождений бора основана на выявлении в них аномально повышенных содержаний бора, что связано с накоплением в шлихе минералов бора при выветривании эндогенных боратовых руд. В магнитной фракции шлихов прежде всего концентрируются магнетит и людовигит, в тех или иных количествах постоянно встречающиеся в магнезиально-скарновых боратовых месторождениях. Людовигит является либо ведущим компонентом боратовых руд (людовигитовый тип), либо сопутствующим (суанитовый, котоитовый, сахаит-курчатовитовый и др.). Магнетит также постоянно присутствует в рудах этих месторождений либо в качестве ведущего компонента (людовигитовый тип), либо в качестве гистерогенного продукта по людовигиту (вместе с ссайбелиитом). Ссайбелиит и, вероятно, некоторые другие бораты, ассоциирующие с людовигитом и магнетитом, также могут попадать в магнитную фракцию шлихов в виде сростков с этими ведущими минералами. Несмотря на то, что за исключением людовигита другие бораты, как правило, слабо устойчивы в экзогенных условиях и активно разрушаются в коре выветривания и при переносе водными потоками, какая-то часть их в сростках с людовигитом и магнетитом может сохраниться в шлихах в достаточном количестве, чтобы обеспечить повышенные содержания бора в магнитных фракциях шлихов. Сам магнетит, присутствующий в значительных количествах во всех типах пород, кроме карбонатных, характеризуется низкими содержаниями бора — менее 0,001%.

Нами изучено распределение бора в магнетитах одного боратового магнезиально-скарнового месторождения Сибири (16 проб), в магнитных фракциях шлихов из района этого месторождения (46 проб) и магнетитах интрузивных пород

региона (91 проба) по данным количественного спектрального анализа. Анализы были выполнены в спектральной лаборатории Бронницкой геолого-геохимической экспедиции.

При количественном определении бора основой для эталонов послужил акцессорный магнетит из сиенитов, в котором бор не был обнаружен. В качестве борсодержащей добавки использован ашарит. Пробы и эталоны, измельченные до 0,07 мм, смешивались в отношении 1:1 с буфером следующего состава (%): Al_2O_3 —70; Cr_2O_3 —20; CuSO_4 —5; Na_2CO_3 —1; Sb_2S_3 —0,1; Bi_2O_3 —0,5. Соединения сурьмы и висмута использовались в качестве внутреннего стандарта. Источник света — дуга трехфазного тока (30 а, 380 в) на безборовых угольных электродах. Подача порошка пробы с буфером осуществлялась с помощью транспортера и вибратора с последующим вдуванием струей воздуха в плазму дуги. Для анализа использовался спектрограф ДФС-13 с решеткой 600 штр./мм. Фотографирование производилось на фотопластинке тип II чувствительностью 16 ед. ГОСТа. Время экспозиции—20 сек. Использованы аналитическая линия бора—1—2406,78 А и линии сравнения сурьмы 1—2598,05—2598,09 А или висмута 1—2627,91 А. Для фотометрирования применен микрофотометр МФ-2. Градуировочный график строился в координатах ΔS — $\lg S$ для каждой пластинки (метод «трех эталонов»). Чувствительность определения бора по изложенной методике — 0,0006%. Верхний предел определения содержания бора без предварительного разбавления—0,03%. Воспроизводимость анализа, характеризуемая коэффициентом вариации, составляет 15—20%.

Район месторождения сложен интенсивно дислоцированными породами нижнего структурного этажа: спилитами (верхний протерозой—нижний кембрий), доломитами (нижний кембрий) и перекрывающими их пологозалегающими породами верхнего структурного этажа—туфопесчаниками, алевролитами и базальтами (нижний—средний девон). Осадочно-вулканогенные породы прорваны средне-верхнедевонским интрузивом граносиенитов с гибридными краевыми фациями диоритов и кварцевых габбро. Под воздействием интрузии доломиты были мраморизованы, а туфопесчаники и алевролиты ороговикованы. На контакте диоритов и кварцевых габбро локализуются зоны магнезиальных скарнов (пироксеновые, шпинель-пироксеновые, шпинель-форстеритовые, клиногумитовые), к которым приурочены карбонат-ссыбелиит-магнетитовые рудные тела. Магнезиальные скарны частично

замещены гранатовыми и пироксен-гранатовыми разностями известковых скарнов, а также серпентинизированы и карбонатизированы. Кроме боратовой минерализации в скарнах, в районе месторождения развиты турмалинизация граносиенитов и аксинитизация роговиков.

Район дренирован тремя горными ручьями, впадающими в более крупный водосток. Два ручья с запада и востока окаймляют интрузив, а центральный ручей пересекает весь интрузив, в верховьях выходя за его пределы. Этот ручей, а также его притоки дренируют два скарноворудных участка. Все ручьи впадают в основной водоток, текущий на запад.

Отбор проб осуществлялся следующим образом. Аллювиальный материал (около 10 кг) крупностью менее 1 мм отбирался из русловых кос или русловых отложений борта долины непосредственно у уреза воды, отмучивался и отмывалась магнитная фракция. Шлиховые пробы отбирались в среднем через 500 м по постоянным и временным водостокам, дренирующим как непосредственно рудные участки, так и всю площадь интрузии с вмещающими породами вблизи контактов.

Результаты анализа магнитных фракций шлихов показали, что в них преобладают (около 60%) содержания бора меньшие или равные чувствительности анализа — 0,0006%. Среди остальных три пробы содержат 0,0009—0,0016% бора, а 23—более 0,0020%.

При выборе значений аномальных содержаний были использованы наши и литературные данные о боронности магнетитов. Сведений о содержании бора в магнетитах очень мало. По данным Г. Хардера (1965), содержания бора в магнетитах не превышают 0,0005%. С данными Г. Хардера согласуются и результаты наших исследований. Нами была проанализирована на бор 91 монофракция магнетита из 20 разновидностей интрузивных пород по 8 интрузивным массивам региона, в том числе из граносиенитов, кварцевых сиенитов и сиенитов—68, диоритов и габбро—12, гранитов—7, ортофиоров, кислых пегматоидов и лампрофиоров—4, причем во всех пробах бор не был обнаружен. Таким образом, содержания бора в магнитных фракциях шлихов, равные 0,0006% и меньшие, близки к уровню боронности магнетитов вообще и условно могут быть приняты за фоновые, а более высокие—за аномальные, связанные с примесью боронного материала.

Распределение по площади шлиховых проб с равными уровнями содержаний бора в магнитной фракции также подтверждает аномальный характер повышенных содержаний. Пробы с фоновым содержанием бора локализуются в основном по восточному и западному ручьям, окаймляющим месторождение и интрузив, и по основному водостоку, в то время как пробы с высоким содержанием (более 0,0006% бора) установлены только по центральному ручью и некоторым его притокам и фиксируют месторождение, образуя четко выраженную аномалию, характеризующуюся достаточной контрастностью (содержания бора в 3—7 раз выше фоновых) и локальностью проявления (протяженность—2 км до водостока более крупного порядка).

Для интерпретации выявленной аномалии бора целесообразно определить формы нахождения элемента в магнитных фракциях шлихов. Как показали исследования, основная масса бора в магнитных фракциях шлихов связана с тонкими вростками людовигита в магнетите, что согласуется с аполоудвигитовой природой магнетита боратовых руд месторождения; и макроскопически, и в шлифах хорошо видны реликтовые лучистые текстуры магнетита, характерные для замещенного им людовигита. Наличие микровростков борного минерала, затем диагностированного как людовигит, было определено методом μ , α -радиографии (Берзина, Малинко, 1969) И. Б. Берманом и А. Н. Столяровой (ВНИИЯГГ) в порошковых пробах магнитных фракций шлихов и монофракций магнетита из боратовых руд месторождения. Для освобождения от ссайбелинита материал проб, измельченный до пудры, кипятился в избытке 2% HCl в течение 2,5 часов. Как было показано специальным экспериментом, этого времени достаточно для достижения в нерастворенном остатке стабильного содержания бора, не уменьшающегося при дальнейшем кипячении. Содержания бора в монофракциях магнетита, обработанным таким способом, колеблются от 0,001% до 0,024% при абсолютном преобладании значений в интервале 0,002—0,005%. При этом отмечается четкая прямая зависимость между содержанием бора и количеством микровростков людовигита. В трех образцах, где бор спектральным методом не был обнаружен, метод μ , α -радиографии не зафиксировал и вростков борных минералов, однако на детекторной пленке плотность участка, покрывающего материал пробы, выше, чем за пределами этого участка. В этом случае, возможно, фиксируется собственная бороносность магнетита, однако, на-

столько низкая (содержание бора в пробах менее 0,0006%), что ее уровень не мог повлиять на уровень содержания бора в магнитных фракциях шлихов.

Ссайбелиит, присутствующий в значительных количествах в боратовых рудах месторождения, несмотря на свою неустойчивость, в небольших количествах также попадает в сростках с магнетитом в шлихи. Это косвенно доказывается тем, что после обработки соляной кислотой содержание бора в магнитной фракции шлихов уменьшается примерно вдвое. Так, по данным анализа двух проб с первичными содержаниями бора 0,0040 и 0,0023%, после обработки соляной кислотой содержания бора снизились соответственно до 0,0022 и 0,0010%. При этом в такой же пропорции уменьшилось количество вростков борных минералов по данным n , α -радиографии. Чтобы выяснить возможность попадания сростков турмалина с магнетитом в магнитную фракцию шлихов, нами были проанализированы на бор магнитные фракции из нескольких проб, отобранных и затем промытых как шлиховые из почвы горизонта ВС на участке развития кварц-турмалиновых жил в граносиенитах. Содержание бора в магнитной фракции пробы, отобранной непосредственно над кварц-турмалиновой жилой и, следовательно, характеризующей наименее дезинтегрированный материал в гипергенном процессе, составило 0,0016%, а в пробе, отобранной в 150 м ниже по склону, в пределах почвенной аномалии бора — 0,0008%, т. е. немного больше фона в магнитных фракциях шлихов.

По данным полного минералогического анализа, ни в одной из магнитных фракций шлихов, в том числе и обогащенных бором, аксинит (так же, как и турмалин) обнаружен не был.

Таким образом, аномальные содержания бора в магнитных фракциях шлихов связаны с микровростками ссайбелиита и людвигита, фиксируют боратые месторождения и не дают ложных аномалий, связанных с турмалин-аксинитовой минерализацией. Последнее важно, так как турмалинизация и аксинитизация часто широко распространены в связи с неборными рудными месторождениями и нерудными аномалиями.

Очевидно, что месторождения с полностью или частично сохранившимся людвигитом будут давать еще более контрастные аномалии бора в магнитных фракциях шлихов, так как известна относительная высокая устойчивость людвиги-

та. В современных аллювиальных отложениях людвицит встречается на значительном удалении (до 10—15 км) от месторождений в регионах с интенсивным проявлением эрозионных процессов—Северо-Восток СССР, Средняя Азия (Александров и др., 1968).

Нами также была сделана попытка использовать для выявления борносности шлихов данные микроэлементного состава магнитных фракций шлихов, давшая отрицательный результат.

Изложенный материал свидетельствует о возможности применения содержания бора в магнитных фракциях шлихов для специализированных поисков боратовых месторождений магнетиально-скарновой формации с целью выделения перспективных участков путем выявления повышенных содержания бора в магнитной фракции шлихов. Шлиховое опробование с отбором и последующим анализом на бор магнитных фракций целесообразно проводить в комплексе с опробованием вод и донных осадков. Преимуществом описываемого метода является то, что аномалии бора, выделенные по магнитным фракциям шлихов, прямо указывают на наличие магнетиальных боратов, в то время как аномалии бора по водам и донным осадкам могут быть связаны с аксинитовой и турмалиновой минерализацией, которые далеко не всегда приурочены именно к борным месторождениям.

Надо также отметить, что аномалии бора, выявленные в магнитных фракциях шлихов, фиксируют только рудные тела, выходящие на эрозионную поверхность. Этот метод можно использовать также для разбраковки и интерпретации аномалий бора в водах и донных осадках.

В связи с этим представляется весьма перспективным анализирование на бор магнитных фракций, сохранившихся от ранее проведенных шлиховых съемок в районах с геологически условиями, благоприятными для локализации боратовых месторождений магнетиально-скарновой формации.

Предложенный вариант использования шлихового опробования при поисках месторождений эндогенного бора, конечно, не является единственно возможным, но, вероятно, наиболее прост. Кроме турмалина, аксинита и людвигита, в мелкой фракции аллювия несомненно встречаются и многие другие минералы бора, такие, например, как датолит, данбурит, коцит, флюоборит, варвикит и др. Так, С. М. Александров (Александров и др., 1968) указывает, что в условиях полярного климата Северо-Востока СССР процессы химического

изменения боратов (людвигита, и котоита) весьма малоинтенсивны, и преобладающую роль играет физическое выветривание. Многообразие минералов бора, являющихся ведущими или достаточно распространенными в эндогенных месторождениях, требует создания универсального метода изучения аллювиальных отложений с фиксацией основных минералов бора. По-видимому, он может быть основан на специально разработанной технологической схеме обработки мелкой фракции аллювия целиком с выделением методами обогащения фракций, концентрирующих основные минералы бора.

ЛИТЕРАТУРА

Александров С. М., Барсуков В. Л., Щербина В. В. Геохимия эндогенного бора. «Наука», М., 1968.

Берзина И. Г., Малинко С. В. Выявление пространственного распределения и определения концентрации бора в минералах и горных породах.—Докл. АН СССР, том. 189, 1969, № 4.

Горшенин А. Д., Гусельников А. А. Использование содержания бора в магнитных фракциях шлихов при поисках магнетитовых скарновых месторождений бора. В сб. «Литохимические методы при поисках скрытого оруденения». Изд. ИМГРЭ, М., 1972.

Лисицын А. Е., Малинко С. В., Орлова Е. В. Геологические особенности и поисковые критерии промышленных месторождений бора. «Недра», 1966.

Хардер Г. Геохимия бора. «Недра», 1965

УДК 550.84

Опыт применения геохимических методов для выделения перспективных участков при крупномасштабных прогнозных работах. Головин А. А., Пак Г. Ф. В сб. «Некоторые примеры использования геохимических методов при прогнозировании и поисках скрытого оруденения». Изд. ИМГРЭ, 1976, стр. 4—21.

В статье излагаются основные результаты использования геохимических методов в комплексе с геологическими и геофизическими работами при составлении крупномасштабных прогнозно-металлогенических карт в перспективных районах Рудного Алтая. Обоснованы установленные авторами критерии выявления геохимических аномалий, разбраковки рудогенных аномалий и их отличия от аномалий, вызванных другими процессами, а также выявление минералого-геохимического типа прогнозируемого оруденения и оценка степени его сохранности. Проанализирована эффективность применения геохимических методов при прогнозировании скрытого оруденения. Показано, что использование этих методов позволяет сократить (локализовать) размеры перспективной площади дополнительно не менее чем в 4,5 раза по сравнению с площадью, выделяемой другими методами прогнозирования. Кроме этого, применение геохимических методов обеспечивает глубину оценки территории не менее чем до 300 м.

Илл. 2, табл. 2, библи. 15 назв.

УДК 550.42 + 550.84

О закономерностях распределения микроэлементов в горных породах и их использовании при геологической съемке и поисках. Янишевский Е. М., Буренков Э. К. В сб. «Некоторые примеры использования геохимических методов при прогнозировании и поисках скрытого оруденения». Изд. ИМГРЭ, 1976, стр. 22—49.

В статье на конкретных примерах рассмотрены методические приемы и геохимические показатели, которые успешно использовались при решении некоторых геологических вопросов, возникающих при геологической съемке и поисках месторождений осадочного происхождения. Приведенные примеры показывают высокую эффективность применения так называемого микроэлементного метода, позволяющего резко повысить достоверность решаемых задач и существенно повысить при этом эффективность геологических исследований.

Илл. 2, табл. 9, библи. 8 назв.

УДК 550.84

Опыт использования геохимических и аэрофотогеологических методов при изучении рудоконтролирующих структур Болнисского рудного района (юго-восточная Грузия). Баранов Э. Н., Скипин Г. Г., Аистов Л. Н., Криночкин Л. А., Пурик И. А., Чохонелидзе М. И. В сб. «Некоторые примеры использования геохимических методов при прогнозировании и поисках скрытого оруднения». Изд. ИМГРЭ, 1976, стр. 50—69.

В статье на примере Болнисского рудного района показана высокая эффективность совместного использования данных геохимических и аэрофотогеологических методов для выявления и изучения рудоконтролирующих разрывных нарушений в условиях недостаточно обнаженных площадей. Рассмотрены геохимические признаки рудоконтролирующих нарушений, которые позволяют выделять их среди многочисленных дешифрируемых нарушений, и возможности использования аэрофотогеологических данных при интерпретации геолого-структурной позиции геохимических аномалий. Даны рекомендации по комплексному использованию геохимических и аэрофотогеологических методов.

Илл. 3, библи. 7 назв.

УДК 550.84

Методика и организация экспрессных геохимических поисков перекрытых сульфидных месторождений в сухостепных и степных ландшафтах. Сагет Ю. Е., Булавский Ю. И., Ефимова Р. И., Каргаполов Н. В., Кашина Л. И., Несвижская Н. И., Павлова Л. Н., Чавгун Е. П. В сб. «Некоторые примеры использования геохимических методов при прогнозировании и поисках скрытого оруднения». Изд. ИМГРЭ, 1976, стр. 70—85.

В работе обосновывается возможность и рассматриваются вопросы методики и организации специализированных поисковых работ по экспрессному выявлению наложенных экзогенных ореолов перекрытых сульфидных месторождений. Методика этих работ основана на фазовом химическом извлечении из почв солевой составляющей рассеяния, концентрирующей элементы-индикаторы в наложенных ореолах, с определением в фильтратах суммы тяжелых металлов.

Илл. 7, библи. 3 назв.

УДК 550.84 + 543.5

Применение полевых рентгенорадиометрических методов анализа на цезий, олово, барий при геохимических поисках. Л. С. Соколов. В сб.: «Некоторые примеры использования геохимических методов при прогнозировании и поисках скрытого оруденения». Изд. ИМГРЭ, 1976, стр. 86—97.

В работе приведены данные по разработке полевых методик рентгенорадиометрических анализов на цезий, олово, барий горных пород в условиях их естественного залегания без отбора проб. Полевые определения бария могут быть выполнены, начиная с содержащий 0,005%, а олова — 0,01%. Разработанные методики могут применяться при крупномасштабных и детальных геохимических поисках перекрытых рудных месторождений, геохимическими индикаторами которых являются указанные элементы. Производство аналитических работ в полевых условиях позволяет оперативно выявлять геохимические аномалии цезия, олова, бария над перекрытыми рудными телами и тем самым значительно сокращать сроки их вскрытия, существенно повышая эффективность поисков.

В статье приводятся результаты некоторых опытных работ.

Илл. 4 табл. 1.

УДК 550.84 + 553.45

Применение геохимических методов на стадии предварительной разведки оловорудных месторождений. Кравченко Э. С., Гинзбург Г. Ю., Мионов А. Н. В сб.: «Некоторые примеры использования геохимических методов при прогнозировании и поисках скрытого оруденения». Изд. ИМГРЭ, 1976, стр. 98—115.

В статье освещаются результаты геохимических исследований, проведенных в процессе предварительной разведки одного из оловорудных месторождений в Приморье. Проведено изучение вторичных ореолов рассеяния, на основе которого было околонуено рудное поле и выявлены перспективные на скрытое оруденение рудолокализирующие структуры. Это позволило авторам резко сократить площади для размещения горных и буровых работ. Изучение распределения элементов-индикаторов оловяного оруденения по вскрытым буровыми скважинами разрезам позволило определить наиболее вероятное склонение крутопадающих рудных жил. В связи с установленной благоприятностью этого склонения существенно расширились перспективы прироста запасов олова на глубину. Определен также наиболее вероятный среднерудный интервал оруденения в перспективных рудолокализирующих блоках.

Илл. 7, библи. 6 назв.

УДК 550.84. - 553.43

К методике определения глубины залегания скрытого колчеданного оруденения по эндогенным геохимическим ореолам. Баранов Э. Н., Головин А. А., Пак Г. Ф. В сб. «Некоторые примеры использования геохимических методов при прогнозировании и поисках скрытого оруденения». Изд. ИМГРЭ, 1976, стр. 116—128.

В статье предлагается методика геохимического прогноза глубины залегания скрытого колчеданного оруденения по градиенту коэффициента зональности в ореолах. Приведены примеры использования геохимических методов для определения глубины залегания предполагаемого оруденения.

Илл. 6, библи. 4 назв.

УДК 550.84

Использование магнитной фракции шлихов при поисках месторождений боратов магнезиально-скарновой формации. Горшенин А. Д., Гусельников А. А., Берман И. Б., Столярова А. Н. В сб.: «Некоторые примеры использования геохимических методов при прогнозировании и поисках скрытого оруденения». Изд. ИМГРЭ, 1976, стр. 129—136.

На основе изучения магнетитов нескольких боратовых магнезиально-скарновых месторождений установлено, что они содержат бор, легко выявляемый количественным спектральным анализом. В связи с этим, на основе произведенных опытных работ, предлагается поиск боратовых месторождений этого типа производить путем получения магнитной фракции шлиха с последующим определением в ней содержания бора количественным спектральным методом.

Библи. 5 назв.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
А. А. Головин, Г. Ф. Пак. Опыт применения геохимических методов для выделения перспективных участков при крупномасштабных прогнозных работах	4
Е. М. Янишевский, Э. К. Буренков. О закономерностях распределения микроэлементов в горных породах и их использовании при геологической съемке и поисках	22
Э. Н. Баранов, Г. Г. Скипин, Л. Н. Аистов, Л. А. Криночкин, И. А. Пурик, М. И. Чохонелидзе. Опыт использования геохимических и аэрофотогеологических методов при изучении рудоконтролирующих структур Болнисского рудного района (юго-восточная Грузия)	50
Ю. Е. Сагт, Ю. И. Булавский, Р. И. Ефимов, Н. В. Каргаполов, Л. И. Кашина, Н. И. Несвижская, Л. Н. Павлова, Е. П. Чабгун. Методика и организация экспрессных геохимических поисков перекрытых сульфидных месторождений в сухостепных и степных ландшафтах	70
Л. С. Соколов. Применение полевых рентгенорадиометрических методов анализа на цезий, олово, барий при геохимических поисках	86
Э. С. Кравченко, Г. Ю. Гинзбург, А. Н. Миронов. Применение геохимических методов на стадии предварительной разведки оловянных месторождений	98
Э. Н. Баранов, А. А. Головин, Г. Ф. Пак. К методике определения глубины залегания скрытого колчеданного оруденения по эндогенным геохимическим ореолам	116
А. Д. Горшенин, А. А. Гусельников, И. Б. Берман, А. Н. Столярова. Использование магнитной фракции шлихов при поисках месторождений боратов магnezияльно-скарновой формации	129

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

Редакторы: Т. И. Нефелова, О. А. Новиков
Технический редактор Е. А. Хазанова

T07085	Подписано к печати 25/V—76 г.	Заказ 1513
Формат бумаги 60×90 ¹ / ₁₆	объем 9 п. л.	Цена 63 коп.
Тираж 500 экз.		

Типография ХОЗУ Миннефтепрома

№ 1000 - 1955 г.

Содержание

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение

2. Методы исследования

3. Результаты исследования

4. Заключение

5. Литература

6. Приложение

7. Библиография

8. Сведения об авторах

9. Адреса авторов

10. Адрес редакции

11. Адрес издательства

12. Адрес типографии

13. Адрес склада

14. Адрес почты

15. Адрес телеграфа

16. Адрес телефона

17. Адрес факса

18. Адрес электронной почты

19. Адрес сайта

20. Адрес социальных сетей

Издательство "Наука" Москва, 1955 г.

Цена 63 коп.

2507