

АКАДЕМИЯ НАУК СССР      МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР  
И М Г Р Э  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ      МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ РСФСР  
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ      НОВОСИБИРСКОЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ  
ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
ПОИСКОВ  
ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ  
РУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
Новосибирск • 1980

**Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений.— Новосибирск: Наука, 1980. 208 с.**

В материалах, публикуемых в настоящем сборнике, отражено современное состояние геохимических методов и пути их развития для прогнозирования и поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Приводятся примеры открытия геохимическими методами погребенных, слепых и скрытопогребенных месторождений, расположенных в условиях различных структурно-формационных зон и природных ландшафтов Советского Союза; дан теоретический анализ условий формирования руд и эндогенных ореолов месторождений разных генетических типов.

Книга рассчитана на широкий круг геологов, занимающихся поисками и разведкой месторождений, а также на научных сотрудников геолого-геохимического профиля.

**Р е д к о л л е г и я:**

д-р геол.-мин. наук *В. З. Фурсов*, канд. геол.-мин. наук  
*Н. А. Росляков* (зам. отв. редактора), *Э. И. Большаков* (отв.  
секретарь)

**Ответственный редактор**

д-р геол.-мин. наук проф. *Ю. Г. Щербаков*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Давно наметившееся и все прогрессирующее сокращение фонда «легко открываемых», особенно крупных, месторождений, выходящих на дневную поверхность, и вместе с тем рост потребления промышленностью минерального сырья требуют повышения эффективности их поисков. Как показал опыт последних десятилетий, большие возможности для выявления глубокозалегающих и перекрытых мощным покровом рыхлых отложений месторождений самого различного состава дает развитие геохимических методов. Анализ достигнутых в СССР результатов по выявлению глубокозалегающих рудных месторождений, совершенствованию научных основ и методов их поиска и оценки на глубину было посвящено Всесоюзное геохимическое совещание, организованное Академией наук СССР и Министерством геологии СССР, состоявшееся в апреле 1978 г. в Новосибирске. Совещание было своеобразной школой по обмену опытом поисковых подразделений большинства территориальных геологических управлений и научно-исследовательских институтов страны.

В настоящем сборнике опубликованы доклады этого совещания — школы ведущих в нашей стране специалистов в области геохимических методов поисков глубокозалегающих месторождений, отражающие современное состояние вопроса. Рассматриваются пути развития геохимических методов поисков, их комплексирование, приведены многочисленные примеры открытий месторождений цветных, редких и благородных металлов, находящихся на глубине в десятки и сотни метров ниже дневной поверхности.

Проведенные работы и уже полученные результаты свидетельствуют о больших потенциальных возможностях геохимических методов прогноза и поисков. Вместе с тем они со всей очевидностью показывают необходимость всестороннего учета геологических особенностей строения и геоморфологического анализа района поисков.

Не все выводы в ряде статей однозначны и безупречно обоснованы. Имеются определенные неясности и даже противоречия в толковании результатов работ и рекомендациях. Однако редколлегия, учитывая сложность затронутой проблемы, решила оставить тексты докладов без существенной переработки. Только творческое и критическое восприятие результатов проведенных исследований обеспечит более правильный в каждом конкретном случае выбор рационального комплекса методов для поисков месторождений разных рудных формаций, находящихся в неодинаковых геологических условиях.

Нет сомнения, что обилие ценной информации, заключенной в сборнике, сделает его полезным для самого широкого круга геологов, занимающихся поисками и разведкой многих видов минерального сырья.

*Ю. Г. Щербakov*

*Д. И. Горжеский, А. Г. Натаров, Е. А. Алекторова*  
(ЦНИГРИ)

## МЕТОДИКА ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Проблеме поисков глубокозалегающих месторождений в нашей стране и за рубежом уделяется большое внимание (Смирнов, 1955; Аристов, 1964, 1968, 1975; Иванкин, 1972; и др.). Это обусловлено в первую очередь тем, что в большинстве старых горнорудных районов значительная часть выходящих на дневную поверхность месторождений уже отработана.

За последние десятилетия открыты многие глубокозалегающие месторождения: медноколчеданные на Урале, полиметаллические на Рудном Алтае и Сихоте-Алине, несколько свинцово-цинковых месторождений в бассейне р. Миссисипи в США, многие золоторудные месторождения Витватерсранда в Африке, древние погребенные россыпи золота в разных районах СССР.

Поиски глубокозалегающих месторождений представляют собой чрезвычайно сложную задачу, которая базируется на знании поисковых критериев и признаков каждого промышленно-генетического типа месторождений, вероятного положения промышленного оруденения относительно современного и древнего эрозионного среза (т. е. типа глубокозалегающего месторождения) в конкретной металлогенической провинции, природно-климатических и ландшафтно-геохимических условий ведения поисковых работ и т. д.

Каждый промышленно-генетический тип эндогенных месторождений, как известно, характеризуется различными чертами тектонических структур, геологическими условиями локализации оруденения, морфологией, вещественным составом и генезисом руд, что в конечном итоге определяет специфику поисковых критериев и признаков, методику и эффективность поисков.

В подавляющем большинстве все глубокозалегающие месторождения по условиям залегания относятся к скрытым месторождениям, которые можно разделить на три типа: слепые, погребенные и погребенно-слепые. Слепыми месторождениями принято называть такие, которые формировались на некоторой глубине, никогда не обнажались на поверхности древнего и современного эрозионного среза и залегают в породах, перекрытых молодыми новообразованиями, мощность которых не превышает 5—10 м. К группе погребенных месторождений относятся месторождения, которые формировались на поверхности земли или были вскрыты в процессе эрозии, а затем погребены под толщами более молодых отложений различного происхождения. Погребенно-слепые месторождения — это месторождения, располагающиеся ниже уровня древней эрозионной поверхности, перекрытой более молодыми по сравнению с оруденением образованиями.

Глубинность поисков рудных месторождений рассматриваемого типа определяется, с одной стороны, требованиями промышленности, основанными на экономической целесообразности отработки месторождения в каждом конкретном случае, а с другой — возможностями геологического прогноза как ведущего метода исследований, а также разрешающими спо-

Прогноз месторождений на глубину, м

Объект исследований	Типы глубокозалегающих скрытых месторождений		
	слепые	погребенные	погребенно-слепые
Хорошо изученные рудные районы . . . . .	500—1000	200—500	200—300
Хорошо изученные рудные поля . . . . .	1500—2000	400—500	400—500

способностями геофизических, минералого-геохимических методов и технических средств поисков.

В настоящее время, по нашему мнению, прогнозирование и поиски глубокозалегающих месторождений могут успешно осуществляться до различных глубин (табл. 1).

Методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений весьма разнообразны: геологические, минералогические, геохимические, геофизические и технические. В зависимости от типа скрытых месторождений эффективность каждой группы методов и отдельных методов различна. Классические визуально-геологические методы (обломочно-речной, валуно-ледниковый, шлиховой) в данном случае применяться не могут. В связи с этим поиски скрытого промышленного оруденения осуществляются исключительно на основе научно обоснованного прогноза с привлечением современных методов минералогии, геохимии и разведочной геофизики.

В последнее время в практике проведения поисковых работ широко используются данные высотных и космических снимков, которые позволяют расшифровать структурные особенности рудных районов, выявить крупные региональные разломы, в том числе рудоконтролирующие скрытые разломы фундамента, основные элементы разрывной тектоники участков, перекрытых рыхлыми отложениями, мощность которых достигает 50—100 м.

При поисках слепых гидротермально-метасоматических месторождений золота и других металлов в последние годы широко используется аэрогамма-спектрометрический метод, основанный на определении содержания в метасоматических образованиях, сопровождающих скрытое оруденение, радиоактивных элементов: калия, тория, урана. По нашему мнению, указанный метод в будущем будет одним из эффективных геофизических способов выявления многих типов месторождений нерадиоактивного сырья.

В некоторых районах нашей страны начинают применяться также и атмогеохимические методы аэропоисков, и в частности газово-ртутная съемка. В числе важнейших аэрогеофизических методов поисков глубокозалегающих месторождений следует отметить аэромагнитную съемку, которая давно используется как прямой поисковый геофизический метод при выявлении погребенных и слепых месторождений железа, иногда полиметаллических руд, никеля, а также при решении вопросов структурного картирования. Успешно развиваются аэрэлектрометоды и аэротермометрические методы.

Среди наземных поисковых методов важное значение имеют минералогические. Сюда в первую очередь следует отнести пиритометрию, которая успешно используется для поисков колчеданных месторождений (Чирко, 1971; Инин и др., 1978). Метод основан на изучении различных по генезису пиритов — генетически связанных с формированием промышленных колчеданных руд и не имеющих такой связи, т. е. другой генетической природы.

Пириты этих групп отличаются по целому ряду характерных признаков: морфологическим особенностям кристаллов, структуре зерен, составу включений, набору элементов-примесей, термоэлектродвижущей силе и отношению к травлению.

В некоторых пирротинсодержащих колчеданных месторождениях, в частности на Холоднинском месторождении, как установлено Т. П. Кузнецовой, пирротины, расположенные в непосредственной близости от рудных тел, относятся к моноклинной разновидности, а на некотором удалении от них — к гексагональной и в связи с этим различаются по магнитным свойствам (Бродская и др., 1976).

На некоторых скрытых полиметаллических месторождениях Рудного Алтая, по данным И. З. Исакович (1975), висячем боку рудных тел широко развиты прожилки, сложенные нерудными минералами: кварцем, баритом, кальцитом. При этом кварц-баритовые прожилки располагаются около рудных тел, а карбонатные — на значительном удалении от них. Детальное изучение кальцитов позволило выделить среди них кальциты, образовавшиеся в предрудный, синрудный и пострудный этапы гидротермального процесса. Установлено, что синрудные кальциты характеризуются повышенным содержанием железа, марганца, магния, серебра, бария, стронция и цинка, относительно низкими термолюминесцентными свойствами и высоким показателем преломления.

Широко используются при поисках глубокозалегающих рудных месторождений наземные геофизические методы. Комплекс геофизических методов включает магнитометрию, гравиметрию, электроразведочные методы (естественного электрического поля, вызванной поляризации, переходных процессов, кажущихся сопротивлений, заряженного тела, вертикальных электрических зондирований), а также радиопросвечивание и др. В зависимости от конкретных геологических условий и решаемых задач они используются также в шахтном и скважинном вариантах.

При прогнозировании и поисках глубокозалегающих рудных месторождений широко используются разнообразные геохимические методы, эффективность которых подробно рассмотрена во многих статьях сборника.

Все перечисленные выше методы поисков имеют важное значение при выявлении скрытых месторождений, однако следует подчеркнуть, что ведущим методом оценки потенциальной рудоносности перспективных площадей является геологический прогноз, а главным документом для направления поисковых работ и методики их проведения — карта прогнозов.

Прогнозирование глубокозалегающих месторождений представляет собой один из наиболее сложных видов геологических исследований. Оно должно быть основано на обобщении результатов работ, выполненных на предыдущих этапах изучения района. Наряду с этим в процессе составления прогнозных карт возникает иногда необходимость проведения дополнительных исследований, направленных на выявление поисковых критериев и признаков прогнозируемого типа промышленного оруденения.

Ведущим методом геологического прогнозирования и составления прогнозных карт является формационно-металлогенетический анализ, сущность которого состоит в установлении всего многообразия форм связи оруденения с геологическими факторами (формациями и фациями осадочных и магматических пород, литолого-стратиграфическими пачками, элементами тектоники и т. д.), разделении всей массы рудопроявлений региона на рудноформационные группы и выделении среди них важнейших промышленно-генетических типов.

Комплекты прогнозных карт обычно включает: 1) карту геологической, геофизической и геохимической изученности территории на различных глубинах от дневной поверхности; 2) специализированную геологическую

основу; 3) карту рудной нагрузки; 4) карту глубинного строения по геолого-геофизическим данным; 5) карту геологических поисковых критериев и признаков промышленного оруденения; 6) прогнозную накладку.

На основе формационно-металлогенического анализа выявляются геологические критерии и признаки промышленных месторождений: геотектонические, стратиграфо-литологические, магматогенные, структурные, минералого-геохимические и др. Следует подчеркнуть, что поисковое значение каждой группы рудоконтролирующих факторов различно для разных промышленно-генетических типов какого-либо полезного ископаемого, что наглядно можно показать на примере свинцово-цинковых месторождений.

Стратиграфо-литологические предпосылки играют ведущую роль для стратиформных свинцово-цинковых месторождений, залегающих в карбонатных формациях, и месторождений колчеданно-полиметаллического типа, подчиненную — для скарновых и ничтожную — для жильных. Магматогенные предпосылки имеют весьма важное значение при прогнозировании колчеданно-полиметаллических и скарновых типов месторождений свинца и цинка, незначительное — при прогнозировании и поисках жильных месторождений и ничтожное — для стратиформных месторождений, связанных с карбонатными формациями.

Структурные предпосылки для поисков всех типов месторождений играют, несомненно, большую роль, но особенно существенны при поисках жильных месторождений. Для метаморфизованных свинцово-цинковых месторождений, залегающих в докембрийских метаморфических комплексах, важное поисковое значение имеют фации метаморфизма вмещающих пород и руд, указывающие на возможность переотложения рудного вещества в процессе метаморфических преобразований.

После составления прогнозной карты и объяснительной записки к ней, рассмотрения и утверждения этих документов начинается стадия проверки прогнозных рекомендаций. Принципы и методы проверки прогнозов должны быть определены на прогнозной накладке, проектных разрезах и в объяснительной записке к прогнозной карте. Однако процесс работ по проверке рекомендаций должен быть творческим: методика поисков должна корректироваться и изменяться в зависимости от результатов исследований, в проверке должны участвовать авторы прогнозов. Опыт работ в условиях Рудного Алтая показывает, что в случае обоснованного выделения перспективных площадей на проверку рекомендаций на поисково-оценочной стадии затрачивается около 10—15 тыс. пог. м колонкового бурения. Рудные тела встречаются, как правило, в одной из пяти—десяти пробуренных скважин.

Приведем два примера поисков глубокозалегающих месторождений золота, свинца и цинка.

Наиболее ярким представителем скрытых месторождений золота является одно из месторождений золото-адуляр-кварцевой формации. Крутопадающие жильные тела этого месторождения располагаются в осадочных мезозойских отложениях, заполняющих грабен, и выклиниваются, не достигнув современной поверхности, на глубине 70—100 м. К числу наиболее важных поисковых критериев для месторождений рассматриваемого типа относятся: наличие мезозойских наложенных впадин со сложным внутренним блоковым строением; развитие кристувулканических пород; присутствие в рудовмещающих толщах горизонтов кварцевых метасоматитов или пологих разрывов, способных оказывать экранирующее воздействие на рудоносные растворы; наличие в бортах впадин проявлений золото-кварцевой минерализации; наличие надрудных первичных ореолов золота и его постоянных спутников (серебра, висмута, свинца и др.).

Указанные закономерности локализации золотого оруденения являются предпосылками использования наряду с геологическими методами

комплексирования геологических, геохимических и геофизических методов при поиске тэ-Алвия (Дальнегорский

Основные этапы и задачи исследований	Стадия	Методы	
		геологические	геофизические
<p><b>Поиски участков, перспективных для обнаружения скрытого скарново-полиметаллического оруденения</b></p> <p><i>А. Изучение геологического строения верхнего структурного этажа</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Картирование осадочных и вулканогенно-осадочных формаций</li> <li>2. Выявление разломов и зон повышенной трещиноватости</li> <li>3. Картирование экстрозивных и субвулканических фаций</li> <li>4. Поиски участков гидротермально измененных пород и зон минерализации</li> </ol> <p><i>Б. Выявление основных элементов геологического строения нижнего структурного этажа</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Выявление скрытых разломов</li> <li>2. Выявление скрытых интрузий</li> <li>3. Определение мощности вулканогенного покрова</li> <li>4. Выявление карбонатных пород под вулканогенным покровом</li> </ol>	<p>Детальных поисков</p>	<p>Геологическая съемка м-ба 1 : 10 000 (II)</p> <p>Геологическое дешифрирование аэрофотоснимков м-ба 1 : 15 000 (I)</p>	<p>Дипольное электропрофилирование м-ба 1 : 10 000 (II)</p> <p>Магниторазведка м-ба 1 : 10 000 (II)</p> <p>Методы ВП, ЕП м-ба 1 : 10 000 (II)</p>
		<p>Геологическая съемка м-ба 1 : 2000</p>	<p>Гравиразведка — м-ба 1 : 25 000 (II)</p> <p>Вертикальные электрозондирования (III)</p> <p>Сейсморазведка (по отдельным профилям) (III)</p>
<p><b>Изучение перспективных участков и поиски скрытого оруденения</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Детальное изучение геологического строения</li> <li>2. Вскрытие и прослеживание зон минерализации и изучение их минералого-геохимических особенностей</li> <li>3. Поиски промышленных скарново-полиметаллических залежей</li> </ol>	<p>Поисково-оценочная</p>	<p>Геологическая съемка м-ба 1 : 2000</p>	<p>Площадное сейсмокартирование м-ба 1 : 2000</p> <p>Метод ВП</p> <p>Комплекс скважинных геофизических методов</p>

Примечание. Цифрами I, II, III показана последовательность применения метода

комплекса геофизических и геохимических методов. Для изучения внутреннего геологического строения потенциально рудоносных впадин рационально использовать данные гравиметрических наблюдений (в масштабе 1:25 000—1:50 000) в комплексе с вертикальными электрическими зондированием и электропрофилированием. Участки с проявлением калиевого метасоматоза, сопутствующего золото-адуляр-кварцевой стадии минералообразования, выявляются методом аэрогамма-спектрометрии. Изучение первичных геохимических ореолов на поисково-оценочной стадии работ позволяет выявлять ореолы золота, серебра, висмута, свинца и других элементов — индикаторов скрытого промышленного оруденения.



ках глубокозалегающих скарново-полиметаллических месторождений в условиях Сихорудный район)

исследований		Результаты работ
геохимические	технические	
<p>Литогеохимическая съемка по потокам рассеяния м-ба 1 : 10 000 (I) Гидрогеохимическое опробование водотоков (I) Литогеохимическая съемка по вторичным ореолам м-ба 1 : 10 000 (II)</p>	<p>Бурение неглубоких картировочных скважин (II)</p>	<p>Геологическая карта м-ба 1 : 10 000</p> <p>Геохимические карты м-ба 1 : 10000</p>
	<p>Бурение опорных структурных скважин (II)</p>	<p>Карта изогипс поверхности нижнего структурного этажа м-ба 1 : 10 000</p> <p>Геолого-структурная карта м-ба 1 : 10 000</p> <p>Карта прогнозов м-ба 1 : 10 000</p>
<p>Изучение первичных геохимических ореолов</p>	<p>Бурение неглубоких поисково-разведочных скважин</p> <p>Бурение глубоких поисково-разведочных скважин</p>	<p>Геологическая карта м-ба 1 : 10 000</p>

в процессе проведения поисков.

В качестве другого примера рассмотрим прогнозирование и поиски погребенных полиметаллических месторождений в условиях Рудного Алтая. Ведущими поисковыми признаками здесь являются: 1) горизонты частого переслаивания осадочных пород и туфов, лав липаритов и базальтов, разделяющие свиты эйфельско-франского возраста, которые входят в состав базальт-липаритовой формации; 2) ассоциация месторождений с субвулканическими телами этой формации; 3) приуроченность месторождений к местам изгибов складчатых и разрывных структур, к пересечениям и сопряжениям разноориентированных разломов.

Главная задача геофизических исследований при прогнозировании этого типа месторождений — составление на основе гравиметрических

данных карты глубинного геологического строения, а геохимических исследований — выявление вторичных, а затем и первичных геохимических ореолов. Совокупность полученных данных позволяет выделить наиболее перспективные участки, определить вероятное положение рудных тел в геологических структурах, глубину их залегания и наметить серии поисковых скважин для вскрытия руд.

В настоящее время при поисках скрытых глубокозалегающих месторождений поисковые работы, как уже многократно отмечалось, включают большой комплекс геологических, геохимических, геофизических методов и технических средств. В связи с этим вопрос рационального комплексирования методов поисков и способов (схем) наглядного отображения динамики поискового процесса приобретает большое практическое и научно-теоретическое значение.

В нашем понимании схема комплексирования поисковых методов представляет собой элемент системы геологических исследований и наглядно отображает динамику поискового процесса, взаимосвязь между его главными и второстепенными звеньями на различных этапах и стадиях геологических работ. Она позволяет видеть основные задачи и конечные цели работ, последовательность их решения, комплекс геологических, геохимических и геофизических методов и технических средств поисков, место каждого метода при решении конкретной геологической задачи.

Основные факторы, влияющие на рациональное сочетание поисковых методов и составление схем их комплексирования, следующие: промышленно-генетический тип месторождений; положение оруденения относительно современного и древнего уровней эрозийного среза; степень контрастности физических свойств рудных тел и вмещающих пород; природно-климатические условия ведения поисковых работ.

Способы построения схем комплексирования поисковых методов при проведении поисковых и поисково-разведочных работ могут быть самыми разнообразными. Однако основным принципом их составления, по нашему мнению, должен быть принцип, учитывающий взаимосвязь между промышленно-генетическим типом месторождений (ПГТ), природно-климатическими условиями ведения поисковых работ (ПКУ), поисковыми критериями и признаками данного типа оруденения (ПК), геологическими задачами (ГЗ), методами их решения (МР) и ожидаемыми результатами работ. Связь между этими элементами должна выражаться в виде непрерывного функционального ряда: ПГТ + ПКУ — ПК — ГЗ — МР.

Следует подчеркнуть, что схемы не должны быть громоздкими и насыщенными методическими рекомендациями, они должны отражать основные моменты поискового процесса и взаимосвязь между его отдельными звеньями.

На каждом из этапов исследований в схемах должны быть сформулированы основные геологические задачи. Геологические задачи могут быть общими для всех типов месторождений и специфическими, т. е. присущими одному лишь промышленно-генетическому типу. К первой группе относятся задачи, которые отражают в большинстве случаев этапность исследований или представляют собой обобщенное выражение группы конкретных геологических задач.

Отображение в схемах комплексирования этапности работ является одним из важнейших моментов их построения. При этом каждый этап исследований должен завершаться звеном, которое, с одной стороны, является итоговым, с другой — связующим с последующим этапом общего поискового процесса. Обычно он включает результаты совместного анализа и интерпретации данных геолого-геофизических и минералого-геохимических методов и сводится к построению прогнозно-металлогенических или прогнозных карт соответствующих масштабов.

Одним из важных условий составления схем рационального комплексирования является отображение таких поисковых методов, которые поз-

воляют решать геологические задачи в короткий срок с максимальной геологической и экономической эффективностью. Не следует рекомендовать те методы исследований, которые не выходят за рамки опытно-методических разработок или не дают удовлетворительных результатов при проведении работ производственного характера вследствие их низкой производительности, недостаточной геологической и экономической эффективности.

Эффективность методов исследований, как известно, зависит от многих факторов, среди которых большое значение имеют этапы или стадии поисковых работ. Один и тот же метод поисков может эффективно решать геологические задачи на одном из этапов работ и не давать положительных результатов на другом, т. е. существуют вполне определенные пределы применения каждого метода, которые определяются, с одной стороны, геологическими, а с другой — экономическими показателями.

При решении геологических задач может быть использовано несколько принципов комплексирования: 1) два или несколько методов решают одну геологическую задачу одновременно, и во всех случаях они выступают в единстве, дополняют друг друга и позволяют установить более определенно природу геологических явлений; 2) два или несколько методов решают одну и ту же геологическую задачу, но в определенной последовательности. Один метод в этом случае является предпосылкой эффективного использования другого.

В качестве примера схемы комплексирования различных методов приводится схема (табл. 2), которая отражает процесс поисков скрытых скарново-полиметаллических глубокозалегающих месторождений Дальнегорского рудного района (Сихотэ-Алинь).

В заключение следует подчеркнуть, что все производственные и научно-исследовательские организации, участвующие в поисках глубокозалегающих месторождений и специализирующиеся на разработке конкретных методов, должны проводить исследования по единой программе и схеме рационального комплексирования геологических, геофизических и минералого-геохимических методов, а также технических средств поисков.

## ЛИТЕРАТУРА

- Аристов В. В. Вопросы теоретического обоснования поисков скрытых постмагматических месторождений. — *Изв. вузов. Серия геол. и разв.*, 1964, № 6, 7.
- Аристов В. В. Методика поисков месторождений твердых полезных ископаемых. — В кн.: *Теоретические основы поисков и разведки твердых полезных ископаемых*. Т. 1. М., «Недра», 1968.
- Аристов В. В. Поиски твердых полезных ископаемых. М., «Недра», 1975.
- Бродская С. Ю., Кузмичева Е. В., Кузнецова Т. П., Варламов В. А. Магнитные свойства пирротитов и условия формирования Холоднинского месторождения. — *Изв. АН СССР. Физика Земли*, 1976, № 6.
- Инин В. Д., Цвинев Э. А., Бычков В. А., Солтан С. А. Ареалы и зоны пиритизации Зырянского месторождения. — *Геол. рудн. месторожд.*, 1978, т. XX, № 1.
- Исакович И. З. Минералогические критерии поисков скрытого оруденения Корбалихинского рудного поля (Рудный Алтай). — *Сов. геология*, 1975, № 5.
- Иванкин П. Ф. Принципы и методы прогнозирования медноколчеданного и полиметаллического оруденения (на примере Рудного Алтая). — М., «Недра», 1972.
- Смирнов В. И. Проблемы поисков рудных месторождений, не имеющих выходов на поверхность Земли. — *Сов. геология*, 1955, сб. 49.
- Черко О. М. О возможности использования пиритов при поисках полиметаллических месторождений. — В кн.: *Материалы Второй республиканской научно-теоретической конференции молодых геологов Казахской ССР*. Усть-Каменогорск, 1971.

## ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ГЛУБИННОСТЬ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Геохимические методы в настоящее время прочно вошли в практику массовых поисков полезных ископаемых. Их внедрение существенно повышает эффективность геологоразведочных работ и способствует научно-техническому прогрессу в геологии. Геохимические поиски рудных месторождений опираются на законы миграции химических элементов в земной коре, а также на общие закономерности процессов рудообразования и формирования рудных тел. Поиски по первичным геохимическим ореолам основаны на обязательном наличии в связи с любым месторождением гипогенного ореола не только промышленного металла, но и металлов-спутников и на не менее обязательном закономерно зональном строении этого ореола.

Поиски по вторичным литохимическим ореолам и потокам рассеяния, а также гидрогеохимическими и биогеохимическими методами основаны на гипергенном разрушении рудных месторождений и, что особо важно, их первичных ореолов, на закономерностях миграции рудных компонентов в водной среде, законах их поведения в условиях гидросферы и биосферы. Атмохимические методы связаны с миграцией газов различного состава и происхождения по газопроницаемым трещинам и зонам, входящим в системы рудоконтролирующих разломов.

Одним из важнейших преимуществ геохимических методов поисков рудных месторождений является их глубинность, достигающая сотен метров. Это стало возможным благодаря выявлению геолого-геохимических условий формирования рудных тел и окружающих их ореолов элементов-индикаторов.

В основе теории геохимических методов поисков рудных месторождений лежит концепция, рассматривающая процесс образования месторождений как единственно возможный переход металлов от рассеянного состояния в земной коре и мантии к концентрированному с многоступенчатой дифференциацией, что приводит к обязательному наличию первичных геохимических ореолов. Возникновение вторичных гипергенных ореолов рассеяния, связанное с разрушением месторождений и их первичных ореолов, является единственно возможным обратным процессом — переходом, также дифференциальным, от концентрации вновь к рассеянию. И в том, и в другом случае дифференциация металлов никогда не бывает полной, и главный металл сопровождается значительным числом металлов-спутников.

Рудные тела и первичный геохимический ореол представляют единое целое, границы между ними зачастую определяются только экономическими соображениями — по результатам опробования. Первичные ореолы пространственно и генетически связаны с околорудными гидротермально измененными породами, но по размерам они всегда превышают зону околорудных изменений, достигая только в доступной наблюдению части их объема 1—10 км<sup>3</sup> и более; в них сосредоточиваются главные запасы металлов. В формировании ореолов и рудных тел с проявлением в них контрастной геохимической и минеральной зональности существенное значение имеют полигенная и политипная диффузия, фильтрационный эффект. Рудообразующие растворы характеризуются постоянством свойств и анионного состава, что обуславливает качественную однородность геохимических ореолов во многих месторождениях различного со-

става и происхождения. Теоретические исследования основ осадочной хроматографии позволяют выявить и обосновать закономерности строения первичных ореолов, их зональность и ритмичность (Овчинников, 1976).

Геолого-геохимические условия, определяющие глубинность геохимических методов поисков по первичным ореолам и их высокую эффективность, подразделяются на внешние (геологические) и внутренние (геохимические). Среди геологических условий кардинальное значение имеют следующие:

— геологическое строение рудного поля, размеры и форма рудных тел и их протяженность по вертикали;

— элементы дизъюнктивной тектоники: форма, размеры, плотность распространения и условия залегания рудоподводящих, рудораспределяющих, рудоконтролирующих структурных элементов, элементов до-рудной тектоники вообще;

— наличие даек, их размеры, плотность насыщения, элементы залегания, возрастные соотношения с рудными телами;

— условия залегания рудных тел, их структурно-тектонические и возрастные взаимоотношения с вмещающими и покрывающими породами;

— физические свойства рудовмещающих, подстилающих и покрывающих пород, их пористость и проницаемость, степень трещиноватости рудного поля, отдельных его блоков и зон;

— литологический и химический состав вмещающих, подстилающих и покрывающих пород, степень их изменения.

К главным геохимическим условиям относятся:

— состав рудо- и ореолообразующего раствора, спектр металлов и их концентрация;

— физико-химические условия среды отложения: Т, Р, рН, Е<sub>h</sub>;

— направление движения растворов относительно горизонта, напластования вмещающих пород, залегания рудных тел, элементов трещинной тектоники и даек;

— зональность ореолов и степень ее контрастности, факторы, определяющие параметры зонообразующей осадочно-хроматографической колонки, ее сжатость или растянутость;

— прочие особенности механизма ореоло- и рудообразования.

Остановимся несколько подробнее на некоторых наиболее существенных геологических и геохимических факторах, разнообразие и различное взаимосочетание которых определяет ту или иную степень глубинности геохимических методов поисков по гипогенным первичным ореолам.

Достаточно очевидно, что чем больше размеры первичных геохимических ореолов, т. е. чем дальше от рудного тела будут распространены ассоциации ореольных элементов-индикаторов, тем больше возможная глубина обнаружения этого рудного тела. Размеры ореолов и их морфология, в первую очередь, определяются той структурно-геологической обстановкой, в которой происходит ореоло- и рудообразование. Поскольку поисковой основой здесь является контрастно зональное распределение элементов-индикаторов в ореоле с резким различием тыловых (подрудных) и фронтальных (надрудных) ассоциаций элементов-индикаторов, важнейшее значение для глубинности поисков приобретает такой первостепенный параметр, как направление движения растворов относительно горизонта и той конкретной структурно-геологической обстановки, в которой осуществляется рудоотложение.

В первую очередь следует указать на то, что кинжальное или фронтальное (рис. 1) проникновение рудообразующего раствора в зону рудоотложения обуславливает образование резко различных морфогенетических типов не только рудных тел, но и первичных ореолов. В первом случае в результате просачивания растворов по узким ослабленным зонам или простой циркуляции по открытым трещинам образуются также



Рис. 1. Фронтальный и кинжальный варианты направления движения растворов и ориентации зональности первичных ореолов.

узкие **плосковытянутые** ореолы в связи с зонами расланцевания с промысленной вкрапленностью или жильными рудными телами. В поперечном сечении ширина ореолов весьма невелика, но распространение элементов-индикаторов в пределах самой трещинной зоны очень значительно, и при крутом падении таких зон (рис. 2, а) глубинность поисков будет, безусловно, большая — в сотни метров.

Характерным примером развития ореолов этого типа является свинцово-цинковое месторождение Яман-Сай в Таджикистане (рис. 3), на котором ореол серебра, например при ширине всего 13 м, протягивается над рудным телом далеко вверх по зоне, обрываясь дневной поверхностью на расстоянии более 320 м. Часто это не единичные трещины или зоны сближенных трещин, а серии их, с которыми связаны серии отдельных рудных тел и таких же в разрезе ленточных ореолов (см. рис. 2, б). Такие серии ленточно-плоскостных ореолов и рудных тел при значительной интенсивности процесса и достаточной густоте рудоконтролирующих трещин могут сливаться воедино — создается сложное внутреннее распределение металлов как в объединенной рудной зоне (см. рис. 2, в), так и теперь уже в едином обобщенном ореольном пространстве.

Нетрудно заметить, что при кинжальном типе глубинность поисков зависит от угла падения трещины или зоны. Она велика при вертикальных или крутых углах; если же направление движения растворов горизонтальное (см. рис. 1) или близкое к нему (положение зоны-трещины горизонтальное или пологое), то глубинность обнаружения рудной залежи незначительна (первые десятки метров в лучшем случае).

Подобное плоскостное развитие первичных ореолов при горизонтальном движении создается также и в совершенно иной обстановке подводно-осадочного рудообразования. Как известно, в донных осадках впадин Красного моря в настоящее время происходит накопление ряда металлов, образующих крупные гидротермально-осадочные месторождения. Одновременно с поступлением металлов во впадины и формированием высококонцентрированных рудных скоплений происходит и их рассеяние, т. е. ореолообразование (Bignell *et al.*, 1976). С конца вюрмского оледенения примерно за 100 тыс. лет в донных осадках осевой долины Красного моря в результате такого рассеяния на протяжении более 10 км образовался ореол с контрастной зональностью (от тыла к фронту) Fe—Zn—Mn—

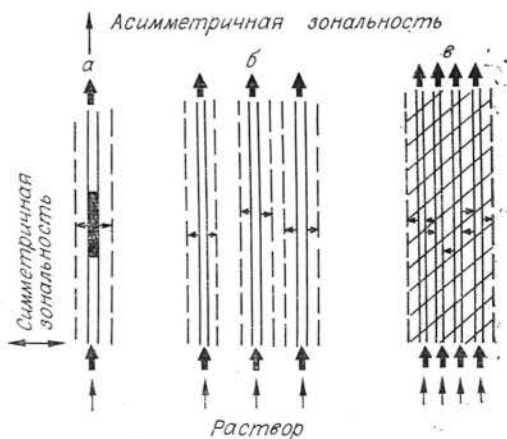


Рис. 2. Кинжальный вариант вертикального движения растворов (а) и его усложнение в системах сближенных трещин (б) до образования единых рудных зон со сложным внутренним строением (в).

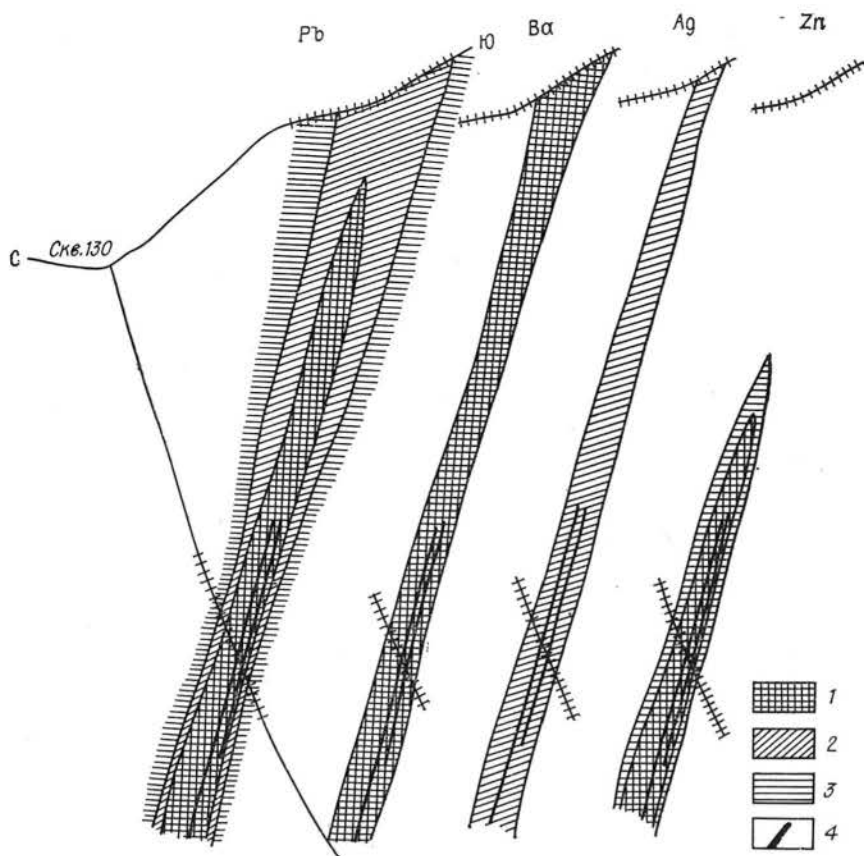


Рис. 3. Первичные геохимические ореолы свинца, бария, серебра и цинка (заштриховано). Разрез полиметаллического месторождения Яман-Сай. 1—3 — убывающие градации содержания индикаторов в ореоле; 4 — рудные тела. По Г. Э. Федотовой.

Cu—Hg, совпадающей с зональностью первичных ореолов сульфидных эндогенных месторождений (рис. 4). Установлено также, что концентрации этих металлов в осадках Красного моря возрастают от шельфа в направлении центральной части осевой долины, что указывает также и на значительную ширину создающегося ореола. Этот факт открывает хорошие перспективы поисков стратиформных месторождений, особенно в складчатых областях, где их глубинность прямо связана с крутизной складок, в которых участвует рудовмещающая продуктивная толща.

При фронтальном продвижении — просачивании растворов захватываются во много раз большие объемы вмещающих пород, что определяет большие объемы обрабатываемого пространства с ореолами распространения элементов-индикаторов, весьма значительными по всем трем измерениям в отличие от ореолов кинжального происхождения, имеющих большие размеры только в плоскости трещины или зоны. Ореолы этого типа формируются в результате фильтрации растворов по крупным блокам (зонам) повышенной проницаемости. Они имеют контрастно асимметричную зональность, хорошо улавливаемую в пределах изучаемого пространства, занимают большой объем пород, характеризуются широким морфологическим разнообразием и тесно связаны с зонами распространения гидротермально измененных окolorудных пород. Характерные ореолы фронтального типа образуются в связи с месторождениями

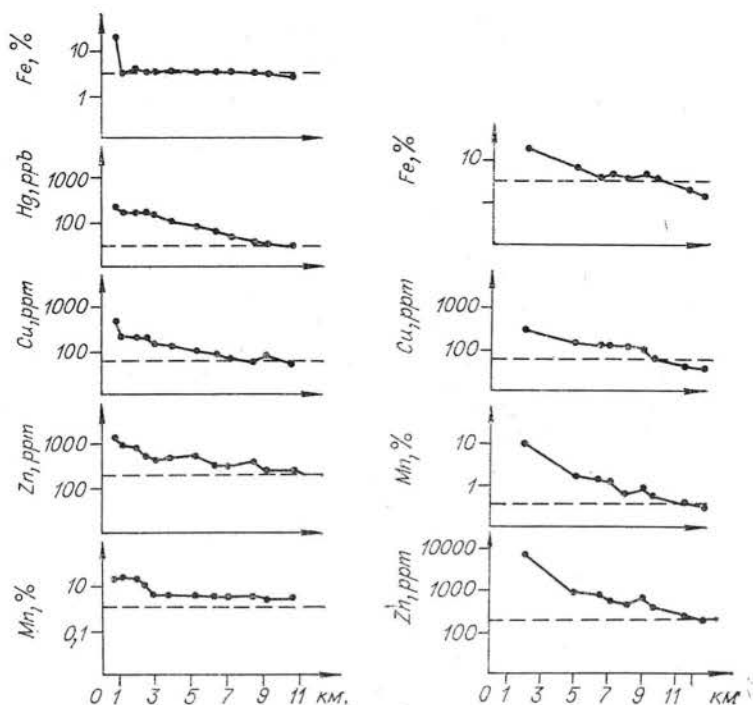


Рис. 4. Рассеяние металлов в донных осадках Красного моря в зависимости от степени удаления от рудного скопления впадины Атлантик II (левая часть) и впадины Нереус (правая) (Bignell e. a., 1976).

колчеданной (Овчинников, Баранов, 1970) и меднопорфировой формаций, полиметаллическими метасоматическими месторождениями и многими другими генетическими типами и группами эндогенных месторождений.

Широко распространены также ореолы **комбинированного** типа, когда в месторождении и даже одном рудном теле формирование ореола и рудного скопления происходит в результате сочетания кинжально-трещинного и фронтального распространения растворов (см. рис. 2, в). Примером этому может служить формирование ореолов в связи с образованием околопегматитовых редкометалльных метасоматитов в Саянах (Овчинников, 1976; Овчинников, Кременецкий, 1978).

Независимо от механизма проникновения растворов и направления их движения большое значение для структурно-морфологического типа ореолов и соответственно глубинности поисков имеет расположение месторождений и ореолов в **крутопадающих** или **пологозалегающих** геологических структурах. Частично значение крутопадающих структур было видно при рассмотрении ореолов кинжально-линейного типа. Остается добавить, что и при фронтальном типе глубинность в крутопадающих структурах сохраняется такой же неограниченно большой (рис. 5).

В пологозалегающих структурах при спокойном ненарушенном горизонтальном или близком к нему залегании надрудные ореолы заметно меньших размеров, поскольку растворам приходится просачиваться поперек разнопористой пачки пластов, поперек напластования различных как по физическим свойствам, так и по минерально-химическому составу пород. В этом морфогенетическом типе глубинность поисков в основном определяется значительным распространением ореольных ассоциаций индикаторов вверх в связи с многочисленными и разнообразными дизъюнктивными структурно-тектоническими элементами или же также с мно-



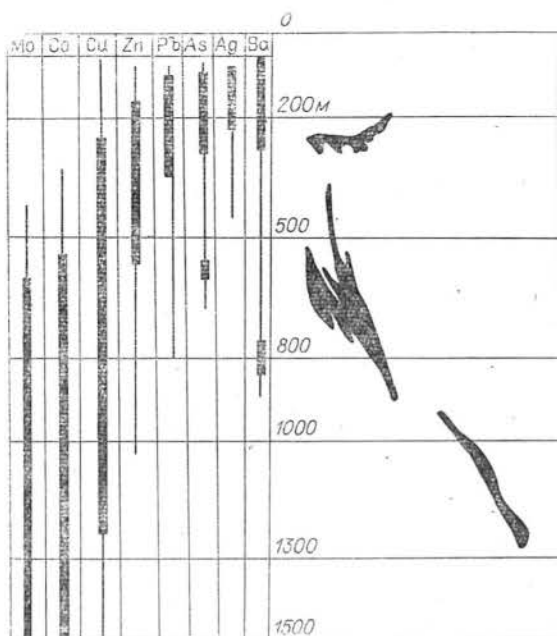


Рис. 5. Распределение металлов в ореоле Гайского медноколчеданного месторождения. Разрез 105. По В. М. Рыфтину (черное — рудные тела).

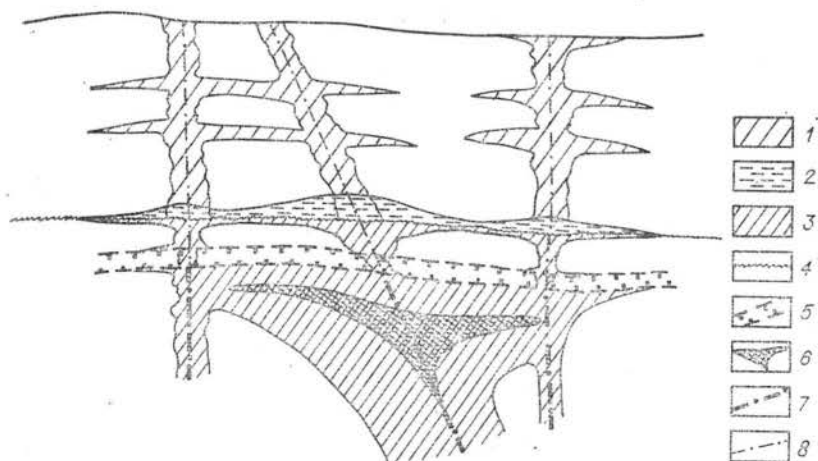


Рис. 6. Схема строения комплексного первичного ореола Подольского медноколчеданного месторождения. По Э. Н. Баранову.

1 — эпигенетические ореолы; 2 — конседиментационные ореолы; 3 — сингенетические ореолы; 4 — граница структурных ярусов; 5 — контуры афанитового субвулканического тела; 6 — рудная залежь; 7, 8 — разрывные нарушения.

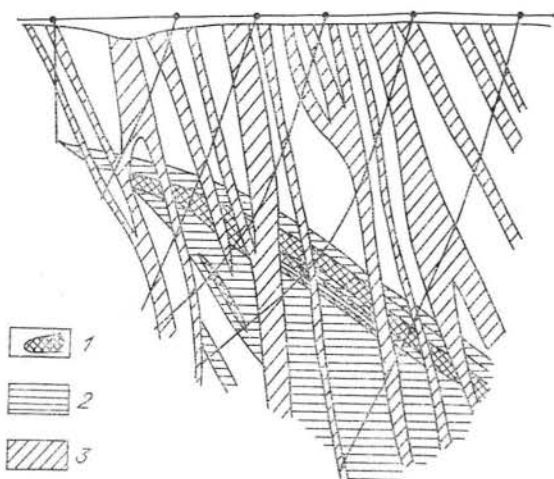


Рис. 7. Схема строения эвдогенного ореола Светлинского медноколчеданного месторождения.

1 — рудные тела; 2 — сингенетические ореолы; 3 — развитие эпигенетических ореолов в связи с дайками.

гочисленными и разнообразными дорудными и интеррудными (в меньшей степени пострудными) дайками.

Характерным примером образования протяженных столбообразных ореолов над пологим рудным телом также в пологозалегающей покрывающей толще является Подольское медноколчеданное месторождение на Юж-

ном Урале, автономно локализованное на глубине свыше 600 м от современной дневной поверхности, открытое геофизическими методами (рис. 6). Роль даек в вытягивании ореолов вверх хорошо видна, например, на Светлинском медноколчеданном месторождении, а также Южноуральском (рис. 7). В качестве иллюстрации размеров первичных геохимических ореолов и их зависимости от положения в различных структурах можно привести данные А. А. Головина (1978), относящиеся к колчеданно-полиметаллическим месторождениям Рудного Алтая (см. таблицу).

Следует подчеркнуть, что ни один из приведенных в таблице ореолов ни по одному из трех измерений не околтурен, указанные размеры относятся только к доступной для их изучения части.

Рваное, лоскутно-прерывистое строение ореолов, особенно наглядное в пологозалегающих структурах с горизонтальным (или близким к нему) напластованием пород, обусловлено фронтальным продвижением растворов поперек пачки разнообразных по литологическому составу и физическим свойствам пород. Степень концентрации элементов-индикаторов в ореолах сильно зависит от степени пористости и проницаемости пород. Причем здесь возможны все количественные переходы между двумя резко различными крайними случаями: от полной (или почти полной) непроницаемости до почти свободного течения. В первом случае над рудным телом или ближайшей к нему ореольной частью создаются непроницаемые для растворов экраны, препятствующие проникновению вверх

Размеры первичных геохимических ореолов колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая

Типы структур и месторождения	Размеры ореолов			
	глубина, м	ширина, м	длина, м	объем, км <sup>3</sup>
Пологие				
Ново-Золотунинское	1000	900	1900	1,7
Степное . . . . .	400	1500	2000	1,2
Корбалихинское . .	220	120	900	0,02
Крутонадающие				
Петровское . . . . .	530	100	1000	0,05
Тининское . . . . .	1000	800	1200	1,0
Иртышское . . . . .	1000	900	9000	8,1
Комбинированные				
Белоусовское . . . .	1600	900	8000	11,5
Зыряновское . . . .	800	400—1800	5000	4,4

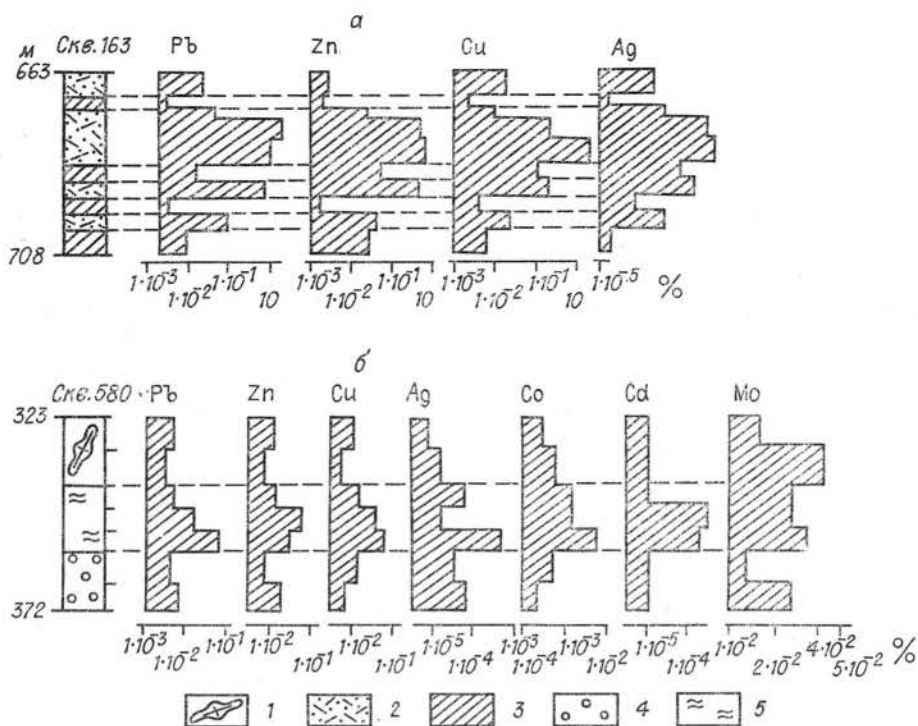


Рис. 8. Распределение элементов-индикаторов в породах различной проницаемости. Колчеданно-полиметаллические месторождения Рудного Алтая. По А. А. Головину. а — Корбалихинское месторождение, б — Ново-Золотушинское. 1 — лавобрекчии липаритовых порфиров; 2 — туфопесчаники; 3 — аргиллиты, алевролиты; 4 — кварциты; 5 — хлоритилиты.

не только рудного вещества для образования промышленных скоплений, но и рассеянных металлов для образования ореолов.

Зависимость концентрации ореольных металлов от пористости вмещающих пород хорошо иллюстрируется приведенными нами ранее данными В. М. Рыфтина по Гайскому медноколчеданному месторождению (Овчинников и др., 1973), от проницаемости — данными А. А. Головина по колчеданно-полиметаллическим месторождениям Рудного Алтая (рис. 8). Облегченное проникновение растворов обуславливается не только естественной большой первичной пористостью и проницаемостью, но и наложенными обычно предшествующими рудоотложением трещиноватостью, дроблением, катаклизом, рассланцеванием (рис. 9).

Если обратиться к зависимости размеров и интенсивности первичных геохимических ореолов от минерального и химического состава вмещающих пород, то в первую очередь следует указать на то, что по чистым известнякам ореолы совершенно не образуются. Ореольные металлы высаживаются в них только при наличии загрязнения каким-либо силикатным материалом: туфовым, инъекционным и пр. Это, между прочим, служит еще одним свидетельством тому, что при данных условиях садка металлов из раствора может происходить только в случае обменной реакции (Овчинников, 1976).

Уже говорилось о закономерной пространственной и генетической связи ореолов с гидротермально измененными околорудными породами, связи с различными метасоматитами, сопровождающими оруденение. В общем случае, чем сильнее метасоматическая переработано околорудное пространство, тем интенсивней по содержанию и объемней по размерам первичный геохимический ореол. Но возможны случаи, когда метасоматиты типа альбититов или кварцитов оказываются, например, подобно известнякам, лишенными совсем ореольных компонентов.

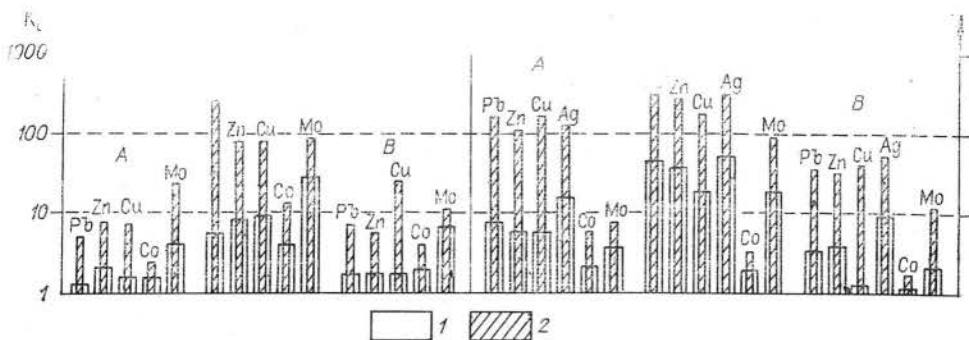


Рис. 9. Зависимость концентрации ореольных элементов-индикаторов ( $K_n$ ) от тектонической проработки вмещающих пород Золотушинского (I) и Степного (II) колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. По А. А. Головину.

1 — плотные неизмененные породы; 2 — породы расланцованные, дробленые, брекчированные; А — липаритовые порфиры, их лавобрекчии и туфы; Б — метасоматиты; В — аргиллиты, алевролиты, алевролиты.

Из прочих геологических факторов, влияющих на размеры и форму первичных ореолов, а отсюда и на глубину поисков, следует обратить внимание, конечно, на естественное отсутствие первичных ореолов в надрудной толще гидротермально-осадочных месторождений, возникающих на дне морских и иных бассейнов и в момент своего образования не имеющих пород кровли. Принципиальная схема строения ореолов таких месторождений показана на рис. 10. На глубину поисков также влияет и такой фактор, как размеры месторождений: в общем случае, чем крупнее рудное тело, тем шире и объемней окружающий его ореол, тем больше, таким образом, возможная глубина его обнаружения. К примеру, на Гайском месторождении объем только богатой части ореола в 360 раз превышает объем рудных тел, которые, таким образом, занимают всего лишь 0,28% объема захваченного рудным процессом пространства.

Если перейти к характеристике геохимических условий, определяющих глубину поисков по первичным ореолам, то здесь наши рассуждения должны основываться в большинстве на априорных положениях и физико-химических закономерностях общего характера, так как опираться непосредственно на геологический опыт и наблюдения в данном случае весьма затруднительно. Поэтому ограничимся только основными замечаниями. При формировании первичных геохимических ореолов путем диффузии или фильтрации происходит выравнивание концентрации привносимых элементов-индикаторов между рудообразующим раствором и поровым раствором, насыщающим обрабатываемые породы. Отсюда при любом механизме просачивания, движения и распространения раствора в ореольной зоне размеры ореолов находятся в прямой зависимости от концентрации элементов в поступающем растворе и в обратной — от градиента этой концентрации. Как известно, асимметричная зональность ореолов в направлении движения растворов представляет собой главный поисковый фактор. Степень ее контрастности, сжатость или растянутость зональной колонны ореола, градиент зональности определяют собой в основном эффективность открытия месторождений, глубину их обнаружения.

Существует несколько приемов (методов) усиления ореолов — усиления сигнала контрастности зональности и тем самым увеличения познаваемых размеров ореолов и повышения соответственно глубины поисков. К таким приемам относятся:

— непосредственное повышение чувствительности анализа с автоматическим уменьшением обнаруживаемого минимального аномального содержания элемента-индикатора;

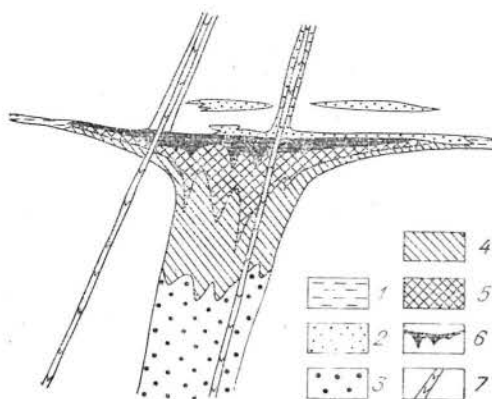


Рис. 10. Принципиальная схема строения первичного ореола гидротермально-осадочного колчеданного месторождения. По Э. Н. Баранову.

1 — конседиментационные фланговые ореолы; 2 — эпигенетические ореолы; 3 — сингенетичный подрудный ореол, удаленный; 4 — то же, близрудный; 5 — то же, околорудный; 6 — рудное тело; 7 — пострудные дайны.

— разработка и введение рационального (фазового) анализа, при котором валовое содержание элемента распадается на содержание фоновое, представленное одной минеральной формой (например, свинец в калиевом полевом шпате), и на содержание ореольное, где привнесенная часть элемента-индикатора представлена уже иной минеральной формой (свинец в галените);

— использование не валового анализа породы, а выделенной тяжелой фракции, так как индикаторы-металлы в ореолах представлены обычно собственными минеральными формами, в первую очередь сульфидами;

— применение методов накопления сигналов путем суммирования или мультипликации параметров содержаний элементов-индикаторов.

Как показывает практика, зональность первичных геохимических ореолов эффективно может быть использована для поисков глубокозалегающих месторождений только в том случае, когда она правильно интерпретируется. Фронтальная часть ореола с его характерной поисково-оценочной ассоциацией индикаторов не всегда может быть надрудной, так же как тыловая ассоциация — подрудной. Как уже было показано (см. рис. 1, 2), это связано с конкретной ориентировкой направления движения растворов относительно положения рудного тела и вмещающей структуры, сопровождающейся отстройкой поисковой контрастной асимметричной зональности. Схемы рис. 11 дополняют основные варианты геологической ориентации асимметричной и симметричной зональности ореолов.

## ЛИТЕРАТУРА

Головин А. А. Эндеогенные геохимические ореолы колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая и критерии их оценки. Автореф. канд. дис. М., ИМГРЭ, 1978.

Овчинников Л. Н. Механизм формирования первичных геохимических ореолов и рудных тел. — В кн.: Проблемы эндогенного рудообразования и металлогении. Новосибирск, «Наука», 1976.

Овчинников Л. Н., Баранов Э. Н. Эндеогенные геохимические ореолы колчеданных месторождений. — «Геол. рудн. месторожд.», 1970, № 2.

Овчинников Л. Н., Григорян С. В., Баранов Э. Н. Зональность первичных гео-

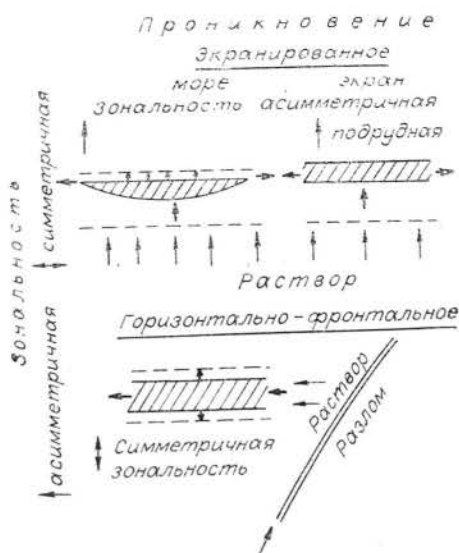


Рис. 11. Экранированные и горизонтально-фронтальный варианты движения растворов и ориентации зональности первичных ореолов.

химических ореолов гидротермальных месторождений и их поисковое значение.— «Изв. вузов. Геол. и разв.», 1973, № 10.

Овчинников Л. Н., Кременецкий А. А. Пегматиты — завершающий этап гидротермального метасоматоза кальцево-магнезиальных пород.— В кн.: Метасоматизм и рудообразование. Т. 1, «Наука», 1978.

Bignell R. D., Cronan D. C., Tooms G. S. Metal dispersion in the Red Sea as an aid to marine geochemical exploration.— Trans. Inst. Min. Metall. (Sect. B Appl. earth. Sci.), 1976, nov., p. B274—B278.

*Ю. Г. Щербаков, Н. А. Росляков, Н. В. Рослякова,  
Г. В. Нестеренко, Б. А. Воротников  
(ИГиГ СО АН СССР)*

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ ПОИСКАХ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ И ПЕРЕКРЫТЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА

Переход от поисков месторождений, выходящих на дневную поверхность, к глубокозалегающим и перекрытым рыхлыми отложениями требует более совершенного использования всех геологических, геофизических и геохимических данных по закономерностям их размещения, состава и строения.

Многолетние исследования по геологии и геохимии золота, проведенные нами в разных районах Сибири, Средней Азии, Казахстана, Камчатки, позволили выявить те его черты, знание которых может повысить эффективность прогноза поисков и оценки золотых руд. Объем нашего сообщения не дает возможности в достаточной мере аргументировать здесь приводимые выводы и положения и вынуждает нас лишь сослаться на ранее опубликованные работы. В большинстве своем они обоснованы и проверены на результатах многих тысяч выполненных в нашем Институте наиболее точных ( $\pm 10\%$ ) и высокочувствительных в настоящее время определений золота в породах и минералах нейтронно-активационным с радиохимическим разделением (0,01 мг/т) и атомно-абсорбционным (0,1 мг/т) методами с регулярным эталонированием их на международных и внутренних стандартах.

Итак, основная черта геохимии золота — его неравномерное распределение в породах разного состава и генезиса: наименьшее в графитах, большинстве сланцев, известняков и песчаников (1—2,5 мг/т) и наибольшее при возросшей неравномерности для разных формационных типов в дифференцированных базальтоидах (2—6 мг/т) и гипербазитах (1—30 мг/т), а среди осадочных пород — в некоторых разновидностях углеродистых сланцев и конгломератов (около 10 мг/т и более). В поисковой практике эти содержания следует принимать за региональный фон золота в коренных невыветрелых породах. Особенно резко возрастает неравномерность распределения золота (до 4—5 порядков) в гидротермалитах. В самых ранних и высокотемпературных продуктах кислотного выщелачивания его содержания падают до 0,1 мг/т, в поздних, сформированных близ нейтральными растворами, и в участках развития сульфидной вкрапленности и прожилков они возрастают до сотен миллиграммов и первых граммов на тонну. По мере развития и локализации кварц-сульфидных гидротермалитов с переходом от корневых систем, где за счет малоперемещенного вещества формируются вкрапленно-прожилковые залежи, к метасоматитам, возникшим в результате значительного перемещения материала, и затем к жилам выполнения вплоть до эпитермальных проявлений

жильно-штокверковой апикальной их фации содержания золота возрастают до богатейших руд. Кварц-сульфидный модуль  $Q/S$  увеличивается от 0,1 до 100. В этом процессе прерывистого перераспределения золота и состоит механизм развития зонального строения эндогенных ореолов золота (ореолы рудных полей, месторождений и рудных тел — Н. В. и Н. А. Росляковы, 1975) и все более богатых его месторождений.

Важнейшей чертой регионального размещения золоторудных месторождений нам представляется приуроченность всех «корневых» их фациальных разновидностей, т. е. вкрапленно-прожилковых зон и залежей, а также, видимо, большинства жильных «стволовых» месторождений к полям развития пород с повышенными содержаниями золота. Близповерхностные и наиболее богатые жильно-штокверковые месторождения «апикальной» фации столь четкой приуроченности не обнаруживают. В качестве геохимических критериев фациальной принадлежности золоторудных месторождений наряду с содержаниями золота в рудах и кварц-сульфидными отношениями мы рассматриваем также общие коэффициенты концентрации (ОК) родственных элементов в рудах относительно вмещающих их комплексов пород, нормированные по метеоритному веществу, и общий состав элементов, накапливающихся в рудах совместно с золотом (Щербаков, 1967). В частности, от «корневых» месторождений к «стволовым» и «апикальным» увеличиваются спектр, содержание и доля высококонцентрируемых элементов — серебра, висмута, теллура, сурьмы и других, что служит показателем масштабов процессов их перераспределения и фракционирования в ходе рудообразования (табл. 1). В той же последовательности, а также по мере увеличения дифференцированности состава пород в структурно-формационных зонах, вмещающих оруденение, возрастают абсолютные величины ОК и особенно интервалы их значений в пользу относительно более центробежных элементов (Ц).

О вероятно наибольшей протяженности, а следовательно, о перспективности оруденения на глубину свидетельствует относительно наименьшее изменение значений ОК на разных горизонтах рудного тела. Наконец, следует отметить диагностическое значение при поисках величины ионных плотностей ( $d_i$ ) сопутствующих золоту элементов. В частности, отмечается соответствие ряду понижающихся ионных плотностей последовательности снизу — вверх ряда рудной зональности элементов. Ранее Ю. Г. Щербаковым (1967) отмечалось также диагностическое значение относительной концентрации в золотилах элементов с различной ионной плотностью: в высокотемпературных — преимущественно с плотностью иона большей, чем у золота (меди и молибдена), а в низкотемпературных — меньшей, чем у золота (серебра, сурьмы, теллура, ртути). Сказанного достаточно, чтобы представить себе всю важность, наряду с общим геологическим анализом территории предстоящих поисков, выявления геохимических особенностей ее развития. Под этим подразумеваем выяснение особенностей распределения золота и сопутствующих ему элементов в главных типах пород всех структурно-формационных зон региона и геохимической типизации по ОК и другим параметрам известных на исследуемой площади рудопроявлений и месторождений. С привлечением этих данных должна быть разработана схема последовательного применения комплекса поисковых методов в наиболее рациональных масштабах.

В корях выветривания каолинового типа, развивающихся на породах с региональным фоновым содержанием золота и имеющих как полные, так и сокращенные профили, относительно исходных пород увеличивается не только среднее содержание, но и дисперсия распределения золота. Гипергенно преобразованные породы по содержанию золота богаче материнских разновидностей почти на 50% (вес.). Пересчет весовых содержаний в объемные, учитывающие уменьшение объемного веса пород при выветривании, показывает, что в остаточных корях выветривания

## Связь размещения, форм и состава месторождений золота

Фазы гидротермального рудообразования Морфологические типы руд		Типичные отношения						Элементы, концентрирующиеся в рудах с Au среди разных пород (в порядке повышения)			
		Au руд Au кларк	Содерж. кварца	Содерж. сульфидов	Общий коэффициент концентрации ОК	В числителе ОК для руд, в знаменателе—для исходных пород			$\sigma$ П <sub>1</sub>	$\nu-\alpha-\gamma$ Ca П <sub>1-3</sub>	$\sigma\epsilon-\gamma\rho$ П <sub>1-4</sub>
						$\sigma$	$\nu-\alpha-\gamma$ Ca	$\sigma\epsilon-\gamma\rho$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Апшальская Жильно-пшотверковые		от 10 <sup>5</sup> до 10 <sup>6</sup>	10—100	$\frac{Pb : Zn}{Pb_{\mu} : Zn_{\mu}}$	$\frac{0,01-0,5}{0,03-0,4}$	$\frac{0,1-10}{0,5-4}$	$\frac{1-300}{4-8}$	Cu <sup>+1</sup>	Te <sup>-2</sup>	S	
				$\frac{Co : Ni}{Co_{\mu} : Ni_{\mu}}$	$\frac{0,5-20}{1-3}$	$\frac{20-100}{3-8}$	$\frac{16-800}{3-20}$		P <sup>-3</sup>	As <sup>-3</sup>	
Стреловая Жильные		от 10 <sup>4</sup> до 10 <sup>5</sup>	1—10	$\frac{Co : Ni}{Co_{\mu} : Ni_{\mu}}$	$\frac{0,5-20}{1-3}$	$\frac{20-100}{3-8}$	$\frac{16-800}{3-20}$	Au	Mn	Sc Zn	
				$\frac{Ag : Au}{Ag_{\mu} : Au_{\mu}}$	$\frac{1-30}{3-10}$	$\frac{2-200}{10-25}$	$\frac{3-1000}{10-100}$		Fe	Ag	Sb Cu
								Fe	Au	Te <sup>-2</sup>	
									Fe	Bi <sup>-3</sup> Mn	
									Zn	Hg Co	
									Cu	Ba Mo	
										Mn U	
										Ag Be	
										Au Sn	
										Pb W	
										Fe P	
				$\frac{Pb : Zn}{Pb_{\mu} : Zn_{\mu}}$	$\frac{0,1-1}{0,03-0,4}$	$\frac{0,5-7}{0,5-4}$	$\frac{2-100}{4-8}$	Au	Cu	S	
				$\frac{Co : Ni}{Co_{\mu} : Ni_{\mu}}$	$\frac{0,2-10}{1-3}$	$\frac{1-20}{3-8}$	$\frac{1-100}{3-20}$	Cu	$\frac{Au}{Fe}$	Ba	
				$\frac{Ag : Au}{Ag_{\mu} : Au_{\mu}}$	$\frac{0,5-10}{3-10}$	$\frac{1-20}{10-25}$	$\frac{0,5-100}{10-100}$	Fe	Zn	Au	
								Co	Co	Pb	
								Ni	Ni	Fe	
									Te	Zn	
									Mo	Bi	
									P	Cu	
										As	
										Te	
										UW	
										Mo	



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Коричная	Вкрапленно-прожилковые до сливных колчеданных	$10^3-10^4$	0,1-1	$\text{Pb} : \text{Zn}$	0,4-1,5	1,5-5	3-25	Au	Au	S
				$\text{Pb}_\mu : \text{Zn}_\mu$	0,03-0,4	0,5-4	4-8	Cu	Fe	Ba
				$\text{Co} : \text{Ni}$	0,1-1	0,2-2	2-20	Fe	Zn	Ag
				$\text{Co}_\mu : \text{Ni}_\mu$	1-3	3-8	3-20	Co	Cu	Au
				$\text{Ag} : \text{Au}$	0,1-3	0,2-20	0,3-20	Ni	Co	Pb
				$\text{Ag}_\mu : \text{Au}_\mu$	3-10	10-25	10-100	Cr	Te	Fe
								Rh	Rh	Zn
								Pd	Pd	Cu
								Rn	Rn	As
								Os	Os	
								Pt	Ir	
								Ir	P	
									Pt	

Примечание.  $\mu$  — метеоритное вещество;  $\sigma$  — гипербазиты;  $\nu$  — базальтоиды;  $\alpha$  — андезиты и диориты;  $\gamma$  Ca — гранитоиды с повышенным содержанием кальция;  $\gamma$  — гранитоиды с повышенным содержанием кальция;  $\rho$  — риолиты и дациты;  $\epsilon$  — глинистые сланцы;  $\text{os}$  — осалочные породы. Подчеркнуты элементы с наибольшей (>1000) концентрируемостью в рудах относительно своих кларковых содержаний в главных по распространенности типах пород.

каолинового типа коэффициент концентрации золота (отношение содержания золота в  $1 \text{ м}^3$  выветрелой породы к таковому в исходной породе) всего лишь 1,14. Накопление золота в коре выветривания сопровождается его перераспределением по вертикальному профилю, образуются истощенные и обогащенные им участки с коэффициентами концентрации 0,12 и 8,5 соответственно. Горизонты вторичного золотого обогащения тяготеют к границам зон профиля выветривания. Максимальные концентрации золота в них не превышают 50 мг/т. Эти горизонты при геохимических поисках золотого оруденения могут создавать серьезные помехи, так как представляют собой аномальные участки, генетически связанные с выветриванием пород, содержащих кларковые количества золота. Их можно отнести к группе «ложных» аномалий.

В аллохтонных отложениях региональный фон золота составляет 2,7 мг/т, что на 2,2 мг/т ниже, чем в остаточных корах выветривания каолинового типа.

Высокая чувствительность применяемого нами аналитического метода позволила установить 100%-ную встречаемость золота во всех генетических типах почв, развивающихся за счет пород с кларковым содержанием благородного элемента. В почвах всех ландшафтных зон золото распределяется нормально, а его средние содержания по главным генетическим типам почв варьируют в пределах 1,2-10,6 мг/т (табл. 2, строка 1). Эти средние являются фоном для конкретного региона и типа почв. Большие значения регионального фона свойственны горным почвам ортолювиальных элементарных ландшафтов. Почвы пенеппенизированных областей с покровом аллохтонных отложений характеризуются минимальным региональным фоном. Коэффициенты концентрации золота в генетическом ряду почв безрудных районов возрастают от 0,6 в горно-тундровых до 1,6 в черноземных. В общем цикле почвообразования за пределы почвенного профиля выносятся около 2% золота. Его привнос-вынос по

Распределение золота в почвах и оптимальные условия их опробования при металлометрических поисках золоторудных полей и месторождений

Главные типы почв и примеры	Почвообразующие породы												Оптимальный горизонт опробования почв	
	первичные породы и маломощные рыхлые образования (до 1 м)				маломощные рыхлые отложения (1—5 м) или кора выветривания				рыхлые отложения (5—30 м)					
	$\bar{x}$	$K_K^1$	$K_K^2$	$K_a$	$\bar{x}$	$K_K^1$	$K_K^2$	$K_a$	$\bar{x}$	$K_K^1$	$K_K^2$	$K_a$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Горно-тундровые (Камчатка, Забайкалье, Кузнецкий Алатау)	3,6	0,5				2,5 5,5	0,4 0,04	1,0	0,6					$A_0$
Мерзлотно-таежные (Восточное Забайкалье)	2,4 36,9	0,5 1,4				10,6 48,6	0,4 0,6	4,6	0,3					$A_0$
Горно-таежные дерновые (Восточное Забайкалье)	4,1 13,0	0,6 0,7				6,7 12,2	0,7 0,9	0,7 1,8	0,4					
Подзолистые (Кузнецкий Алатау)	3,4 6,8	0,9 0,5				3,8 7,8	0,8 0,5	2,0	0,3	1,5 2,9	0,6 0,5	2,0	0,2	
Черноземные (Восточное Забайкалье, Западный Алтай, Северный Казахстан)	7,8 11,3	1,6 0,7				3,0 14,7	0,9 0,4	4,9	0,4	1,6 6,2	0,7 0,8	3,9	0,3	$A_2$
Каштановые (Западный Алтай, Центральный Казахстан)	3,1 7,1	1,3 1,8				4,5 7,2	1,6 0,8	1,3	0,4	3,3 5,9	1,8 0,4	1,8	0,3	$B_K$
Серо-бурые, бурые (Южный Казахстан)	3,0 12,8	0,7 0,4				2,0 13,0	0,7 0,3	6,5	0,3	1,8 5,0	0,6	1,4	0,2	$B_T$
Сероземные, слабо закрепленные пески (Средняя Азия)	1,2 19,0	0,1 0,2				1,5	0,8			1,7 6,5	0,2 0,5	4,8	0,2	$B_T$

Примечание.  $\bar{x}$  — среднее содержание золота, мг/г;  $K_K^1$  — коэффициент концентрации — отношение содержания золота в почве к его содержанию в почвообразующей породе;  $K_K^2$  — коэффициент контрастности — отношение содержания золота в ореоле к фоновому;  $K_a$  — коэффициент аномальности — отношение числа аномальных проб к их общему числу; первая строка — региональный фон; вторая — ореолы рудных полей (местный фон).

отдельным генетическим горизонтам почв укладывается в пределах  $\pm 10$  мг/т.

В гипогенных породах, их продуктах выветривания, покровных рыхлых отложениях и почвах безрудных районов золото с элементами, свойственными первичным рудам его месторождений, достоверно не коррелирует.

### ПОИСКИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ЭНДОГЕННЫМ И ЭКЗОГЕННЫМ ОРЕОЛАМ ЗОЛОТА

На фоне региональных кларковых содержаний и в эндогенной, и в экзогенной зонах отчетливо выделяются золотые аномалии, генетически связанные с формированием золоторудных полей и месторождений. По концентрации благородного металла, дисперсии распределения и другим статистическим параметрам аномалии золота нами подразделяются на ореолы: рудных полей, месторождений и рудных тел. Все они имеют важное значение в прогнозировании золотого оруденения по геохимическим данным, так как существует связь между масштабом оруденения и размерами его эндогенных и экзогенных ореолов.

Ореолы рудных полей крупных по запасам месторождений имеют площадь в сотни, средних — десятки и мелких — единицы квадратных километров.

Распределение золота в эндогенных ореолах рудных полей, морфология и генезис их детально нами рассмотрены (Рослякова, Росляков, 1975). Напомним, что для них на порядок относительно регионального фона повышено среднее содержание золота при разбросе частных значений от десятых долей до сотен миллиграммов на тонну. Коэффициент аномальности в общем около 0,75. Золото в эндогенных ореолах рудных полей с рудогенными элементами не коррелирует, поэтому при геохимических поисках золоторудных полей все пробы необходимо анализировать на золото. Чтобы не пропустить рудное поле со средним по запасам золоторудным месторождением, необходимо сеть опробования выбрать из расчета достоверного выявления площади порядка 50 км<sup>2</sup>. При коэффициенте аномальности 0,75 и из расчета установления ореола не менее 30 аномальными точками, свидетельствующими о достоверности ореола, для выявления рудного поля со средним месторождением путем геохимического опробования коренных пород плотность отбора проб должна быть 0,8 точек на 1 км<sup>2</sup> (см. табл. 5). Если литогеохимические поиски ориентируются на выявление рудных полей, включающих крупные по запасам месторождения, то густоту опробования можно разрезать вдвое. Как показывают наши исследования и литературные данные, выборка из 30 проб представительна как для равномерной, так и неравномерной сети опробования.

При поисках золоторудных полей по их ореолам золота в элювии необходимо учитывать следующие особенности распределения благородного металла в корах выветривания, развивающихся за счет эндогенных пород с аномальным содержанием.

На площади золоторудного поля частные содержания золота в элювии колеблются в пределах от 1 мг/т и меньше до первых граммов на тонну при разности содержаний в системе элювий — исходная порода порядка  $\pm 250$  мг/т. Совокупность разных по составу и содержанию золота материнских пород в пределах рудного поля придает мозаичность его распределению в выветрелых продуктах. Наряду с положительными аномалиями в пределах ореола рудного поля присутствуют участки с отрицательными аномалиями и с содержаниями золота на уровне регионального фона. На гистограммах распределения золота в элювии выделяются три области: 1) классы содержаний до 8 мг/т; 2) 10—50 мг/т; 3) более

50 мг/т. По сравнению с исходными породами все три области выражены более отчетливо. Первая свойственна элювию, развитому за счет карбонатных пород. Коэффициент концентрации золота в этом элювии всего лишь 0,3. Вторая и третья области присущи корам выветривания, сформированным за счет силикатных пород рудного поля. Коэффициент концентрации золота в элювии силикатных пород варьирует в пределах 0,3—5,3. Коэффициент корреляции между содержаниями золота в исходной и выветрелой породах равен 0,5—0,7 в неполном профиле и имеет даже отрицательное значение в полном профиле выветривания. Это вызвано тем, что максимумы и минимумы содержаний золота в элювии не совпадают с таковыми в первичных породах.

Довольно специфическим является распределение золота по вертикальному разрезу коры выветривания золоторудных полей. Здесь, как и в корах выветривания безрудных районов, развиваются горизонты вторичного золотого обогащения. Но их особенностью является более высокая и неравномерная концентрация благородного металла, достигающая первых граммов на тонну. Благоприятными для формирования выдержанных по простиранию и представляющих интерес горизонтов вторичного золотого обогащения являются золоторудные поля с мощной корой выветривания на силикатных породах и мощными (более 10—15 м) аллохтонными отложениями. При отсутствии одного из этих факторов перспективы обнаружения заслуживающих внимания горизонтов вторичного золотообогащения снижаются. Наиболее значимый горизонт локализуется в основании профиля выветривания.

Присутствие в элювии горизонтов, обогащенных золотом, требует изменения существующей методики опробования скважин. В настоящее время при поисках и геологическом картировании в закрытых районах геохимическому опробованию подвергаются главным образом коренные породы. Рыхлые отложения, включая дезинтегрированные продукты кор выветривания, опробуются спорадически, в силу чего пропускаются горизонты вторичного золотого обогащения.

Аллохтонные отложения золоторудных полей тоже заражены золотом. При их мощности в пределах 10—30 м коэффициент аномальности золота 0,2. В аномальных участках максимальные концентрации рассматриваемого элемента достигают 100 мг/т, минимальные — 0,2 мг/т. В целом аллохтонные отложения золоторудных полей в 2—3 раза богаче золотом по сравнению со своим аналогом безрудных районов. В лесах содержится золота 9,5 мг/т, в суглинках — 6,7 и в глинах — 4,2 мг/т.

Распределение золота в почвах золоторудных полей контролируется его концентрацией в почвообразующих породах и их составом. Усредненные содержания золота по типам почв приведены в табл. 2 (вторые строки). В условиях орто-и параэлювиальных элементарных ландшафтов в почвах всех генетических типов распределение золота не аппроксимируется нормальной функцией. Вариационная кривая его концентраций имеет два максимума. Один находится в области 1—2 мг/т и идентичен почвам безрудных районов, другой охватывает классы содержаний золота, равные 8—20 мг/т, и свойствен только почвам золоторудных полей. Количество таких проб на площади золоторудного поля составляет 30—60%. Почти для всех типов почв пара-и ортоэлювиальных ландшафтов золоторудных полей коэффициент концентрации золота меньше 1. Золото накапливается в почвах лишь в том случае, когда они образованы за счет пород с околокларковым его содержанием. Достоверной корреляционной связи золота в системе почва — почвообразующая порода не наблюдается, но площади распределения аномальных концентраций совпадают. Повышенные содержания золота несколько смещены по склону относительно своего источника. Принимая параметры ореолов золоторудных полей в почвах и почвообразующих породах идентичными и учитывая

присущие конкретному типу почв коэффициенты аномальности (см. табл. 2), можно считать, что с целью поисков золоторудных полей металлометрической съемкой в условиях орто-и параэлювиальных элементарных ландшафтов густота опробования должна составлять 1,1—1,3 точки на 1 км<sup>2</sup> из расчета подсечения ореола 30 аномальными точками.

Почвы золоторудных полей, развивающиеся в условиях неоэлювиальных элементарных ландшафтов, особенно когда аллохтонные отложения имеют мощность 20—30 м, обычно характеризуются нормальным распределением золота с модой в области 4 мг/т. Его среднее арифметическое содержание по типам почв колеблется в пределах 2,9—6,5 мг/т. Коэффициент концентрации в целом по ландшафту равен 0,5 при разбросе по типам почв от 0,4 до 0,8. По данным 278 разрезов установлено, что на долю аномальных проб приходится порядка 25%. Аномалии рудного поля слабо контрастные. Средние содержания золота в почвах рудных полей в 1,4—4,8 раза выше регионального кларка. Поэтому при металлометрических поисках золоторудных полей, перекрытых мощным чехлом аллохтонных отложений, необходимо применять высокочувствительный аналитический метод определения золота, а сеть опробования сгущать до 2,4 точек на 1 км<sup>2</sup>.

При интерпретации слабо выраженных аномалий золота в почвах золоторудных полей неэлювиальных элементарных ландшафтов следует учитывать наличие корреляционных связей золота с медью, свинцом и некоторыми другими элементами первичных руд, чего не наблюдается для аналогичных почв безрудных районов.

Ореолы месторождений по сравнению с ореолами рудных полей характеризуются более контрастным содержанием и дисперсией распределения золота в эндогенной и экзогенной зонах. Площадь эндогенных ореолов золота у крупных месторождений составляет около 10 км<sup>2</sup>, у средних — 3—5 и у мелких — менее 1 км<sup>2</sup>. Поскольку ореолы месторождений находятся в пределах ореолов рудных полей, для их выделения за фоновые содержания золота следует принимать наиболее вероятные значения элемента в последних — 10—40 мг/т. Содержания, превышающие эти величины, в ореолах месторождений жильной формации составляют от общего числа проб 1/3, а месторождений штокерковых, прожилково-вкрапленных и других сложных морфологических типов — 1/2. Следовательно, при поисках средних по запасам золоторудных месторождений по их эндогенным ореолам золота площадью 3 км<sup>2</sup> густота точек опробования составит (см. табл. 5): при поисках жильных месторождений — 30 точек на 1 км<sup>2</sup>, минерализованных зон — 20 точек на 1 км<sup>2</sup>.

В ореолах месторождений золото имеет прямую корреляционную связь со многими элементами, которые сопутствуют ему в первичных рудах.

На фоне ореолов месторождений ореолы отдельных рудных тел проявляются в виде положительных и отрицательных аномальных зон. Установлено, что чем выше содержание золота в околорудном пространстве и чем контрастнее выражена здесь зональность ореолов, тем, при прочих равных условиях, богаче и крупнее рудное тело, которое они окаймляют. Совокупность положительных и отрицательных составляющих ореола рудного тела определяет его суммарную величину (табл. 3), исходя из которой выбирается густота точек литогеохимического опробования. Так, при поисках жильных рудных тел по их эндогенным ореолам в габбро сеть опробования должна быть 2 × 50 м, в порфиритах и сланцах — 5 × 50, в гранитах и гранодиоритах 20 × 50 м. При поисках рудных тел в минерализованных зонах опробование можно проводить по сетке 150 × 150 м. Во всех случаях необходимо обращать внимание как на положительные, так и на отрицательные ореолы золота.

Литогеохимические и металлометрические поиски эффективны и в стадии эксплуатации действующих месторождений с целью обнаружения

Ширина ореолов золота относительно одного бока рудных тел

Морфология рудных тел	Вмещающие породы	Ширина ореола, м		
		экзоконт- ного отрица- тельного	положи- тельного	внешнего от- рицательного
Жилы	Габбро	0,5	2	45
	Порфириды, сланцы	0,5	5—10	50
	Габбро-диориты	1,0	20	50
	Граниты, гранодиориты	2,0	20	50
	Алевриты, песчаники	1,5—3,0	6	20
Прожилково- вкрапленные руды	Песчаники, алевриты	3,5	15	20
	Гранодиориты	10,0	200	Не изучен
	Порфириды	35,0	40	»
Залежи	Граниты, гранодиориты	10,0	200	»
Линзы	Скарны	1,0	3	10

рудных тел, не подсеченных горными выработками или смещенных тектоническими нарушениями. По распределению элементов в околорудноизмененных породах и тектонических структурах предоставляется возможность по бедным подсечениям предсказывать близость золоторудных столбов, интерпретировать пережимы рудных тел и искать их смещенные части (Росляков, Звягин, 1972).

При крупномасштабных металлометрических поисках, ориентированных на выявление месторождений и рудных тел, необходимо учитывать перераспределение золота по почвенному профилю. В хорошо дифференцированных почвах золотом всегда более обогащен или иллювиальный, или гумусовый горизонт. В пробу следует включать не только фракцию крупнее 0,25 мм, как это рекомендуется рядом исследователей (Крицук, Квятковский, 1966; Кечек и др., 1967), но и фракцию мельче 0,07 мм. Крупной фракцией выявляются механические ореолы рассеяния золота, тонкой — солевые. С увеличением мощности аллохтонных отложений и аридности климата роль солевых ореолов возрастает (Росляков и др., 1975).

В заключение отметим, что при благоприятных геологоструктурных и геохимических условиях устойчивость по вертикали месторождений минеральных парагенезисов, температур гомогенизации и состава растворов включений (прежде всего продуктивной минеральной ассоциации), интенсивности термолюминесцентного свечения кварцев разных генераций, содержания золота в мономинералах разных генераций, отношений геохимически родственных элементов как в целом в рудах, так и в отдельных минералах и типах пород является указателем большой протяженности оруденения на глубину. Так, температуры гомогенизации включений в жильных кварцах, равные 250—150 (100)°С, служат поисковым критерием на промысленные концентрации золота. Устойчивость этих температур в вертикальном интервале месторождения около 1000 м при прочих благоприятных условиях позволяет прогнозировать протяженность золотого оруденения на глубину еще не менее 1000 м, повышение же их примерно на 50°С в интервале 300—400 м такую возможность исключает.

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДАННЫХ ПО РОССЫПЯМ И ШЛИХО-ГЕОХИМИЧЕСКОМУ ОПРОБОВАНИЮ

Существенное место в комплексе поисков и прогноза золотого оруденения занимает анализ данных по россыпной золотоносности, что в определенной мере связано с относительно высокой изученностью золотоносных россыпей. Важно, что многие данные для этого могут быть получены без дополнительных объемов буровых и горных работ, по фондовым и архивным материалам, а также путем изучения самородного золота.

Основной вопрос при этом — определение дальности сноса золота. Известно, что она обуславливается многими факторами (Нестеренко, 1977; и др.). Ю. Н. Трушков, Э. Д. Избеков и А. И. Сергеенко (1975) дают следующую формулу зависимости дальности сноса ( $S$ ) от уровня эрозионного среза коренного источника ( $H$ ), количества эрозионных циклов ( $n$ ), скорости движущегося потока ( $c$ ), уплощенности золотин ( $u$ ), их гидравлической крупности ( $V$ ), диаметра ( $Q$ ) и толщины ( $T$ );

$$S = \frac{H}{n} \sqrt{\frac{c}{V}} = \frac{H}{n} \sqrt{\frac{cV}{120Q}} = \frac{H}{n} \sqrt{\frac{c}{120T}}$$

Определенное влияние на дальность сноса оказывают также глинистость потока и характер плотика. Определение примерного положения питающих россыпь источников возможно по характеру распределения золота в долине и изменения его крупности, окатанности и уплощенности. Это осуществляется путем построения карт и продольных графиков линейной продуктивности долин (линейных запасов), т. е. количества золота в единице длины россыпи, и карт вертикальных запасов (струйчатости) — количества золота на квадратный метр россыпи. Окатанность, форма и крупность золота изображаются на картах либо на графиках. Анализ этих данных показывает, что золотоносная россыпь нередко имеет сложное строение и состоит из нескольких более простых россыпей. От «головы» простой россыпи к ее «хвосту» возрастают окатанность и уплощенность золота и уменьшается его крупность. Более показательна в данном случае гидравлическая крупность золотин, которая определяется главным образом их массой и толщиной. Данные по толщине россыпного золота можно получить путем расситовки на щелевых ситах либо непосредственным замером золотин под биноклем. Проведенное нами в некоторых золотоносных районах юга Сибири определение положения коренных источников показало достаточно высокую эффективность методики, основы которой разработаны Ю. Н. Трушковым и др. (1975).

Несколько слов о применимости шлихо-геохимического опробования и его достоинствах. Шлиховое опробование, ранее широко применявшееся при поисках золотого оруденения, в последние десятилетия несколько оттесняется геохимическими методами. Однако полностью заменить шлиховое опробование геохимические методы не могут, так как оно обладает тем преимуществом, что с его помощью можно обнаружить, причем непосредственно в поле в процессе отмывки шлиха, концентрации более крупного самородного золота. В аридных условиях шлих можно получать путем удаления легкой фракции провеиванием.

Шлихо-геохимический метод, т. е. получение шлиха, извлечение самородного золота и последующее определение содержания невидимой составляющей золота, связанной с минералами тяжелой фракции, отличается от геохимического повышенной чувствительностью, поскольку часто главными концентраторами невидимого золота являются именно минералы тяжелой фракции. Как показало проведенное нами опробование элювиально-делювиальных и аллювиальных отложений в ряде золотоносных районов Забайкалья и Енисейского края, содержание золота в тяжелой фракции шлихов в среднем на порядок превышает таковое в легкой фракции (табл. 4). Шлихо-геохимическое опробование должно проводиться

Таблица 4

Содержание золота в тяжелых и легких фракциях шлихов (г/т) некоторых золотоносных районов Сибири (атомно-абсорбционный анализ, аналитик — В. Г. Цимбалист)

№ участка*	№ пробы	Тип опробуемых отложений	Содержание золота		№ участка	№ пробы	Тип опробуемых отложений	Содержание золота	
			в тяжелой фракции	в легкой фракции				в тяжелой фракции	в легкой фракции
I	203	el—dl **	13,5	3,8	II	251	all	17—0,3	0,6—0,03
	205	el—dl	90,6	10,5		253	all	13,6	5,4
	207	el—dl	80,0	9,0		257	all	38,8	0,03
	208	el—dl	50,0	1,9		262	all	17,2	0,8
	214	el—dl	87,4	5,1					
II	213	all	38,0	8,6	III	270	all	14,0	0,01
	218	dl	22,4	2,6		299	all	8,5	0,03
	219	el	1,8	12,4		302	all	0,1	0,02
	238	all	21,8	0,01		308	all	11,6	0,2
						318	dl	2,2	0,06

\* Участки I и II расположены в Забайкалье, III — на Енисейском кряже.

\*\* all — аллювиальные, dl — делювиальные, el—dl — элювиально-делювиальные отложения.

попутно с систематическим геохимическим опробованием, но по более редкой сети. При поисках золотого оруденения в районах, перекрытых мощным чехлом рыхлых аллювиальных отложений, шлихо-геохимическому опробованию целесообразно подвергать все пробы (скважин, горных выработок), поднятые с основания рыхлого чехла.

#### ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД

Результаты гидрогеохимических исследований (около 1000 проб) показали, что золото устанавливается в водах всех природных ландшафтов. Исключение составляют содовые щелочные (рН около 10,5) воды озер Кулундинской степи, где его содержание ниже чувствительности аналитического метода, т. е. ниже 0,001 мкг/л. Наиболее высокие региональные фоновые содержания золота отмечены в водах пустынно-степных ландшафтов Казахстана (0,01 мкг/л), наиболее низкие — в водах тундровых ландшафтов Чукотки и таежных Енисейского кряжа (0,002 мкг/л).

В пределах золоторудных полей содержание и дисперсия распределения золота по сравнению с региональными фоновыми возрастают обычно в пределах одного порядка, а на площадях отдельных месторождений — до двух порядков. Частные его концентрации при этом достигают десятых долей и целых микрограммов на литр соответственно. Аномальные содержания золота в водах обыкновенно не образуют выдержанных потоков рассеяния. Коэффициент аномальности в водах рудных полей и месторождений не превышает 0,2—0,3, что, по нашему мнению, связано с большой чувствительностью золота к изменению среды миграции в зоне гипергенеза. Вместе с тем П. А. Удодов и др. (1974) отмечали на ряде месторождений его выдержанные протяженные (до 0,5—1 км) водные потоки рассеяния. По-видимому, это связано с какими-то исключительно благоприятными условиями его сохранения в исследуемых ими водах.

Полученные нами данные показывают, что микрокомпоненты в водах и донных осадках, включая образуемые ими ореолы и потоки рассеяния, постоянно находятся в динамическом равновесии (Воротников и др., 1972; Воротников, Росляков, 1973). Поэтому для повышения эффективности поисков мы считаем целесообразным обычную гидрогеохимическую



Густота точек опробования при геохимических методах поисков средних по масштабам месторождений золота

Масштаб работ	Площадь поисков	Объект поисков	Число проб на 1 км <sup>2</sup>					
			1	2	3	4	5а	5б
1 : 1 000 000	Рудная провинция (район)	Рудный узел	0,5	0,3	0,1	0,2	0,3	0,5
1 : 100 000	Рудный узел (зона)	Рудное поле	2,4	1,5	0,6	0,8	1,2	2,4
1 : 10 000	Рудное поле	Месторождение	40	26	10	20—30	25	33
1 : 1000	Месторождение	Рудное тело	Сетка 2×50—150×150 м					

Примечание. Методы поисков: 1 — гидрогеохимический; 2 — по донным осадкам; 3 — штихо-геохимический; 4 — литогеохимический по коренным породам; 5 — металлометрический по почвам (а — при мощности рыхлых отложений до 5 м; б — 5—30 м).

съемку сопровождать параллельным опробованием иловатых донных осадков во всех исследуемых водопроявлениях, тем более, что золото в донных осадках рудных полей и месторождений, по сравнению с водами, образует более выдержанные и протяженные ореолы рассеяния (Воротников и др., 1973). Концентрации его в этом случае колеблются в пределах десятков и сотен миллиграммов на тонну соответственно при регионально-фоновых около 1—2 мг/т.

Таким образом, для выявления гидрогеохимическим методом золоторудного поля (при среднем коэффициенте аномальности золота в водах рудных полей и месторождений 0,25) густота отбора проб воды должна быть около 2,4 точки на 1 км<sup>2</sup>, а для выявления месторождения — 40 точек на 1 км<sup>2</sup> (табл. 5). Опробование донных осадков можно было бы проводить более разреженно (соответственно около 1,5 и 15 точек на 1 км<sup>2</sup>), но, учитывая возможность получения важной дополнительной информации при одновременном отборе проб вод и донных осадков, их обычно отбирают с одинаковой густотой.

При поисках золотого оруденения гидрогеохимическим методом для получения более надежных результатов в пробах вод и донных осадков, кроме золота, необходимо определять его элементы-спутники, спектр которых зависит не только от состава руд, но и от объекта поисков, степени его окисленности и других факторов (Воротников и др., 1972; Воротников, Росляков, 1973). Так, при проведении мелко- и среднемасштабных поисков рудных полей и месторождений в условиях расчлененного эродированного трансэлювиального ландшафта, в пределах которого золоторудные выходы обычно слабо окислены, спектр элементов представляется преимущественно халькофильными спутниками золота в рудах: As, Mo, Ag, Zn, Cu, Pb.

В обстановке выровненного элювиального ландшафта независимо от гипсометрического положения опробываемой площади золоту обычно сопутствуют элементы, более характерные для вмещающих пород. Это в основном V, Ti, Al, Ga, Zr, Mn, Gg и другие литофилы. Это связано с тем, что рудные выходы интенсивно преобразованы гипергенными процессами, а халькофильные элементы из них в значительной мере вынесены.

На площадях, где возможное золотое оруденение перекрыто аллохтонными отложениями большой мощности (свыше 20—30 м), основное внимание следует уделять подземным трещинным водам рудоконтролирующих структур, в которых совместно с золотом в заметно повышенных количествах находятся его халькофильные спутники.

При проведении крупномасштабных гидрогеохимических исследований, включая опробование подземных вод, вскрываемых подземными горными выработками на действующих рудниках с целью обнаружения золоторудных тел, возрастает роль элементов-спутников золота, обладающих относительно меньшей миграционной способностью, таких как Bi,

W, Sb, Sn, Li, Yb, Sc и др. Это необходимо иметь в виду и при интерпретации выявленных гидрогеохимических аномалий.

При мелкомасштабных поисках золоторудных провинций и узлов целесообразно тщательное опробование бассейнов конечного сноса речных систем, дренирующих обширные площади.

#### ЛИТЕРАТУРА

Воротников Б. А., Росляков Н. А. Районирование Кузнецкого Алатау по применимости геохимических методов поисков золоторудных месторождений.— «Зап. Заб. фил. Геогр. о-ва СССР», Чита, 1973, вып. 88.

Воротников Б. А., Нестеренко Г. В., Чернов В. Г. Схема районирования Алтая по условиям формирования вторичных ореолов рассеяния сульфидных месторождений и применимости геохимических методов поисков.— В кн.: Геохимия и условия образования руд золота и редких металлов. Новосибирск, «Наука», 1972. (Тр. ИГиГ СО АН СССР, вып. 149).

Воротников Б. А., Николаева Н. М., Пирожков А. В. О формах нахождения золота в водах Южно-Енисейского района.— «Гесл. и геофизика», 1973, № 11.

Кечек Г. А., Седова В. И., Горельшев А. В. Поиски месторождений золота.— В кн.: Геология, закономерности и методы изучения месторождений золота. Вып. 76. М., ЦНИГРИ, 1967.

Крицук И. Н., Квятковский Е. М. Распределение металлов в различных классах и фракциях деловальных ореолов месторождений Восточного Забайкалья.— «Зап. ЛГИ», 1966, т. 1, вып. 2.

Нестеренко Г. В. Пропехождение россыпных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1977.

Росляков Н. А., Звягин В. Г. Геохимические поисковые критерии золото-сульфидных жил.— В кн.: Проблемы образования рудных столбов. Новосибирск, «Наука», 1972.

Росляков Н. А., Радостева Н. Е., Цимбалист В. Г. К методике геохимических поисков золоторудных месторождений, перекрытых лессами.— В кн.: Методика и техника поисков рудных месторождений. Фрунзе, «Илим», 1975.

Росляков Н. А., Поликарпович В. В., Нестеренко Г. В., Удодов П. А., Шварцев С. Л., Гапон А. Е., Шергин Б. В., Мельникова Р. Д. Золото в гипергенных процессах.— В кн.: Условия образования и размещения золоторудных месторождений Сибири. Новосибирск, «Наука», 1975.

Рослякова Н. В., Росляков Н. А. Эндеогенные ореолы месторождений золота. Новосибирск, «Наука», 1975.

Трушков Ю. И., Избеков Э. Д., Сергеев А. И. Поиски и опыт реконструкции коренных источников золота по разведанным россыпям. Якутск, 1975.

Удодов П. А., Шабынин Л. Л., Расказов Н. М., Шварцев С. Л., Шубин Г. В. Опыт применения гидрогеохимического метода поисков золоторудных месторождений в Сибири и Средней Азии.— «Зап. Заб. фил. Геогр. об-ва СССР», Чита, 1974, вып. 102.

Щербаков Ю. Г. Распределение и условия концентрации золота в рудных провинциях. М., «Наука», 1967.

Щербаков Ю. Г. Источники вещества и типизация месторождений золота в связи с их прогнозом, поисками и оценкой.— В кн.: Природа растворов и источники рудообразующих веществ эндогенных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980.

---

*С. В. Григорян, В. С. Воронов*  
(ИМГРЭ)

### РОЛЬ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ

Повышение эффективности геохимических исследований связано, с одной стороны, с совершенствованием арсенала научно-методических средств, с другой — с решением организационно-технических проблем, возникающих при реализации современных научных разработок в практику.

Основой геохимических поисков является обнаружение геохимических ореолов, составляющих единое пространственное тело с искомым рудным образованием. Ореольное пространство отличается от окружающего геологического пространства набором элементов и их содержаниями. Методическими исследованиями последних лет (Григорян, 1974; Беус, Григорян, 1975) установлены закономерности как качественного состава ореольного пространства, так и количественных соотношений элементов-индикаторов для ореолов вокруг рудных тел различных формаций. Кроме того, имеются многочисленные исследования по применению для обработки геохимических данных современных математических методов, начиная от использования простейших статистических характеристик выборок до комплекса средств теории распознавания образов. Применение современных научно-методических разработок значительно повысило эффективность геохимических исследований, однако широкое внедрение этих методов в производство сталкивается с трудностями сугубо технического характера — с невозможностью своевременно обработать старыми традиционными средствами огромный, с каждым годом возрастающий поток геохимических данных.

Комплексное решение проблемы эффективной организации геохимических поисков возможно только в рамках автоматизированной системы обработки данных с использованием средств вычислительной техники, аппаратуры связи и оргтехники.

Автоматизированная система обработки данных при геохимических поисках полезных ископаемых (АСОД-ГППИ), разрабатываемая в ИМГРЭ, призвана решать следующие задачи:

1) ввод, накопление и хранение геохимических данных по наиболее полно изученным в геохимическом плане месторождениям твердых рудных полезных ископаемых, принимаемых за эталоны;

2) поиск информации во всем множестве хранимых данных и формирование массивов по любому набору признаков;

3) обработка информации по эталонным объектам с целью отыскания методики, позволяющей оценить перспективность аномальных геохимических полей вплоть до оценки запасов;

4) ввод, накопление, хранение и обработка вновь поступающей геолого-геохимической информации с использованием эталонных геохимических характеристик с целью выяснения перспективы рудоносности исследуемых объектов.

Конечная цель функционирования АСОД-ГППИ — повышение эффективности геохимических методов поисков месторождений рудных полезных ископаемых, которое может быть достигнуто за счет:

1) повышения точности и надежности аналитической информации, используемой в качестве первичной практически на всех стадиях геохимических поисков;

2) ускоренной обработки значительных объемов исходной информации по различным обрабатываемым программам;

3) внедрения в практику новейших научно-методических разработок по обработке данных, реализация которых вне рамок АСОД практически невозможна;

4) резкого сокращения промежутка времени от получения первичных аналитических данных до получения результатов обработки и тем самым сокращения сроков интерпретации геолого-геохимической информации.

Следует остановиться на некоторых важных особенностях функционирования (рис. 1) и технических средствах (рис. 2) АСОД-ГППИ. На обобщенной схеме сбор и подготовка информации представлены блоками — геологическое опробование, анализ проб, подготовка данных. В этап подготовки данных предполагается перенос геохимической информации с бланков результатов анализа по единой форме на машинные носи-

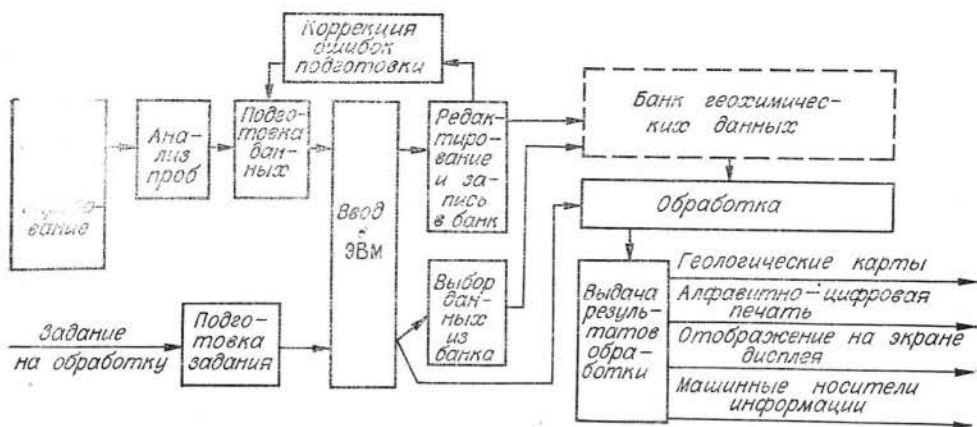


Рис. 1. Обобщенная схема функционирования АСОД-ГППИ.

тели (телеграфная перфолента, перфокарты). Причем возможен как прием данных по линиям связи, так и подготовка перфоносителей на местах. Кроме значений содержаний химических элементов в пробе, вводится необходимая сопроводительная информация — названия месторождений, интервалы опробования, координаты, названия пород и т. д. В целях повышения степени автоматизации всего процесса обработки геохимической информации предусматривается ввод в ЭВМ результатов измерений, полученных при анализе проб с последующей обработкой этих результатов (вычисление концентраций) на ЭВМ. Для решения этой задачи предполагается оснащение различного рода анализаторов (квантометры, многоканальные импульсные анализаторы и т. д.) преобразователями результатов в машинные сигналы и устройствами выдачи результатов на машинные носители. Возможен также вариант непосредственной стыковки анализаторов и ЭВМ с помощью соответствующей аппаратуры связи. Для автоматизации ввода информации со спектрометров в комплект устройств ввода должны быть включены устройства, выполняющие автоматическое фотометрирование пластинок с результатами спектрального анализа и обеспечивающие непосредственный ввод считанной информации в ЭВМ.

Содержательная обработка геохимической информации начинается с подготовки задания на обработку, которое содержит информацию, необходимую для поиска и выбора данных из банка данных (название месторождения, шифры проб и т. д.), перечень обрабатываемых программ и

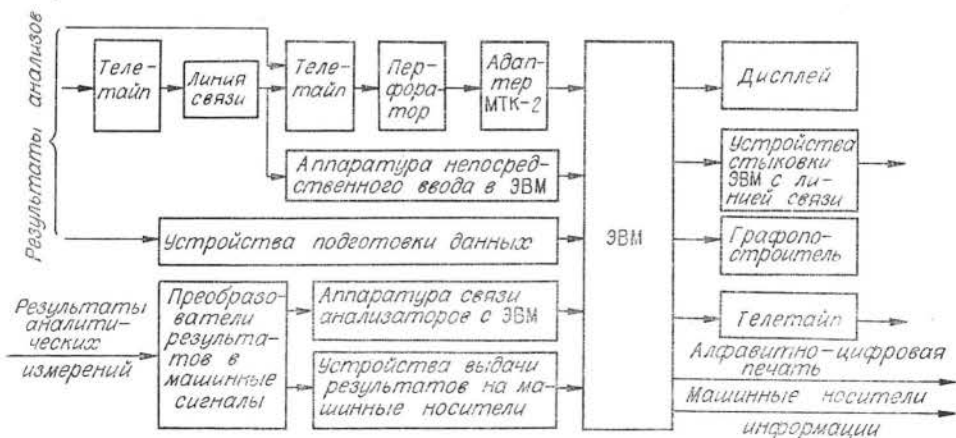


Рис. 2. Структура технических средств АСОД-ГППИ.

информацию о форме выдачи результатов обработки. Вся многообразная содержательная переработка геохимической информации должна осуществляться с помощью вычислительной машины по разработанным в рамках АСОД программам. Результаты обработки выдаются либо в алфавитно-цифровом виде на печатающее устройство (УЦПУ), либо на графопостроитель в виде карт, графиков, разрезов и т. д., т. е. в форме, удобной для последующей геологической интерпретации. Принимая во внимание тенденции развития вычислительной техники в стране и задачи внедрения ЭВМ в отрасли (Игrevский, 1973), решено как техническую базу АСОД использовать ЭВМ Единой Системы (ЕС-ЭВМ), обладающие широкой номенклатурой устройств ввода информации (перфоленга, перфокарта, магнитная лента), достаточным быстродействием и объемом оперативной памяти, разнообразием внешних запоминающих устройств, дающих возможность накапливать практически бесконечные объемы информации (магнитные ленты и диски), представительным набором и возможностями подключения устройств выдачи информации, включая графопостроители, дисплеи и линии связи.

Математическое обеспечение ЕС-ЭВМ включает богатый выбор операционных систем, систем программирования и разнообразные пакеты прикладных программ, использование которых значительно сокращает затраты на программирование задач АСОД.

Первая очередь АСОД-ГППИ, которая была сдана в эксплуатацию в марте 1976 г., в настоящее время состоит из следующих основных частей:

- 1) подсистема ввода и накопления геохимических данных (первая очередь АИПС);
- 2) программа «Мультипликативные отношения»;
- 3) комплекс «Статистика»;
- 4) комплекс «Ряд — Мульти — Карта»;
- 5) комплекс «Ассоциация — Профиль»;
- 6) комплекс «Аналитика».

В подсистеме ввода реализована идея унифицированного представления геохимических данных на внешних магнитных накопителях ЭВМ (магнитные диски, магнитные ленты). Подготовка данных выполняется со стандартных бланков результатов анализа по единой инструкции либо на перфокартах, либо на телеграфной перфоленге. Для обеспечения ввода перфоленг с использованием полного алфавита кода МТК-2 подключаемое фотосчитывающее устройство FS-1501 к устройству ЕС-6022 осуществляется через адаптер МТК-2, разработанный в ИМГРЭ. Адаптер необходим для ввода «нулевого байта», являющегося признаком перехода на русский алфавит. Программы ввода выполняют необходимые процедуры перекодировки, редактирования, выявления ошибок подготовки и записывают данные на магнитную ленту. Для оперативной работы данные передаются на накопитель на магнитных дисках в стандартной форме представления. Все обрабатывающие программы используют для обработки только геохимические данные, накопленные на магнитных дисках.

Программа «Мультипликативные отношения» выполняет расчет коэффициентов зональности любого вида, заданного пользователем. Один раз введенные геохимические данные могут быть использованы для расчета различных вариантов мультипликативных отношений.

Комплекс программ «Статистика» осуществляет расчет простейших статистических параметров (средняя, дисперсия, стандарт, коэффициент вариации, коэффициенты парной и ранговой корреляции).

Комплекс программ «Ряд — Мульти — Карта», составленных в 1977 г. Г. Л. Рубо, С. И. Ашкинадзе и другими, полностью реализует принятую в настоящее время методику обработки геохимических данных. Программы «Ряд — Мульти — Карта» осуществляют следующие операции: 1) расчет показателей зональности ореолов на разрезе для заданных пересечений (уровней) ореола и заданного набора элементов; 2) построе-

ние графиков изменения показателей зональности по разрезу для каждого элемента; 3) построение ряда зональности по показателям зональности; 4) выбор из ряда зональности заданного числа элементов, расположенных в противоположных концах ряда, и расчет по ним индикаторных мультипликативных и аддитивных отношений в каждой точке опробования исходного массива информации; 5) построение графиков изменения индикаторных отношений по разрезу; 6) выбор наиболее мультипликативных и аддитивных отношений, расчет и выдача на печать этих отношений по каждой пробе разреза, запись рассчитанных отношений на диск для последующей обработки.

Все эти операции могут быть выполнены в двух вариантах:

- а) с использованием линейных продуктивностей ореолообразующих элементов;
- б) с использованием только длин участков с аномальными содержаниями.

Программа «Карта» предназначена для построения карты по значениям мультипликативных отношений, полученным в результате обработки геохимической информации по программе «Ряд». Разрез или план поверхности с опробованными выработками заключается в квадрат, по которому программа рисует карту. Карта получается в результате печати 80 строк и 120 столбцов различных символов на АЦПУ. Границами между областями, забитыми этими символами, являются изолинии.

Комплекс программ «Ассоциация — профиль», разработанных в 1975 г. В. Н. Бондаренко и А. Л. Верховской, состоит из трех программ. Первая программа анализирует исходный массив геохимических данных для выявления части массива, представляющей фоновую совокупность для данных условий (типа пород, региона), оценки параметров фона (среднефоновое значение, дисперсии), вычисления порога аномальности заданного уровня значимости. Алгоритм построен на интеграционном подборе функции плотности, аппроксимирующей фоновую совокупность. Параметры фона оцениваются после исключения аномальных значений, практически всегда присутствующих в анализируемом массиве.

Вторая программа предназначена для выделения и оконтуривания аномалий в условиях опробования по профилям (геохимические поиски крупного масштаба). В результате счета на печать выдается перечень обнаруженных аномалий и перечисление ряда элементов-индикаторов, а также изменений этого ряда в пределах выявленного ореола. Значения отношения ореольной концентрации элемента к порогу аномальности позволяют сформировать ряд контрастности для каждого участка ореола и характеризуют его зональность. Программа построена на логических процедурах, моделирующих последовательность действий геолога-геохимика. Выделение ассоциаций при обработке данных площадного опробования (геохимические поиски среднего масштаба) осуществляется с помощью третьей программы, основанной на модифицированном методе главных компонент. Алгоритм известного метода главных компонент приспособлен для решения задачи геохимических поисков заменой матрицы ковариаций на матрицу коэффициентов вариации. В результате вычислений по программе выделяются ассоциации геохимических элементов и определяется их положение на площади.

Комплекс программ «Аналитика» включает три программы. Первая выполняет расчет концентраций элементов в пробе по измерениям нейтронно-активационного анализа. Спектрометрическая аппаратура, применяемая при анализе, позволяет фиксировать спектр на перфоленте, т. е. на носителе, пригодном для ввода в ЭВМ. Подпрограмма ввода спектров выполняет ввод перфоленты и накопление данных на магнитных дисках.

После ввода группы проб, включающей как исследуемые геохимические пробы, так и эталоны, по результатам обработки эталонных спектров вычисляются концентрации элементов в исследуемых пробах. На одном

пакете магнитных дисков может быть накоплено до 1600 спектров. Возможность накопления и хранения спектров обеспечивает быстрый доступ и многократную обработку, что особенно важно при исследовательских работах по разработке новых методик анализа.

Вторая программа комплекса выполняет расчет концентраций элементов при рентгенорадиометрическом анализе. Программа аналогична предыдущей, так как результаты измерения также выдаются на перфоленту, но в этой программе учитывается более сложный характер наложения отдельных линий спектра.

Третья программа является первым вариантом программы для обработки результатов измерений при спектральном анализе на квантометре ДФС-36. Программа находится в опытной эксплуатации.

За два года эксплуатации первой очереди АСОД-ГППИ выполнена обработка около 300 тыс. геохимических проб, что несомненно повело к повышению эффективности геохимических поисков и дало существенный экономический эффект. Опытная эксплуатация первой очереди системы показала правильность принятой методики и этапности в создании АСОД-ГППИ. Принятая модульная конструкция системы позволяет и дальше легко развивать структуру технических средств и наращивать состав обрабатывающих программ.

#### ЛИТЕРАТУРА

Беус А. А., Григорян С. В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М., «Недра», 1975.

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

Игrevский В. И. Основные принципы построения автоматизированной системы управления АСУ — Геология. — «Сов. геология», 1973, № 1.

---

В. З. Фурсов  
(ИМГРЭ)

### ГЛУБИННОСТЬ ГАЗОРТУТНОГО МЕТОДА ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

«Дыхание» месторождения различными газовыми компонентами начинается с момента образования и продолжается до полного его разрушения. Здесь рассматривается «дыхание» месторождения только одним элементом — ртутью, которая по своим физико-химическим и геохимическим особенностям стоит в первом ряду самых важных индикаторов, используемых при геохимических поисках глубокозалегающих рудных месторождений.

В процессе миграции от рудных тел и первичных ореолов к поверхности земли ртуть в виде многообразных соединений в газовой и жидкой фазах значительно сорбируется перекрывающимися отложениями, образуя наложенные вторичные ореолы рассеяния широкого спектра сорбированных форм. Другая составляющая часть ртути (газообразная форма) идет на образование окклюдированных и свободных паров ртути в горных породах и почве, а также на формирование ореолов рассеяния в атмосфере.

Таким образом, над глубокозалегающими месторождениями, особенно сульфидного состава, образуются многообразные ореолы рассеяния ртути, среди которых имеющиеся данные позволяют выделить следующие типы: 1) первичные; 2) вторичные остаточные; 3) наложенные сорбиро-

ванные; 4) окклюдированные; 5) свободных паров ртути в горных породах; 6) свободных паров ртути в почвенном воздухе; 7) паров ртути в приземной атмосфере; 8) растворенных паров ртути в подземных и надземных водах.

Методика газортутных поисков месторождений определяется типом ореолов рассеяния ртути. Первичные и вторичные ореолы рассеяния ртути широко изучаются при геохимических поисках, и их особенности подробно изложены в ряде работ (Озерова, 1962; Фурсов, 1977).

Наложённые, сорбированные ореолы рассеяния ртути образуются над широким кругом сульфидных и несульфидных месторождений. Однако для использования этого типа ореолов рассеяния необходимо решить технически важную задачу: отделить полезную сорбированную (наложенную) составляющую ртути от мешающей сингенетичной (кларковой), так как в подавляющем большинстве случаев полезная сорбированная составляющая достигает всего 0,001—0,1 части кларковой ртути.

Под окклюдированными ореолами понимаются такие ореолы рассеяния, которые образуются в микропорах пород и почв. Для изучения окклюдированных паров ртути из микропор можно применять способ понижения давления или повышения температуры до 60°C, а также комбинирование обоих способов.

Первые эксперименты, проведенные нами по изучению окклюдированных паров над погребенными и скрытопогребенными рудными телами, привели к положительным результатам (Фурсов, 1971). Однако существенные технические недоработки этой методики пока не позволяют внедрить ее в практику поисков рудных месторождений.

Свободные пары ртути в горных породах целесообразно изучать при проходке поисковых и картировочных скважин, измеряя ртутное «дыхание» по определенным интервалам разреза. В надрудной зоне должны фиксироваться более интенсивные пары ртути по сравнению с подрудной. Это следует из того, что надрудные первичные ореолы и рудные тела являются более интенсивным источником паров ртути по сравнению с подрудными ореолами. Это положение подкрепляется тем, что существует в основном миграция паров ртути только в одном направлении — к поверхности земли.

Аномальным источником паров ртути в данном случае являются только первичные ореолы и рудные тела. Горные породы и любые тектонические трещины, исключая зоны глубинных разломов, не несущие рудной минерализации или руд, аномальных концентраций паров ртути не создают (Методика измерений паров ртути..., 1975).

В картировочных скважинах наибольшие аномальные концентрации паров ртути и их вертикальный градиент концентраций, как правило, будут соответствовать проекции рудных залежей или тектонических зон, вмещающих залежи.

Принципиально методика изучения паров ртути по скважинам ясна, и необходимо проведение опытно-методических работ в этом направлении.

Методика поисков по газортутным ореолам рассеяния свободных паров ртути в почвенном воздухе в настоящее время внедряется в практику геохимических поисков рудных месторождений Киргизии, Таджикистана, Украины, Урала и других регионов СССР. Эти работы в основном выполняются пешеходными ртутными газоанализаторами типа ИМГРЭ-4 (там же). Отсутствие серийно выпускаемой аппаратуры и оборудования не позволяет широко применять этот метод при поисковых работах.

В процессе миграции ртути от рудного тела к поверхности в приземной атмосфере (под приземной атмосферой нами понимается слой воздуха, прилегающий к земле, мощностью не более 200 м, в котором газортутные и другие атмосферические ореолы рассеяния могут надежно фиксироваться) образуются газортутные ореолы рассеяния. Хотя эти ореолы ничтожны по концентрации и неустойчивы во времени вследствие влияния различ-



ных метеорологических факторов, они могут играть важную поисковую роль. Их исследование возможно не только на стационарных точках, но и в движении с использованием разных видов воздушного, морского, речного и наземного транспорта. Возможно измерение содержаний паров ртути в атмосфере и при движении пешехода.

В подземных водах, омывающих рудные тела и зоны, и в поверхностных водах, имеющих связь с подземными, накапливаются пары ртути в растворенном состоянии. Изучение ореолов рассеяния растворенных паров ртути в водах будет иметь, по нашему мнению, большое значение при поисках. Принципиальные пути измерения концентраций растворенных паров ртути известны. Необходимы опытно-методические работы. Первые эксперименты, выполненные над известными погребенными рудными залежами, дали положительные результаты.

Перечисленные методы газортутных поисков должны применяться в общем случае в рациональном комплексе, начало которого исходит от наблюдений паров ртути в приземной атмосфере (наиболее экономичный способ), а конец — от наблюдений в поисковых и специализированных скважинах (наиболее трудоемкий вариант).

Теоретически глубинность газортутного метода поисков рудных месторождений определяется скоростью миграции паров ртути от источника (рудные тела и их первичные ореолы) через толщу горных пород к почве и атмосфере. Когда пары ртути или других газов диффундируют через кристаллические решетки породообразующих минералов, для прохождения толщи горных пород мощностью 1 км необходимы, по аналогии с данными В. А. Соколова (Соколов, Григорьев, 1962), сотни миллионов лет. Однако пары ртути и другие газы мигрируют от источника в форме фильтрации и диффузии по микротрещинам, трещинам и зонам тектонической трещиноватости, которые всегда есть в горных породах, вмещающих эндогенные месторождения. Таким образом, скорость миграции увеличивается в тысячи — сотни тысяч раз и теоретическая глубинность газортутного метода составляет не менее 1 км.

Однако на формирование газортутных ореолов рассеяния вблизи поверхности влияет ряд факторов, от которых существенно зависит глубинность и которые можно подразделить на геохимические, глубинные, поверхностные и технические. К геохимическим факторам можно отнести концентрирование ртути в месторождениях, ее термодинамическую летучесть, способность к восстановлению, высокую сорбционность, атомарность, большой атомный вес, однородность распределения, моноформность в горных породах, химическую стойкость и полиформность в рудах и первичных ореолах, возможность амальгамировать золото.

Концентрирование ртути характерно не только для сульфидных, но и окисных, силикатных, галогидных, нефтяных и газовых месторождений. И чем больше концентрация ртути в рудах и месторождениях, тем интенсивнее ее пары в ореолах, а как следствие — большая глубинность газортутного метода поисков.

Ртуть из всех металлов характеризуется большей величиной термодинамической летучести. При температуре 27°C давление насыщенных паров ртути на два порядка выше, чем у ближайшего по этому свойству металла — цезия. В силу большего давления насыщенных паров, ртуть при эндогенных процессах образует широкие и протяженные по вертикали первичные ореолы вокруг рудных тел, что также способствует увеличению глубинности.

Имея высокий потенциал ионизации, ртуть в зоне гипергенеза стремится к восстановлению до металла из любых соединений. Это увеличивает интенсивность возгонки ртути и способствует формированию ее газовых ореолов рассеяния над глубокозалегающими рудными телами.

Высокая сорбционность ртути горными породами замедляет процесс переноса ртути водами и в форме газа из околорудного пространства в ок-

ружающие породы и атмосферу, что способствует образованию наложенных ореолов рассеяния вокруг рудных тел в перекрывающих отложениях и перемещает фронт дополнительных источников (сорбированная ртуть) по направлению к дневной поверхности. Этот фактор приводит к увеличению эффективной глубинности.

Атом ртути имеет небольшой диаметр относительно многих атомов и соединений. Это позволяет ему лучше диффундировать и фильтроваться через малые поры и трещины горных пород. Атомарность ртути позволяет использовать для определения ее микроконцентраций в твердой и газовой фазах атомно-абсорбционный метод анализа, который является самым чувствительным.

Благодаря амальгамации золота появилась возможность использования тонкой золотой нити (20 мк) для накопления микроконцентраций ртути путем сорбции ее паров и их последующей десорбции при подогреве нити в процессе измерения содержания ртути атомно-абсорбционным методом. Использование процесса амальгамации позволило существенно увеличить чувствительность и надежность измерений содержаний ртути.

Большой атомный вес ртути, который превышает молекулярный вес воздуха в 7 раз, углекислого газа в 4,7 раза и сернистого газа в 3,2 раза, способствует накоплению ртути над рудными источниками: в почвенной и приземной атмосфере.

Низкий кларк и однородность распределения концентраций паров ртути в почвенном воздухе ( $100 \cdot 10^{-10}$  мг/л) и приземной атмосфере ( $11 \cdot 10^{-10}$  мг/л) сводит к минимуму число аномалий ртути и позволяет надежно выделять на устойчивом фоне малоинтенсивные аномалии от глубинных объектов.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что различные горные породы имеют преимущественно одну форму нахождения ртути, максимум возгонки которой соответствует узкому температурному интервалу 240—340°C, что позволяет отделить сингенетичную ртуть от наложенной в сорбированных ореолах путем возгонки при разных температурах.

Ртуть — химически стойкий элемент и занимает по отношению к кислороду место, наиболее близкое к благородным металлам, что обуславливает нахождение ртути в форме паров в приземной атмосфере и почвенном воздухе, хотя содержание сильнейшего окислителя кислорода составляет 21% (об.).

В рудах и первичных ореолах ртуть находится в разнообразных формах, температуры максимальной возгонки которых изменяются от 100 до 820°C (Фурсов, 1977). Чем больше ртути приходится на формы, у которых температура максимальной возгонки низка, тем интенсивнее идет процесс парортутоотдачи от руд и первичных ореолов и, естественно, повышается глубинность поисков.

К глубинным факторам относим характер трещиноватости перекрывающих месторождение горных пород и связь ее с зонами глубинных разломов. В случае слабой трещиноватости фильтрационный и диффузионный потоки будут малоинтенсивными. Если поток ртути будет распределяться в большом объеме трещиноватых пород, то при миграции к поверхности он будет расщеплен на большей площади и будет мало интенсивным.

Аномальные концентрации паров ртути образуются и в зонах глубинных разломов, где источниками паров ртути могут быть магмы, рудоносные зоны и горные породы, из которых ртуть возгоняется за счет роста температуры с глубиной и при тектонических подвижках.

На фоне линейных аномальных концентраций зон глубинных разломов сложнее выделять локальные газортутные аномалии. Для уверенного выделения локальных аномалий необходимо значительно сгущать сеть исследований.

К поверхностным факторам относятся: характер рыхлых отложений, их влажность, наличие болот, температура почвы, количество осадков, ветер и загрязненность атмосферы.

Щебенистые отложения являются самыми неблагоприятными для измерения концентрации паров ртути, их накопления от глубинных источников. В песчаных отложениях аэрация меньше, чем в щебенистых. Для газортутных поисков наиболее благоприятны глины, суглинки и почвы особенно аридных ландшафтов. В гумидных условиях при повышенной влажности почвы пары ртути частично растворяются в воде, блокируются влагой в порах и недоступны для измерения.

На участках развития болот и скального рельефа откачать почвенный воздух для измерений в нем концентраций ртути невозможно, поэтому исследования на этих участках проводятся путем изучения паров ртути в приземной атмосфере на высотах 0,1—2,5 м.

При понижении температуры почвы часть ртути сорбируется в порах, уменьшается объем почвенного воздуха и свободное пространство пор заполняется разубоживающим атмосферным воздухом, что понижает концентрации паров ртути. Повышение температуры ведет к противоположному явлению. Эти процессы характерны как для аномального, так и фонового поля рассеяния паров ртути в почве.

В приземной атмосфере часть паров ртути вымывается осадками, а ветер смещает газортутные ореолы рассеяния относительно источника. Загрязненность атмосферы ртутью за счет человеческой деятельности затрудняет наблюдение газортутных ореолов рассеяния в приземной и почвенной атмосфере.

Для поисков глубокозалегающих месторождений необходимо фиксировать концентрации ртути в газовой фазе с чувствительностью  $(2-4) \cdot 10^{-9}$  —  $(2-4) \cdot 10^{-11}$  мг/л. Это достигается за счет совершенствования ртутных атомно-абсорбционных газоанализаторов и методики наблюдений.

В 1977 г. в разных регионах СССР работало 12 ртутных газоанализаторов ИМГРЭ-4, а в 1978 г. — 16. Однако этот прибор имеет недостатки, которые были выявлены при выполнении полевых газортутных работ в течение пяти лет. Сейчас разработан более портативный и совершенный ртутный газоанализатор ИМГРЭ-5. Методика наблюдений ультрамальных содержаний паров ртути в почвенном воздухе должна удовлетворять следующим условиям:

1. Предельно малые коммуникации для прохождения паров ртути от мест их нахождения до измерительной части прибора, чтобы сократить до минимума сорбцию ртути.

2. Сведение к минимуму влияния пыли на результаты измерений.

3. Оптимальная откачка почвенного воздуха с минимальным разубоживанием атмосферы.

К настоящему времени разработана методика измерений ультрамальных концентраций паров ртути в почве, которая удовлетворяет частично перечисленным условиям. По этой методике ртутными газоанализаторами ИМГРЭ-4 выполнены опытно-методические работы над глубокозалегающими рудными месторождениями различных типов в разных районах СССР и за рубежом. В таблице приведены параметры газортутных ореолов рассеяния, зафиксированных над погребенными, слепыми и скрытопогребенными месторождениями. Газортутные ореолы рассеяния зафиксированы над месторождениями, где мощность перекрывающих отложений равна 5—120 м. Они устанавливаются даже над полиметаллическими залежами, перекрытыми известняками и глинами мощностью 50—80 м при неблагоприятном профиле почв (п. 3 в таблице).

Над слепыми месторождениями, залегающими на глубине 60—100 м, зафиксированы значимые газортутные ореолы рассеяния. Над скарново-полиметаллическим месторождением Николаевское (Приморье), залегающим на глубине 700—1100 м в глинисто-щебенистом элювии, являющимся

**Газорудные ореолы рассеяния глубокозалегающих рудных месторождений**

№ п/п	Название и характеристика месторождения, вмещающие породы и характер оруднения	$\frac{C_{ор}}{C_{ф}}$	$\frac{2a}{2p}$	h, м	Перекрывающие отложения
1	2	3	4	5	6

**Погребенные месторождения**

1	Улу-Тоо (Киргизия), телетермальное рудное; основные эффузивы D <sub>1</sub> , листвениты; крутонападающие жилы; вкрашенно-прожилковое	$\frac{3-4}{1-1,5}$	$\frac{30-60}{0,5-8}$	15—25	Эоловые плотные суглинки мощностью 15—25 м
2	Золоторудное гидротермальное с сульфидами (Узбекистан); андезито-дацитовые порфириды C <sub>2-3</sub> ; крутонападающие жилы с агрегативными и вкрапленными сульфидами	$\frac{10-22}{1,5-2}$	$\frac{25-60}{2-5}$	5—40	Эоловые плотные суглинки мощностью 5—40 м
3	Ташбулак (Таджикистан), скарново-полиметаллическое; известняки и мергели D <sub>3</sub> ; крутонападающие жилы, вкрашенно-прожилковое	$\frac{3-8}{1-2}$	$\frac{80-150}{5-15}$	70—110	Галечники с песком Q <sub>1</sub> мощностью 20—30 м, известняки, кварцевые песчаники и бентонитовые глины палеогена — мела мощностью 50—80 м
4	Асарел (НРБ), медно-порфировое; туфолавы, андезиты и диоритовые порфириды K <sub>2</sub> ; штокверк в форме горизонтальной линзы; прожилково-вкрапленное	$\frac{3-8}{1-2}$	$\frac{400-800}{1000-1200}$	10—120	Переотложенная кора выветривания с глыбами, с поверхности глинисто-щебенистые отложения

**Слепые месторождения**

5	Шалкия (Южный Казахстан), свищово-цинковое; известняки и доломиты D <sub>3</sub> ; субгоризонтальные пластовые залежи	$\frac{2-7}{0,5}$	$\frac{40-80 *}{5-30}$	60—100	Глинисто-щебенистый элювио-делювий мощностью 0,1—1 м
6	Ломовское (Средний Урал), медноколчеданное; эффузивы и сланцы S <sub>1</sub> ; крутонападающие линзы, агрегативные и вкрапленные руды	$\frac{2-2,5}{0,5-1}$	$\frac{250-300}{10-25}$	200—300	Глинистая кора выветривания мощностью 2—10 м, с поверхности суглинки мощностью 0,5—1,5 м
7	Новое (Киргизия), телетермальное рудно-сурьмяное; контакт песчано-глинистых сланцев D <sub>1</sub> и известняков C <sub>1</sub> ; крутые пластообразные залежи вкрапленной и гнездобразной сурьмы и ртути	$\frac{10-35}{2-4}$	$\frac{200-300}{1-5}$	200—450	Глинисто-щебенистый элювио-делювий мощностью 0,2—1 м чередуется с эоловыми суглинками мощностью 1—30 м

8	Николаевское (Приморье), скарново-полиметаллическое; контакт известняков T <sub>2</sub> и липаритовых туфов K <sub>2</sub> ; пологие пластовые агрегативные залежи	$\frac{3-10}{0,6-1}$	$\frac{150-200}{10-30}$	700—1000	Глинисто-щебенистый элювио-делювий мощностью 0,3—4 м
---	--	----------------------	-------------------------	----------	--

### Скрытопогребенные месторождения

9	Юбилейное (Таджикистан), скарново-вольфрамовое; монцониты; крутопадающие жилы; прожилково-вкрапленное	$\frac{6-15}{1-2}$	$\frac{40-50}{2-5}$	10—15	Галечники и пески Q <sub>1</sub> мощностью 3—7 м
10	Южный Янгикан (Таджикистан), скарново-медно-молибденовое; андезитовые порфириды; линзы; вкрапленники	$\frac{20-100}{1-2}$	$\frac{50-70}{20-80}$	50—70	Пески, галечники и глины Q <sub>1</sub> мощностью 10—20 м
11	Старе Ранско (ЧССР), полиметаллическое, гидротермальное; габбро C <sub>m</sub> ; пологопадающие линзы, агрегативные и вкрапленные руды	$\frac{2-6}{0,8}$	$\frac{100-120}{10-80}$	100—120	Глинистая переотложенная кора выветривания часто с обломками пород мощностью 3—6 м, затем глинистая и щебенистая древняя кора выветривания мощностью 10—15 м
12	Узельгинское (Южный Урал), медноколчеданное; липариты D <sub>2</sub> ; пологопадающие линзы, агрегативные и вкрапленные руды	$\frac{6-22}{1-2}$	$\frac{200-450}{20-80}$	180—200	Суглинки и глины N мощностью 2—20 м, местами древняя глинисто-щебенистая кора выветривания мощностью 3—10 м
13	Первомайское (Северный Кавказ), медноколчеданное; альбитофиры, липариты и их туфы D <sub>2-3</sub> ; горизонтальные агрегативные линзы	$\frac{2,5-3}{0,8-1}$	$\frac{50}{10-20}$	250	Юрские алевролиты мощностью 100 м, перекрытые глинисто-щебенистым элювио-делювием мощностью 1—5 м

Примечания: 1. C<sub>ор</sub><sup>-8</sup> — содержание паров ртути в ореоле, н·10<sup>-8</sup> мг/л; C<sub>ф</sub><sup>-8</sup> — фоновые концентрации, н·10<sup>-8</sup> мг/л; 2а — эффективная ширина ореола, м; 2р — мощность рудного тела, м; h — глубина залегания рудного тела. 2. Звездочкой обозначены прерывистые аномальные концентрации паров ртути в почвенном воздухе над слепыми залежами.

неблагоприятным для накопления паров ртути (п. 8), выявлены газортутные ореолы рассеяния интенсивностью  $(3-10) \cdot 10^{-8}$  мг/л при фоне  $(0,6-4) \cdot 10^{-8}$  мг/л. Это обусловлено, по-видимому, совокупным дыханием протяженного по вертикали первичного ореола ртути и рудной залежи.

Выявлены аномальные концентрации паров ртути над субгоризонтальными пластовыми залежами свинцово-цинкового месторождения Шалкия (п. 5). Таким образом, газортутные ореолы рассеяния в почве фиксируются даже тогда, когда условия для развития первичных ореолов вокруг пластовых субгоризонтальных тел неблагоприятны.

Над скрытопогребенными залежами, находящимися на глубинах 10—250 м, установлены газортутные ореолы рассеяния при мощности перекрывающих отложений 3—100 м. Скрытопогребенные медноколчеданные залежи Первомайского месторождения (Северный Кавказ), которое образовалось в доюрское время, перекрывается алевролитами юры мощностью до 100 м. В алевролитах юры первичные ореолы, естественно, не проявляются, а газортутные ореолы в почве зарегистрированы (п. 13).

Анализ фактических данных таблицы с учетом вышеприведенных факторов глубинности позволяет сделать заключение о том, что газортутным методом по изучению паров ртути в почве возможно фиксировать погребенные месторождения на глубинах 100—200 м, слепые на глубинах 200—400 м, а при интенсивных надрудных первичных ореолах ртути, развивающихся по вертикали, глубинность исследований может быть и большей. Скрытопогребенные месторождения могут фиксироваться при глубинах 300 м, а при развитии древней коры выветривания глубинность исследований может увеличиться. С совершенствованием методических и технических приемов (отбор проб, ртутные газоанализаторы) приведенные цифры по глубинности могут быть увеличены.

#### ЛИТЕРАТУРА

Методика измерений паров ртути при поисках ртутных месторождений. Методические рекомендации. М., ИМГРЭ, 1975.

Озерова Н. А. Первичные ореолы рассеяния ртути. М., 1962. (Тр. ИГЕМ, вып. 2).

Сауков А. А. Геохимия ртути. М., 1946. (Тр. ИГи АН СССР, вып. 46).

Соколов В. А., Григорьев Г. Г. Методика и результаты газовых геохимических нефтегазопоисковых работ. М., 1962.

Фурсов В. З. О возможности использования газовой съемки при поисках рудных месторождений. — В кн.: Вопросы прикладной геохимии. Вып. II. М., «Недра», 1971.

Фурсов В. З. Ртуть — индикатор при геохимических поисках рудных месторождений. М., «Недра», 1977.

*Е. М. Квятковский, Н. Ф. Майоров, Г. А. Стуккей*

*(ЛГИ им. Г. В. Плеханова)*

### ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В РАЙОНАХ РАЗВИТИЯ МОРЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Геохимические поиски рудных месторождений на Кольском полуострове и в Карелии проводятся уже свыше 30 лет в комплексе с геологическими и геофизическими исследованиями. Этот район характеризуется низкогорным, холмистым и слаборасчлененным рельефом, многочисленными озерами и заболоченными депрессиями, мягким арктическим гумидным климатом.

Карело-Кольский регион представляет собой щит, на котором кристаллический фундамент докембрийского возраста перекрыт чехлом рыхлых отложений, существенно осложняющих здесь геохимические поиски по вторичным ореолам и потокам рассеяния. Формирование рыхлого покрова — сложный процесс, включающий развитие доледниковой коры выветривания, впоследствии на большей части территории района эродированной или перекрытой ледниковыми отложениями, и заканчивающийся на современном этапе образованием элювио-делювиального крупноглыбового материала, перемещающегося на возвышенных формах рельефа с ледниковыми отложениями. Таким образом, четвертичные отложения представляют собой зачастую смесь элювио-делювия с ледниковыми валунно-галечными и супесчано-суглинистыми породами.

В соответствии с этим в рыхлых образованиях района могут развиваться следующие генетические типы вторичных ореолов и потоков рассеяния:

а) механические веерообразные открытые (в абляционной и конечной морене) и шлейфообразные погребенные (в донной морене) ореолы рассеяния, источником питания которых служили продукты доледникового выветривания и ледниковой экзарации рудных тел, выходящих на уровень эрозийного среза;

б) механические остаточные надрудные открытые ореолы рассеяния в элювио-делювиальных образованиях;

в) солевые надрудные диффузионные и шлейфообразные фильтрационные ореолы рассеяния в мелкозернистых моренных отложениях, источником которых послужили рудные объекты и их вторичные механические ореолы;

г) гидрохимические ореолы рассеяния в грунтовых водах моренных отложений и трещинно-грунтовых водах коренных пород;

д) механические потоки рассеяния в современных речных отложениях;

е) солевые потоки рассеяния в современных речных и дренируемых моренных отложениях;

ж) гидрохимические потоки рассеяния в поверхностных водотоках.

Наличие различных генетических типов вторичных ореолов и потоков рассеяния явилось причиной возникновения различных методик литогеохимических поисков, нацеленных на обнаружение как механических, так и солевых ореолов. Так, на территории Балтийского и Канадского щитов широко применяется валунный метод поисков, заключающийся в картировании рудных валунов и оконтуривании механических веерообразных ореолов рассеяния ледникового происхождения. В Финляндии также широко распространена методика «микровалунных» поисков месторождений по механическим погребенным ореолам рассеяния в донной морене с отбором проб из нижних горизонтов рыхлых отложений. Однако в Советском Союзе эти методики широкого распространения не получили, и их рассмотрение выходит за рамки статьи.

В настоящее время на территории Карелии и Кольского полуострова геохимические поиски ориентируются на выявление лито- и гидрогеохимических потоков рассеяния на этапе поисковых работ масштаба 1 : 200 000—1 : 50 000 и вторичных солевых литогеохимических ореолов рассеяния на стадии детальных поисков масштаба 1 : 25 000—1 : 10 000. Вторичные солевые ореолы рассеяния образуются в результате перехода рудных элементов в подвижную форму и диффузии их по пленочным и свободным водам под действием градиента концентрации и отчасти температурного градиента (Квятковский и др., 1972; Майоров, 1969). Наличие солевого рассеяния в моренных отложениях подтверждается следующими признаками: обогащенностью тонких классов морены большинством элементов-индикаторов над известными рудопроявлениями; определенной зависимостью между удельной поверхностью частиц морены и содержанием сорбированных элементов в пробе; различием форм нахождения элементов в

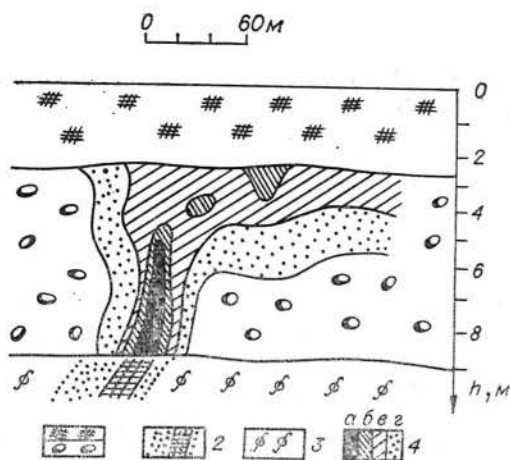


Рис. 1. Вертикальный разрез солевого ореола рассеяния медно-никелевого месторождения.

1 — торф и морена; 2 — медно-никелевые руды и первичный ореол никеля; 3 — плагиомикроклиновые граниты, амфиболиты; 4 — содержания никеля ( $n \cdot 10^{-3} \%$ ): а — более 100, б — 30—100, в — 10—30, з — 4—10.

первичных рудах и ореолах рассеяния; разобщенностью в плане ореолов рассеяния различных рудных элементов. При фильтрации грунтовых вод рудные элементы, присутствующие в свободных водах, могут образовывать шлейфообразные фильтрационные ореолы. Миг-

рация по пленочным водам способствует созданию подрудных диффузионных ореолов.

Процессы формирования вторичных солевых литогеохимических ореолов рассеяния зависят от физико-химической обстановки (Перельман, 1966). В Карело-Кольском регионе следует выделить два главнейших типа ландшафтов — возвышенности и болота.

В пределах болот торфяные отложения, перекрывающие морену, создают восстановительную глеевую обстановку в верхних ее горизонтах. При наличии сульфидов на глубине глеевая обстановка переходит в восстановительную сероводородную, что приводит к образованию в морене вторичных сульфидов, существенно отличающихся от первичных сульфидов рудных тел. Так, на одном из участков в первичных рудах преобладал пирротин, в моренных же отложениях над рудным телом присутствовал в основном пирит. Во вторичных ореолах содержится сера в самородной форме, причем ее концентрации могут достигать первых процентов. Между тем некоторые исследователи рассматривают сульфиды в моренных отложениях как первичные (Дрейманис, 1964), что приводит их к ошибочному суждению о преобладании механического рассеяния. Одновременно происходит процесс сорбции рудных элементов песчано-глинистыми частицами. В результате образуются вторичные солевые надрудные ореолы рассеяния, хорошо совмещенные в плане, небольших размеров, с достаточно полным набором элементов-индикаторов. В условиях проточных болот, под воздействием процессов фильтрации в верхних частях ореолов развиваются шлейфы длиной до первых сотен метров (рис. 1).

Отсутствие сероводородного барьера на возвышенных участках определяет большие размеры, меньшую контрастность и значительную пространственную разобщенность вторичных ореолов различных элементов. В этих условиях в морене формируются надрудные и шлейфообразные сорбционные ореолы рассеяния. Основными сорбентами рудных элементов могут быть песчано-глинистые частицы рыхлых отложений, гидроокислы железа и марганца, коллоиды алюмосиликатов. Кроме того, в гумусном горизонте почв накапливаются органические комплексы рудных элементов в виде гуматов и фульватов. На формирование сорбционных солевых ореолов на возвышенных участках отрицательное влияние оказывает десорбирующее действие водородных ионов. Мощность образующейся у поверхности зоны выщелачивания составляет 0,4—0,7 м. Следует отметить, что влиянию выщелачивания почти не подвержены элементы, склонные во вторичных ореолах находиться в самородной форме (золото, серебро). Интенсивность процессов выщелачивания несколько выше в расчлененных и бедных растительностью районах Кольского полуострова по сравнению со сглаженными, покрытыми растительностью, с хорошо развитым гумус-



ным горизонтом районами Карелии. Отбор проб на возвышенностях производится с глубины более 0,7 м, т. е. ниже зоны выщелачивания. В условиях болот пробы отбираются ниже торфяного слоя, с углубкой в морену на 0,1—0,2 м (Майоров, 1972). Применение для анализа растительной подстилки, резко обогащенной рудными элементами в результате ее большой сорбционной емкости, затруднительно из-за неравномерности ее распространения, относительной сложности анализа и необходимости введения поправок за содержание органической составляющей.

На границах раздела возвышенностей и болот, где происходит разгрузка грунтовых вод, несущих рудные элементы, образуются оторванные солевые ореолы — на кислородном барьере либо на восстановительном в подторфяном слое болот.

Два главнейших типа ландшафтов, упомянутые выше, в свою очередь, подразделяются на более мелкие типоморфные единицы. Болота условно делятся на застойные и проточные, возвышенности — на водораздельные участки (водоразделы и пологие склоны) и на крутые склоны. Отдельно следует рассматривать участки с глубоким (больше глубины отбора проб) и неглубоким уровнем залегания грунтовых вод. Среди прочих факторов, влияющих на характер вторичных литогеохимических ореолов, можно отметить гранулометрический состав опробуемого материала и состав подстилающих пород.

Немаловажный фактор — мощность ледниковых отложений. По имеющимся данным, вскрытые эрозией промышленные объекты сопровождаются вторичными литогеохимическими ореолами в приповерхностном слое морены при ее мощности до 15—20 м. При большей мощности наносов подобные объекты могут быть пропущены.

Для учета влияния всех вышеперечисленных факторов на процесс формирования вторичных литогеохимических ореолов рассеяния могут использоваться ландшафтные карты, возможный вариант которой был предложен нами ранее (Временные методические указания..., 1977).

Рудные месторождения способны также создавать литогеохимические потоки рассеяния механического и солевого генезиса. Длина потоков рассеяния промышленных объектов может достигать 1,5—2 км (рис. 2). В условиях Карело-Кольского региона потоки рассеяния в аллювиальных и озерных отложениях формируются главным образом за счет солевого рассеяния рудных элементов и обогащения ими тонких илесто-глинистых фракций.

В хорошо расчлененных районах Кольского полуострова основным материалом опробования при поисках по потокам рассеяния служат донные осадки ручьев, рек и озер. В условиях пологого и заболоченного рельефа Карелии нередко приходится переходить к опробованию краев болот в расчете на обнаружение оторванных и шлейфообразных ореолов рассеяния в морене.

Наибольшее влияние на процессы аккумуляции рудных элементов в потоках рассеяния оказывают сорбционный, восстановительный и окислительный барьеры. Действие сорбционного барьера проявляется по всей длине потока и наиболее ярко выражено в местах изменения гранулометрического состава проб. Так, пробы с малым выходом мелкой (менее 0,07 мм) фракции, т. е. пески и супеси, в целом обогащены по сравнению с суглинистыми пробами. Восстановительный барьер соответствует заболоченным участкам потоков. Здесь создаются локальные контрастные участки потоков рассеяния. На окислительном барьере происходит выпадение гидроокислов железа и марганца, являющихся сорбентом для многих рудных элементов. Необходимо иметь в виду возможность образования безрудных аккумулятивных аномалий некоторых элементов (например, никеля и кобальта) на этом барьере.

Для анализа проб используется обогащенная в процессе сорбции мелкая (менее 0,04 мм) фракция проб рыхлых отложений. Наиболее широко

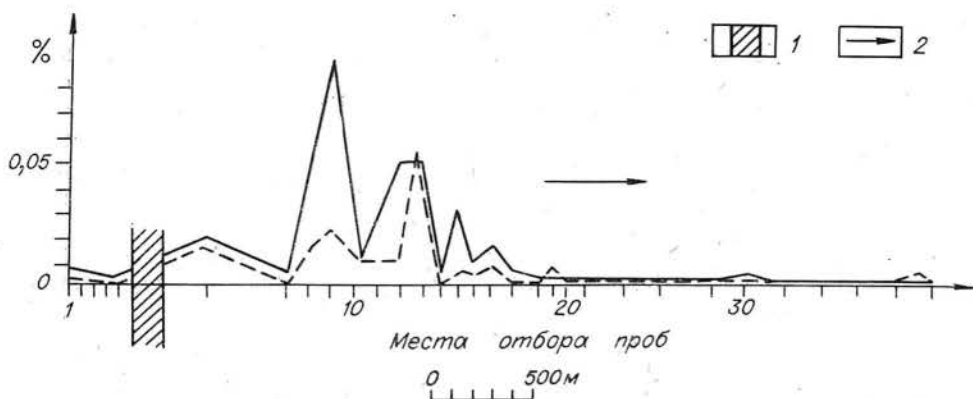


Рис. 2. Графики содержания никеля (сплошная кривая) и меди (штриховая) в донных осадках реки.

1 — месторождение медно-никелевых руд; 2 — направление течения реки.

применяется в настоящее время эмиссионный спектральный анализ на широкий круг элементов. Однако преимущественное развитие в Карело-Кольском регионе слабоконтрастных ореолов и потоков рассеяния рудных элементов свидетельствует о целесообразности перехода к анализу кислотных вытяжек атомно-абсорбционным, калориметрическим или хроматографическим методами. Это особенно желательно при проведении мелко-масштабных поисков по потокам рассеяния и детально-поисковых работ в районах с большой мощностью моренных отложений.

Большинство месторождений различных полезных ископаемых района связаны с сульфидными рудами, достаточно надежно выявляемыми геофизическими методами. Однако широкое распространение пирит-пирротиновой минерализации резко снижает эффективность геофизических методов поисков. Для разбраковки геофизических аномалий на этапе детально-поисковых работ могут успешно применяться геохимические методы, способные определять природу геофизической аномалии. В качестве примера разбраковки можно привести оценочные критерии, разработанные для поисков сульфидных медно-никелевых руд.

Основными элементами-индикаторами медно-никелевых руд служат никель, медь, кобальт, сера, молибден, серебро, хром. Источниками повышенных содержаний данных элементов в морене могут быть массивы основных — ультраосновных пород, пирит-пирротиновые и медно-никелевые руды. Для определения природы источника минерализации в об-

#### Критерии по разбраковке вторичных литогеохимических ореолов рассеяния

Отношение площадных продуктивностей ореолов	Показатель		
	медно-никелевая минерализация	пирротиновая минерализация	безрудные ультраосновные породы
Ni+Cu : S	>0,03 (чаще) 0,05—0,1	<0,015	>0,15
Ni : S	>0,02	<0,01	>0,10
Cu : Ni	от 0,1 до 0,8 (редко более)	>1,0	<0,1
Co : Ni	<0,10	>0,12	>0,12
Ag : Ni	<0,0005	>0,0005	—
Cr : Ni	<1,0	<0,1	>1,0
Mo : Ni	<0,05	>0,05	—

ластях, перекрытых моренными образованиями мощностью до 15—20 м, применяются критерии разбраковки, приведенные в таблице.

В ряде случаев в качестве критериев оценки аномалий могут быть использованы элементы-спутники. В частности, повышенные содержания висмута иногда отмечаются над медно-никелевыми рудами, а аномальные значения цинка и свинца — над пирротиновыми.

Геохимические поиски совместно с геолого-геофизическими исследованиями существенно повышают эффективность комплекса методов при поисках рудных месторождений в условиях Карело-Кольского региона.

## ЛИТЕРАТУРА

**Временные** методические указания по геохимическим поискам месторождений на территории Северо-Запада РСФСР (Карело-Кольский регион). Л., СЗТГУ, 1977.

**Дрейманис А.** Геохимические поиски меди, свинца и цинка в районах оледенения Восточной Канады. — В кн.: Труды XXI Международного геологического конгресса. Вып. III. М., 1964.

**Квятковский Е. М., Майоров Н. Ф., Нюппенен Т. И., Сахновский М. Л.** Геохимические методы поисков медно-никелевых месторождений Кольского полуострова. — В кн.: Научные основы геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых и оценка потенциальной рудоносности магматических и метаморфических комплексов докембрия. Апатиты, 1972.

**Майоров Н. Ф.** О восходящей миграции никеля и меди при формировании солевых ореолов в условиях моренных отложений. — «Зап. ЛГИ», 1969, т. 56, вып. 2.

**Майоров Н. Ф.** Методика поисков медно-никелевых месторождений по валоженым солевым ореолам рассеяния в моренных отложениях на Кольском полуострове. — В кн.: Литохимические поиски рудных месторождений. Алма-Ата, «Наука», 1972.

**Перельман А. И.** Геохимия ландшафта. М., «Высшая школа», 1966.

---

*П. А. Удодов, С. Л. Шварцев, Н. М. Рассказов, А. А. Лукин,  
Ю. Г. Копылова, Э. В. Тупчий, В. Я. Бычков*

*(ТПИ им. С. М. Кирова)*

## ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ И ПОИСКАХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ЗАКРЫТЫХ РАЙОНАХ СИБИРИ

Формирование и разрушение рудных месторождений полезных ископаемых приводит к обогащению соответствующими тяжелыми элементами различных природных сред: массивных горных пород, рыхлых образований, почв, растительности, газов и вод. Процесс обогащения этих природных объектов происходит неравномерно и определяется в большей степени особенностями геологии и геохимии ландшафта. Поэтому весьма важно до начала геохимических исследований провести районирование территории по условиям ведения геохимических поисков.

В силу высокой динамичности воды гидрогеохимический метод отличается наибольшей среди всех геохимических методов глубинностью. Это главное преимущество метода позволяет рекомендовать его для поисков «слепых» и перекрытых месторождений рудных полезных ископаемых.

В то же время условия формирования водных потоков рассеяния таких месторождений изучены недостаточно и на данном этапе разработки гидрогеохимического метода не позволяют предложить единую, пригодную для всех регионов методику проведения поисковых работ. Опыт наших исследований в пределах Кольвань-Томской складчатой зоны, на Салаире и других местах показал, что методика поисковых работ должна строиться с учетом конкретных гидрогеологических и гидрогеохимических особенностей территории, определяющих локальные условия формирования

(контрастность, протяженность, формы залегания и т. д.) водных потоков рассеяния. Степень обогащения вод химическими элементами во многом зависит от того, где залегают рудные тела — в зоне аэрации или зоне полного насыщения, промываются грунтовыми или артезианскими водами, связаны с областями питания, распространения подземных вод или разгрузки.

Специфичность формирования водных потоков рассеяния в условиях полузакрытых и закрытых структур состоит в том, что рудная минерализация, залегающая в нижнем структурном этаже, перекрытом чехлом рыхлых образований, часто находится в бескислородной зоне, затрудняющей или полностью исключаящей развитие окислительных процессов. Поэтому обогащение вод рудными компонентами происходит в результате простого растворения, усиливаемого электрохимическими и в ряде случаев микробиологическими процессами. Вторая особенность связана с фактором разбавления вод нижнего рудоносного этажа водами перекрывающих пород. Наконец, третья особенность заключается в том, что формирование водных потоков рассеяния происходит на фоне относительно длительного взаимодействия воды с горными породами, которые также в зависимости от интенсивности и направленности этого взаимодействия в различной степени обеспечивают воды химическими элементами, среди которых имеются и рудообразующие. Успешная интерпретация результатов гидрогеохимических исследований возможна только при правильном учете всех гидрогеологических особенностей территории.

Наиболее распространенными среди рудовмещающих пород являются карбонатные и алюмосиликаты. Первые растворяются конгруэнтно, вторые — инконгруэнтно с образованием разнообразных глинистых минералов, способных связывать различные микрокомпоненты. Поэтому перешедшие в раствор рудообразующие элементы, попадая с водами в среду рудовмещающих пород, ведут себя по-разному в зависимости от типа и направленности преобразования последних. При этом часть элементов может оказаться связанной осадком, другая — сохраниться в растворе. Все это приводит к тому, что выделение гидрогеохимических аномалий должно базироваться на изучении общих закономерностей взаимодействия воды с горными породами в конкретных физико-географических, геолого-структурных и геохимических условиях с учетом миграционной способности каждого из рудообразующих элементов.

Опыт наших исследований показывает, что инфильтрационные воды, просачивающиеся из верхнего этажа полузакрытых структур в нижний, влияют по-разному на химический и газовый состав подземных вод, омывающих глубокозалегающие рудные тела и находящиеся в области фона.

На гипсометрическом уровне, соответствующем глубине залегания слепых месторождений, образуются не выдержанные по химическому составу, перемещающиеся с различной скоростью потоки подземных вод. Вокруг этих месторождений, в свою очередь, формируются своеобразные геохимические разновидности подземных вод, распознавание и выделение которых является в настоящее время одной из первоочередных задач. Для ее решения нами предлагается на основе соответствующих данных (Удодов и др., 1973) выделять эти разновидности с учетом значений  $E_h$ , рН, общей минерализации и содержаний органических веществ гуминового и нефтяного рядов. Каждая из них будет характеризоваться не только своим фоновым и аномальным содержанием поисковых гидрогеохимических критериев, но и специфичными формами миграции металлов.

При прогнозировании и поисках месторождений рудных полезных ископаемых, особенно перекрытых толщами вышележащих пород, необходимо использовать гидрогеохимические карты, отражающие геохимическую обстановку в различных по глубине залегания водоносных горизонтах, в частности, составленные нами гидрогеохимические карты юго-восточной части Западной Сибири масштаба 1 : 1 500 000.

Сложный характер процессов формирования водных потоков рассеяния в пределах рудных тел закрытого типа требует их увязки с основными этапами и стадиями формирования подземных вод региона в целом (Шварцев, 1975). Важно в каждом конкретном случае установить равновесие воды с горными породами, степень насыщенности растворов относительно основных породообразующих и рудных минералов, чтобы оценить возможности растворения каждого из этих минералов, а также характер формирующихся вторичных продуктов и на этой основе решить вопрос о возможных источниках обогащения вод химическими элементами, а значит, и поисковых критериях. Исследования, проводимые нами в различных участках Алтае-Саянской области, показывают, что воды на самых первых этапах формирования химического состава являются, как правило, равновесными с глинистыми минералами. С возрастанием солёности и щёлочности вод увеличивается степень их насыщенности относительно карбоната кальция; при рН более 7,4 и общей минерализации более 560 мг/л она становится полной. На всем этапе формирования вод, даже после насыщения карбонатами, они остаются неравновесными относительно эндогенных алюмосиликатов. Поэтому всегда существует возможность обогащения их элементами этих пород, особенно в условиях замедленного водообмена при наличии живого и растворенного органического вещества.

В зонах сульфидной минерализации наряду с отмеченными процессами значительное обогащение вод химическими элементами происходит за счет окисления сульфидов под действием кислорода, агентов-комплексобразователей и микроорганизмов, а также за счет сернокислого и углекислого выветривания. Надежным показателем зон минерализаций мы считаем достижение насыщенности вод относительно вторичных рудных минералов (Удодов и др., 1973).

На основе выявленных источников и преобладающих процессов обогащения элементами на разных этапах формирования химического состава вод нами выделяются однородные их типы, по которым подсчитываются параметры распределения элементов. К примеру, в пределах ртутно-рудных зон западной части Алтае-Саянской области выделены фоновые воды почвенных горизонтов, элювиально-делювиальных, существенно карбонатных, карбонатно-терригенных и других отложений и воды зон ртутной минерализации. Сравнение рядов распределения элементов в фоновых и аномальных зонах позволило, кроме того, выявить элементы со значимыми отличиями, которые расцениваются нами как косвенные гидрогеохимические показатели зон ртутной минерализации. Получаемая таким образом гидрогеохимическая информация графически представляется в виде комплекса карт. Карты водных потоков рассеяния, построенные с учетом средних содержаний элементов и их кратных значений со среднеквадратическими отклонениями ( $xs$ ;  $xs^2$ ;  $xs^3$ ), позволяют проследить строение, зональность, протяженность потоков рассеяния. Карты остаточных аномалий (Грицюк, 1975) учитывают изменяющееся во времени и пространстве гидрогеохимическое поле (на основе составления уравнения регрессии, показывающего зависимость ведущего поискового элемента от других). Карты интегральной интенсивности поисковых признаков в комплексе с указанными выше картами потоков рассеяния и остаточных аномалий являются основой для выделения гидрогеохимических аномалий.

Характер формирующихся водных потоков рассеяния определяется спецификой ландшафтно-геоморфологических, гидрогеологических и геологических условий участков минерализации и в значительной мере глубиной залегания последних. Так, в районе Акташского ртутного месторождения (область гольцового ландшафта), вблизи поверхности формируются малоконтрастные и малопротяженные потоки рассеяния сульфат-иона, ртути, мышьяка, бария и марганца. В штольневых водах зоны ртутной минерализации на глубинах около 200 м в умеренно-аномальных содержаниях развиты сульфат-ион, ртуть, сурьма, свинец, медь, олово, никель,

кобальт, цинк и другие элементы, комплекс которых уменьшается по мере удаления от зоны минерализации.

Слабые гидрогеохимические потоки рассеяния образуются также в водах начальных стадий формирования химического состава. На Белоосиповском месторождении потоки представлены в основном ртутью, частично барием, марганцем, титаном. При увеличении глубины проникновения вод состав потоков рассеяния усложняется. В Сарасинской ртутной зоне (Горный Алтай) слепые ртутные тела, залегающие под экранирующей толщей карбонатно-терригенных пород мощностью свыше 100 м (Лузгин, Шепеленко, 1975), в дренирующих поверхностных водотоках и источниках проявляются потоками рассеяния с умеренно-аномальными содержаниями сульфат-иона, ртути, серебра, свинца, сурьмы, цинка, никеля, ванадия, стронция, кобальта. Протяженность потоков у большинства элементов не превышает 500 м. Общая протяженность комплексного потока рассеяния достигает 1000 м и более.

Примеры показывают, что глубокозалегающие месторождения четко фиксируются потоками рассеяния рудообразующих элементов, контрастность которых находится в зависимости от этапа формирования вод.

Одной из важнейших задач интерпретации результатов гидрогеохимических исследований в условиях закрытых регионов является пространственный прогноз локализации зон минерализации по выявленным гидрогеохимическим аномалиям. А это возможно только при знании структуры фильтрационного поля на площади аномалии и миграционных способностей элементов в конкретной природной обстановке. В связи с тем, что при поисковых гидрогеохимических исследованиях зачастую не могут быть получены прямые гидрогеологические данные по структуре фильтрационных потоков, важное значение приобретают разнообразные аналогии и причинные связи между структурами тех или иных природных систем, данные по которым могут быть получены при поисках, и динамикой подземных вод. В нашей практике при расшифровке гидродинамических условий участков гидрогеохимических аномалий широко используются не только геолого-структурные, но и орографические условия. Геологическую структуру воспроизводят геологическая карта совместно с тектонической. Орографические условия, причинно определяющие структуру фильтрационных потоков, отражаются комплексом морфометрических карт, которые строятся по методике, предложенной В. П. Философовым, а также картами морфоструктурного районирования по базисным поверхностям по разработанной А. А. Лукиным методике.

Из морфометрических карт важное значение для этой цели имеет карта изогидробазит, т. е. линии равных отметок базисов речной эрозии. Для их построения используются все реки, в том числе пересыхающие, которые вынесены на топографические карты. Поверхность, образованная изогидробазитами, и будет показывать абсолютную высоту залегания водоносного горизонта с ошибкой в пределах нескольких метров.

Специальная работа по сравнению уровня поверхности подземных вод с поверхностью, изображаемой изогидробазитами, проводилась в двух районах — Телекском месторождении фосфоритов (стадия детальной разведки — Лукин и др., 1970) и Черепановском месторождении подземных вод (предварительная разведка). Выявлено, что с увеличением вертикальной расчлененности рельефа разность между этими поверхностями возрастает более чем на 10 м (Телекское месторождение). Тем не менее следует подчеркнуть, что структура фильтрационного потока, отражаемая картами гидроизогипс и гидроизопьез, более всего близка структуре поверхности, заданной изогидробазитами. Поэтому при поисковых гидрогеохимических исследованиях картами изогидробазит можно пользоваться как близкими аналогами карт гидроизогипс, делая достоверные заключения о направлении поисков зон минерализации по выявленным гидрогеохимическим аномалиям.

Анализ дренирующей базисной поверхности показывает, что зоны минерализации должны находиться выше по уклону гидробазисной поверхности в полосе от участков выявленных аномалий до водораздела подземных вод, отрисовываемой замыкающимися изобазитами высоких уровней. Полоса эта оконтуривается двумя крайними линиями падения к изогидробазитам, ограничивающим на выходе подземных вод площадь гидрогеохимической аномалии. Вверх по потоку ширина полосы зависит от рисунка изогидробазит. Направление полосы водного потока определяется, естественно, не только изогидробазитами, но и простиранием водопроницаемых зон разрывных нарушений, контактов, пластов, показанных на геологической карте. Если в зоне дренирования водный поток закартирован полностью, то зона минерализации, его формирующая, не может выходить своими размерами за пределы проведенной полосы, так как в нее обязательно входит и ширина диффузионного рассеяния элементов вкrest водному потоку.

Возможная максимальная глубина зоны минерализации, обуславливающей водный поток рассеяния, определяется вертикальной расчлененностью рельефа и характером фильтрационных потоков, формирующих гидрогеохимическую аномалию. Если фильтрационный поток по своему характеру нисходящий, то верхняя часть зоны минерализации, очевидно, не может быть ниже гипсометрического уровня аномалии на участке дренирования подземных вод. При восходящем характере фильтрационного потока глубина источника обогащения вод элементами может находиться ниже этого уровня. Наиболее вероятный характер фильтрационного потока обосновывается описанными картами изогидробазит, картами морфоструктурного районирования по базисным поверхностям, особенностями химического состава вод, их окислительно-восстановительными свойствами, термодинамическими расчетами степени равновесия вод к горным породам и минералам. Наглядным приемом отображения вероятного положения глубины залегания зон минерализации является составление гидрогеохимических разрезов, проходящих по водораздельным линиям гидробазисной поверхности (Копылова и др., 1975). Водный же поток, зафиксированный в зоне дренирования по отдельным точкам наблюдений, проектируется на плоскость разреза. Координатами точек на разрезе являются: по вертикали — их гипсометрические отметки, по горизонтали — проекции точек на линию разреза по линиям падения гидробазисной поверхности (проектируются в направлении, обратном падению).

Совместный анализ гидрогеохимической карты, где водные потоки рассеяния нанесены в соответствии с предполагаемым направлением подземного стока, и гидрогеохимических разрезов позволяет идентифицировать гидрогеохимические аномалии по вероятным единым источникам их обогащения и дать прогноз вероятной глубины залегания зон минерализации.

Мы считаем, что обоснованное выделение однородных гидрогеохимических совокупностей, основанное на выяснении особенностей формирования химического состава вод с учетом этапов и процессов обогащения вод компонентами, определение специфических компонентов в каждом типе вод и косвенных показателей зон минерализаций, использование при выделении и оценке аномалий гидродинамических показателей будут способствовать дальнейшему повышению надежности гидрогеохимических поисков.

При оценке выделяемых аномалий должны привлекаться сведения о результатах других геохимических методов. Использование их необходимо прежде всего с точки зрения учета всех возможных форм нахождения элементов и выяснения источника обогащения металлами геохимических сред. Наиболее тесная взаимосвязь характерна для вторичных литохимических ореолов и водных потоков рассеяния, что предопределяет необходимость их совместного изучения с целью выяснения масштабов перераспределения вещества. Опыт исследований показывает, что только

комплексирование геохимических методов при геологопоисковых работах обычно дает максимальный эффект и должно широко применяться в практике поисков.

#### ЛИТЕРАТУРА

Большаков Э. И. К методике геохимических поисков ртутного оруденения на стадии глубинного геологического допущения слабообнаженных и закрытых территорий. — В кн.: Методика и техника геохимических поисков рудных месторождений. Фрунзе, «Илим», 1975.

Грицюк Я. М. Выделение остаточных аномалий при гидрогеохимических поисках. Кемерово, 1975.

Копылова Ю. Г., Тупчий З. В., Удодов П. А., Бычков В. Я. Эффективность гидрогеохимических исследований при поисках ртути в Магрипско-Матвеевской рудной зоне. — В кн.: Материалы научно-практической конференции. Молодые ученые и специалисты Томской области в девятой пятилетке. Томск, 1975.

Лузгин Б. Н., Шепеленко Л. И. Взаимоотношения ртутной и мышьяковой минерализации в Сарасинской рудной зоне (Горный Алтай). — «Сов. геология», 1975, № 3.

Лукин А. А., Рассказов Н. М., Павлов А. А. К использованию морфометрических методов при гидрогеологических исследованиях. — В кн.: Материалы VI совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. Иркутск — Хабаровск, 1970.

Удодов П. А., Рассказов Н. М., Шварцев С. Л., Паршин П. Н., Копылова Ю. Г. Эффективность гидрогеохимических поисков на территории Сибири. — В кн.: Вторичные ореолы рассеяния и их использование при поисках рудных месторождений на территории Сибири. Улан-Удэ, 1973.

Удодов П. А., Шварцев С. Л., Рассказов Н. М., Матусевич В. М., Солодовникова Р. С. Методическое руководство по гидрогеохимическим поискам рудных месторождений. М., «Недра», 1973.

Шварцев С. Л. Геохимия и формирование подземных вод зоны гипергенеза. Автореф. докт. дис. М., 1975.

---

Г. А. Голева  
(ИМГРЭ)

### РОЛЬ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ ПОИСКАХ И ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПОГРЕБЕННЫХ И СКРЫТОПОГРЕБЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Применение гидрогеохимического метода при поисках рудных месторождений, перекрытых мощным чехлом рыхлых отложений, представляет большой интерес в связи с весьма слабым проявлением на поверхности литохимических ореолов. В слаборасчлененных районах на участках широкого распространения слабопроницаемых надрудных глинистых толщ эффективность гидрогеохимических поисков возрастает при условии комплексирования с поисками по сорбционно-солевым ореолам рассеяния.

В новых неизученных закрытых районах геохимическим поискам по указанным типам ореолов должны предшествовать опытно-методические работы:

- а) ландшафтно-геохимическое районирование территории поисковых работ в целях выявления наиболее рационального комплекса исследований;
- б) определение наиболее информативных элементов-индикаторов в системе вода — порода;
- в) определение состава, протяженности, зональности и контрастности водных и сорбционно-солевых ореолов на эталонных объектах;
- г) оценка глубинности применяемых геохимических методов и их общей эффективности в целях рационального комплексирования;
- д) выбор и апробация аналитических методов анализа проб для всех поисковых сред: водной, твердой, биогенной, газообразной.



На первой мелкомасштабной стадии прогнозирования перспективных районов широко применяется самый дешевый и производительный полуколичественный спектральный метод анализа пород и водных концентратов, осажденных в полевых условиях на заранее выбранной основе (кадмиевой, алюминиевой, смешанной органо-минеральной и др.). Для получения экспрессной косвенной информации в полевых условиях о наличии погребенных рудных тел около водопунктов определяют наиболее легко анализируемые геохимические и геотермические параметры ( $\text{pH}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ , температура,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ), позволяющие оценить интенсивность окисления сульфидной минерализации, примерную глубину формирования ореольных вод и т. д.

На второй стадии детализации выявленных гидрохимических аномалий при более крупномасштабных поисках погребенных рудных полей применяются более чувствительные и точные физико-химические методы анализа рудных элементов, позволяющие устанавливать не только их валовые содержания в пробах, но и основные формы нахождения в ореольных водах и породах. Для использования последних при интерпретации аномалий выявляется наиболее информативный комплекс форм (не более 1—2), концентрирующих не менее 50—70% элемента-индикатора (по отношению к его общему содержанию в пробе). Это позволяет значительно повысить контрастность гидрохимических и сорбционно-солевых ореолов слабоокисляющихся глубокопогребенных рудных тел, а тем самым надежность их интерпретации.

В зависимости от степени расчлененности района поисков и мощности надрудных образований объектом опробования, помимо поверхностных водопроявлений и приповерхностных горизонтов рыхлых отложений, должен являться керн скважин и вскрываемые ими подземные водоносные горизонты. Открытие способом вертикального гидрохимического опробования скважин погребенных медно-никелевых залежей в пределах Красноярского края (Октябрьское рудное поле) подтверждает целесообразность проведения данного комплекса поисковых работ.

Для каждой гидрохимической среды установлен свой ряд подвижности рудных элементов: в сернокислой околорудной зоне мелкопогребенных окисляющихся сульфидных залежей наиболее растворимы сульфатные формы рудных элементов ( $\text{CuSO}_4^0$ ,  $\text{CuHSO}_4^+$ ,  $\text{ZnSO}_4^0$ ,  $\text{CdSO}_4^0$ ,  $\text{AgSO}_4^0$  и др.), а в полярной сильнощелочной среде — карбонатные формы металлов, кислоты и комплексные анионы этих кислот ( $\text{CuCO}_3^0$ ,  $\text{ZnHCO}_3^+$ ,  $\text{HCuO}_2^-$ ,  $\text{HZnO}_2^-$ ,  $\text{HMnO}_4^-$  и др.). Наименее благоприятна для растворения и миграции рудных элементов околонейтральная среда ( $\text{pH} = 6,5\text{—}7,2$ ), в которой формируются слабоконтрастные гидрохимические и сорбционно-солевые ореолы. Среди последних преобладают пять геохимических типов, генетически связанных с соответствующими гидрохимическими барьерами: железистым, сульфатным, карбонатным, кремнистым, органогенным. Примечательно, что аналогичные типы барьеров, концентрирующих большую часть рудных элементов, характерны и для гидротермальных рудоносных растворов, образовавших эндогенные ореолы рудных месторождений.

Примерное расположение выявляемых аномалий по отношению к предполагаемому скрытому оруденению наиболее часто определяется на основании изучения их геохимической зональности. В обобщенном виде она может быть представлена следующим образом.

В околорудной гидрохимической зоне, как правило, концентрируются наименее подвижные в гипергенных условиях кобальт, висмут, бериллий, золото, вольфрам. Промежуточную зону чаще всего образуют медь, молибден, никель, олово. В периферийной зоне концентрируются самые подвижные элементы-индикаторы: мышьяк, цинк, сурьма, бор, фтор, йод, барий, стронций, марганец, ртуть, литий, рубидий, цезий.

Место каждого элемента-индикатора в ряду зональности водных и сорбционно-солевых ореолов определяется устойчивостью его основной формы нахождения в данной среде при определенных значениях pH и Eh, а также концентрации основного лиганда-комплексообразователя.

Наибольшим непостоянством в рядах зональности обладают элементы с переменной валентностью: медь, мышьяк, молибден, золото, олово и др. В различных геохимических условиях они могут концентрироваться в различных зонах ореолов. Однако общая тенденция к увеличению комплексности состава водных и сорбционно-солевых ореолов по мере приближения к рудному телу выдерживается при всех значениях геохимических параметров среды миграции, что является основным показателем их генетической связи с оруденением.

В направлении движения ореольных вод обычно прослеживается следующая литохимическая зональность, состав и протяженность которой зависит от состава ореольных вод и степени окисления рудной минерализации: зона окремнения, окаймляющая интенсивно окисляющуюся сульфидную залежь, сменяется зоной ярозитизации и алунитизации. Глубокопогребенные рудные тела, не подвергающиеся процессам окисления, окаймляются чаще всего зонами огипсования, омарганцевания и галлуазитизации.

Состав новообразований и гипергенных изменений водовмещающих пород погребенных древних и современных зон окисления обусловлен эволюцией состава ореольных вод рудных месторождений во времени и пространстве. Знание последней, таким образом, позволяет устанавливать палеогеохимические условия формирования погребенных зон окисления и механизм образования зональности гипергенных ореолов рудных месторождений. Так, образование околорудных ярозитовой и кремнисто-опаловой зон происходило в процессе осаждения из сернокислых ореольных вод сульфидных месторождений гидроокислов железа, алюминия и других металлов в результате нейтрализации вод при взаимодействии с вмещающими породами.

В периферийной зоне гипергенных ореолов накапливались в основном карбонатные формы меди, цинка, свинца и других элементов-индикаторов сульфидных месторождений.

Вертикальная геохимическая зональность рудных полей определялась характером гидрогеологической раскрытости рудовмещающей структуры. Продолжительное понижение базиса эрозии приводило к инфильтрации агрессивных кислородсодержащих грунтовых вод по глубоким разрывным нарушениям в рудную зону и к наложению гипергенных процессов на зоны развития эндогенных ореолов. Последствием этих процессов являлось развитие гипергенных сульфидных минералов в надрудной зоне месторождений, диагностика которых, к сожалению, до сих пор почти не разработана.

Анализ гипергенной геохимической зональности погребенных рудных месторождений с гидрогеологических позиций показал, что центры тяжести водных и сорбционно-солевых ореолов располагаются на контактах пород с различной водопроницаемостью.

К современным методам обработки и интерпретации полевой гидрогеохимической информации относятся следующие:

1. Выявление гидрогеохимических признаков скрытого оруденения. Из всей совокупности признаков оруденения выбираются наиболее стабильные и информативные. Это осуществляется обычно двумя приемами.

Первый основан на установлении корреляционных связей между основными элементами-индикаторами, второй — на выявлении вида функций распределения содержаний элементов-индикаторов в системе вода — порода. Изменение корреляционных связей в данной системе происходит в зависимости от геохимических свойств элементов и пространственного соотношения с источником рассеяния рудного вещества. Чем ближе рас-

положены точки опробования к рудному телу или его эндогенному ореолу, тем разнообразнее в них комплекс коррелируемых элементов-индикаторов и достовернее их корреляция с рудообразующими элементами. По мере удаления от источников рассеяния рудного вещества наблюдается ослабление корреляционных связей и обеднение ассоциации коррелируемых компонентов вследствие наложения фоновых процессов (разбавление, сорбция и др.). Аналогичные изменения корреляционных зависимостей наблюдаются и в вертикальном разрезе рудных полей. На этом основании можно сделать вывод о том, что зональность распределения рудных элементов является признаком наличия рудной минерализации соответствующего состава. К сожалению, масштабы оруденения не всегда согласуются с размерами водных и сорбционно-солевых ореолов, особенно при глубоком залегании рудных тел под покровом рыхлых слабопроницаемых отложений, что затрудняет их количественную оценку;

## 2. Оконтуривание и интерпретация гидрохимических аномалий.

Пространственное отображение на прогнозных картах гидрохимических аномалий производится в настоящее время разными методами. Наиболее распространенным до последнего времени был метод «ручной интерполяции». В целях повышения производительности и объективности построения прогнозных гидрогеохимических карт в масштабах 1 : 200 000 и 1 : 50 000 нами был применен метод трендовых поверхностей, отображающих распределение рудных элементов по всему полю обследования более равномерно и объективно.

На стадии детализации выявленных аномалий с помощью метода наименьших квадратов определялись участки расположения источников рассеяния рудного вещества. Построение прогнозных карт в данном случае производится по совокупности (сумме или произведению) поисковых признаков в целях усиления контрастности аномалий.

Большая часть бесперспективных гидрохимических и сорбционно-солевых аномалий связана с процессами интенсивного выщелачивания повышенных кларковых содержаний рудных элементов из регионально обогащенных ими пород либо с древними бессточными котловинами с не промышленной рассеянной минерализацией рудных элементов. Отбраковка подобного рода бесперспективных аномалий должна производиться на основе палеогидрогеологического и палеогеохимического методов анализа геологической истории развития рудовмещающих структур. Опыт применения этих методов в поисковой геохимической практике весьма ограничен по причине слабой разработанности данных методов в области рудной геологии, поэтому при рассмотрении методов интерпретации гипергенных аномалий на примере конкретных погребенных и скрытопогребенных рудных месторождений должны быть проанализированы палеогидрогеологические особенности их развития.

---

*Э. И. Большаков, И. П. Васильев, В. Д. Мисюк*

*(Новосибирское геологическое управление)*

## **УСЛОВИЯ ПРИМЕНИМОСТИ И МЕТОДИКА ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ ЭНДОГЕННОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ЗАКРЫТЫХ РАЙОНАХ САЛАИРА И КОЛЫВАНЬ-ТОМСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ЗОНЫ**

Складчатые структуры горного обрамления Западно-Сибирской равнины, перспективные на рудные месторождения и доступные для геохимического опоскования, в пределах территории деятельности Новосибирского геологического управления занимают площадь порядка 35 тыс. км<sup>2</sup>. В их строении принимают участие непосредственно примы-

кающие к долине р. Оби варисциды Кольвань-Томской складчатой зоны Обь-Зайсанской геосинклинальной системы и герциниды северо-западной окраины Салаирской структурно-формационной зоны Алтае-Саянской области.

Северо-западная часть Салаира относится к низкогорной таежной ландшафтной зоне с кислым классом водной миграции. При хорошей расчлененности рельефа с относительными превышениями до 100—150 м обнаженность его слабая. Рыхлые кайнозойские отложения мощностью от 1—3 до 25—30 м, реже более, почти сплошным чехлом перекрывают породы палеозойского основания; последние выступают на дневную поверхность лишь по долинам глубоко врезанных рек и логов и редко на вершинах узких водоразделов.

По степени обнаженности Кольвань-Томская складчатая зона и Горловский прогиб относятся к типичным закрытым геологическим структурам и лишь на отдельных участках соответствуют полужакрытым. Образуют в рельефе всхолмленную, в различной степени расчлененную возвышенность, палеозойские образования на большей части площади их распространения погребены под рыхлыми кайнозойскими осадками мощностью до 50—100 м и более. Редкие выходы их на дневную поверхность приурочены к долинам рек, реже встречаются на вершинах холмов и сопок, сложенных интрузивными и эффузивными породами.

Кроме повсеместного распространения кайнозойских покровных отложений, в разрезе которых по мере увеличения их мощности с востока на запад появляются неогеновые и палеогеновые осадки, одной из основных особенностей геологии района в целом является также широкое развитие образований древней коры выветривания, наличие которых характерно для ослабленных зон тектонических контактов и участков погружения палеозойского основания, где мощность их достигает десятков метров.

В настоящее время вся территория горного обрамления заснята государственной геологической съемкой среднего масштаба; на некоторых площадях проведены геологосъемочные работы крупного масштаба. В результате собран большой фактический материал, на основании которого получено представление о геологическом строении этой территории и перспективах ее на полезные ископаемые, в том числе на вольфрам, олово, ртуть, медь, свинец, цинк и др.

Однако оценивая состояние поисков эндогенного оруденения, а они проводились в наших условиях в основном в процессе геологосъемочных работ, необходимо отметить, что, несмотря на определенные перспективы северо-западной части Салаира и Кольвань-Томской складчатой зоны, в геологическом и тем более металлогеническом отношении они изучены еще недостаточно. В связи с повсеместным распространением здесь рыхлых покровных образований и широким развитием древней коры выветривания, затрудняющими проведение геологических поисков, для дальнейшего изучения этих территорий необходимо применение современных эффективных методов исследования.

Анализ материалов показывает, что эффективность геологического изучения закрытых районов может быть резко увеличена за счет применения новых современных методов геологического картирования, широко внедряемых за последние годы в Советском Союзе, — глубинного геологического картирования и групповой геологической съемки. Это подтверждается опытом работы Новосибирского геологического управления в северо-западной части Салаира по глубинному геологическому картированию Мавринско-Матвеевской ртутно-рудной зоны и по групповой опытно-производственной геологической съемке крупного масштаба в Горловском прогибе. Значительная эффективность этих исследований по сравнению с обычными ранее проводившимися крупномасштабными геологическими съемками обусловлена тем, что они в большей степени способствуют локальному прогнозированию и возможности выявления

скрытых месторождений. При этом в связи с увеличением поисковой нагрузки особенно возрастает роль геохимических методов.

Результаты геохимических исследований убеждают нас в том, что для перспективной оценки северо-западной части Салаира и Колывань-Томской складчатой зоны достаточно эффективны методы донного и гидрогеохимического опробования. По характеру элементного состава литогеохимических и гидрогеохимических потоков вторичного рассеяния даже в условиях сложной ландшафтно-геологической обстановки можно выявлять рудоносные зоны, прогнозировать рудные поля и узлы, выделять перспективные участки для постановки детальных работ (Большаков, 1975а, б, 1978; Удодов и др., 1975, 1978).

Для повышения эффективности новых видов крупномасштабных геологических съемок для каждого конкретного района необходимо определить наиболее оптимальный комплекс геохимических методов и выбрать рациональную методику их проведения в зависимости от природных условий (геологических, геоморфологических, ландшафтно-климатических и др.) с учетом ожидаемых результатов и стоимости работ.

Учитывая геологические условия низкогорья северо-западной части Салаира и расчлененной возвышенности Колывань-Томской складчатой зоны, а также задачи и специфику проведения новых видов крупномасштабных геологических съемок, сопровождающие их геохимические исследования рекомендуется подразделять на три этапа (Большаков, 1975а).

**Первый этап** — крупномасштабное прогнозирование на основе изучения литогеохимических и гидрогеохимических потоков вторичного рассеяния с целью выделения рудных полей и узлов. Основные виды работ — донное и гидрогеохимическое опробование в масштабе 1 : 25 000 со сведением полученной геохимической информации в масштаб 1 : 50 000. При этом для выбора оптимальных условий (фракций пробоотбора, шага опробования, перечня определяемых компонентов, метода воосаждения и др.) обязательны предварительное проведение опытно-методических исследований и учет предшествующего опыта.

Завершающей стадией первого этапа должен быть геолого-математический анализ информации и составление карт остаточных аномалий и интегральной интенсивности поисковых признаков с вероятностной оценкой соответствия выделяемых геохимических аномалий рудным объектам. (Грицюк, Копылова, 1973; Грицюк, 1975).

Необходимость рационального комплексирования литогеохимических поисков по потокам рассеяния с гидрогеохимическим методом диктуется геолого-геохимическими особенностями северо-западной части Салаира и Колывань-Томской складчатой зоны, где рудные тела и связанные с ними первичные ореолы погребены. Выбор в качестве основных поисковых геохимических методов донного и гидрогеохимического опробования обусловлен также тем, что только эти методы фиксируют суммарный эффект от многих сближенных рудных тел, составляющих рудные тела месторождений, в том числе с погребенным и слепым типом оруденения. Существует вероятность, что при этом могут быть пропущены многочисленные мелкие объекты (рудопроявления и точки минерализации), но это только экономит силы и средства на их оценку.

Нет необходимости доказывать, что ставить задачу поисков рудных тел, учитывая их размеры, даже при масштабе 1 : 10 000 нереально. Поэтому при работах в масштабах 1 : 25 000—1 : 50 000 нужно в первую очередь выделять и оконтуривать рудные поля.

Следует заметить, что все другие поисковые приемы (в том числе и геохимические), кроме литогеохимических и гидрогеохимических поисков по потокам рассеяния, непосредственно направлены на выявление рудных тел и в процессе крупномасштабного геологического картирования закрытых территорий приводят, в лучшем случае, к открытию многочисленных рудопроявлений и точек минерализации, а площади возможных рудных

полей в целом остаются неоцененными. Такой подход в наших условиях не может способствовать обнаружению месторождений, которые могли бы представлять практический интерес, и создает предпосылки для распыления сил и средств на оценку многочисленных мелких объектов.

В итоге проведенных работ первого этапа в пределах исследованных площадей должны быть выделены локальные участки для углубленного геологического анализа и последующей постановки (в пределах наиболее перспективных из них) детальных геохимических исследований второго этапа.

**Второй этап** — детальные поиски по вторичным литогеохимическим ореолам рассеяния в масштабах 1 : 10 000—1 : 2 000 в комплексе с газортутными исследованиями. На участках с повышенной мощностью рыхлых отложений (более 3 м) и при наличии погребенной древней коры выветривания целесообразен глубинный вариант поисков по вторичным ореолам рассеяния с использованием станков УПБ-25 или других буровых установок.

На этом этапе необходимо усилить работы по расшифровке деталей геологического строения площадей и участков, выделенных в процессе работ первого этапа, что потребует применения аэрофотометодов, геофизических исследований, горных и буровых работ.

Цель второго этапа — оценка и детализация прогнозируемых рудных полей и перспективных участков; получение информации о возможном характере, типе и масштабах оруденения, уровне его эрозионного среза, прогнозных запасах металла и т. д., на основании чего определяется целесообразность перехода к третьему этапу.

При проведении работ второго этапа следует учитывать, что положение рудных полей, их контуры нередко определяются совсем другими, иногда даже противоположными по значению факторами, по сравнению с факторами, определяющими положение рудных тел.

**Третий этап** — оценка путем проходки горных выработок и скважин, изучение первичных ореолов оруденения с целью определения его перспектив и масштаба распространения на глубину.

Предлагаемая для прогнозирования и поисков эндогенного оруденения в закрытых районах юга Западной Сибири методика геохимических исследований отрабатывалась при глубинном геологическом доизучении Мавринско-Матвеевской ртутно-рудной зоны (северо-западная часть Салаира). В частности, результаты исследований позволили сделать научно обоснованный вывод о перспективах зоны на эндогенное ртутное оруденение, наметить рудные поля и узлы (Большаков, 1975а, б).

Доказательством состоятельности этой методики может служить тот факт, что поэтапное исследование на одном из перспективных участков в пределах четко намечившегося рудного узла привело к выявлению скрытого ртутного оруденения с промышленным содержанием металла.

Изложенная методика геохимических исследований рекомендуется для расчлененных районов низкогорья и возвышенностей с неглубоким (до 50 м) залеганием палеозойского основания, которые занимают большую часть северо-западной части Салаира и центральную часть Колывань-Томской складчатой зоны. К этому следует добавить, что при проведении крупномасштабных геологических съемок на первом этапе геохимических исследований подлежат обязательному послойному опробованию все обнажения палеозойских пород, а также образования древней коры выветривания и породы палеозоя, вскрываемые горными выработками и буровыми скважинами различного целевого назначения. В результате будет получена дополнительная геохимическая информация, способствующая наиболее полной интерпретации геохимических полей.

Для районов менее расчлененных, перекрытых рыхлыми покровными отложениями мощностью до 100 м, литогеохимические и гидрогеохими-

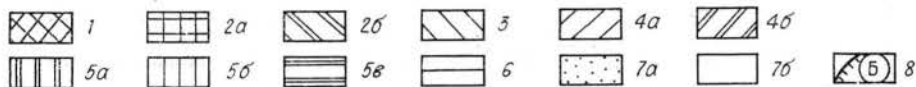
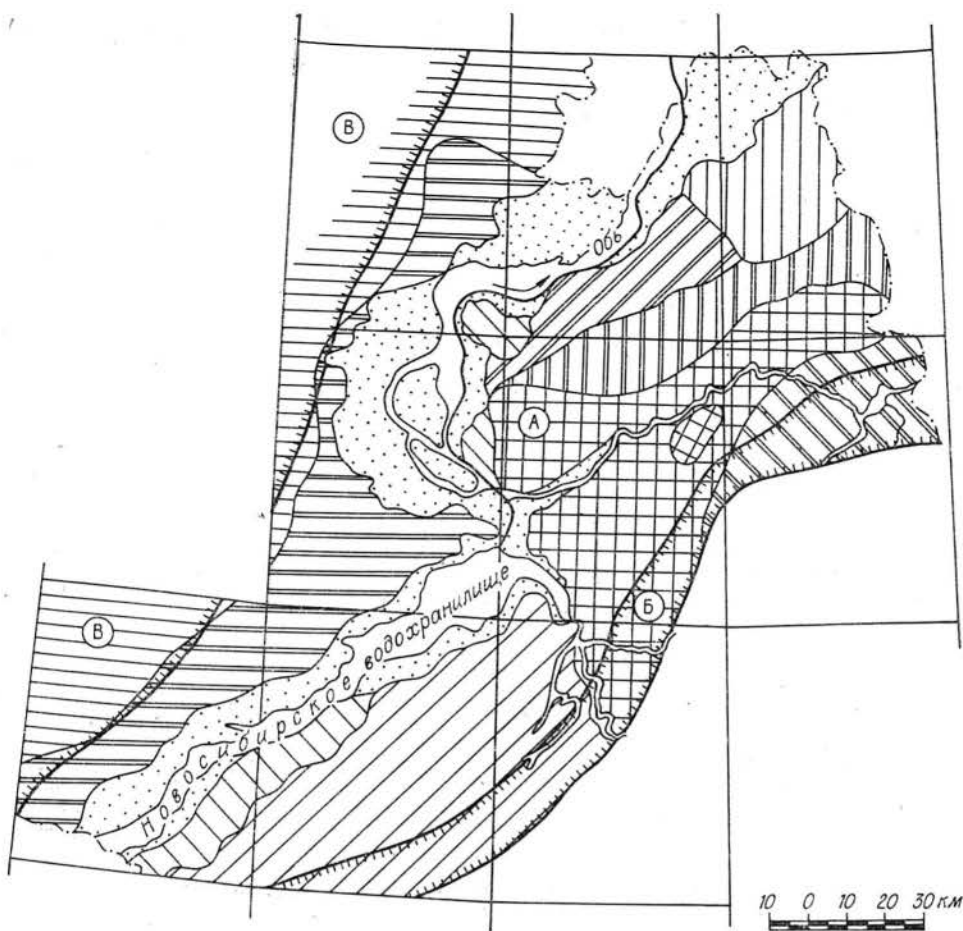


Схема районирования Кольвань-Томской складчатой зоны и Горловского прогиба по условиям ведения геохимических поисков.

Усл. обозн. 1, 2а, 2б, ..., 7а, 7б см. в таблице. 8 — границы геологических структур: А — Кольвань-Томской складчатой зоны, Б — Горловского прогиба, В — Западно-Сибирской равнины.

ческие исследования первого этапа целесообразно дополнить геохимическими методами.

В районах выложенных слабо расчлененных равнин, где мощность кайнозойских отложений достигает 150 м и более, следует проводить послойное литогеохимическое опробование керна колонковых скважин, подземных вод, особенно на выходах их естественной и искусственной (буровые колодцы) разгрузки, а также геохимические и газотурбинные поиски.

Изложенные выше принципы геохимических исследований в закрытых районах горного обрамления территории деятельности Новосибирского геологического управления наглядно иллюстрируются схемой районирования по условиям ведения геохимических поисков, фрагмент которой показан на рисунке. В соответствии с этой схемой (см. таблицу) приводится характеристика природных условий выделенных районов и рекомендуемые рациональные геохимические методы для прогнозирования и поисков глубокозалегающего эндогенного оруденения.

Типы рельефа, характер древней коры выветривания и аллохтонных отложений	Геохимические ландшафты
1	2

Неоэлювиальные

*А. полу*

1. Денудационно-аккумулятивное низкогорье с близким залеганием палеозойского основания и отсутствием коры выветривания; аллохтонные отложения представлены лессовидными суглинками краснодубровской свиты ( $Q_{I-II} krd$ ) мощностью до 10—20 м

Лесолуговые с переходным от кислого к кальциевому классу водной миграции

*Б. Закрытые*

2. Эрозионно-аккумулятивная увалистая возвышенность с неравномерно развитой корой выветривания, с выходами палеозойских пород по долинам рек, на вершинах сопок и холмов; аллохтонные отложения мощностью до 20—50 м, реже более, представлены повсеместно лессовидными суглинками (на западе — близ долины р. Оби — супесями и песками) краснодубровской свиты ( $Q_{I-II} krd$ ), реже глинами кочковской свиты ( $N_2kc$ ) и бурлинской серии осадков ( $Nbr$ ):

а) хорошо расчлененная возвышенность с глубоко врезанной, частично омоложенной речной сетью, узкими долинами и выровненными водоразделами

Лесные, лесолуговые и лесостепные с кислым и переходным от кислого к кальциевому в сочетании с карбонатным классом водной миграции

б) слабо расчлененная возвышенность с небольшим врезом речных долин, пологими склонами и широкими выпуклыми водоразделами

Лесостепные, преимущественно с карбонатным в сочетании с переходным от карбонатного к кальциевому натриево-натриевому классу водной миграции

3. Эрозионно-аккумулятивная равнина с наложенным эоловым мелкобугристым микро-рельефом, с неглубоким (5—20 м) врезом корытообразных речных долин и пологими водоразделами, с ограниченным развитием коры выветривания, с выходами палеозойских пород по долинам рек и на вершинах холмов; аллохтонные отложения мощностью до 50 м, реже более, представлены лессовидными суглинками и супесями краснодубровской свиты ( $Q_{I-II} krd$ ), повсеместно перекрытыми эоловыми песками ( $Q_{III-IV}$ ); в западинах палеозойского основания развиты глины и пески кочковской свиты ( $N_2kc$ ), реже бурлинской ( $Nbr$ ), иногда некраповской ( $P_3-N_1nk$ ) серии осадков

Лесные (боровые) с преобладанием кислого в сочетании с переходным от кислого к кальциевому классу водной миграции

4. Эрозионно-аккумулятивные возвышенные равнины с глубоко врезанной речной сетью, широко развитой корой выветривания и редкими выходами палеозойских пород по долинам рек; аллохтонные отложения мощностью до 50—70 м и более представлены повсеместно лессовидными суглинками краснодубровской свиты ( $Q_{I-II} krd$ ), реже глинами кочковской свиты ( $N_2kc$ ), в западинах палеозойского основания присутствуют глины и пески бурлинской ( $Nbr$ ) и некраповской ( $P_3-N_1nk$ ) серии осадков:



Типы геохимических ореолов	Рекомендуемые методы геохимических поисков и масштабы работ	
	1:50 000—1:25 000	1:10 000 и крупнее
3	4	5

**ландшафты**

*акрытые*

Открытые вторичные ореолы и потоки в верхних частях склонов, ослабленные и неглубоко погребенные — на пологих водоразделах и в нижних частях склонов

Литогеохимические поиски по потокам рассеяния — донное опробование постоянных и временных водотоков

Поиски по вторичным ореолам с опробованием иллювиального почвенно-генетического горизонта «В»

Гидрогеохимические и слабо контрастные солевые и механические потоки. Открытые резко ослабленные вторичные ореолы в лессовидных суглинках мощностью до 10—15 м при отсутствии древней коры выветривания; погребенные — на участках с мощностью аллотонных отложений более 10—15 м и развитой корой выветривания; возможны наложенные ореолы

Гидрогеохимические и литогеохимические поиски по потокам рассеяния; применимы газортутные и атмосферические поиски

Поиски по вторичным ореолам с опробованием иллювиального почвенно-генетического горизонта «В»; глубинные геохимические поиски по погребенным вторичным ореолам с опробованием представительного горизонта — на участках с покровными отложениями более 10 м и развитой корой выветривания

То же

То же

Слабо контрастные гидрогеохимические, резко ослабленные солевые и механические потоки; погребенные вторичные ореолы, залегающие в глинах коры выветривания либо приуроченные к нижней части разреза рыхлых покровных отложений; возможны наложенные вторичные ореолы

»

Глубинные геохимические поиски по вторичным погребенным ореолам — послонное опробование разреза рыхлых покровных отложений и глин коры выветривания. Возможны геохимические поиски по вторичным наложенным ореолам путем опробования горизонта почв

- а) волнистая равнина с широкими пологими водоразделами  
 б) увалистая равнина с выпуклыми узкими водоразделами

5. Аккумулятивные возвышенные равнины с глубоким залеганием палеозойского основания и повсеместным развитием коры выветривания; аллохтонные отложения мощностью до 100—150 м и более представлены лессовидными суглинками, супесями и песками краснодубровской свиты ( $Q_{I-II} krd$ ), глинами кочковской свиты ( $N_2 k\check{s}$ ), глинами и песками бурлинской ( $Nbr$ ) и некрасовской ( $P_3-N_1 nk$ ) серий осадков в основании:

а) пологоволнистая расчлененная равнина с глубоким врезом речных долин, с крутыми склонами и широкими плоскими водоразделами

б) пологоувалистая расчлененная равнина с суффозионным гривным ландшафтом и узкими выложенными водоразделами

в) плоская слабо расчлененная равнина с суффозионно-просадочными западинами и широкими плоскими водоразделами

6. Аккумулятивная плоская аллювиально-озерная равнина плохо расчлененная, со смешанным болотным (низинные торфяники) и суффозионным типом микрорельефа, формирующегося на мощной (сотни метров) толще осадочно-чехла, сложенного иловатыми и лессовидными суглинками федосовской свиты ( $Q_{I-II} fd$ ), глинами кочковской свиты ( $N_2 k\check{s}$ ) и бурлинской серии осадков ( $N br$ ), каолинизированными глинами и песками (с линзами и прослоями бурых углей и лигнитов) некрасовской серии осадков ( $P_3-N_1 nk$ ), с появлением в основании разреза континентальных и морских отложений мела и юры (Западно-Сибирская равнина)

7. Аккумулятивные аллювиальные равнины, приуроченные к долинам крупных рек:

а) надпойменные террасовые равнины р. Оби, в различной степени дренированные и заболоченные, с наложенным эоловым (дюнным) микрорельефом

б) пойменные низинные равнины р. Оби и ее крупных притоков с близким залеганием зеркала грунтовых вод и полной аккумуляцией твердого стока

Лесостепные с преобладанием карбонатного класса водной миграции  
 Лесные, лесолуговые и лесостепные с кислым и переходным от кислого к кальциевому классу водной миграции

Лесолуговые и лесостепные с переходным от кислого к кальциевому в сочетании с карбонатным классом водной миграции

Лесные, в меньшей степени лесолуговые в сочетании с переходным от кислого к кальциевому классу водной миграции

Лесостепные с карбонатным классом водной миграции, в меньшей степени лесные заболоченные с кислым глеевым классом водной миграции

Таежно-болотные с кислым глеевым классом водной миграции, лесостепные с карбонатным в сочетании с переходным от карбонатного к кальциево-натриевому классу водной миграции

### Гидроморфные

Лесолуговые в различной степени заболоченные

Луговые и лугово-болотные с карбонатно-глеевым (?) классом водной миграции

3	4	5
<p>Все типы геохимических ореолов и потоков глубоко погребены; вдоль активизированных зон и разломов развиваются гидрогеохимические и газовые аномалии</p> <p>То же</p>	<p>Газортутные и атмосферические поиски; опробование подземных вод на выходах их естественной и искусственной разгрузки; опробование керна колонковых скважин различного целевого назначения</p> <p>В настоящее время геохимические поиски месторождений, связанных с породами палеозойского фундамента, не применимы Возможны атмосферические и газортутные поиски</p>	<p>Глубинные геохимические поиски по погребенным вторичным ореолам</p>

## ландшафты

<p>То же</p> <p>Ореолы и потоки погребенные. На участках разгрузки подземных вод возможны гидрогеохимические аномалии. Формируются наложенные солевые ореолы в различных отложениях, железистых осадках и торфах</p>	<p>Опробование подземных вод и керна колонковых скважин различного целевого назначения</p> <p>То же. Опробование железистых осадков и торфов</p>	<p>Глубинные геохимические поиски по вторичным ореолам с опробованием коры выветривания, а при ее отсутствии — базального горизонта покровных отложений</p> <p>То же. Возможны геохимические поиски по вторичным наложенным ореолам путем опробования торфов и железистых осадков</p>
--	--	---

Другой важной задачей геохимических методов в условиях Новосибирского геологического управления является оценка ранее выявленных геохимических аномалий и аномальных полей. В частности, только в пределах Колывань-Томской складчатой зоны более 10 из них отнесены к группе первоочередных, требующих специальной проверки. Около 300 аномалий рекомендованы к попутному изучению, работы по оценке которых следует включить в проекты геологических съемок и осуществлять в процессе геологосъемочных работ.

При оценке геохимических аномалий в условиях закрытых районов северо-западной части Салаира и Колывань-Томской складчатой зоны необходимо выделять две стадии, каждая из которых имеет свои цели и задачи.

**Первая стадия** — опознание аномалии на местности; выполнение визуальных наблюдений (в том числе поисков); изучение и опробование коренных обнажений и россыпей (если они имеются); проведение горных или буровых работ (с целью изучения объекта, хотя бы в одном пересечении), сопровождающихся детальным геохимическим опробованием; анализ и обработка данных детального геохимического опробования. После этого дается либо положительное заключение для перехода ко второй стадии, либо обоснованная отбраковка аномалии в число «ложных», «породных», «техногенных» и т. п.

**Вторая стадия** — оконтуривание аномалии двумя-тремя профилями скважин или других горных выработок (с опробованием поверхности или на глубине, в зависимости от мощности рыхлых покровных отложений и наличия образований древней коры выветривания); изучение элементного состава оруденения и элементов-примесей в монофракциях рудных минералов; систематизация данных геохимического опробования с целью отнесения рудопроявления к определенному генетическому типу, а также обоснованной оценки о необходимости дальнейшего проведения поисково-разведочных работ.

В заключение следует отметить, что поставленные перед геохимическими методами задачи сейчас направлены на прогнозирование и поиски глубокозалегающего эндогенного оруденения. Рекомендуемые же нами методические приемы по выполнению геохимических исследований должны способствовать повышению геологической эффективности новых видов крупномасштабных геологических съемок, внедряемых Новосибирским геологическим управлением с целью всестороннего геологического изучения и оценки закрытых районов юга Западной Сибири.

## ЛИТЕРАТУРА

Беус А. А., Григорян С. В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М., «Недра», 1975.

Большаков Э. И. К методике геохимических поисков ртутного оруденения на стадии глубинного геологического доизучения слабообнаженных и закрытых территорий. — В кн.: Методика и техника геохимических поисков рудных месторождений. Фрунзе, «Илим», 1975а.

Большаков Э. И. Результаты изучения гипергенных полей рассеяния ртути в условиях Северо-Западного Салаира. — В кн.: Геохимические методы при поисках рудных месторождений олова, вольфрама, ртути, Владивосток, 1975б.

Большаков Э. И. Геохимические поля рассеяния ртути в условиях Северо-Западного Салаира. — В кн.: Геохимические методы поисков рудных месторождений в Сибири и на Дальнем Востоке. Новосибирск, «Наука», 1978.

Грицюк Я. М. Выделение остаточных аномалий при гидрогеохимических поисках. Инф. листок 541-75. Кемеровский межотраслевой территориальный центр науч.-техн. инф. и пропаганды. Кемерово, 1975.

Копылова Ю. Г., Грицюк Я. М. К методике расчета фонового гидрогеохимического поля и составления карт остаточного тренда. — В кн.: Тезисы докладов седьмого совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. Иркутск — Новосибирск, 1973.

Овчинников Л. Н. Механизм формирования первичных геохимических ореолов и рудных тел. — В кн.: Проблемы эндогенного рудообразования и металлогении. Новосибирск, «Наука», 1976.

Поликарпочкин В. В. Поиски рудных месторождений по потокам рассеяния (современное состояние методики и перспективы ее развития). — В кн.: Методика и техника геохимических поисков рудных месторождений. Фрунзе, «Илим», 1975.

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

Тусов Л. В. Проблемы поисковой геохимии. — В кн.: Проблемы эндогенного рудообразования и металлогении. Новосибирск, «Наука», 1976.

Удодов П. А., Тупчий З. В., Копылова Ю. Г., Курышева Е. А., Павловский Г. Д. Гидрогеохимический метод при поисках ртути в Мавринско-Матвеевской рудной зоне. — В кн.: Методика и техника геохимических поисков рудных месторождений. Фрунзе, «Илим», 1975.

Удодов П. А., Шварцев С. Л., Грицюк Я. М., Большаков Э. И., Копылова Ю. Г., Тупчий З. В., Бычков В. Я., Курышева Е. А. Использование гидрогеохимического метода при поисках ртути. — В кн.: Геохимические методы поисков рудных месторождений в Сибири и на Дальнем Востоке. Новосибирск, «Наука», 1978.

---

*В. М. Чекалин, И. Ф. Мясников, Л. И. Кочуркова*

*(Западно-Сибирское геологическое управление, Центральный геофизический трест)*

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ СКРЫТОПОГРЕБЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД НА ПРИМЕРЕ РУБЦОВСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

В настоящее время геохимические исследования стали неотъемлемой частью всех геологосъемочных и поисково-разведочных работ. Особенно важное значение они имеют при поисках скрытопогребенного глубокозалегающего оруденения в районах с большой мощностью рыхлых отложений, перекрывающих продуктивные толщии пород. К такому типу районов относится Рубцовский в крайней северо-западной степной части Рудного Алтая, где мощность рыхлых мезокайнозойских отложений достигает 60—100 м на востоке и 200—300 м на западе. Описываемый район входит в состав одноименной структурно-формационной подзоны, приуроченной к северо-восточному крылу и северо-западному периклинальному окончанию Алейского антиклинория.

Как самостоятельная металлогеническая единица, специализированная на полиметаллическое оруденение, в составе рудноалтайского полиметаллического пояса Рубцовский рудный район выделен в последние 15—18 лет. В настоящее время здесь открыто четыре месторождения; три (Степное, Таловское, Рубцовское) разведаны и детально изучены и одно (Захаровское) разведывается. Известен ряд рудопроявлений и точек минерализации. Промышленное оруденение локализовано в дислоцированных вулканогенно-осадочных породах среднего и верхнего девона с широким развитием среди них субвулканических интрузий кислого и, в подчиненном количестве, основного состава.

Основные элементы в рудах — цинк, свинец, медь. В заметных количествах отмечаются кадмий, серебро, барий, а также мышьяк, сурьма, висмут, молибден и др. Большое количество химических элементов в составе руд не только увеличивает извлекаемую ценность известных месторождений, но и облегчает поиск новых, поскольку они образуют вокруг рудных тел значительные по размерам и различные по интенсивности первичные ореолы.

Для установления закономерностей распределения элементов-индикаторов полиметаллического оруденения в околорудном пространстве и

разработки геохимических критериев поисков трудно открываемых скрытопогребенных глубокозалегающих месторождений проведен значительный объем опытно-методических и опытно-производственных исследований. Опробование коренных пород, рыхлых отложений и подземных вод проводилось по общепринятым методикам (Инструкция. . . , 1965; Удодов, Онуфриенко, 1957). Все геохимические пробы и водные концентраты подвергались эмиссионному спектральному на 30—32 элемента, частично химическому и специальным физико-химическим анализам. Спектральный анализ выполнялся на спектрографах ИСП-28, ДФС-8, ДФС-13 в лабораториях Рудно-Алтайской экспедиции Западно-Сибирского геологического управления (г. Змеиногорск) и Геохимической экспедиции Центрального геофизического треста (г. Александров), химический анализ вытяжек — в Центральной геохимической экспедиции Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (г. Москва). Кроме того, в лаборатории геохимической экспедиции Центрального геофизического треста атомно-абсорбционным методом определялось содержание ртути, пламенной фотометрией — лития, рубидия, цезия, специальным высокочувствительным методом со спектральным окончанием — мышьяка, сурьмы и фтора. Высокая чувствительность анализов всех лабораторий, позволяющая определить кларковые и нижекларковые содержания большинства элементов-индикаторов рудного процесса, дала возможность установить, что все изученные месторождения и рудопроявления фиксируются геохимическими аномалиями в коренных породах, рыхлых отложениях и подземных водах.

**Первичные ореолы изученных месторождений и рудопроявлений** характеризуются поликомпонентным составом, зональным строением и значительными размерами, во много раз превышающими параметры рудных тел.

Рассмотрим особенности первичных ореолов на примере скрытопогребенного глубокозалегающего Таловского, скрытого Степного и погребенного Рубцовского месторождений. Все они находятся в сложных геологических условиях, перекрыты рыхлыми отложениями значительной мощности (за исключением центральной части Степного месторождения) и могут рассматриваться в качестве эталонных объектов. Результаты изучения их можно использовать при выявлении новых аналогичных по условиям и глубине залегания месторождений, которые в настоящее время на Рудном Алтае являются основным объектом поисков.

Таловское месторождение представлено несколькими рудными телами, залегающими согласно с вмещающими породами под углом  $45^\circ$  в интервале глубин 320—800 м. Мощность рыхлых отложений составляет 60—80 м. В связи с этим оно относится в поисковом отношении к наиболее трудно открываемым рудным объектам.

Большая мощность (400—450 м) надрудной толщи позволяет наиболее полно изучить строение и состав первичных ореолов, и в этом смысле месторождение является уникальным. В подрудной части его установлены ореолы меди, висмута, кобальта, молибдена и никеля. Кроме того, здесь отмечаются иногда в значительных количествах такие элементы, как свинец, барий, серебро и другие, но они, по-видимому, обусловлены влиянием близко расположенного субвулканического тела минерализованных липаритовых порфиров, специализированных на рудные элементы и их спутники. В надрудной части развиты преимущественно ртуть, серебро, барий, цинк, мышьяк, сурьма, литий, цезий, фтор, распространяющиеся от рудных тел на расстояние до 400 м и выходящие на древний эрозионный срез. Элементы подрудной группы здесь образуют небольшие ореолы вблизи рудной зоны. Заслуживают внимания ореолы выноса кобальта, марганца и никеля в надрудной части.

Степное месторождение в структурном отношении представлено сложно построенной брахиантиклинальной складкой, разбитой серией раз-

рывных нарушений на ряд блоков. Тела полиметаллических руд, залегающие согласно с вмещающими породами, приурочены к крыльям и замкам складчатой структуры (рис. 1). Промышленные руды находятся в интервале глубин 20—350 м. Мощность рыхлых отложений колеблется от 0,5 м в центральной части месторождения до 20—40 м на его флангах. Распределение химических элементов здесь, по сравнению с Таловским месторождением, носит более сложный характер. Это вызвано, во-первых, тем, что Степное месторождение характеризуется широким развитием в его центральной части зоны окисления, опускающейся до глубин 50—80 м. Наличие этого фактора привело к некоторому перераспределению химических элементов в его верхней части. И, во-вторых, на этом месторождении в отличие от других месторождений района в больших масштабах проявлено баритовое оруденение. Среднее содержание химических элементов в первичных ореолах Степного месторождения в отличие от Таловского значительно выше.

Рубцовское месторождение характеризуется одним пологозалегающим (около 15°) рудным телом, приуроченным к северному крылу пологой синклинали. Глубина залегания руд составляет 80—215 м. В западной части рудное тело выходит на уровень древнего эрозионного среза (рис. 2). Заметную роль в общем балансе занимают руды, затронутые процессами окисления. Мощность мезокайнозойских образований достигает 100 м. Наличие зоны окисления наложило определенный отпечаток на первичные ореолы. Намечается некоторое обогащение коренных пород свинцом, цинком и медью, вынесенными при окислении руд и переотложенными в направлении движения древних грунтовых вод. Этот факт значительно затушевывает первоначальную картину распределения рудных элементов в надрудной части месторождения. Второй особенностью является развитие ореолов мышьяка, серебра и сурьмы и в подрудной зоне. В целом общая картина зональности в строении первичных ореолов и в случае Рубцовского месторождения сохраняется.

Определение уровня эрозионного среза рассматриваемых месторождений возможно по составу первичных ореолов и геохимическим коэффициентам, представляющим соотношение продуктивностей надрудных и подрудных групп элементов. Однако для них пока ни один из примененных коэффициентов не является универсальным, что, видимо, объясняется различиями в геологическом строении месторождений, длительностью и различной стадийностью образования руд, их гипергенными преобразованиями.

Для поисковых целей важно знать не только вещественный состав и внутреннее строение первичных ореолов, необходимые для определения уровня эрозионного среза прогнозируемого оруденения, но и их размеры, являющиеся показателем глубинности геохимических поисков и в какой-то степени масштабности оруденения. В таблице приведена максимальная эффективная длина первичных ореолов на месторождениях и рудопроявлениях Рубцовского рудного района, из которой видно, что наибольшими размерами, превышающими в несколько раз размеры промышленного оруденения, обладают ореолы таких надрудных элементов, как ртуть, свинец, цинк, мышьяк, сурьма, цезий и фтор. В связи с этим данный комплекс элементов, вероятно, является достаточно надежным индикатором скрытого полиметаллического оруденения, залегающего на глубине до 400 м от поверхности древнего эрозионного среза.

**Вторичные ореолы рассеяния.** Поиски многих ископаемых по их вторичным ореолам рассеяния осуществляются более 40 лет, но в основном в районах с мощностью рыхлых отложений до 10 м. В Рубцовском рудном районе, где их мощность измеряется многими десятками метров, естественно, литогеохимические съемки в наземном варианте не проводились. Впервые в 1967 г. сотрудниками ИМГРЭ (А. А. Головин, А. С. Гол-

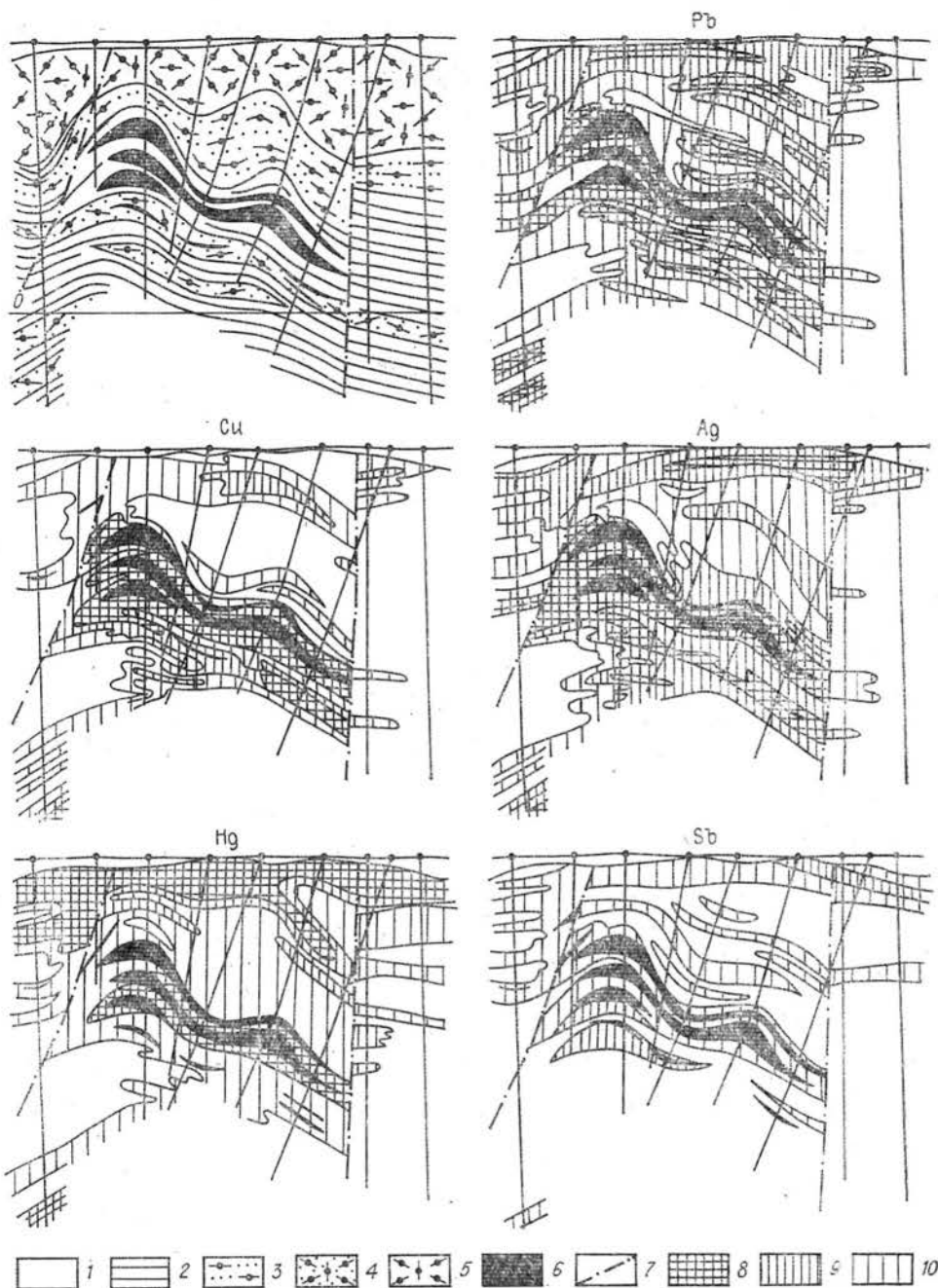
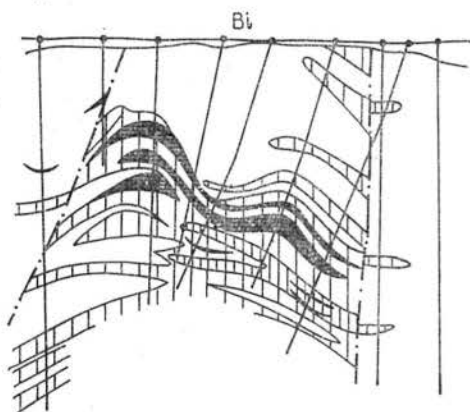
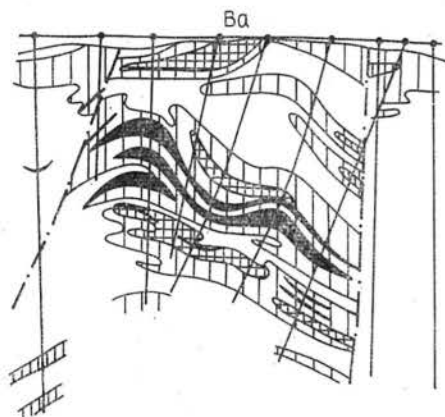
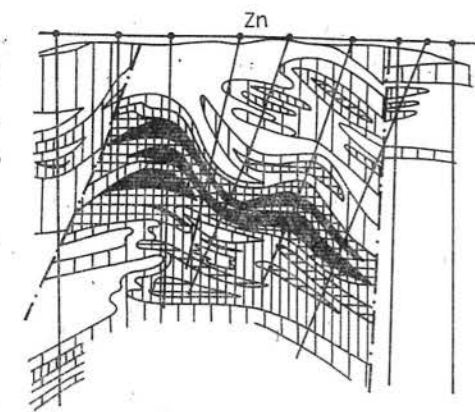


Рис. 1. Первичные ореолы химических элементов вокруг рудных тел Степного месторождения.

1 — рыхлые отложения, 2 — алевропелиты; породы кислого состава: 3 — туфопесчаники, 4 — туфы, 5 — лавы; 6 — полиметаллические руды, 7 — разрывные нарушения; классы содержания элементов (вес. %): 8 — свинец >0,15, цинк >0,5, медь >0,06, серебро >0,1, барий >0,8, ртуть >0,01; 9 — свинец 0,015—0,15, цинк 0,15—0,5, медь 0,2—0,06, серебро 0,01—0,1, барий 0,2—0,8, ртуть 0,005—0,02, сурьма 0,01, висмут 0,01; 10 — свинец 0,005—0,015, цинк 0,05—0,15, медь 0,005—0,02; серебро 0,002—0,01, барий 0,5—0,2, ртуть 0,001—0,005, сурьма 0,002—0,01, висмут 0,0002—0,001.





дин, В. С. Поливанов) на участке, охватывающем Степное и Таловское месторождения (площадь около  $6 \text{ км}^2$ ), по сети  $250 \times 25 \text{ м}$  из перегнойно-аккумулятивного горизонта были отобраны пробы. Анализу подвергались кислотная вытяжка, в которой определялись содержания подвижной формы меди и цинка. В результате этих работ установлено, что названные месторождения фиксируются аномалиями меди и цинка интенсивностью  $8-11 \cdot 10^{-4}\%$ , выделенными с вероятностью 99,9%.

В 1972—1977 гг. на закрытой площади Золотушинского и Рубцовского рудных районов в значительном объеме проведены опытные работы, которые позволили установить аномалии широкого круга элементов-индикаторов полиметаллического оруденения, фиксируемые в поверхностных пробах (глубина отбора 20—40 см) эмиссионным спектральным анализом, высокочувствительными спектральным и атомно-абсорбционным анализами на мышьяк, сурьму, фтор, ртуть (Мясников, 1975). В последующем проведены наземные литогеохимические съемки по вторичным наложенным ореолам рассеяния на площади  $1000 \text{ км}^2$ , из них в Рубцовском районе около  $300 \text{ км}^2$ . На двух участках площадью  $240 \text{ км}^2$  выявлено около 100 аномалий разного размера и с различной контрастностью произведений содержаний свинца, цинка, меди, бария, серебра, из которых лишь десять имеют контрастность  $8-9 \cdot 10^{-17}$  усл. ед. Почти все они находятся

на участках проявления полиметаллической минерализации различных размеров и интенсивности. Так, три из них фиксируют месторождения (Рубцовское, Таловское, Степное), четыре — рудопроявления и точки минерализации. Площадь высококонтрастных аномалий составляет 4,5% от площади всех аномалий и 0,63% от площади наземной литогеохимической съемки по вторичным ореолам рассеяния.

Анализ вторичных наложенных ореолов рассеяния показывает, что для изученных случаев их контрастность примерно прямо пропорциональна масштабу оруденения и обратно пропорциональна глубине залегания этого оруденения. Вероятно, в прямой зависимости она находится и от степени окисления его. Для количественного выражения зависимости между параметрами вторичных ореолов и масштабом оруденения требуется изучить еще ряд новых рудных объектов.

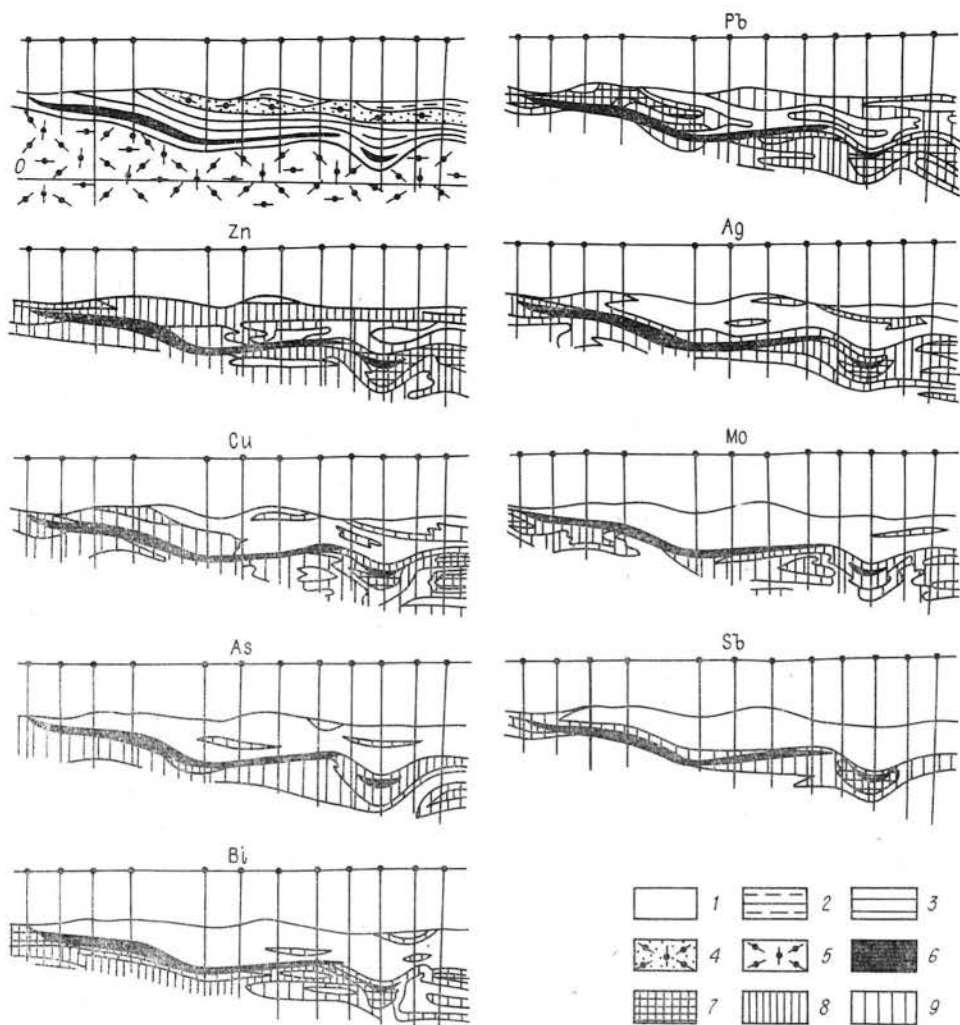


Рис. 2. Первичные ореолы химических элементов вокруг рудных тел Рубцовского месторождения.

1 — рыхлые отложения, 2 — аргиллиты, 3 — алевролиты; породы кислого состава: 4 — туфы, 5 — лавы, 6 — полиметаллические руды; классы содержания элементов (вес. %): 7 — свинец  $>0,05$ , цинк  $>0,25$ , серебро  $>0,025$ , медь  $>0,075$ , молибден  $>0,25$ , мышьяк  $>0,05$ , сурьма  $>0,01$ , висмут  $>0,001$ ; 8 — свинец 0,001—0,05, цинк 0,045—0,25, серебро 0,005—0,025, медь 0,025—0,075, молибден 0,075—0,25, мышьяк 0,015—0,05, сурьма 0,005—0,01, висмут 0,0005—0,001; 9 — свинец 0,003—0,01, цинк 0,025—0,075, серебро 0,001—0,005, медь 0,008—0,025, молибден 0,025—0,075, мышьяк 0,005—0,015, сурьма 0,002—0,005, висмут 0,0002—0,0005.

Вторичные наложенные ореолы рассеяния генетически связаны с вторичными остаточными и первичными ореолами. В качестве примера приведен геолого-геохимический разрез Междуреченского рудопроявления (рис. 3). Рудные тела здесь скрыто погребены, по масштабу запасов незначительны (непромышленны) и характеризуются низкими содержаниями рудных элементов. Мощность рыхлых отложений на рудопроявлении составляет 50—60 м. Несмотря на небольшие параметры оруденения, над рудными телами в разрезе рыхлых отложений получены прерывистые наложенные ореолы рассеяния свинца, серебра, мышьяка, сурьмы, ртути, молибдена и других элементов. В плане первичные и вторичные наложенные ореолы совпадают, контрастность последних возрастает в сторону восстания оруденения. Аналогичная картина установлена и на Рубцовском месторождении, где мощность рыхлых отложений достигает 100 м. На месторождениях связь вторичных наложенных ореолов рассеяния

Эффективная длина ореолов относительно рудных тел, м

Элемент	Висячий бок	По восста- нию	По падению	По прости- ранию	Лежащий бок
Ртуть . . . . .	400	600	100	В известных случаях не превышает 50—100 м	До 50
Свинец . . . . .	400	600	100		100
Цинк . . . . .	400	600	100		100
Барий . . . . .	300—400	До 400	До 100		До 50
Мышьяк . . . . .	300—400	До 400	50		До 50
Сурьма . . . . .	300—400	До 400	50		—
Серебро . . . . .	200—300	400	До 50		50
Цезий . . . . .	400	?	50		—
Литий . . . . .	300—400	?	?		Вынос элемента
Фтор . . . . .	300	—	—		50
Медь . . . . .	До 100	?	До 50		До 100
Рубидий . . . . .	До 100	До 200	?		Вынос элемента
Молибден . . . . .	—	?	?		50
Висмут . . . . .	—	—	—	50	
Кобальт . . . . .	Вынос элемента	200	100		

с рудными телами и их первичными ореолами более определенная, чем на рудопроявлениях, так как здесь некоторые элементы образуют непрерывные ореолы до современной поверхности.

Из изложенного видно, что наземная литогеохимическая съемка по вторичным наложенным ореолам рассеяния с определением содержаний химических элементов дешевым и экспресным спектральным и атомно-абсорбционным методами является одним из эффективных средств при поисках полиметаллического оруденения при мощности рыхлых отложений до 100 м.

**Водные ореолы рассеяния (гидрогеохимические аномалии)**, выявленные Н. М. Кужельным и Б. Н. Карасевым при опробовании вод из скважин в восточной части района на стадии геологической съемки масштаба 1 : 5000 (1961—1963 гг.), характеризуются широким геохимическим спектром. Перспективными на полиметаллическое оруденение являются гидрогеохимические аномалии, отличающиеся повышенными содержаниями меди, свинца, цинка, бария, серебра, молибдена, сурьмы и кобальта, величиной отношения сульфат-иона к хлор-иону более единицы, а также сульфатно-хлоридным или хлоридно-сульфатно-калиево-натриевым типом вод. Концентрация водородных ионов (рН) должна быть не больше 7—8, что характерно для большинства полиметаллических месторождений Рудного Алтая (Гинзбург, 1957; Голева, 1977).

В процессе проведения поисково-разведочных работ установлена пространственная связь гидрогеохимических аномалий с месторождениями, рудопроявлениями, их первичными и вторичными ореолами, которая, по В. И. Красникову (1959), объясняется миграцией ореольных вод в результате их капиллярного подъема от первичных ореолов к поверхностным горизонтам. Гидрогеохимические аномалии отличаются, как правило, большими размерами. Однако в начальную стадию геологического изучения района, когда еще недостаточно информации по первичным и вторичным ореолам для выделения перспективных участков, они могут играть положительную роль в направлении дальнейших поисковых работ.

На основании многолетнего опыта геолого-геохимических исследований в Рубцовском рудном районе можно сделать вывод о том, что возможности геохимических методов поисков скрытопогребенного оруденения далеко не исчерпаны и используются лишь частично. Следует подчеркнуть, что в условиях развития мощного чехла рыхлых отложений, перекрывающих продуктивные породы, гидрогеохимические исследования следует проводить в комплексе с геологической съемкой масштаба 1 : 50 000; наземная литогеохимическая съемка по вторичным наложен-

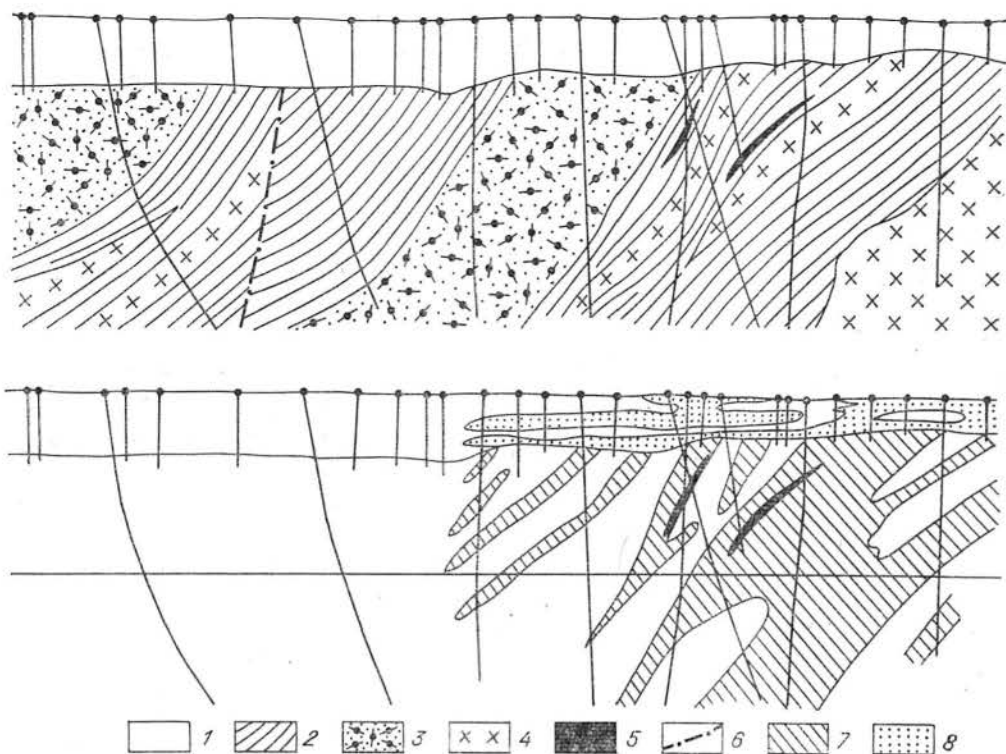


Рис. 3. Первичные и вторичные наложенные ореолы рассеяния химических элементов на Междуреченском рудопроявлении.

1 — рыхлые отложения, 2 — алевропелиты, 3 — туфы кислого состава, 4 — диоритовые порфиры, 5 — полиметаллические руды, 6 — разрывное нарушение, 7 — первичный свинец + цинк + серебро + барий + медь + мышьяк + кобальт + молибденовый ореол; 8 — вторичный свинец + цинк + серебро + медь + сурьма + молибденовый ореол.

ным ореолам рассеяния должна выполняться в масштабе 1 : 25 000, что позволит локализовать площади для проведения глубинных поисков, в первую очередь, и более рационально использовать объемы поискового бурения. Поиски месторождений и оценка их по первичным, а также вторичным остаточным ореолам должны постоянно осуществляться на всех стадиях геологосъемочных и поисково-разведочных работ. При этом, чем детальнее поисковые и разведочные работы, тем большее значение будет иметь изучение первичных ореолов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Гинзбург И. И. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Голева Г. А. Гидрогеохимия рудных элементов. М., «Недра», 1977.
- Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М., «Недра», 1965.
- Красников В. И. Рациональные поиски рудных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1959.
- Мясников П. Ф. Вторичные ореолы рассеяния погребенных полиметаллических месторождений Рудного Алтая. — В кн.: Геохимические методы прогнозирования, поисков и разведки рудных месторождений. М., ИМГРЭ, 1975.
- Удодов П. А., Онуфриенко И. П. Опыт гидрохимических исследований на территории горных массивов Западной Сибири. — В кн.: Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Чекалин В. М., Кочуркова Л. П. Результаты геохимических исследований в Таловском рудном поле (Рудный Алтай). — В кн.: Вопросы минералогии и геохимии эндогенных месторождений. Томск, 1977.

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОД АЛЛЮВИАЛЬНЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ РЕЧНЫХ ДОЛИН

Месторождения полезных ископаемых, залегающие в днищах речных долин под покровом аллювиальных отложений, представляют в совокупности довольно значительный минерально-сырьевой резерв, который недостаточно полно реализуется даже в экономически освоенных горнорудных районах. Данное положение объясняется крайне слабой проявленностью ореолов и потоков рассеяния этих месторождений в приповерхностной части аллювия и соответствующими трудностями их обнаружения. Как показывает практика, в подавляющем большинстве случаев интересующие нас объекты открываются либо в пределах пересекающих долины рудоконтролирующих структур, первоначально выявленных в относительно простых ландшафтных обстановках и в дальнейшем прослеживаемых горнобуровыми работами по простиранию, либо при осуществлении поисково-разведочного бурения на россыпи. Все другие используемые для этих целей методы (геофизические, геохимические, минералогические) пока еще недостаточно эффективны.

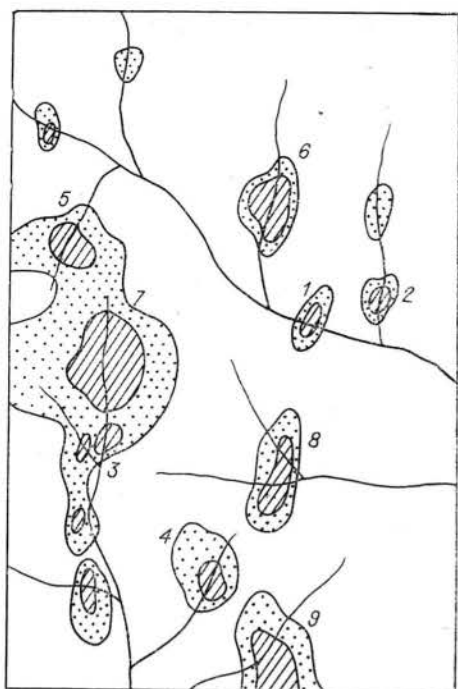
Вместе с тем существуют особые ситуации, когда сравнительно простые поисковые приемы могут успешно применяться для решения рассматриваемой практической задачи. Примером подобных ситуаций служат территории дражных и старательских отработок россыпей в старых золотоносных районах, где аллювиальные отложения эксплуатировавшихся водотоков оказываются интенсивно перемешанными по всему вертикальному разрезу, а на участках перекрытого оруденения — обогащенными соответствующими рудными элементами (за счет относительно контрастных ореолов и потоков рассеяния в приплотиковых горизонтах). Наибольшая степень такого обогащения имеет место в самых верхних частях переработанного аллювия, что обуславливается применяемой технологией добычи золота из россыпей: при дражной отработке — послойная промывка рыхлых масс с постепенным углублением до днища долины и даже захватом верхнего наиболее выветрелого трещиноватого слоя коренных пород плотика; при подземных старательских разработках — селективная выемка материала золотоносных пластов, локализующихся преимущественно в низах разреза аллювиальных отложений, с отмывкой его на дневной поверхности.

В отработанных речных долинах формируются новые русла, причем в составе русловых отложений преобладающую роль играют глины и илы. Особенно активно процесс их образования протекает в периоды ливневых дождей, когда происходит интенсивный вынос тонкого материала с отвалов и отложение его вдоль русла.

Вышеизложенное позволяет ожидать, что при проведении литохимических поисков по потокам рассеяния с опробованием тонких фракций (илов) новообразованных русловых отложений на площадях бывшей эксплуатации золотоносных россыпей должны более уверенно выявляться геохимические аномалии, связанные с рудными месторождениями под аллювиальным чехлом.

Результаты научно-производственных геохимических работ, проведенных Институтом геохимии им. А. П. Виноградова СО АН СССР в пределах двух золотоносных районов Сибири, подтверждают высказанные соображения. Повышенными концентрациями рудных элементов в современных русловых илах обозначаются известные коренные месторождения в речных долинах; кроме того, выделяется более многочисленный ряд

Литохимические аномалии на площади дражных и старательских отработок россыпей, выделенные методом многомерных полей по данным опробования речных илов.



аномалий, которые интерпретируются как индикаторы новых подобных объектов.

На рисунке представлен фрагмент территории с данными поисков по потокам рассеяния, обработанными на ЭВМ методом многомерных полей. Геохимические аномалии 1—5 уверенно увязываются с известными коренными проявлениями кварцево-жильного типа, располагающимися на прилегающих горных склонах соответствующих интервалов речных долин. Все другие аномалии (6—9), относительно крупные по размерам, являются новыми и требуют проверки. Как отмечалось выше, наиболее вероятно природа этих аномалий может быть объяснена наличием оруденения

под аллювиальными отложениями, переработанными в процессе дражной добычи россыпного золота. Не исключается при этом возможность нахождения коренных источников в нижних частях соответствующих склонов, для которых в условиях горнотаежных ландшафтов характерны закрытые или в сильной мере ослабленные у дневной поверхности вторичные ореолы дефлюкционного типа.

В пользу данного предположения свидетельствуют отрицательные результаты детальных геологопоисковых работ на рассматриваемых участках, проведенных в прежние годы производственными организациями. В процессе наших поисковых обследований с использованием комплекса геохимических методов (лито-, гидро- и биогеохимических), выполненных на тех же площадях, также не обнаружено сколько-нибудь существенных аномалий и проявлений коренной минерализации. Одновременно в составе обломочных фракций аллювия в границах рассматриваемых аномалий отмечен исключительно высокий процент жильного кварца.

Особый интерес представляют потоки рассеяния (7), выделенные по водотокам, которые имеют субмеридиональное направление. Они характеризуются наибольшей протяженностью, относительно высокими содержаниями золота и жильного кварца в русловых отложениях, отсутствием связи с коренными первоисточниками на близлежащих склонах. Предполагается, что речные долины в данном случае приурочены к субмеридиональным тектоническим зонам, в пределах которых локализуется искомое перекрытое оруденение, тем более, что такое направление является преобладающим для главных рудоконтролирующих структур района.

Обсуждаемый вопрос имеет важное прикладное значение. Накопленный к настоящему времени опыт детальной разведки создает представление, что месторождение сульфидно-прожилкового типа имеет двухъярусное строение по вертикали, причем само оруденение локализуется на нижних структурных этажах, в пределах тектонических зон тонкой трещиноватости в черносланцевых горизонтах осадочных пород, ниже уровня развития кварцевых жил.

В современном рельефе такие золотоносные зоны в подавляющей своей части не выходят на дневную поверхность. В рассматриваемых рай-

онах, где проводились геохимические исследования, верхняя граница сульфидно-прожилковой минерализации располагается на уровне существующего местного базиса эрозии. Поэтому и с геологической точки зрения днища речных долин представляются наиболее перспективными на обнаружение данного типа месторождений.

Окончательное решение затронутого вопроса может быть получено только после детальных поисково-оценочных работ на вышеупомянутых аномалиях, генетическая сущность которых трактуется с позиций развиваемых представлений.

---

*Ф. Л. Думлер*

(ВСЕГЕИ)

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ ПРИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПОИСКОВО-СЪЕМОЧНЫХ РАБОТАХ

При поисково-съемочных работах масштаба 1 : 50 000 на один номенклатурный лист геологами практически всегда отбирается от 800 до 2000 геохимических проб коренных пород для решения тех или иных (в том числе и поисковых) задач. К сожалению, пункты опробования на исследуемой площади чаще всего располагаются бессистемно и неравномерно, а результаты не изображаются даже в виде карт геохимических аномалий.

Проведенные автором опытно-методические исследования показали, что при систематическом целенаправленном опробовании коренных пород в процессе геологической съемки такого же количества проб достаточно, чтобы составить геохимические карты, несущие существенно новую ценную информацию. Штуфные пробы весом 150—300 г отбираются в точках геологических наблюдений и между ними по ходу маршрута. Ориентировочная густота опробования 500×500 м со сгущением в зонах активных контактов, тектонических нарушений, измененных и минерализованных пород до 250 × (100—50) м. Количество проб на один лист масштаба 1 : 50 000 составляет в среднем около 1500 и при самом сложном геологическом строении не превышает 2—2,5 тыс. Основным аналитическим методом является приближенно-количественный спектральный анализ. Использование дорогостоящих малопродуктивных методик оправдано лишь для отдельных, наиболее специфичных для района элементов, когда чувствительность спектрального анализа недостаточна (например, для золота, ртути, фтора и др.).

Чтобы не перегружать геохимические карты, на них показываются только аномалии, а все сведения о распределении элементов в геохимически однородных объектах выносятся в зарамочное оформление карт или текст в виде таблиц, графиков, диаграмм. На все типоморфные элементы составляются отдельные карты. В обобщенном виде информация показывается на полиэлементных картах геохимических аномалий и схемах зональности. Особое внимание обращается на выделение слабых геохимических аномалий, превышающих среднее содержание в породе на величину 1—3 стандартных отклонений. Именно такими аномалиями фиксируются зоны эпигенетического привноса элементов протяженностью в первые десятки километров при ширине 2—5 км и изометричные аномальные поля площадью в первые десятки квадратных километров, соответствующие рудным узлам и рудным полям. Только первичные ореолы

(первые квадратные километры) эродированных месторождений отмечаются аномалиями средней и высокой интенсивности.

Предложенная методика (Казмин, Орлов, 1966; Думлер, 1975) была опробована автором в районах, разнотипных по геологическому строению и металлогению.

Геохимическую зональность в районах редкометальных месторождений грейзеновой формации можно проиллюстрировать на примере одного из рудных узлов Казахстана (Думлер и др., 1975). Здесь выделена серия зон привноса редких (Mo, W, Bi, Be, Sn, Nb, Yb), цветных (Pb, Zn, Cu) и благородных (Ag) металлов. Размеры зон — от нескольких до первых десятков километров по простиранию при ширине сотни метров — первые километры. Анализ геохимических карт и разрезов позволил выявить горизонтальную (там же) и вертикальную (Думлер, 1976) зональность и установить ряд геохимических поисковых критериев и признаков оруденения.

1. Наиболее информативны при поисках указанные выше ассоциации элементов.

2. Надинтрузивные зоны посторогенных лейкократовых гранитов контролируют размещение оруденения и фиксируются наиболее интенсивными геохимическими аномалиями.

3. По мере удаления от кровли массивов в сторону экзоконтакта возрастает относительная роль полиметаллической ассоциации, наиболее контрастна эта зональность в терригенно-карбонатных толщах.

4. Характерна тесная связь всех геохимических аномалий с наложенными эпигенетическими процессами, среди которых ведущую роль играет грейзенизация, по периферии сменяющаяся березитизацией и пропилизитизацией.

5. Крупные рудоподводящие структуры (в данном случае северо-западного и северо-восточного направлений), вдоль которых проявлены наложенные процессы, трассируются осевыми линиями и локальными максимумами слабых, но очень протяженных геохимических аномалий.

В итоге проведенных работ прослежено 9 рудоподводящих структур, выявлено и передано разведчикам 3 новых перспективных участка, обоснованы перспективы 2 ранее забракованных участков; на флангах месторождений в пределах выявленных аномальных зон уже после завершения работ обнаружены новые слепые промышленные рудные тела.

Региональная геохимическая зональность стратиформного свинцово-цинкового оруденения в терригенно-карбонатных толщах изучена автором в пределах восточной части Акжал-Аксоранской металлогенической зоны в Центральном Казахстане (Думлер, 1978). Акжал-Аксоранский синклиниорий — узкая линейно-вытянутая в близширотном направлении структура, сложенная эффузивно-пирокластическими, терригенными и терригенно-карбонатными толщами среднего—верхнего девона, нижнего — среднего карбона, а также разнообразными по составу разновозрастными интрузиями. С севера и юга он ограничен крупными региональными разломами, по которым центральная часть опущена на несколько километров. Параллельные разломы, ветвясь и сливаясь, разбивают складчатую структуру на отдельные блоки.

В пределах Акжал-Аксоранской зоны сосредоточены полиметаллические месторождения Акжал, Аксоран II и Новый Аксоран и многочисленные рудопроявления. Они приурочены к карбонатно-терригенным толщам фамена—турне, чаще всего образуя согласные рудные залежи в верхнефаменских массивных известняках. Месторождения Аксоран II и Новый Аксоран залегают в скарнах и скарнированных известняках. Рудные тела имеют лентообразную, седловидную, пластообразную и линзовидную форму, реже отмечаются трубы, гнезда, жилы. Важнейшими рудными минералами являются сфалерит, галенит и пирит. Резко преобладают цинковые руды, свинца в них обычно в 4 раза меньше, чем цинка.



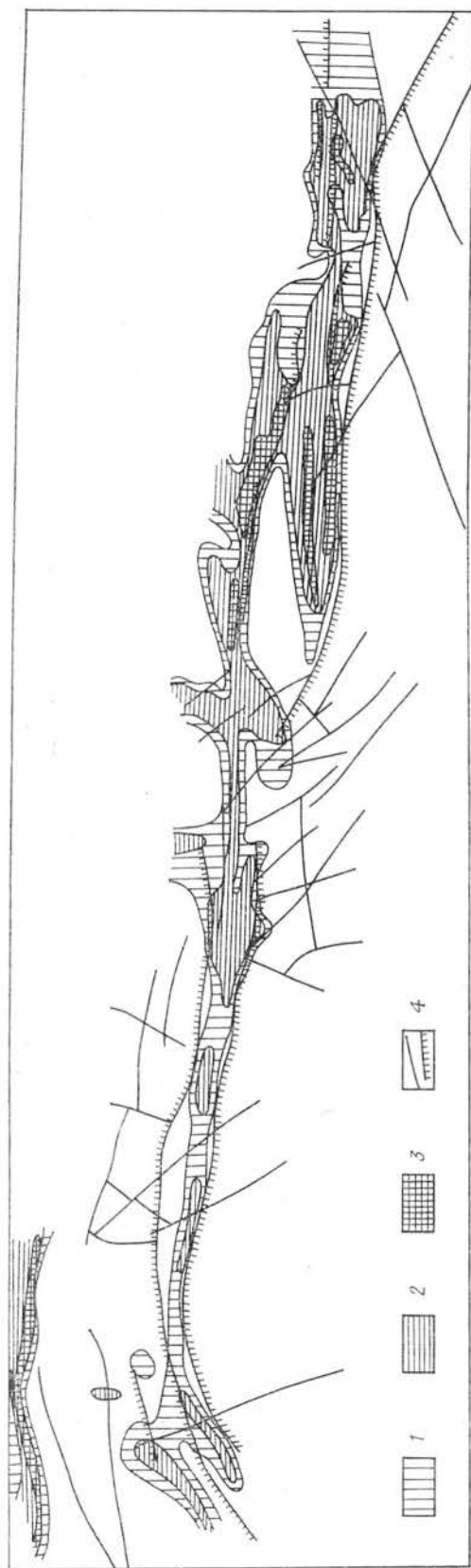
Геохимическое опробование коренных пород проведено на площади  $42 \times (8-10)$  км. Отобрано 840 проб. Выявлены многочисленные комплексные аномалии Pb, Zn, Cu, Hg, Ba. Наиболее полный набор рудных элементов и максимальные их концентрации сосредоточены в очень узкой полосе (150—250 м), прослеживающейся на 42 км от Акжальского рудного поля на востоке до Аксоранского — на западе. Эта полоса пересекает почти все разновидности пород, сечет складчатые структуры и совпадает с Южноакжальским региональным разломом, ограничивающим синклинорий с юга и являющимся, вероятно, основной рудоподводящей структурой. На пересечении этого разлома с северо-восточными (рудоконтролирующими) нарушениями через каждые 5,5—7 км отмечаются крупные раздувы геохимических аномалий (10—20 км<sup>2</sup>). Пять из них соответствуют известным рудным полям и рудопроявлениям, три обнаружены впервые. Эти данные позволяют допустить эпигенетический послескладчатый характер оруденения. Выводы исследователей о сингенетической зараженности свинцом и цинком фамен-турнейских осадков не подтверждаются, так как вдали от широких аномальных полей они характеризуются самыми низкими содержаниями этих элементов по сравнению с любыми другими породами района. Известняки являются прекрасным геохимическим барьером и рудоносны только на пересечении с рудоконтролирующими разломами.

В пределах Аксоранского рудного поля перекристаллизация и скарирование известняков под воздействием гранитоидных интрузий происходили, вероятно, уже после образования гидротермального оруденения. При этом кислые постагматические растворы выщелачивали катионы Pb и Zn. Не случайно комплексный Аксоранский ореол дугообразно изогнут, в первом приближении повторяя контуры пермского гранитного массива, а из зоны ближайшего экзоконтакта он отодвинут на 300—500 м. С этим же связаны крайне незначительные размеры ртутного ореола на Аксоранском рудном поле по сравнению с любым другим рудопроявлением (см. рисунок). По-видимому, при нагреве легко возгоняемая ртуть отторгалась дальше других элементов, уходя вверх и в стороны. Легко пройдя на север через плотные, но сильно трещиноватые эффузивы, она образовала аномалию в известняках и песчаниках фамена. Во всех остальных случаях ртуть участвует только в составе комплексных аномалий. Большая суммарная продуктивность комплексного Аксоранского ореола позволяет предположить, что оруденение в скарнах играет далеко не ведущую роль. Не исключено наличие доинтрузивных рудных тел в известняках вдали от скарновых проявлений.

Недоразведано, вероятно, и рудопроявление Металлометрическое (западнее Акжальского месторождения). Здесь полное отсутствие цинка в рудах, мощная аномалия ртути, величины показателей геохимической зональности свидетельствуют о малом эрозионном срезе и возможности обнаружения на глубине комплексного свинцово-цинкового оруденения. Обоснованы перспективы фланговых частей ряда других рудопроявлений.

Зональность в районе развития кварц-золото-полиметаллического оруденения рассмотрим на примере рудного узла, расположенного в пределах крупного раннегерцинского антиклинория одной из складчатых областей. В строении антиклинория принимают участие сложно дислоцированные верхнесилурийские и девонские зеленоцветные флишеподобные терригенные толщи. Интрузивные породы представлены нижнепермским гранитным массивом и комплексом малых интрузий и даек кислого (ранняя генерация) и среднего состава. Складчатые структуры, разрывные нарушения и дайки имеют в подавляющем большинстве случаев северо-западное простирание.

Около 50 зон с золото-полиметаллической минерализацией приурочены к участкам расланцевания и брекчирования и представлены кварцевыми жилами, прожилками, окварцованными и березитизированными



Распределение ргуги в породах Акчал-Аксоранской зоны.

1 — аномалии первого порядка, превышающие  $\bar{X}$  на 1—3 S; 2 — аномалии первого порядка, превышающие  $\bar{X}$  на 3—5 S; 3 — аномалии второго порядка, превышающие  $\bar{X}$  более чем на 5 S; 4 — разрывные нарушения.

породами. Все зоны имеют северо-западное простирание, большая часть из них расположена в Главном рудном поле. Руды вкрапленные и массивные, сложены пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом и самородным золотом.

На площади 150 км<sup>2</sup> было отобрано 550 проб. Выявлены многочисленные протяженные аномалии Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Mo, Sn, Bi, Nb, Be, Co. Объем статьи позволяет рассмотреть лишь картину распределения золота. При пороге чувствительности анализа 5·10<sup>-7</sup>% зафиксированы только аномальные его содержания. Зона интенсивного привноса длиной 18 км при ширине 2—2,5 км протягивается в близширотном направлении. В пределах этой рудоподводящей структуры, проявленной только геохимически, расположены все известные рудные тела и точки минерализации. Оказалось, что все северо-западные рудоконтролирующие зоны несут золотое оруденение только вблизи пересечения с этой структурой. Это объяснило бесплодность всех попыток обнаружить оруденение на продолжении северо-западных зон и позволило переориентировать направление детальных поисковых работ.

Рассмотренный пример наглядно подтверждает необходимость равномерного опробования «пустых» пород. Полученные данные о послегрейзеновом возрасте золотого оруденения дали основание составить представление о рудной золотосности в районе.

Предложенная методика апробирована также при прогнозировании редкометального оруденения на Северном Кавказе (район р. Черек Бевзенгский), полиметаллического оруденения на Звездел-Пчелоядском рудном поле (Народная Республика Болгария), медноколчеданного и полиметаллического оруденения в Западном Среднегорье (НРБ) и в других районах. Несмотря на различия в геологии и металлогении этих районов, во всех случаях отмеченная выше иерархия аномальных зон и их средние размеры более или менее сохраняются. Эти данные, а также результаты аналогичных исследований ВСЕГЕИ и Центрально-Казахстанского геологического управления (Скублов и др., 1970) доказывают высокую эффективность крупномасштабного геохимического картирования при прогнозировании и поисках рудных месторождений. Внушительные размеры картируемых аномальных зон как в плане, так и по вертикали (Думлер, 1976) позволяют получать хорошие результаты даже при поисках глубокозалегающих месторождений в районах с неудовлетворительной обнаженностью.

#### ЛИТЕРАТУРА

Думлер Ф. Л. Геохимические исследования при крупномасштабной геологической съемке (лекции на курсах повышения квалификации геологов-съемщиков при ВСЕГЕИ). Л., «Недра», 1975.

Думлер Ф. Л. Вертикальная геохимическая зональность грейзеновых месторождений. — «Геол. рудн. месторожд.». 1976, № 6.

Думлер Ф. Л. Геохимическая зональность и генезис стратиформного свинцово-цинкового оруденения Акжал-Аксоранской металлогенической зоны. — «Геол.-рудн. месторожд.», 1978, № 2.

Думлер Ф. Л., Иогансон А. К., Калабашкин С. Н., Скублов Г. Т., Титов В. К. Использование геохимической зональности при металлогеническом прогнозировании в пределах рудных узлов и зон. — В кн.: Проблемы геохимии. Л., 1975. (Тр. ВСЕГЕИ, нов. серия, т. 241).

Казмин В. Н., Орлов И. В. К вопросу о принципах составления геохимических карт при геологической съемке. — «Сов. геология», 1966, № 6.

Скублов Г. Т., Орлов И. В., Авдеев А. В., Неб Я. П., Сушков В. А., Тюгай О. М., Цубин В. Э. Опыт проведения площадной геохимической съемки в Агадырском рудном районе, Центральный Казахстан. — «Сов. геология», 1970, № 2.

---

*К. И. Лукашев, В. К. Лукашев*

(Институт геохимии и геофизики АН БССР)

### УЧЕТ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ ВЕДЕНИИ ГЛУБИНЫХ ПОИСКОВ

Повышение эффективности результатов геохимических поисков полезных ископаемых является важнейшей задачей фундаментальных исследований в области теоретической и прикладной геохимии. Это связано со следующими обстоятельствами.

Во-первых, геохимические поиски все больше и больше распространяются на глубокозалегающие месторождения полезных ископаемых в связи с истощением резерва поверхностных. Во-вторых, при геохимических поисках по вторичным ореолам и потокам рассеяния и геохимическим аномалиям приходится считаться с тем, что в связи с техногенезом формируются ложные геохимические аномалии. В-третьих, несмотря на огромный накопившийся геохимический материал, он не всегда может быть использован для прямых целей в других геологических и физико-географических условиях.

Разработки авторами теоретических и прикладных проблем геохимических поисков привели их к заключению о том, что при ведении глубинных геохимических поисков очень важен учет геохимической обстановки и фациальных особенностей осадочной толщи.

Три геохимические обстановки, или три варианта взаимоотношения плейстоценовой—неогеновой толщи с подстилающими породами, в том числе коренными породами фундамента, характерны для Белоруссии:

1) мощная песчаная толща водного генезиса, часто с заболоченно-дюнным рельефом на поверхности, залегающая на коренных породах;

2) переуглубленная древняя долина, заполненная гляциогенным и водным материалом мощностью до 100 м и более и глубоко врезающаяся в доплейстоценовые породы;

3) ледниковый дрейф площадного характера с преобладанием морен, суглинков и глин, непосредственно залегающих на коренных породах.

Для первой обстановки характерны величины рН слабокислые или близкие к нейтральным, переменные окислительно-восстановительные условия, тесная связь подземных и поверхностных вод.

В результате интенсивного подземного выщелачивания пород формируются ореолы рассеяния элементов в песчаной толще, которые часто достигают поверхности. Это открывает возможности для ведения геохимических поисков. Сами пески безбарьерные и малоценные для геохимических поисков, однако торфяно-почвенный покров и различные погребенные торфяники фиксируют в своем вещественном составе наличие таких ореолов. Как показали исследования авторов, выполненные в ряде регионов гумидной зоны, весьма эффективен анализ металлоорганических комплексов, в частности с помощью вытяжек пирофосфат-натрием.

Гуматы выделялись обработкой породы 0,1N раствором пирофосфата натрия в течение 3 ч при комнатной температуре. Органические соединения, перешедшие в раствор, фильтровались. Определение углерода проводилось по методу Л. В. Антроповой (1975). Для исключения погрешностей неполного выделения гуматов в пробах содержания микроэлементов относили к количеству углерода в определенном объеме ( $Me/C_{орг} \cdot 100\%$ ).

В частности, этот метод был опробован на одном из участков, где в амфиболитизированных и альбитизированных диабазах обнаружены метасоматические тела с редкометальной минерализацией (лейкоксен, бастнезит, гентгельвин). Указанные породы залегают на глубине от 17 до 30 м. Осадочный покров сложен мелко- и среднезернистыми песками и супесями аллювиального, водноледникового и озерного генезиса. В некоторых случаях на коренных породах встречаются остатки размытых кор выветривания. В геоморфологическом отношении район, где велись опытно-методические работы, представляет собой озерно-аллювиальную равнину с многочисленными заболоченными участками. Почвы преимущественно дерново-подзолистые глеевые и болотные. Участок покрыт лесом (сосна, береза, ольха и др.).

При нанесении результатов анализов металлоорганических комплексов на профили устанавливается, что в зоне развития рудоносных метасоматитов в почвенно-торфяном покрове фиксируются четкие пики в распределении цинка, кобальта, свинца и ванадия, а также меди, никеля, олова, молибдена, сурьмы. Следует отметить, что кривые распределения меди, олова, молибдена, сурьмы характеризуются несколькими пиками, что, возможно, связано с ландшафтными профилями и особенностями экзогенного ореола. В нескольких точках обнаружены W и As и др.

Для определения интенсивности выноса некоторых химических элементов из метасоматитов и вмещающих их диабазов ставились опыты по искусственному разложению исследуемых проб 0,05N раствором  $H_2SO_4$  по методу И. И. Гинзбурга (Гинзбург и др., 1963). По нашему мнению, в тех случаях, когда возможно поставить такие опыты, они могут

оказаться очень полезными для выбора элементов-спутников, сопутствующих тому или иному типу оруденения.

Исследования показали, что, несмотря на более полный вынос металла в процентном отношении из диабазов, его абсолютное содержание в вытяжках составляет величину на два порядка меньшую, чем из метасоматитов. Из последних за 38 суток с помощью 0,05 N раствора  $H_2SO_4$  было извлечено 32% валового количества металла. Из метасоматитов выносятся примерно в 5 раз больше цинка и в 10—20 раз больше марганца, чем из вмещающих диабазов. В связи с этим повышенные содержания указанных элементов во вторичных ореолах рассеяния могут быть индикатором метасоматических тел. Однако для меди такой закономерности установить не удалось.

Были выполнены и проанализированы также результаты применения солянокислой вытяжки для анализа подвижных форм нахождения металлов в торфяно-почвенном покрове.

Нами использовалась следующая методика анализа солянокислой вытяжки: образцы растирались и просеивались через сито 0,25 мм. Навеска 10 г абсолютно сухой породы смешивалась с 25 мл 0,01 N HCl. Смесь взбалтывалась в течение 30 мин и отфильтровывалась. В полученном фильтрате определялось содержание микроэлементов колориметрически и с помощью полярографического анализа. Более высокие концентрации Ni и Zn отмечаются над рудным телом. Кривые распределения Co, Mn и Fe в силу ландшафтно-геохимических особенностей характеризуются несколькими пиками, затрудняющими точное установление местоположения погребенного метасоматита.

С целью накопления больших количеств мигрирующих элементов и получения их в виде веществ определенного химического состава в качестве их концентраторов использованы искусственные ионообменные смолы, порции которых закапывались на глубине порядка 1 м в регионе поисков руд на расстоянии 50—100 м друг от друга, где они оставались на длительный срок.

По истечении этого срока порции ионитов выкапывались из грунта. Химическими методами из них извлекались поглощенные вещества, и анализировалось содержание элементов.

Главное внимание уделялось элементам-спутникам оруденения—цинку, меди, марганцу и др.

Закопанные в песок ионообменные смолы позволили обнаружить выраженный ореол рассеяния вокруг рудного тела.

Как показала обработка первых результатов, в зоне расположения рудного тела в смоле КУ-2 за 8 месяцев накопилось цинка 10—14 г/т, в то время как на флангах около 2 г/т. Для сравнения можно указать, что максимальное содержание цинка в торфе, который является хорошим сорбентом и накапливал цинк в течение многих веков, составляет на этом участке около 37 г/т. Причем в отличие от валового цинка в торфе катионит сорбировал только подвижную форму этого элемента. В трех пробах из десяти обнаружены следы бериллия (порядка  $n \cdot 10^{-4}\%$ ).

Таким образом, ионообменные смолы, помещенные на несколько месяцев в геохимически безбарьерные кварцевые пески, позволяют обнаруживать ореолы рассеяния глубокорасположенных рудных тел. Ожидается, что метод будет тем более эффективен для улавливания более выраженных ореолов рассеяния на сульфидных и других типах месторождений.

Дальнейший прогресс поисковых методов будет складываться как за счет повышения чувствительности аналитического определения элементов, так и, вероятно, за счет более глубокого анализа форм нахождения элементов.

По-видимому, также не до конца использованы возможности биогеохимического метода поисков. Проведенное нами на рассматриваемом опытно-методическом участке опробование различных видов растений

показало, что ольха лучше аккумулирует бериллий, чем такие обычно применяемые растения, как сосна, береза и др. В отношении свойств ольхи в литературе данных немного. По нашему мнению, биометоды могут часто играть большую роль при комплексировании с другими методами поисков.

Вторая седиментационная обстановка, характерная для глубоких палеодолин, отмечается щелочными условиями среды (рН до 9—10), замедленным движением подземных вод, развитием восстановительных условий. Высокая щелочность связана с обилием карбонатов различного генезиса, в основном терригенного материала, захваченного ледником и водными потоками. Воды, дренирующие кристаллические породы фундамента, разгружаются в таких долинах, формируя обширные гидрогеохимические ореолы рассеяния. Дифференциация вещества в них осложняется обилием различных геохимических барьеров; окислительно-восстановительных, адсорбционно-глинистых, карбонатных, биоорганических и т. д. При литогеохимическом опробовании большое значение приобретают анализ форм нахождения в породе элементов (в том числе с помощью различных вытяжек), сведения о фациальном строении и палеогеографическом развитии осадочного покрова. Однако, несмотря на очевидные трудности, необходимость искать все более глубокозалегающие месторождения заставляет совершенствовать глубинные методы поисков.

Выявленные в последние годы в бассейне Немана геохимические аномалии в аллювии венедского возраста связаны с участками эрозии и перемыва пород кристаллического фундамента (в котором известны рудопроявления сульфидных и магнетитовых руд) и отложений палеоген-неогена (с его возможными россыпями титана, циркония и других элементов). В аллювии установлены медно-никелевые, никель-хромовые, никелевые, хромовые, медные, медь-кобальт-хромовые, ванадиевые и титановые аномалии, часто сопровождающиеся повышенными содержаниями железа, марганца и т. д. Аномалии имеют терригенную и, видимо, местами гидрогенную природу. Хотя сами они не представляют промышленного интереса, в то же время их значение для поисков коренных руд в Белорусском кристаллическом массиве очевидно.

Как отмечалось выше, в нижних частях долин ледникового выпахивания господствуют слабовосстановительные условия. Эти условия в некоторой степени благоприятствуют растворению минералов, содержащих медь, и выносу ее. Однако путь миграции этого элемента ограничен ввиду большого содержания карбонатных пород. Эти породы подстилают четвертичные отложения, а также широко представлены среди осадков, непосредственно залегающих на породах мела.

Изучение форм нахождения редких элементов в минералах, рудах и породах является одной из задач современной геохимии. Термин «формы нахождения» был введен В. И. Вернадским в 1921 г. Важность изучения форм обуславливается прежде всего тем, что состояние элементов в природных образованиях в значительной мере определяет их способность к миграции.

При определении форм микроэлементов используются различные экстрагенты: кислоты, щелочи, соли, буферные растворы, комплексообразователи и др.

С целью изучения форм нахождения меди, цинка, кадмия, марганца, никеля, кобальта и хрома в мезокайнозойских отложениях Белоруссии и других районах авторами совместно с Т. Н. Симуткиной был использован метод последовательных вытяжек.

Применялась следующая обработка проб.

1. Выщелачивание 1N раствором уксуснокислого натрия, подкисленным уксусной кислотой до рН = 5. При этом происходит вытеснение обменных ионов натрия, удаляются растворимые минералы и в меньшей мере карбонаты. Разрушая карбонатные новообразования, эта вы-

тяжка не затрагивает многих других гипергенных минералов, в том числе окислов железа. Растворы, полученные после двухсуточного выщелачивания, анализировались.

2. Нерастворившаяся твердая фаза, находящаяся во влажном состоянии, обрабатывалась 30%-ной перекисью водорода. Избыток перекиси разлагался нагреванием, а высвобожденные элементы растворялись в растворе уксуснокислого натрия и определялись, как и в первом случае. При такой обработке растворяется органическое вещество, окислы марганца и сульфиды. Условно эту фазу можно назвать «органической фракцией».

3. Нерастворившийся остаток после предыдущей обработки подвергался воздействию 3%-ного раствора соляной кислоты. В результате растворяются окислы и гидроокислы железа. Затем определялись элементы, перешедшие в раствор.

4. Остаток высушивался в сушильном шкафу при 110°C, затем разлагался смесью плавиковой и серной кислот в платиновом тигле на песчаной бане и обрабатывался соляной кислотой. После перевода солянокислого раствора в мерную колбу он также анализировался на содержание микроэлементов, которые, как и в предыдущих фракциях, определялись на атомно-адсорбционном спектрометре. Путем сравнения четырех фракций анализировались особенности распределения элементов в породе.

В настоящее время в осадочной толще территории Белоруссии выявлено довольно много аномалий меди. По своему характеру отложения, в которых они обнаружены, разнообразны — от пермо-триасовых медистых песчаников до четвертичных ледниковых отложений, заполняющих древние ложбины, эродировавшие в ряде случаев габброиды фундамента с ильменит-магнетитовой и сульфидной минерализацией.

Как отмечалось выше, первая из указанных вытяжек извлекает медь в виде обменных ионов, растворимых минералов, частично карбонатов, вторая — органическую фракцию меди, третья — медь, заключенную в окислах железа. Наибольшее количество меди во всех фракциях было обнаружено в образцах медистых песчаников, причем ее содержание доминирует во фракции «органического вещества». Однако, несмотря на высокое содержание органического вещества в неогеновых глинах, в этой фракции содержится мало меди. Здесь значительно больше меди во фракции окислов железа. Неогеновые бурые угли сорбируют значительно больше меди, чем рассеянное органическое вещество в глинах. Как в четвертичных глинах, так и в глинах каолинит-гидрослюдистой коры выветривания палеоген-неогенового возраста основная часть меди сосредоточена во фракции окислов железа. Таким образом, разные по природе аномалии содержат медь в различных формах, что необходимо учитывать при поисках наряду с анализом их геологического положения и палеогеографической обстановки.

Цинк в антропогенных отложениях, по нашим данным, связан преимущественно с окислами железа. В неогеновых глинах он концентрируется в окислах железа, а в отдельных образцах — с органическим веществом и во фракции обменных ионов. Основная часть кадмия почти во всех изученных породах связана с фракцией органического вещества.

Третья обстановка характеризуется тем, что скорость подземных вод ограничена, морена представляет собой полупроницаемую для воды породу, а постседиментационная дифференциация вещества в ней подчиняется законам разделения вещества в геологических мембранах, которые также требуют тщательного изучения.

Массоперенос при диффузии зависит от пористости, структуры среды, влажности породы, состава поровых растворов, глинистых и других тонкодисперсных минералов, участвующих в адсорбционных явлениях, характера химических элементов и др.

При благоприятных факторах диффузионная миграция может осуществляться через моренные покровы мощностью 10—12 м (Майоров, 1972), что позволяет вести геохимические поиски.

Часто в моренах имеются трещины, достигающие длины в несколько десятков метров. Они могут пронизывать как сами ледниковые отложения, так и проникать в подстилающие породы. Например, аномальные содержания  $\text{SO}_4^{2-}$ , Mg, Ca, Na в водах морен в Канаде связывают с движением рассолов из подстилающих пород по этим трещинам в результате давления ледниковых отложений.

Умение использовать специфику вод, мигрирующих вдоль таких трещиноватых зон в ледниковых отложениях, позволит совершенствовать методы геохимических поисков перекрытых рудных месторождений.

## ЛИТЕРАТУРА

Антропова Л. В. Формы нахождения элементов в ореолах рассеяния рудных месторождений. Л., 1975.

Гинзбург И. И., Яшина Р. С., Матвеева Л. А. Разложение некоторых минералов органическими кислотами. — В кн.: Химия земной коры. Т. 1. М., 1963.

Лукашев К. И., Лукашев В. К., Добровольская И. А., Дербинский И. А., Васильева Л. И., Никитина Р. А., Симуткина Т. Н., Аношко Я. И., Клебанова Ц. В., Витушко В. И., Трацевская И. Р., Матрунчик Л. И., Тайсаев Т. Т. Экспериментальные исследования форм и процессов гипергенной миграции элементов. М., «Наука и техника», 1977.

Майоров Н. Ф. Методика поисков медно-никелевых месторождений по наложенным солевым ореолам рассеяния в моренных отложениях на Кольском полуострове. — В кн.: Литогеохимические поиски рудных месторождений. Алма-Ата, 1972.

*М. М. Омельченко, И. Н. Крицук*

*(ЛГИ им. Г. В. Плеханова)*

## ГИПЕРГЕННЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ МЫШЬЯКА, РТУТИ, ТАЛЛИЯ КАК ОСНОВА ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ СКРЫТОГО ОРУДЕНЕНИЯ КУРАНАХСКОГО ТИПА (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЛДАН)

Месторождения этого типа представлены залежами золотосодержащих лимонитизированных песчано-глинистых образований, локализованных в линейно-вытянутых карстовых полостях на контакте нижнекембрийских карбонатных пород и юрских песчаников. Формирование оруденения в закрытых карстах (Дружинин, 1971; Разин, Рожков, 1966) при мощности перекрывающей толщи 20—70 м определило характер погребенных вторичных ореолов большинства сопутствующих ему элементов. Указанные обстоятельства резко ограничивают возможности использования традиционных литогеохимических съемок по вторичным ореолам рассеяния на базе спектрального анализа на широкий круг элементов-индикаторов. В настоящее время в районе выделено, по данным геофизики, значительное количество карстовых зон, рудоносность которых должна проверяться бурением.

В статье на практических примерах показана возможность сокращения объема буровых работ при использовании геохимических методов для предварительной разбраковки карстовых зон. Предложенная методика базируется на геохимических особенностях руд Куранахского типа.

Общепринятым являются гидротермально-метасоматический генезис оруденения и парагенетическая связь с мезозойским магматизмом. Этап



Рис. 1. Геохимические спектры золоторудных образований в карстах.

Рудные метасоматические залежи: плотные метасоматиты (1), рыхлые песчано-глинистые (окисленные) разности (2), 3 — оруденелые дайки сложного состава.

мезозойской тектоно-магматической активизации щита, по современным представлениям (Билибина и др., 1976), характеризуется широким распространением ассоциации благородных и халькофильных элементов: Au, Ag, Pb, Zn, Mo, As, Tl, Hg.

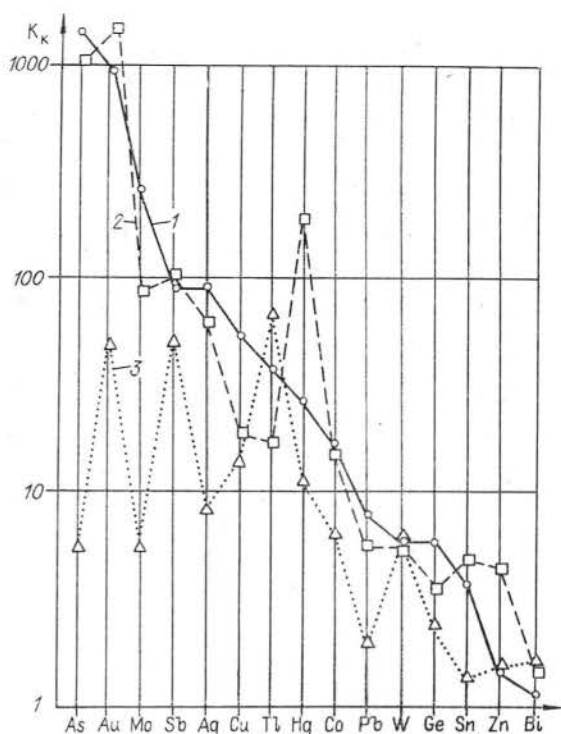
Как показывают обобщенные данные по элементному составу руд (рис. 1), основными элементами-спутниками золота в рассматриваемых образованиях являются As, Mo, Sb, Ag, Cu, Tl, Hg.

Кларки концентраций Zn, Pb, W и других элементов халькофильной и редкометалльной групп в куранахских рудах достаточно низкие, использование их в качестве элементов-индикаторов золотого оруденения при опробовании вторичных ореолов рассеяния неэффективно. Наиболее высокое значение кларка-концентрации As характерно для плотных разностей метасоматитов карстовых полостей. Этот элемент является универсальным элементом-индикатором практически для любых типов коренных месторождений золота Якутии. Для мышьяка характерна тесная корреляционная связь с золотом.

Второй наиболее интересный с позиций генезиса оруденения элемент — таллий. Постоянное присутствие этого элемента в самых разных по составу рудных метасоматитах Центрального Алданского района позволяет рассматривать его как показатель процессов низкотемпературного метасоматоза. Интенсивное проявление метасоматических процессов, в свою очередь, приводит к перераспределению золота и образованию высоких концентраций. Ртуть включена в круг поисковых индикаторов оруденения данного типа в связи со спецификой гипергенного рассеяния, о котором подробно будет сказано ниже. Молибден и медь не рассматриваются нами как элементы-индикаторы золотого оруденения, так как в районе известны медно-молибденовые рудопроявления, не связанные с золотом. Содержание сурьмы в рудах значительно ниже, чем мышьяка, поэтому отчетливых ореолов этого элемента мы, как правило, не наблюдаем. Серебро в покровных образованиях имеет очень большую дисперсию и не образует четких вторичных ореолов, выделяя обширную зону повышенных концентраций в пределах опробуемых участков профиля.

Значение элементов, как поисковых геохимических индикаторов, в значительной мере определяется их поведением в зоне окисления.

Анализ геохимических спектров и корреляционных связей элементов в плотных разностях метасоматитов и существенно окисленных (рыхлых глинистых) метасоматитах, а также содержание их в гидрохимических ореолах и потоках позволяют сделать следующие выводы.



Для мышьяка характерны высокие коэффициенты концентрации ( $K_k \geq 1000$ ) как для условно первичных, так и для окисленных руд. Значительного выноса мышьяка из зоны окисления не наблюдается. Коэффициент гипергенного обогащения (КГО) не более 0,8 (Росляков, 1970). Отмечается тесная корреляционная связь с золотом.

Для таллия установлен существенный вынос в процессе химического преобразования руд в зоне окисления (КГО = 0,3—0,6). Ртуть интенсивно накапливается в окисленных разностях (КГО = 6,85). Достаточно слабые корреляционные связи таллия и ртути с золотом в первичных рудах и обособление этих двух элементов по отношению к исходной геохимической системе рудогенных элементов в окисленных рудах свидетельствуют о разной судьбе ртути и таллия в гипергенных процессах. Наиболее вероятной представляется водно-растворимая форма миграции таллия (что подтверждается наличием контрастных гидрохимических ореолов и потоков) и газовая для ртути. Поисковое значение могут иметь как наложенные, так и остаточные ореолы ртути и таллия, а также мышьяка.

Ведущим процессом формирования наложенных ореолов мышьяка является диффузия, что обусловлено значительной первичной концентрацией последнего в рудах. Определенную роль играют процессы капиллярного поднятия поровой влаги под действием сил термоосмоса, испарения и биогенной аккумуляции. Эти же процессы определяют и восходящую миграцию таллия, концентрация которого в водах значительна, несмотря на меньшую по сравнению с мышьяком концентрацию в исходных рудах. Пористая среда юрских песчаников благоприятна и для миграции паров ртути.

На рис. 2 представлен вертикальный разрез вторичных ореолов мышьяка, ртути и таллия над золоторудной залежью в карсте, погружающейся в западном направлении. Выход залежи под маломощные (2 м) элювиальные образования отчетливо фиксируется ореолами всех рассматриваемых элементов. Для погребенной части залежи роль отдельных элементов-индикаторов существенно изменяется. Так, ореол мышьяка с концентрацией 0,02—0,05% фиксирует залежь при погружении ее на глубину до 15—20 м от поверхности. При этом в верхней части разреза элювия до глубины 20 см аномальных концентраций мышьяка в этой части разреза вообще не наблюдается. Широким слабоконтрастным ореолом таллия залежь прослеживается до глубины 30—40 м. Наиболее погруженная (50—70 м) и обогащенная золотом часть залежи фиксируется только ртутью. Распределение легколетучей составляющей ( $< 100^\circ\text{C}$ ) ртути в вертикальном разрезе элювия позволяет говорить о существенной роли газовой фазы в строении и формировании этой части ореола ртути. Некоторое смещение ореола в восточном направлении от проекции обогащенной части залежи, возможно, обусловлено экранирующим влиянием линз промороженных конгломератов и гравелитов.

Анализ проведенных исследований позволяет сформулировать следующие основные принципы комплексной интерпретации вторичных ореолов мышьяка, таллия и ртути при поисках оруденения Куранахского типа. Погребенные рудные залежи фиксируются широкими наложенными слабоконтрастными ореолами таллия, локальными аномалиями мышьяка (при высоких концентрациях последнего в рудах) и узкими, с преобладанием летучих форм, а также, возможно, газовыми ореолами ртути. Уровень концентрации элементов в ореоле и их соотношение существенным образом зависят от глубины залегания и масштаба оруденения. Для рудных тел, выведенных эрозией на поверхность, характерны контрастные совмещенные ореолы всех рассматриваемых элементов при высоком уровне корреляционных связей золота и мышьяка в окисленном рудном выходе, а также золота и ртути в смещенной части ореола. Такое перераспределение связей обусловлено разным поведением элементов при формировании вторичных ореолов, обособлением золота и ртути в тонких классах

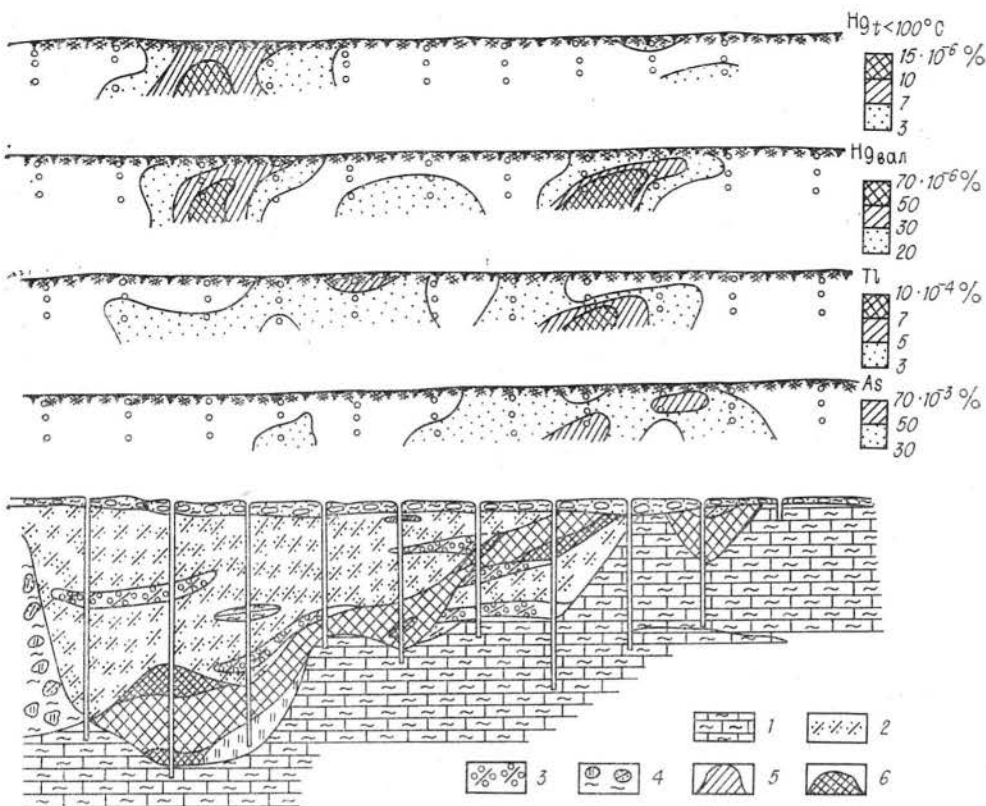


Рис. 2. Геологический разрез и вертикальные сечения вторичных ореолов ртути, мышьяка, таллия по профилю через рудную залежь (вертикальный масштаб сечения ореолов увеличен).

1 — вмещающие карбонатные породы; 2 — песчаники; 3 — конгломераты и гравелиты; 4 — глинисто-песчаный материал с обломками метасоматитов; 5 — рудная залежь лимонит-гематит-кварцевого состава; 6 — обогащенные участки залежи.

делювия в процессе дезинтеграции и смещения рыхлого материала вниз по склону.

Изложенные принципы использованы авторами при интерпретации результатов литогеохимической съемки масштаба 1 : 50 000 (юго-восточный фланг Куранахского рудного поля). Площадь участка сложена карбонатными породами нижнего кембрия, перекрытыми толщей юрских песчаников переменной мощности. Оруденение представлено лимонит-гематитовыми метасоматическими залежами, на большей части площади перекрытыми толщей юрских осадков. Лишь в северо-западной и восточной частях участка оруденение выведено под современные элювиально-делювиальные образования небольшой мощности.

Мощность рудных залежей невелика, и по масштабам оруденение значительно уступает приведенному выше. Несмотря на это обстоятельство и редкую сеть опробования, на площади были выявлены и оконтурены ореолы всех рассматриваемых элементов. Ореолы золота практически полностью экранируются юрскими песчаниками любой мощности. Ореол мышьяка в целом повторяет контуры ореола золота. Однако значимая корреляционная связь с золотом ( $r = 0,6$ ) отмечается только в пределах проекции рудной залежи под наносы. Наложенные ореолы мышьяка над залежами, перекрытыми юрскими образованиями, практически не фиксируются с поверхности в связи с низким содержанием мышьяка (до 0,1%) в слабозолотоносных метасоматитах площади. Лишь на отдельных не-

больших участках вблизи зон тектонических нарушений или при уменьшении мощности перекрывающих оруденение песчаников наблюдаются слабоконтрастные ореолы мышьяка. Ореол таллия имеет максимальные размеры и практически полностью оконтуривает весь оруденелый участок. Расширение ореола таллия в северо-восточном направлении связано с выносом его поверхностными водами и сорбцией на существующем глинистом материале покровных образований, формирующих при разрушении мергелей унгелинской свиты (Єun). Ореолами ртути отчетливо фиксируются два участка, рудная природа которых подтверждается данными бурения. Перекрывающая толща юры незначительно ослабляет ореолы ртути и не препятствует выделению и оценке оруденения. Для остаточных ореолов, формирующихся непосредственно в элювиально-делювиальных образованиях, характерна значимая, достаточно выдержанная по площади ореола связь с золотом ( $r = 0,65$ ).

Подводя итоги сказанному, подчеркнем еще раз, что значение элементов, как поисковых геохимических индикаторов, во многом определяется особенностями их поведения в зоне гипергенеза. Высокая миграционная способность и интенсивное выщелачивание мышьяка из ореолов слабощелочными и нейтральными поверхностными водами и высокая растворимость и подвижность таллия как в слабощелочных, так и в слабокислых водах благоприятны для формирования гидрогеохимических ореолов и потоков этих элементов.

Примеры эффективности гидрогеохимического метода при использовании высокочувствительного метода определения мышьяка и таллия в водах (соосаждение каломелью) приведены в работах В. П. Боровицкого и В. Н. Шемякина (Боровицкий и др., 1966).

Таким образом, на первом этапе исследования территории с целью поисков оруденения Куранахского типа можно рекомендовать гидрогеохимические съемки масштаба 1 : 200 000—1 : 100 000 со средней плотностью сети 1—2 точки на 1 км<sup>2</sup> с использованием высокочувствительного метода определения мышьяка и таллия в водах. На втором этапе на перспективных площадях, выделенных по результатам гидрохимических съемок, следует проводить литогеохимические площадные съемки масштаба 1 : 50 000 с использованием высокочувствительного метода анализа на мышьяк и таллий (двудуговой спектральный анализ — Григорьева, Квятковский, 1963) или метода просыпки на дифракционном спектрографе с расшифровкой спектрограмм с помощью фотоэлектронного регистратора спектральных линий (ФЭРЛ) (Лончих и др., 1969). При этом порог чувствительности двудугового метода анализа должен составлять по таллию  $\leq 5 \cdot 10^{-5}\%$ , по мышьяку  $\leq 5 \cdot 10^{-3}\%$ , а случайные ошибки определения этих элементов при использовании ФЭРЛа не должны превышать 25—30% ( $\varepsilon \leq 1,25—1,33$ ). Определение ртути надо проводить методами атомно-абсорбционной спектрометрии.

## ЛИТЕРАТУРА

- Библиба Т. В., Дашкова А. Д., Донаков В. И., Ермолаев Б. А., Титов Б. А., Балашова З. Н., Геологические формации и металлогения Алданского щита. Л., «Недра», 1976. (Тр. ВСЕГЕИ, т. 276).
- Боровицкий В. П., Миллер А. Д., Шемякин В. Н. Определение малых количеств золота в природных водах Алданского района. — «Геохимия», 1966, № 4.
- Григорьева О. А., Квятковский Е. М. Высокочувствительный двудуговой метод спектрального анализа на золото и некоторые другие рассеянные элементы. — «Зап. ЛГИ», 1963, т. XIV, вып. 2.
- Дружинин Л. Н. Геоморфологические условия формирования золоторудных месторождений Куранахского типа (Южная Якутия). — В кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым ЯАССР. Вып. 7. Якутск, 1971.
- Лончих С. В., Недлер В. В., Райбаум Я. Д., Хохлов В. В. Спектральный анализ при поисках рудных месторождений. Л., «Недра», 1969.

Разин Л. В., Рожков И. С. Геохимия золота в коре выветривания и биосфере золоторудных месторождений Куранахского типа. М., «Наука», 1966.

Росляков Н. А. Зона окисления сульфидных месторождений Западного Алтая. Новосибирск, «Наука», 1970.

*С. Г. Петровская, Б. П. Санин, А. М. Спиридонов*  
(Институт геохимии им. А. М. Виноградова СО АН СССР)

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПОИСКАХ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

При геологическом доизучении территории геохимические исследования существенно повышают его эффективность. Особое значение приобретают они для оценки перспектив территорий с длительной историей эксплуатационных и разведочных работ, где основные структурно-геологические закономерности размещения оруденения в основном определены.

На территории с редкометальным профилем оруденения, как показывает наш опыт в Джидинском районе, для повышения эффективности поисков и выбора их направления важно выявить критерии геохимического различия и потенциальной рудоносности магматических комплексов. Геохимические исследования в Джидинском районе позволили выделить два типа гранитоидов, с которыми ассоциирует редкометальное оруденение. Первый пермо-триасового возраста, сопровождается преимущественно молибденовой минерализацией, второй (фтористый) — юрский, сопровождается комплексным редкометальным оруденением.

Сложная история развития долгоживущих зон разломов находит отражение в геохимическом спектре элементов, что позволяет на стадии мелкомасштабных работ производить распознавание наиболее перспективных участков на скрытое редкометальное оруденение.

Слабая облаженность территорий затрудняет их оценку геологическими методами даже на стадии среднемасштабных работ. Практика наших исследований в Джидинском районе показала, что на этой стадии поисков одним из эффективных методов может быть геохимическая съемка по потокам рассеяния. Он позволяет выявить перспективные участки даже в хорошо изученном рудном районе с известными рудопроявлениями и месторождениями. Полученные нами результаты представляют общий интерес. Они характеризуют эффективность метода поисков по потокам рассеяния в хорошо изученных районах.

Съемка проводилась на площади, где имеются молибденовые, вольфрам-молибденовые и золотые месторождения и рудопроявления. В результате исследований было выявлено, что потоки рассеяния по составу элементов близки к обусловившему их типу оруденения. В них повышена концентрация основных промышленно-ценных рудных компонентов и элементов-индикаторов. Характерная черта потоков рассеяния редкометального и молибденового оруденения — относительно повышенное содержание  $Mo$  и наличие  $W$  и  $Bi$ , а особенность потоков рассеяния золотого оруденения — повышенное содержание  $Au$ ,  $Ni$  и  $V$ . Элементный состав потоков в отдельных случаях позволяет судить о рудной зональности, эрозийном срезе и т. д. Пространственная близость коренных источников — причина появления комплексных потоков рассеяния. В близко расположенных потоках происходит интегрирование материала.

В целом потоки рассеяния могут давать возможность установить закономерности размещения обусловившей их минерализации. Как было установлено, потоки рассеяния приурочены к двум крупным металлогени-

ческим зонам. При этом потоки рассеяния редкометальной минерализации пространственно разобщены с золотой. Для первых проявлена тенденция приурочиваться к центральным частям зон, а для вторых — к их периферии. Таким образом, по потокам можно фиксировать структурно-металлогенические элементы района. В результате исследований кроме потоков, связанных с известными коренными источниками, обнаружено несколько аномалий, источник которых неизвестен. Исходя из закономерностей по составу потоков на известных рудопроявлениях, была установлена минерализация, обусловившая состав вновь выявленных потоков.

В условиях Забайкалья эффективность литохимических поисков по вторичным ореолам могла бы быть значительно повышена, если бы были решены вопросы глубины отбора проб. Следует отметить, что с учетом ландшафтно-геохимического районирования практически все известные проявления редкометального оруденения фиксируются литохимическими ореолами рассеяния Mo, F, Cu, местами — W, Sn. Геологической службой Бурятского геологического управления (Игнатович и др., 1979) эффективно проводятся поиски по вторичным ореолам.

Нашими исследованиями установлено, что на водораздельных участках и на склонах южной и юго-восточной экспозиций отмечаются открытые, а на склонах северной и северо-восточной экспозиций, а также в их нижних придонных частях — закрытые и полужакрытые ореолы. Были установлены тесные связи вторичных и первичных ореолов. Выявлены возможности определения зональности первичных ореолов и оруденения по данным изучения вторичных ореолов. Эффективность примененных методов повышается, если при расшировке вторичных ореолов используются закономерности первичных ореолов, которые существуют для данного конкретного района. Поэтому выдвигается вопрос о постановке опережающих опытно-методических исследований. Опыт наших работ показал, что литохимическая съемка по вторичным ореолам в обычном исполнении не всегда дает нужный эффект. Увеличение глубинности отбора проб (например, вместо 0,5 до 0,7—0,8 м), применение бурения в долинных частях позволили повысить эффективность исследований.

При крупномасштабных поисково-разведочных работах определяющими в повышении их эффективности являются литохимические поиски по первичным ореолам, всесторонние геохимические исследования особенностей оруденения и его ореолов. Эффективность геохимических поисков зависит от изучения зональности разных объектов. Комплексное исследование повышает достоверность устанавливаемых закономерностей и тем самым играет важную роль при прогнозировании оруденения на глубину.

Ниже приводятся примеры такого всестороннего исследования, проводимого авторами на площади месторождения в Джидинском районе.

Площадь месторождения сложена осадочно-вулканогенными породами (известняки, кремнистые породы, андезитовые и плагиоклазовые порфириды), прорванными телами гранит-порфиров и многочисленными дайками. Наличие линейной тектонической долгоживущей зоны определило общую структурную обстановку.

Штокверкоподобная рудная зона представлена рудными телами прожилково-вкрапленной минерализации. Образования трех главных стадий: кварц-молибденитовой, кварц-шеелитовой (с молибденитом) и кварц-полиметаллической — определяют характер минерализации. Из рудных и нерудных минералов главное развитие получили молибденит, шеелит, пирит, пирротин, халькопирит, магнетит, арсенопирит, сфалерит, галенит, берилл, кварц, карбонаты. На месторождении широко развиты первичные ореолы многих элементов: Mo, W, Cu, F, Pb, Zn, Ag, B, As, Li, Sn, Bi и др.

Изучение физико-механических свойств вмещающих оруденение пород позволило установить, что в разных зонах в направлении от слабоизмененных к измененным образованиям отмечается уменьшение пористости и увеличение их упругости.

Средние содержания рудных, щелочных и петрогенных элементов и отношения соединений в безрудных и рудных интервалах разных пород

Породы	Mo, 10 <sup>-3</sup> %	W, 10 <sup>-3</sup> %	K, %	Na, %	Li, 10 <sup>-4</sup> %	Rb, 10 <sup>-4</sup> %	Cs, 10 <sup>-4</sup> %	SiO <sub>2</sub> , г/см <sup>3</sup>	Li : Rb	Li : Cs
Порфириды										
слабоизмененные . . . . .	6,3	13,1	0,9	1,8	83	223	12	148	0,37	6,9
измененные в участках развития кварц-молибденитовой стадии . . . . .	160	5,2	1,1	2,5	115	229	8	158	0,5	14,3
Кремнистые породы										
слабоизмененные . . . . .	6	4,1	1,03	0,95	58	152	7	228,1	0,3	8,2
измененные в участках развития кварц-молибденитовой стадии . . . . .	52	8,7	2,15	1,55	187	369	14	208,8	0,5	13,3
Гранит-порфиры										
неизмененные . . . . .	0,6	0,5	3,3	1,40	6	250		195,0	0,02	
измененные в участках развития кварц-молибденитовой стадии . . . . .	48,1 150	8,5 6	4,0 3,49	1,20 0,84	32 46	366 357	7 7	201 210,1	0,08 0,12	4,5 6,5
измененные в участках развития карбонатно-полиметаллической стадии	1,2	1,4	3,27	0,77	14	307	8	194,8	0,04	1,7

Наибольшее развитие ореолы главных рудных элементов (соответственно и оруденение) получают в порфиридах, обладающих низкими значениями эффективной пористости (0,43%), но высокими упругими свойствами \* (к. п. = 0,23;  $v_p = 5190$ ;  $v_s = 3010$ ;  $C \times 10^5 = 2,74$ ;  $E \times 10^{-5} = 6,8$ ). Последнее, вероятно, определяет развитие прожилковой минерализации. В кремнистых породах и гранит-порфирах возрастает эффективная пористость (соответственно 0,63 и 1,7%), уменьшаются параметры упругих свойств (соответственно в первых к. п. = 0,17—0,24;  $v_p = 4815$ —4230;  $v_s = 3440$ —2670;  $C \times 10^5 = 2,5$ ;  $E \times 10^{-5} = 5,8$ ; во вторых к. п. = 0,25;  $v_p = 4417$ ;  $v_s = 2595$ ;  $C \times 10^5 = 1,7$ ;  $E \times 10^{-5} = 4,5$ ). В этих участках преимущественно развиты ореолы халькофильных элементов, что обуславливается повышением роли вкрапленной минерализации.

Распределение рудных элементов тесно связано с поведением петрогенных элементов. На месторождении это определено развитием метасоматитов разных стадий минерализации. Как видно из таблицы, поведение петрогенных компонентов и некоторых щелочных элементов при формировании метасоматитов, сопутствующих молибденовому и молибден-вольфрамовому оруденению, характеризуется увеличением SiO<sub>2</sub>, Na, частично K, Rb. Это является специфичным для многих месторождений данного типа (Онтоев, 1974; Покалов, 1972; и др.) и свидетельствует о высокой активности K (или Na) и Si в гидротермальных растворах, несущих Mo, W и др. Смена части K на Na говорит о некотором изменении состава растворов в целом при сохранении режима кислотности — щелочности. Показателем более высокой кислотности растворов редкометалльной стадии является повышение отношения Li : Rb. Метасоматиты карбонатно-полиметаллической стадии, отличающиеся увеличением роли CO<sub>2</sub>, MnO, уменьшением Li: Rb, служат как бы указателями повышения щелочности растворов на последних этапах рудного процесса.

\* к. п. — коэффициент Пуассона;  $v_p$  — скорость продольных волн, м/с;  $v_s$  — скорость поперечных волн, м/с;  $C \cdot 10^5$  — модуль сдвига, кг/см<sup>2</sup>;  $E \cdot 10^{-5}$  — модуль Юнга, кг/см<sup>2</sup>.

Состав и зональность геохимических ореолов отражают особенности состава и зональности распределения прожилков и сопряженных метасоматитов (Петровская, Спиридонов, 1977).

Эффективность выявления скрытого редкометального оруденения во многом зависит от установления вертикальной зональности главных рудных элементов. Для изучаемого месторождения характер распределения элементов в вертикальном интервале был определен следующим рядом главных элементов-индикаторов молибденового оруденения (снизу — вверх): Mo—W, Cu—Ag, F. Кроме них, на месторождении установлены ореолы Pb, Zn, As, В и др. Эти элементы наряду с Ag и Cu в минеральных ассоциациях ранних редкометальных стадий фиксируются в небольших количествах, но являются главными в образованиях полиметаллической стадии. Последнее определяет их роль только как косвенных индикаторов редкометального оруденения. В вертикальном разрезе образования полиметаллической стадии занимают разное положение относительно минеральных образований ранних редкометальных стадий. Кроме того, для редкометальной минерализации характерна приуроченность к порфирирам, а для полиметаллической — предпочтительнее развитие в гранит-порфирах. Эти закономерности отражены в характере ореолов.

Для получения объективной информации по распределению совокупностей элементов в вертикальных разрезах обработка материала была произведена на ЭВМ по программе (Китаев и др., 1976), дающей возможность получать изображение геохимических полей в виде полиэлементных карт (карт классов химических элементов). Был выбран наиболее типичный вертикальный срез рудоносного штокверка на южном фланге месторождения. Этот участок сложен преимущественно порфиритами, и только в низах данного профиля появляются гранит-порфиры.

Формирование ореолов редкометального оруденения на верхних горизонтах здесь происходило в однородной среде, что определило наиболее четкое выражение зональности главных элементов-индикаторов в надрудной области. Как видно на рис. 1, в данном разрезе выделяются четыре зоны. Первая из них, представляющая собой зону максимального развития молибденового оруденения и наиболее мощных ореолов молибдена, характеризуется следующей ассоциацией элементов: Mo, W, F, Cu, Ag, Pb, Li, Sn. Главную роль в указанной ассоциации играет первый элемент, обладающий наиболее высоким коэффициентом контрастности. Указанная группа элементов определяет кварц-молибденитовую и кварц-молибденит-шеелитовую стадии минерализации (соответствующие прожилки).

В верхних зонах (верхние рудные и надрудные зоны ассоциации, 2—3 на рис. 1) проявлены классы элементов, в которых понижается роль Mo, но повышается — W, Cu, Ag и др. Эта ассоциация характеризует развитие серии кварц-пирит-пирротин-молибденитовых с шеелитом и халькопиритом прожилков. Четвертая зона выделяется в нижней части разреза и характеризуется наибольшей контрастностью Pb и Mo, появлением В, Zn, As, увеличением контрастности Ag и Bi. Эта зона является участком совмещения минерализации кварц-молибденитовой и полиметаллической стадий (полиформационные ореолы — Григорян, Яншевский, 1968).

Таким образом, в однородной среде выдерживается ряд зональности, согласующийся с зональностью ореолов на других месторождениях (Овчинников, Григорян, 1970; и др.). Сложное гетерогенное строение территории и многостадийность формирования минерализации сказывается на усложнении вертикальной зональности ореолов. Как видно из рис. 1 и 2, присутствие в нижних или в верхних частях разрезов гранит-порфиров, благоприятных для развития полиметаллической стадии и соответственно концентрирования халькофильных элементов, нарушает стройный ряд зональности. В первом случае в низах разреза появляются элементы (Ag, As и др.), более типичные для надрудных интервалов, во втором — в верхних частях разреза исчезает F, а контрастность Pb, В, Ag и других эле-



Рис. 1. Схема зональности первичных ореолов на южном фланге месторождения.

Зоны ассоциаций элементов с контрастностью (в знаменателе) каждого из них:

$$1 - \frac{\text{Mo}}{489} \left( \frac{\text{W}}{61}, \frac{\text{F}}{38}, \frac{\text{Cu}}{7}, \frac{\text{Pb}}{6}, \frac{\text{Ag}}{4}, \frac{\text{Sn}}{3}, \frac{\text{Li}}{3} \right); 2 - \frac{\text{Mo}}{161}, \frac{\text{W}}{76} \times \left( \frac{\text{F}}{10}, \frac{\text{Cu}}{7}, \frac{\text{Ag}}{4} \right); 3 - \frac{\text{W}}{438} \times \left( \frac{\text{Mo}}{55}, \frac{\text{Cu}}{17}, \frac{\text{Ag}}{8}, \frac{\text{F}}{7} \right); 4 - \frac{\text{Mo}}{224}, \frac{\text{Pb}}{52}, \frac{\text{Ag}}{52} \left( \frac{\text{B}}{2}, \frac{\text{Zn}}{3}, \frac{\text{Bi}}{3}, \frac{\text{As}}{3} \right);$$

5 — контур гранит-порфи-  
ров; 6 — скважины.

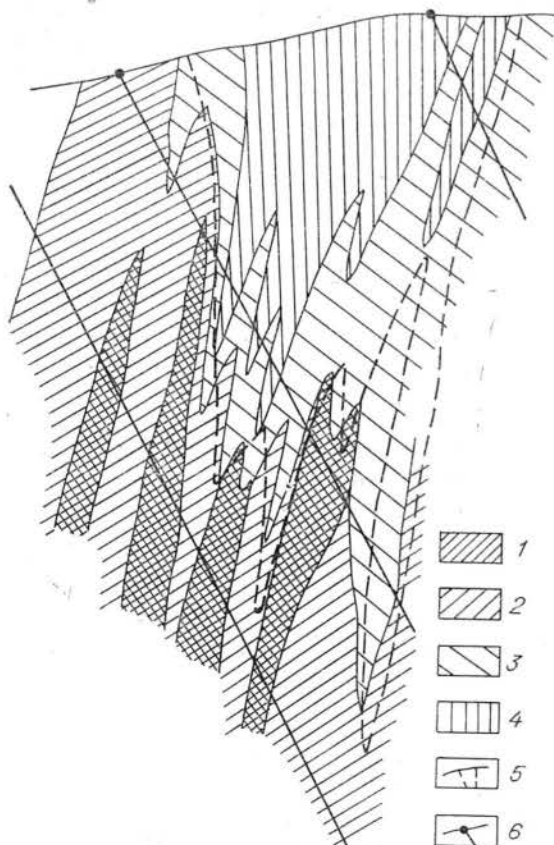
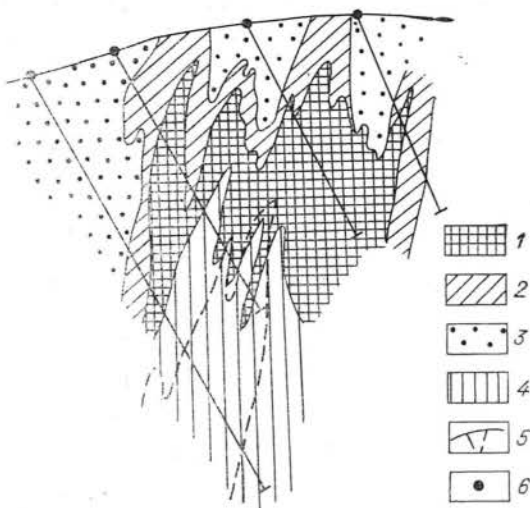


Рис. 2. Схема зональности первичных ореолов на северном фланге месторождения.

Зоны ассоциаций элементов с контрастностью (в знаменателе) каждого из них:

$$1 - \frac{\text{Mo}}{440} \left( \frac{\text{W}}{16}, \frac{\text{Bi}}{16}, \frac{\text{F}}{10}, \frac{\text{Cu}}{8}, \frac{\text{Ag}}{4}, \frac{\text{Sn}}{4} \right); 2 - \frac{\text{Mo}}{119}, \frac{\text{W}}{78} \left( \frac{\text{Bi}}{14}, \frac{\text{Pb}}{12}, \frac{\text{F}}{10}, \frac{\text{Cu}}{6}, \frac{\text{Sn}}{3} \right); 3 - \frac{\text{Mo}}{84}, \frac{\text{Pb}}{47}, \frac{\text{B}}{45}, \frac{\text{Bi}}{23} \left( \frac{\text{Ag}}{21}, \frac{\text{Zn}}{17}, \frac{\text{W}}{16}, \frac{\text{As}}{9.5} \right); 4 - \frac{\text{B}}{111}, \frac{\text{Pb}}{67}, \frac{\text{Ag}}{54}, \frac{\text{Bi}}{52} \times \left( \frac{\text{W}}{15}, \frac{\text{Zn}}{13}, \frac{\text{Mo}}{12}, \frac{\text{As}}{10}, \frac{\text{Sn}}{6} \right);$$

5 — контур гранит-порфи-  
ров; 6 — скважины.

ментов резко увеличиваются. Подобные изменения затрудняют оценку эрозийного среза оруденения по геохимическим данным и показывают необходимость учета всех факторов.

Установление горизонтальной зональности — неотъемлемая часть исследований по изучению ореолов, так как горизонтальная зональность нередко отражает вертикальную. В строении ореолов месторождения нами установлена асимметрия продольной зональности, которая проявилась в развитии в северной половине площади контрастных ореолов главных рудных элементов (Мо и др.), а в южной — надрудных (W, Ag, Cu). Это дало возможность выделить южную площадь как перспективную на обнаружение глубокозалегающего оруденения. Асимметрия в строении ореолов сопутствующих легколетучих элементов (F, В и др.) позволила с большей уверенностью делать такой прогноз. Как было выявлено, F образует значительные ореолы в южной половине площади месторождения; ореол В тяготеет к северному флангу. Учитывая тесную связь F с редкометальной минерализацией, а также его место в ряду вертикальной зональности, можно было с уверенностью говорить, что ореолы F (частично Cs) фиксируют надрудный интервал редкометального оруденения. Бор более тесно связан с полиметаллической стадией минерализации. Вместе с халькофильными элементами его ореолы оконтуривают редкометальную зону. Бор является косвенным индикатором и фиксирует крайние участки рудной зоны, а также участки с более глубоким эрозийным срезом.

Выявление на площади месторождения наряду с выше указанной асимметрией зональности в распределении рудных элементов, такой же асимметрии сопутствующих летучих элементов позволило более эффективно прогнозировать оруденение.

Эффективность геохимических исследований при поисковых работах значительно повышается от оперативности выполнения анализов и применения разносторонних методов обработки.

## ЛИТЕРАТУРА

Григорян С. В., Яншевский Е. М. Эндогенные геохимические ореолы рудных месторождений и их использование при поисках скрытого оруденения. М., «Недра», 1968.

Игнатович В. И., Жбанов Э. Ф., Радченко П. И. Геохимические поиски молибденовых месторождений в Бурятской АССР. — В кн.: Геохимические методы поисков месторождений цветных металлов. Новосибирск, «Наука», 1979.

Китаев Н. А., Евдокимова В. Н., Чумакин В. Н. Построение эмпирических моделей зональности рудных тел и их ореолов. — В кн.: Математическая обработка данных в поисковой геохимии. Новосибирск, «Наука», 1976.

Овчинников Л. Н., Григорян С. В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. — В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1970.

Онтоев Д. О. Стадийность минерализации и зональность месторождений Забайкалья. М., «Наука», 1974.

Петровская С. Г., Спиридонов А. М. Зональность геохимических ореолов, гидротермально измененных пород и прожилковых образований молибденового месторождения (Западное Забайкалье). — «Геол. и геофизика», 1977, № 3.

Покалов В. Т. Генетические типы и поисковые критерии эндогенных месторождений молибдена. М., «Недра», 1972.

## О РОЛИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ В ОТКРЫТИИ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ МЕДНОКОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ОКОЛОРУДНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

(Молодежный рудный район)

Поиски глубокозалегающих медноколчеданных месторождений представляют сложную проблему, эффективное решение которой возможно на основе применения рационального комплекса геологических, геофизических и геохимических методов, сопровождающихся необходимыми объемами колонкового бурения.

В результате планомерных комплексных поисково-разведочных работ, проводимых Уральским геологическим управлением на Южном Урале в пределах Молодежного меднорудного района (Петров, 1968), было открыто несколько глубокозалегающих скрытых и скрытоперекрытых медноколчеданных месторождений (рис. 1). Ниже рассмотрены конкретные примеры взаимосвязей ранее выявленных геохимических аномалий с открытыми впоследствии месторождениями, роль геохимических методов в открытии месторождений и некоторые особенности проявления геохимических ореолов, важные для повышения эффективности поисков глубокозалегающих медноколчеданных месторождений.

### ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ

Основные объемы гидрогеохимических поисков по району выполнены в конце 50-х годов. С. М. Терещенко, В. А. Ласточкиным и Р. Г. Рябиным выделен ряд гидрогеохимических аномалий. Наиболее интересные из них учтены нами при обобщении данных гидрогеохимических поисков на территории деятельности Уральского геологического управления.

Гидрогеохимическая аномалия № 166 (ГХА-1 по авторам — В. А. Ласточкину и Р. Г. Рябинину) выделена в 1959 г. в поверхностных водах. На участке аномалии установлено повышенное содержание меди (5—20 мкг/л), сульфат-иона (до 30—40 мкг/л), цинка (до 30 мкг/л), молибдена (до 1 мкг/л). Величина  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  доходит до 6,6 и является аномальной. Основной состав вод  $\text{HCO}_3-\text{Ca}-\text{Na}$ ,  $\text{pH}=7,3-7,6$ . Характерна пространственная зональность аномалии. В верхней части она проявляется по меди, в средней — по меди, сульфат-иону и молибдену, в нижней — по меди и цинку (рис. 2).

Авторами было высказано предположение о том, что источником аномалии являются, помимо известного месторождения, новые рудные зоны, расположенные в ее средней части. Участок аномалии был отнесен к заведомо рудоперспективным. В 1964 г. Южно-Уральской экспедицией в результате комплексных детальных геологопоисковых и геофизических работ здесь было открыто скрытопогребенное медноколчеданное месторождение. Рудные тела месторождения полого залегают на глубинах 180—450 м от земной поверхности в толще гидротермально измененных вулканитов липарит-дацитового состава, перекрытых карбонатными и вулканогенно-терригенными породами надрудной толщи. Палеозойские породы погребены под довольно мощным (от 10 до 50—60 м) чехлом неогеновых глин и четвертичных аллювиально-делювиальных песчано-глинистых отложений.

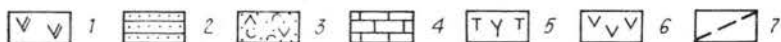
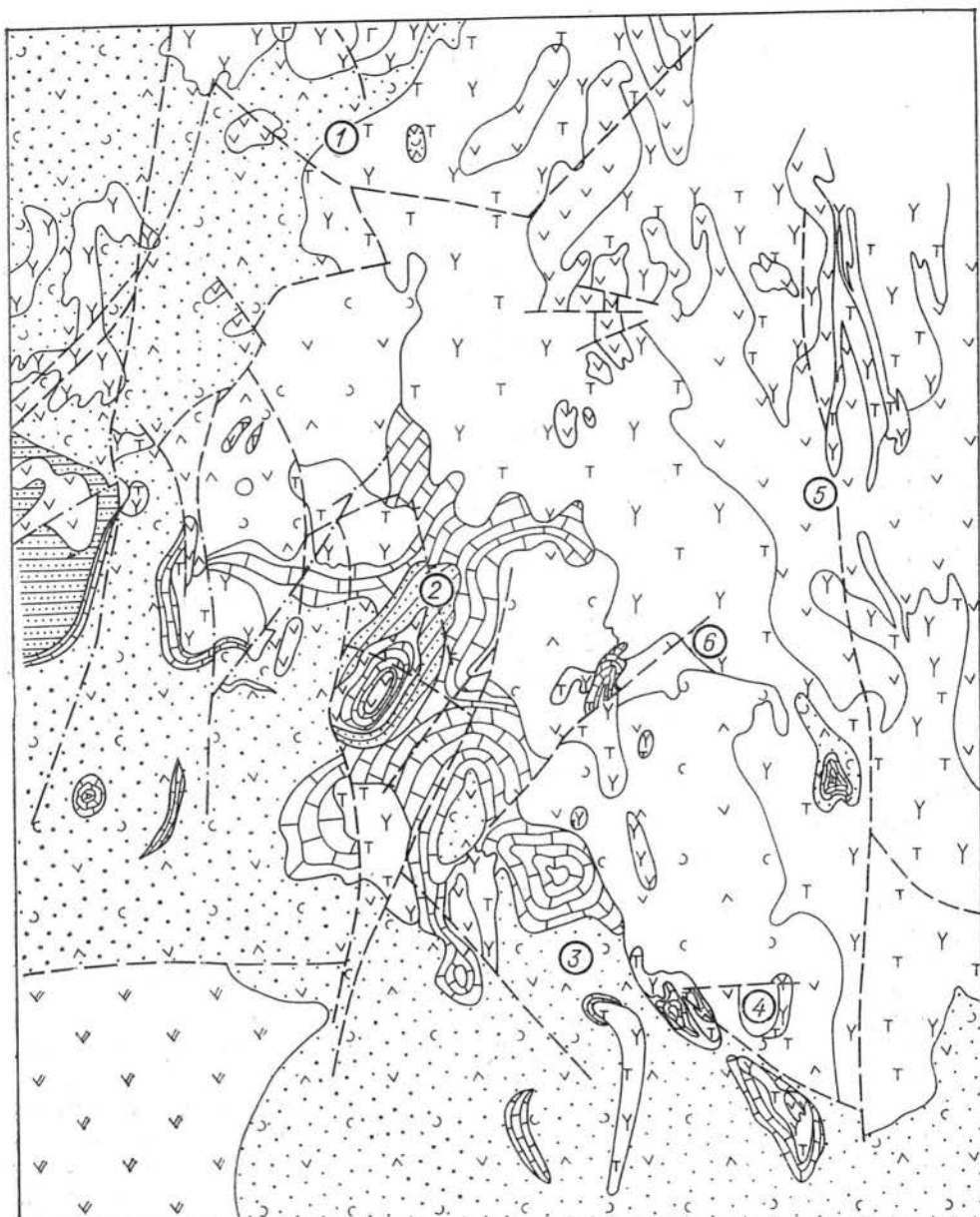


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Молодежного рудного района (по Г. В. Петрову и др.).

1 — надрудная толща диабазов и диабазовых порфиритов колтубанской свиты ( $D_2fg_2$ ); 2 — надрудная терригенно-кремниевая толща колтубанской свиты ( $D_2fg_1$ ); 3 — надрудная осадочно-вулканогенная толща улутауской свиты ( $D_2gv^{ul}$ ); 4 — надрудная карбонатная толща улутауской свиты ( $D_2gv^{ul}$ ); 5 — рудовмещающая толща кислых вулканитов ( $D_2gv^{ul}$ ); 6 — подрудная толща вулканитов основного состава ( $D_2e?$ ); 7 — зоны тектонических разломов.  
 Цифры на рисунке — колчеданные месторождения: Озерное (1), Талганское (2), Чебачье (3), Молодежное (4); рудопроявления — Ялшанское (5), Карепановское (6).

Формирование слабо проявленного потока ореольных вод аномалии № 166 связывается с гипергенным разрушением эндогенных надрудных ореолов.

Аномалия № 281 выделена С. М. Терещенко в 1958 г. по грунтовым водам, вскрытым поисковыми скважинами. Участок аномалии приурочен

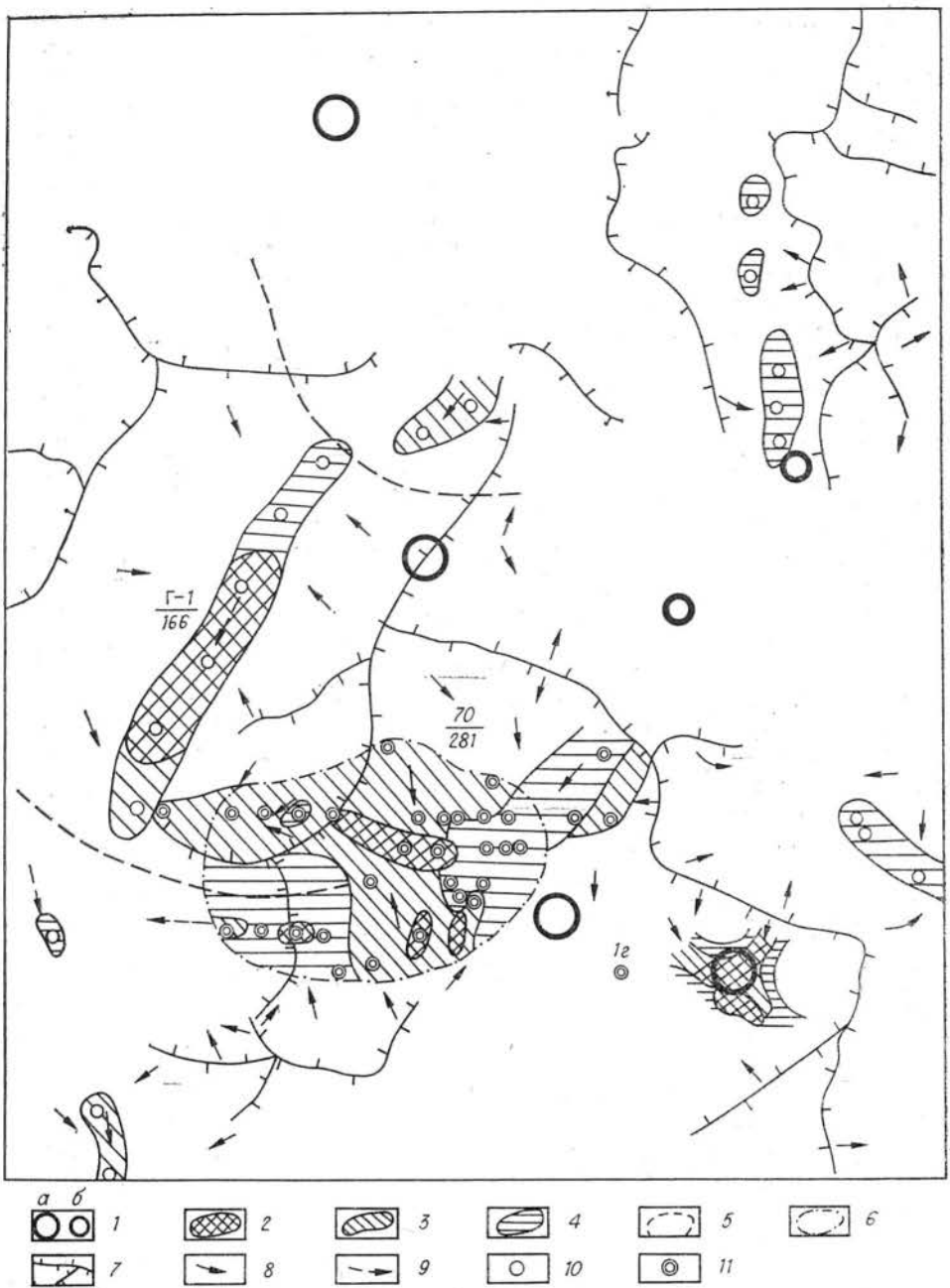


Рис. 2. Схематическая карта гидрогеохимических аномалий по Молодежному рудному району. Составлена по материалам С. М. Терещенко, В. А. Ласточкина и Р. Г. Рябинина.

1 — колчеданные месторождения (а), рудопроявления (б); 2 — совмещенные аномалии по трем гидрохимическим признакам; 3 — совмещенные аномалии по двум гидрохимическим признакам; 4 — аномалии по одному гидрохимическому признаку; 5 — контуры гидрохимической аномалии № 166; 6 — контуры гидрохимической аномалии № 281; 7 — водоразделы; 8 — направления площадного стока вод; 9 — направления линейного стока вод; 10 — поверхностные водопункты; 11 — скважины.

к широкой, частично заболоченной долине ручья (см. рис. 2). Основной состав вод  $\text{HCO}_3\text{—Ca—Mg}$  (Na),  $\text{pH} = 7\text{—}8,4$ . На участке аномалии развит гидрогеохимический ореол сульфат-иона (до 156 мг/л), меди (до 100 мг/л), цинка (до 6000 мг/л).

Аномалия оценена как весьма перспективная. Глубокое поисковое бурение здесь проведено в недостаточных объемах. Тем не менее в юго-восточной и северной частях участка аномалии в 1976 г. вскрыта частично выходящая под рыхлые отложения рудоносная толща липарито-дацитов с колчеданным оруденением, заслуживающим продолжения поисково-оценочных работ.

В 1972 г. несколько восточнее участка аномалии № 281 в результате детальных геолого-геофизических поисков Краснинской партией открыто скрытопогребенное месторождение Чебачье, руды которого полого залегают вблизи верхнего контакта рудовмещающей толщи липарито-дацитов с надрудными рифовыми известняками улугау, перекрытыми вулканогенно-терригенными отложениями, на глубинах 250—300 м и более от земной поверхности.

Особенности проявления ореольных подземных вод изучены на примере месторождения Молодежное (Голева, 1977). Скрытопогребенные рудные залежи и эндогенные ореолы месторождения незначительно обводнены трещинно-грунтовыми и трещинно-жильными водами. Уровень вод колеблется от 50—70 до 120 м. Местами воды приобретают напорный характер. В центральной части рудного поля проходит мощная обводненная субширотная тектоническая зона. Основной состав вод  $\text{HCO}_3\text{—Cl(SO}_4\text{)—Na(Ca, Mg)}$ , минерализация 0,3—0,7 г/л,  $\text{pH} = 7,1\text{—}7,3$ . В сравнении с фоновыми рудные и ореольные воды обогащены Zn (до 200—500 мкг/л), Cu (до 50—100 мкг/л), As (до 1—4 мкг/л), Pb (до 5—20 мкг/л), Ag (до 0,5—0,7 мкг/л), Co (до 0,4—0,8 мкг/л), Ba (до 100 мкг/л), Mn (до 250—600 мкг/л), Na (до 180—200 мкг/л). Наибольшие размеры и контрастность имеют водные ореолы цинка и меди. Ореолы мышьяка, свинца и серебра меньше по размерам и слабо проявлены. Участки максимальных содержания элементов в ореолах совпадают с известными рудными телами.

В зоне субширотного разлома ореольные воды существенно разубоживаются фоновыми водами (вплоть до исчезновения ореолов). Водные ореолы не оконтурены с севера и юга. «Северный» ореол вытягивается в северо-восточном направлении за пределы рудного поля. В этом же направлении располагается основная область питания вод, а их сток проходит на юго-запад. С учетом этих данных в 1968 г. Центральная геохимическая партия Уральского геологического управления дала прогноз новых скрытых рудных тел на глубинах 150—200 м северо-восточнее Молодежного месторождения. В 1976—1977 гг. Южно-Уральской экспедицией на данном участке вскрыты гидротермально измененные кислые вулканыты с колчеданным оруденением. Поисковые работы по оценке флангов месторождения продолжаются.

Подземные ореольные воды месторождения Молодежное дренируются расположенным юго-западнее озером и обуславливают появление гидрогеохимической аномалии в водах последнего (Голева, 1968, 1977).

Аналогичным образом дренируются ореольные воды месторождения Чебачье. Примеры дренирования озерными бассейнами ореольных подземных вод отмечались ранее для Гайского и Озерного месторождений (Засухин, Логинова, 1963). Данные факты свидетельствуют о перспективности гидрогеохимического опробования вод озер при поисках скрытопогребенных медноколчеданных месторождений.

#### ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ

В Молодежном рудном районе развиты выщелоченные черноземы и, местами, серые лесные почвы. Площадные литогеохимические (металлометрические) съемки масштабов 1 : 50 000—1 : 10 000 по вторичным ореолам в почвах здесь проводились систематически, начиная с 1956 г. Они, как правило, выполнялись в комплексе с геофизическими работами.

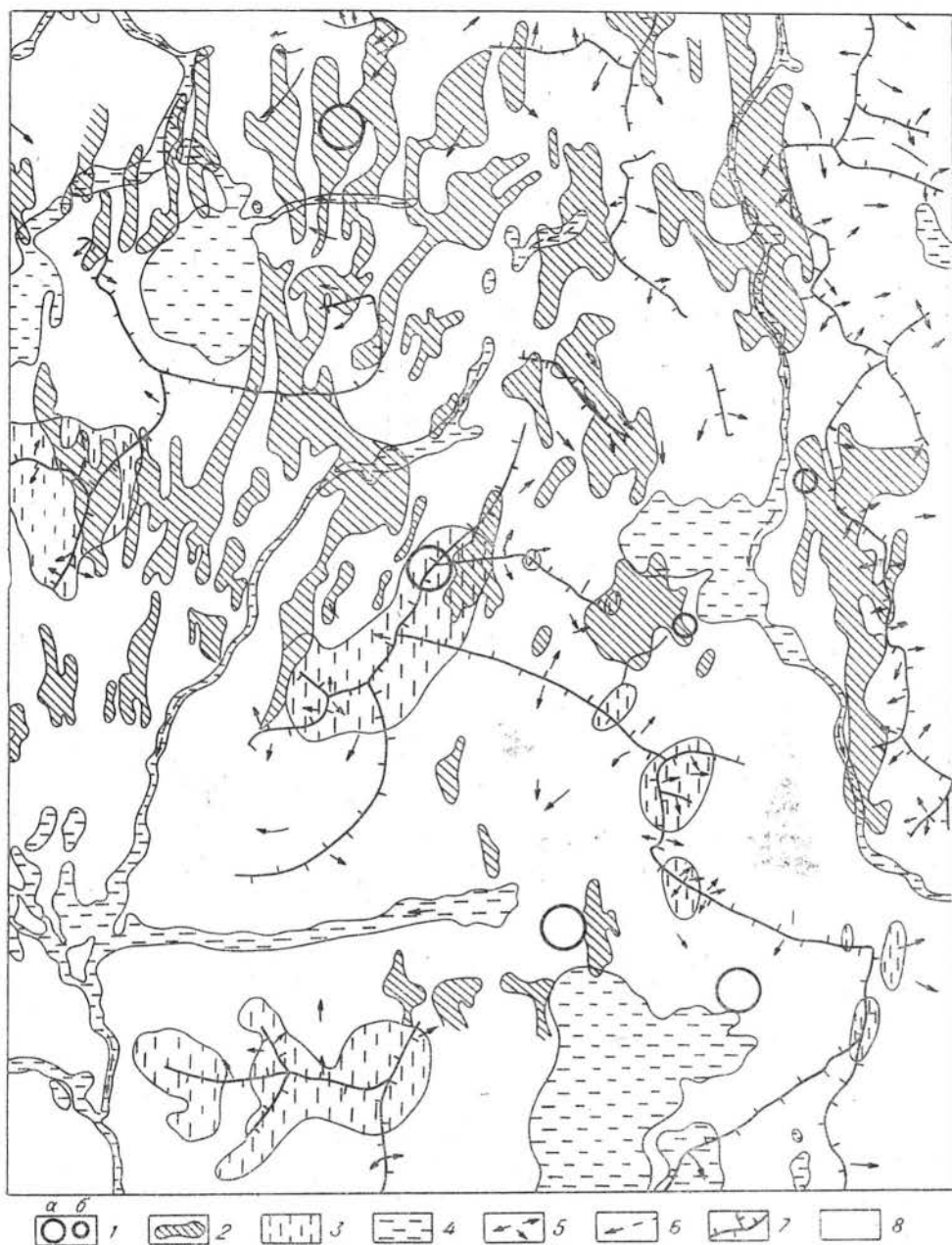


Рис. 3. Схематическая карта ландшафтов и литогеохимических ореолов меди, цинка, свинца в почвах. Составлена по материалам Б. А. Игошина.

1 — колчеданные месторождения (а), рудопроявления (б); 2 — зоны повышенных содержаний Cu, Zn, Ba в почвах; 3 — элювиальный ландшафт с маломощным (до 1—5 м) рыхлым покровом, корами выветривания и выходами коренных пород; 4 — гидроморфный и аквальный ландшафты (долины рек, озерно-болотные ванны с аллювиальными и озерно-болотными отложениями мощностью до 30—60 м); 5 — направления площадного стока вод; 6 — направления линейного стока вод; 7 — водоразделы; 8 — трансаллювиальный ландшафт с неогеновыми глинами и делювиальными суглинками общей мощностью от 5—10 до 20—30 м.

В 1957 г. на участке открытого позже месторождения Озерное ранее была выявлена в почвах четкая аномалия меди (до 0,07% в эпицентре), сопровождающаяся аномалиями Zn, Pb, Ag, Mo, Co (рис. 3). В 1958 г. аномалия была проверена двумя скважинами, которые вскрыли сульфидированные вулканиты с эндогенным ореолом (Cu до 0,1%, Pb до 0,7, Zn

до 0,5, Ag и Mo до 0,003%). В 1960 г. в 200 м северо-западнее эпицентра почвенного ореола на глубине 200 м открыто колчеданное рудное тело Озерного месторождения.

Южнее, на площади будущего медноколчеданного месторождения, по результатам литогеохимической съемки в 1956—1959 гг. в почвах выделены слабые ореолы меди и цинка, местами сопровождающиеся ореолами свинца, серебра, молибдена (см. рис. 3). Поисковыми скважинами, пробуренными Поляковской геологоразведочной партией в эпицентре совмещенных геофизических аномалий и вторичных литогеохимических ореолов, вскрыты зоны сульфидизированных вулканитов с эндогенными ореолами. Комплекс последующих работ привел к открытию в 1964 г. первой медноколчеданной рудной залежи. В отличие от месторождения Озерное, почвенные ореолы над выявленным месторождением развиты слабее, и в основном по периферической части рудных тел, фиксируют надрудные эндогенные ореолы, приуроченные к системе оперяющих тектонических разломов. При этом собственно глубокозалегающие скрытопогребенные рудные тела почвенными ореолами не фиксируются. Аналогичная картина наблюдается над месторождениями Молодежное и Чебацье, где почвенные ореолы развиты еще слабее и до открытия месторождений не были выделены литогеохимической съемкой.

Последующие опытно-методические работы показали, что данные почвенные ореолы развиваются над попадающими в зону гипергенеза эндогенными ореолами и тектоническими нарушениями, обводненными ореольными водами. При повышенной мощности рыхлого покрова они могут быть пропущены по данным валового спектрального анализа. В этих случаях предпочтительней применять методы раздельного обнаружения наложенной рудогенной составляющей почвенных ореолов, например, с помощью слабых солянокислотных вытяжек (Вострокнутов, Юшков, 1972). Данные рис. 3 показывают, что слабо проявленные почвенные ореолы меди, цинка, свинца, аналогичные рудогенным, широко развиты вне месторождений над зонами рассеянной сульфидной минерализации. Поэтому для повышения надежности поисков глубокозалегающих месторождений по подобным ореолам обязателен учет конкретной структурно-геологической обстановки и данных геофизических методов, а также совершенствование методов разбраковки слабо проявленных литогеохимических ореолов, в частности использование вытяжек и математических методов усиления слабых сигналов по комплексу элементов.

### ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ ПО ПЕРВИЧНЫМ ОРЕОЛАМ

Изучение эндогенных (первичных) ореолов производится главным образом при геохимическом опробовании керна картировочных и поисково-разведочных скважин. В настоящее время эндогенные ореолы изучены практически по всем медноколчеданным месторождениям Урала (Баранов и др., 1971, 1973; Овчинников, Баранов, 1970). Выше отмечалось существенное значение эндогенных ореолов при формировании вторичных гидрогеохимических и почвенных литогеохимических ореолов глубокозалегающих медноколчеданных месторождений. Использование эндогенных ореолов позволяет также эффективней решать задачи поисков скрытого оруденения, проводить прогнозную оценку рудопроявлений, флангов и глубоких горизонтов известных рудных полей. Рассмотрим пример практического изучения эндогенных ореолов.

В Молодежном рудном районе в 1968 г. при обобщении и переоценке геологических, геофизических и геохимических материалов был выделен по эндогенным ореолам и рекомендован к последующей проверке ряд рудоперспективных участков, в частности участок № 5. В пределах участка в кремнистых сланцах мукасовского горизонта и полимиктовых песчаниках, относимых к вулканогенно-терригенным образованиям над-



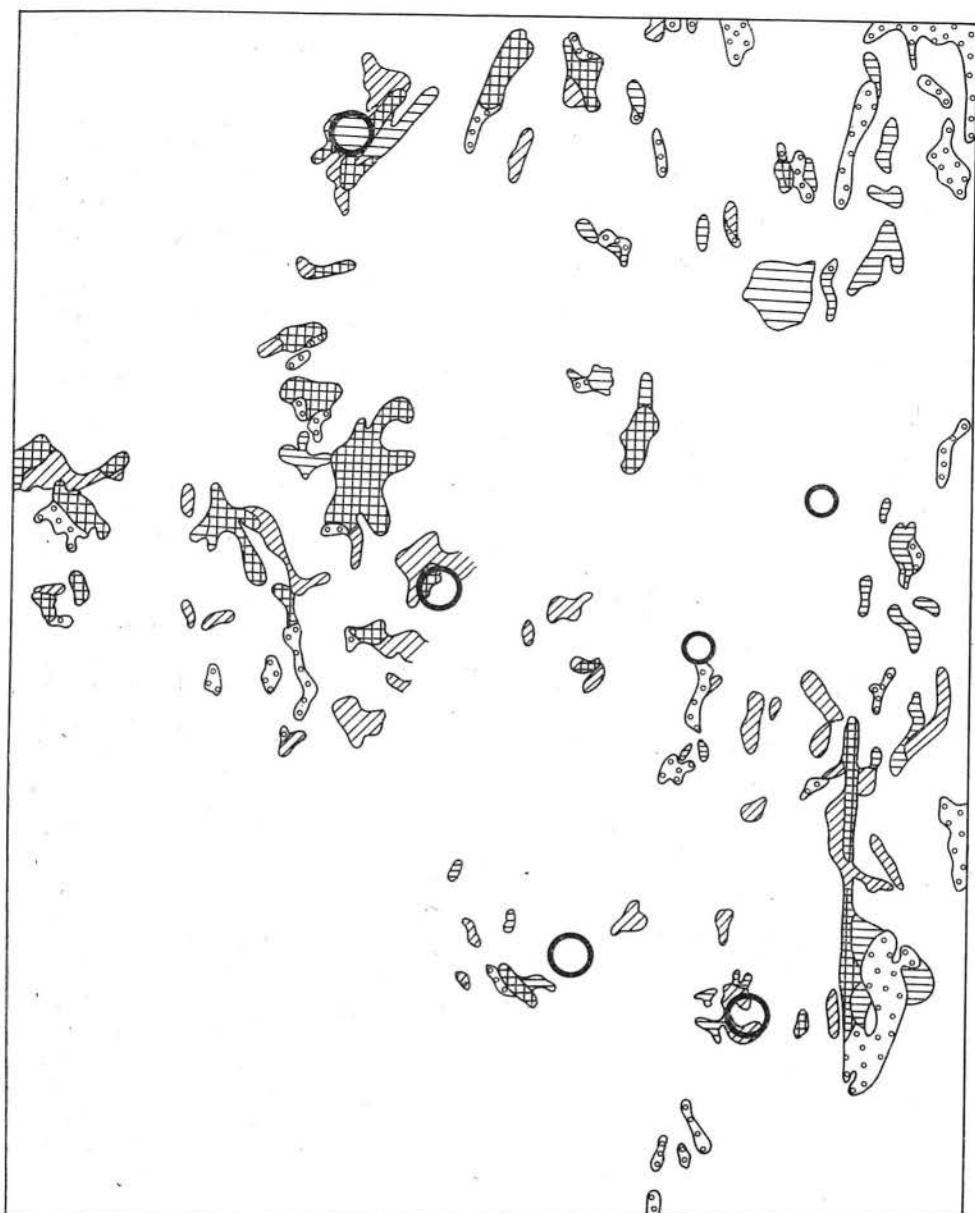


Рис. 4. Схематическая карта эндогенных ореолов меди, цинка, свинца, серебра, бария, молибдена, кобальта по Молодежному рудному району. Составлена по материалам Э. Н. Баранова и др.

1 — колчеданные месторождения (а), рудопроявления (б); сечения эндогенных ореолов (выделены по характерным ассоциациям элементов-индикаторов): 2 — фронтальные (надрудные), 3 — близрудные-рудные (включая зоны с колчеданным оруденением), 4 — фланговые (околорудные), 5 — тыловые (подрудные).

рудной толщи верхнего девона, выявлены слабые эндогенные ореолы свинца, серебра, цинка. В кислых вулканитах рудовмещающей толщи установлены не оконтуренные с юго-востока интенсивные комплексные эндогенные ореолы меди (до 0,1—0,3%), цинка и бария (до 0,03—0,4%), мышьяка и свинца (до 0,03—0,06%), серебра (до 0,001%), молибдена (до 0,0003—0,0006%). На основании этих данных, а также учитывая благоприятную структурно-геологическую обстановку участка и наличие локальных гра-

виметрических аномалий, были рекомендованы детальные поисковые работы с бурением скважин глубиной до 500—700 м для вскрытия прогнозируемых колчеданных рудных тел. Последующие работы ИМГРЭ (Баранов и др., 1971, 1973) подтвердили наличие на данном участке эндогенных геохимических ореолов надрудного типа. Южно-Уральской экспедицией в 1972 г. с помощью глубокого поискового бурения открыто на участке № 5 Талганское медноколчеданное месторождение. Рудные тела месторождения скрыты на глубинах до 150—200 м под рифовыми известняками, полимиктовыми песчаниками и сланцами мукасовского горизонта.

Наряду с «открытыми» типами эндогенных ореолов в тектонически нарушенной надрудной толще пород (месторождение Озерное, частично Талганское) в районе широко развиты эндогенные ореолы «экранированного» типа — главным образом в подрудной толще гидротермально измененных пород и в рудомещающих породах по латерали от полого залегающих рудных тел (Баранов и др., 1971, 1973; Овчинников, Баранов, 1970).

Подобные эндогенные ореолы слабо проявлены в плотных, малоизмененных надрудных породах (месторождения Чебачье, Молодежное, частично Узельгинское) и развиваются в основном по оперяющим зонам тектонических нарушений на флангах рудных тел. При этом они нередко имеют состав, весьма сходный с составом ореолов зон «сквозных» тектонических разломов, сопровождающихся лишь рассеянной сульфидной минерализацией (рис. 4). Вне разломов в пологозалегающих надрудных толщах эндогенные ореолы приобретают субгоризонтальное развитие и латеральную геохимическую зональность (от питающих их тектонических зон). При этом они становятся сходными с «оторванными» надрудными эндогенными ореолами, характерными для некоторых глубокозалегающих месторождений (Подольское, Чебачье) (Болотин, Соляная, 1976), что создает определенные трудности в прогнозировании глубокозалегающего медноколчеданного оруденения. В этом направлении необходимы дальнейшие исследования. В частности, как показало изучение месторождения Чебачье, в надрудной толще пород очень слабо развиты ореолы рудообразующих элементов (Cu, Zn, Pb) и достаточно хорошо — ореолы германия, достигающие максимальных размеров в сравнении с другими элементами-индикаторами. При этом ореолы германия практически отсутствуют в подрудных гидротермалитах. Установлена тесная корреляция ореолов германия с участками надрудной гематитизации и карбонатизации пород. Вероятно, это обусловлено сорбцией германия гидроокислами железа и соосаждением с карбонатами кальция (Голева, 1977). Совмещение эндогенных ореолов германия с ореолами  $Fe^{3+}$  и  $Ca^{2+}$  (зонами гематитизации и карбонатизации) может служить дополнительным геохимическим критерием для прогнозирования глубокозалегающего медноколчеданного оруденения.

## 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. Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений. Вып. 4. М., ИМГРЭ, 1971.

Баранов Э. Н., Головин А. А., Лазарев В. Н., Поливанов В. В., Рыфтин В. М. Геохимические критерии поисков скрытых колчеданных месторождений. — В кн.: Геохимические критерии прогнозирования и поисков рудных месторождений. М., ИМГРЭ, 1973.

Болотин Ю. А., Соляная Л. Н. Геохимические особенности Подольского месторождения. — «Разв. и охрана недр», 1976, № 1.

Вострокнутов Г. А., Юшков Ю. Н. Опыт применения частичнофазового анализа при литохимических поисках на Среднем Урале. — В кн.: Литохимические поиски рудных месторождений. Алма-Ата, 1972.

Голева Г. А. Гидрогеохимические поиски скрытого оруденения. М., «Недра», 1968.

Голева Г. А. Гидрогеохимия рудных элементов М., «Недра», 1977.

Засухин Г. Н., Логнинова Л. А. Опыт применения геохимических поисков колчеданных месторождений на Южном Урале. М., Госгеолтехиздат, 1963.

Овчинников Л. П., Баранов Э. И. Эндогенные геохимические ореолы колчеданных месторождений. — «Геол. рудн. месторожд.», 1970, № 2.

Петров Г. В. Особенности геологии и методы поисков медноколчеданных месторождений в Верхнеуральском районе Челябинской области. — «Изв. АН СССР. Серия геол.», 1968, № 5.

*А. А. Жданова, В. А. Калашикова, В. Я. Пашов, А. И. Демченко*  
(Восточно-Казахстанское геологическое управление).

## КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ВОСТОЧНОМ КАЗАХСТАНЕ

Восточный Казахстан — крупная металлогеническая провинция Советского Союза, в которой выявлено большое количество промышленных месторождений цветных, редких и благородных металлов.

Создание надежной сырьевой базы для действующих и вновь организуемых горнодобывающих предприятий во многом зависит от состояния научного прогнозирования месторождений, эффективного проведения поисковых и разведочных работ, в которых значительную роль играют геохимические методы.

Территория деятельности Восточно-Казахстанского геологического управления по природным условиям очень разнообразна. Здесь типичные высокогорные районы с ледниками, фирновыми полями, тундрой и альпийскими лугами последовательно сменяются сверху вниз таежными лесами, лесостепью, степью, полупустынями и пустынями. Ландшафтно-геологические особенности в значительной мере определяют методику проведения комплекса геохимических работ в различных природных районах.

К настоящему времени для всей территории составлены ландшафтно-геохимические карты и карты условий ведения геохимических поисков масштаба 1 : 200 000. Анализ этих материалов показывает, что 30 % территории может быть успешно опойсковано литогеохимическими съемками по вторичным ореолам рассеяния, остальная площадь требует постановки глубинных геохимических поисков. Отсутствие древних кор выветривания (а поэтому и слабая эффективность глубинных геохимических съемок), высокая стоимость работ сдерживают широкое применение этого метода для опойскования закрытых территорий.

С целью увеличения глубинности поисков в последние годы в практику работ внедряются геохимические съемки методами МПФ и ЧИМ, разработанными в ВИГРе Л. В. Антроповой, Ю. С. Рысс, П. С. Гольдбергом. На первом этапе осуществлялись опытно-методические работы на известных полиметаллических месторождениях (Красноярском, Иртышском, Орловском), где рудные тела перекрыты толщей дальнепринесенных осадков мощностью от 80 до 100 м. В этих условиях над выходами рудных тел и зон в составе сульфатно-гуматного комплекса почв выявлены контрастные аномалии свинца и меди.

Производственные работы методом МПФ проводятся на стадии общих поисков масштабов 1 : 50 000 и 1 : 10 000 на закрытых территориях с мощностью рыхлых отложений от 30 до 150 м в Зырянском, Прииртышском, Лениногорском, Алакольском и Калбинском районах.

В результате проведенных работ в Прииртышском районе выявлены комплексные аномалии, которые фиксируют зоны метаморфизованных по-

род с рассеянной минерализацией (участки Верхубинский, Веселый, Красноярский).

При поисках медно-никелевого оруденения в Зыряновском районе на участке Рудничном методами ВП и МПФ выделена аномальная зона, при проверке которой картировочными скважинами встречается медно-никелевая минерализация. По сумме геолого-геофизических данных участок рекомендован для постановки детальных поисков.

Метод ЧИМ в поверхностном варианте до настоящего времени не вышел из стадии опытных работ. Им целесообразно разбраковывать аномалии ВП и МПП; работы будут эффективны в масштабах 1 : 5000 и 1 : 2000. Включение в поисковый комплекс на закрытых территориях методов МПФ и ЧИМ позволяет более эффективно опосковывать площади и значительно сократить объемы буровых работ.

Поиски по эндогенным ореолам рассеяния применяются на всех стадиях детальных и поисково-разведочных работ. Силами управления, Центральной геохимической экспедиции КазССР и ИМГРЭ изучены эндогенные ореолы большинства колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая, что позволило разработать основные геохимические критерии прогнозирования и поисков скрытого полиметаллического оруденения. Использование геохимических методов повысило информативность и надежность крупномасштабного прогнозирования в рудных районах Рудного Алтая, проведенного в 1971—1973 гг.

В качестве самостоятельного поискового метода съемка по эндогенным ореолам применяется на стадии глубинных поисков масштаба 1 : 10 000, при поисково-оценочных и поисково-разведочных работах. Пробы отбираются из обнажений, горных выработок и скважин. При поисках золота шаг опробования составляет 3—5 м, полиметаллов — 10 м, редких металлов 5—10 м. По результатам анализов проб составляются геохимические карты, разрезы в изолиниях содержаний элементов или полях естественных геохимических ассоциаций.

При прогнозировании полиметаллического оруденения на глубину проводятся подсчеты геохимических параметров эндогенных ореолов (коэффициенты зональности —  $K_z$ , аномальности —  $K_a$  и т. д.). Интерпретация производится на основе представлений о закономерностях распределения различных показателей эндогенных ореолов в околорудном пространстве. Количественно зональность отражается в изменении величины  $K_z$  по вертикали. Подрудная часть характеризуется величинами  $K_z = 1—2$  и менее, средняя часть рудных зон — величинами  $K_z = 2—10$  и надрудная часть — величинами  $K_z > 10$ . Нередко отмечается наложение вертикальной зональности кулисно расположенных пространственно сближенных рудных тел. В результате появляются аazonальные ореолы: медно-бариевые, свинцово-кобальтовые, свинцово-медные и др.

Основываясь на этих закономерностях при прогнозной оценке на глубину, следует учитывать характеристику ореолов. К малоперспективным и бесперспективным относятся ореолы прерывистые, низкой комплексности (1—3 элемента), незначительных размеров, с преобладанием элементов тыловых зон (Cu, Co, Mo, Sn), с величинами  $K_z < 2$ ,  $K_a < 10—20$ . Ореолы комплексного состава (более 4 элементов), значительной мощности (более 50 м), с величинами  $K_z > 2$  и  $K_a > 20$  относятся к перспективным первой очереди, ореолы и зоны ореолов с неполным набором благоприятных геохимических признаков — к перспективным второй очереди. С ними могут быть связаны мелкие рудные тела.

Описанный методический подход позволяет проводить оценку флангов и глубоких горизонтов известных месторождений, разбраковывать геохимические аномалии, выявленные на стадиях поисково-разведочных и детальных работ различных масштабов.

Возможности использования аддитивных и мультипликативных вторичных ореолов рассеяния для практических целей изучены на материалах

по Зыряновскому району (порядка 40000 проб). Работы выполнены в масштабе 1 : 50 000 на ЭВМ «Минск-32» по программам АСОМ — «Литогеохимия» и комплексу программ КОМЭ — «Карта», составленных М. В. Салатовым, П. В. Ашаевым, Ю. А. Сергейко. Предварительный анализ исходного материала показал, что аномальное геохимическое поле в пределах рассматриваемой площади неоднородно: наряду с комплексными вторичными ореолами элементов полиметаллической группы сложной конфигурации, высокой контрастности отмечаются и простые по форме монометалльные ореолы низкой интенсивности.

По результатам обработки геохимической информации на ЭВМ установлено:

1) карты аддитивных ( $Pb + Cu + Zn + Ba$ ) и мультипликативных ( $Pb \times Cu \times Zn \times Ba$ ) вторичных ореолов по информативности практически не отличаются, в дальнейшем возможно использование одного из этих вариантов;

2) на карте мультипликативных ореолов в первую очередь нашли отражение участки комплексных вторичных ореолов с высокой степенью пространственной совмещенности аномальных содержаний элементов, монометалльные ореолы слабой контрастности отфильтровываются;

3) полученная информация может быть успешно использована для выбора первоочередных объектов для постановки проверочных работ и выделения контрастных аномальных зон при обобщении литохимических съемок;

4) при равномерной сети опробования использование ЭВМ дает возможность с малыми затратами времени получать результативные карты вторичных ореолов рассеяния, минуя стадию подготовки поэлементных карт.

В заключение отметим, что высокая эффективность глубинных геохимических методов может быть достигнута лишь при своевременной проверке бурением выделяемых геохимических аномалий. Геохимические исследования должны доводиться до прогнозных оценок.

---

*А. В. Покусаев, Б. Н. Сафиюлин, Б. С. Зейлик, М. И. Жукое*  
(Центрально-Казахстанское геологическое управление)

### **КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ПОИСКОВ В КОУНРАДСКОМ РАЙОНЕ ПОГРЕБЕННЫХ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

За полувековую историю комплексных геолого-геофизических исследований в Коунрадском рудном районе выявлены все месторождения и рудопроявления, выходящие на эрозионный срез или перекрытые маломощным чехлом современных рыхлых отложений. Большая часть месторождений обнаружена по вторичным ореолам рассеяния при литогеохимических съемках масштаба 1 : 50 000. Накопленный опыт комплексных исследований на открытых площадях позволил с середины 70-х годов приступить к поискам погребенного и слепого оруденения. Обусловлено это тем, что более четверти территории Коунрадского рудного узла закрыто современными рыхлыми отложениями, достигающими мощности 90 м. Это прежде всего долины древних рек Шункур и Токрау, обрамляющие Восточно-Коунрадский гранитный массив, в пределах которого располагаются месторождения Коунрад Медный и Коунрад Молибденовый.

Анализ геофизических материалов в районе указывает, что гравитационные минимумы в районе Медного Коунрада, Кенькудука и месторож-

дения Борлы обусловлены гранитными массивами пермского, верхнекаменноугольного или верхнекаменноугольно-пермского возрастов. Тела этих гранитов (различной формы и размеров) обычны для месторождений и рудопроявлений, как и рудовмещающие гранодиориты, гранит-порфиры или гранодиорит-порфиры Балхашского интрузивного комплекса.

Кроме этого, медно-порфировые месторождения контролируются зонами глубинных разломов, в узлах пересечения которых располагаются вышеописанные гравитационные и магнитные минимумы, выделенные М. И. Жуковым в 1968 г.

Это позволило нам в качестве первоочередного района поисков рекомендовать в свое время площадь, примыкающую к Восточно-Коунрадскому гранитному массиву с северо-востока, востока и юго-востока.

Крупномасштабные поиски, проведенные в 1969 г. на южном фланге массива, выявили два мелких месторождения медно-порфировых руд и позволили установить ряд особенностей локализации медно-молибденового оруденения; оно залегает в штоках гранитов, гранодиорит- или гранит-порфиров, а также в их экзоконтактах; сопровождается зонами гидротермального изменения вмещающих пород, представленных окварцованными, серицитизированными, калишпатизированными и пропилитизированными разностями.

Наиболее богатые участки оруденения приурочены к зонам эруптивных брекчий и дробления. Минерализация прожилково-вкрапленная. Зоны окисления и вторичного сульфидного обогащения на погребенных объектах маломощные или отсутствуют вообще.

Рудные тела характеризуются довольно постоянным минералогическим составом: главные рудные минералы — халькопирит, борнит, блеклые руды, молибденит; второстепенные и редкие — галенит, сфалерит, висмутин, серебро, золото, ртуть и др. В отдельных случаях участки богатой медно-молибденовой минерализации сопровождаются новообразованием магнетита и содержат кварц-магнетит-халькопиритовые прожилки.

Геофизические и геохимические особенности медно-порфирового оруденения следующие:

1. Зоны гидротермального изменения в гранодиоритах и вулканитах четко картируются относительным понижением магнитного поля (0 до —500  $\gamma$ ) на фоне довольно интенсивных полей (1000—5000  $\gamma$ ), соответствующих слабоизмененным или неизмененным породам.

2. Как правило, рудные тела имеют изометричную форму (цилиндры, полые конусы), что определяет конфигурацию геофизических и геохимических аномалий.

3. Участки с богатой медной минерализацией, представленной кварц-магнетит-халькопиритовыми прожилками, фиксируются локальными интенсивными магнитными аномалиями до 3000  $\gamma$  на фоне спокойного, относительно пониженного поля.

4. Оруденение характеризуется первичными ореолами меди, молибдена, свинца, цинка, висмута, олова, вольфрама, кобальта и никеля.

5. Отмечается следующая вертикальная зональность оруденения (снизу — вверх): висмут — вольфрам — никель — медь — кобальт — олово — молибден — серебро — цинк — свинец; горизонтальная зональность выражена в том, что фланги оруденения характеризуются комплексными ореолами свинца, цинка и висмута, ближе к центру месторождения отмечаются ореолы серебра, молибдена, олова, вольфрама и меди; в центре месторождения ореолы отсутствуют. Расположение ореолов концентрическое. Морфология ореолов — кольцевая.

6. Оруденелые и слабоминерализованные породы имеют различные геохимические спектры таких элементов, как медь, цинк, свинец, молибден, вольфрам, никель, кобальт, олово, висмут и серебро. Сравнение их с эталонными по месторождениям позволяет разбраковывать участки оруденелых и слабоминерализованных пород и периферийных частей месторождения.

7. Мультипликативные отношения  $\left( \frac{\text{Pb} \cdot \text{Mo}}{\text{Ag} \cdot \text{Bi}}, \frac{\text{Pb} \cdot \text{Mo} \cdot \text{Ag} \cdot \text{Zn}}{\text{Bi} \cdot \text{W} \cdot \text{Bi} \cdot \text{W}}, \frac{\text{Pb} \cdot \text{Mo}}{\text{Bi} \cdot \text{Bi}}, \frac{\text{Pb} \cdot \text{Mo}}{\text{W} \cdot \text{Bi}} \right)$  позволяют производить оценку эрозионного среза оруденения и перспектив выявленных первичных ореолов. Верхи рудных тел характеризуются величиной показателей  $30000 + 6000$ , середина рудного тела —  $6000 + 2000$ , а нижние горизонты имеют показатели эрозионного среза менее 1000 усл. ед.; для подрудных горизонтов характерны величины показателя  $80 + 200$  ед. Контрастность изменения показателя  $\frac{\text{Pb} \cdot \text{Mo}}{\text{Ag} \cdot \text{Bi}}$  от надрудных интервалов к подрудным достигает  $10^4$  ед.

К особенностям геофизических полей следует отнести также следующее:

1. Зоны оруденения фиксируются аномалиями ВП, значительно превосходящими по размерам рудные тела, которые располагаются в бортах аномалий ВП.

2. Повысотные аэромагнитные съемки, проведенные на месторождении Борлы, показывают, что при высотах более 100 м рудные тела месторождения в плане смещаются к борту локального минимума магнитного поля, тогда как при наземной съемке они располагаются в эпицентре. Этот факт на поисковой стадии, когда при проверке магнитных аномалий на площадях с мощным чехлом современных отложений картировочные скважины располагаются по редкой сети, имеет существенное значение.

Все вышеперечисленные данные позволили начать более целенаправленные поиски месторождений в долине р. Токрау. По геофизическим данным (магниторазведка, гравиразведка), эта площадь соответствует локальному гравитационному минимуму, ограниченному довольно резкими зонами градиентов силы тяжести, и является продолжением зоны Коунрад-Борлинского глубинного разлома в юго-восточном направлении. В магнитном поле здесь отмечаются локальные понижения. Особенности геофизических полей идентичны полям района месторождения Коунрад Медный. К макропризнакам наличия на этой площади месторождения меди можно отнести рудопроявления Прикоунрадское I и Прикоунрадское II.

С 1973 г. на площади долины р. Токрау были начаты детальные поиски. Комплекс методов включал:

1. Магниторазведку масштаба 1 : 10 000 — 1 : 20 000;
2. Электроразведку ИНФАЗ-ВП по отдельным профилям;
3. Картировочное бурение по сети  $800 \times 400$  и  $400 \times 200$  м;
4. Геохимическое изучение первичных ореолов.

По результатам этих работ были выявлены 4 рудопроявления и месторождение Прибрежное, расположенное в южной части Токрауского синклинария на юго-восточном продолжении Коунрад-Борлинского глубинного разлома.

В гравитационном поле положение данного разлома фиксируется отрицательной линейной аномалией ускорений силы тяжести, протягивающейся в виде апофизы от восточно-коунрадского гравитационного минимума в юго-восточном направлении.

В магнитном поле разлом прослеживается по цепочке вытянутых отрицательных аномалий и по ступенеобразному смещению линейных положительных аномалий в зоне разлома. Площадь участка полностью перекрыта пролювиально-аллювиальными отложениями дельты р. Токрау, мощность которых от северной рамки участка к югу увеличивается от 50 до 90 м.

По данным магниторазведки и картировочных скважин, большая часть площади участка сложена интрузивными породами балхашского комплекса, представленными диоритами и гранодиоритами. Диориты слагают преимущественно восточную часть участка и в виде небольших останцов отмечены в центральной его части. Среднезернистые биотитовые и био-

тит-роговообманковые гранодиориты слагают западную и центральную части участка.

В магнитном поле диориты отмечаются положительными аномалиями интенсивностью от 200 до 1000  $\gamma$ , гранодиориты — от —200 до +400  $\gamma$ . Значительные колебания интенсивности магнитного поля над диоритами и гранодиоритами обусловлены различной степенью метасоматического изменения этих пород.

В центральной части участка интрузивные породы балхашского комплекса прорваны штокообразными телами гранодиорит-порфиров коунрадского комплекса. Штоки гранодиорит-порфиров четко фиксируются локальными изометричной формы отрицательными магнитными аномалиями интенсивностью до —350  $\gamma$ .

Расположение штоков гранодиорит-порфиров на участке контролируется мощной тектонической зоной дробления субмеридионального простирания. Интрузивные породы в пределах этой зоны брекчированы и разгнейсованы. Гранодиорит-порфиры и вмещающие их гранодиориты и диориты в центральной части участка интенсивно изменены: окварцованы, калишпатизированы, серицитизированы, пиритизированы и реже хлоритизированы. Отмечается концентрическая зональность в распределении метасоматических образований относительно центрального штока гранодиорит-порфиров с некоторой вытянутостью вдоль субмеридиональной тектонической зоны.

По результатам глубинных геохимических поисков на участке выявлены первичные ореолы меди, молибдена, свинца, цинка, серебра, вольфрама и других элементов.

Ореолы меди в плане образуют кольцевую зону вокруг центрального штока гранодиорит-порфиров, с некоторым смещением в северном направлении. Максимальные концентрации меди в ореоле достигают 0,4—1%. Площадь ореола по изоконцентрате 0,1% составляет около 4 км<sup>2</sup>. Строение южной части кольца первичного ореола меди довольно сложное. Здесь внутри изоконцентраты 0,1% выделяется ряд локальных аномалий меди интенсивностью 0,2% и выше, простирание которых не согласуется с общей конфигурацией ореола, что свидетельствует о сложной морфологии рудного штока в южной части участка.

В северной части кольцевого ореола его форма осложняется локальным максимумом содержания меди до 0,4% изометричной формы, приуроченным к северному штоку гранодиорит-порфиров.

Аналогичное кольцевое строение относительно центрального штока имеют первичные ореолы и других вышеперечисленных элементов.

Данный факт, а также концентрическое размещение метасоматических образований на участке относительно центрального штока гранодиорит-порфиров позволяют заключить, что медно-молибденовое оруденение связано с центральными и северными штоками гранодиорит-порфиров. По закономерному смещению ореолов относительно центрального штока установлена следующая горизонтальная зональность элементов: молибден — медь — вольфрам — серебро — цинк — свинец. Для оценки уровня эрозионного среза построены карты мультипликативных ореолов надрудных элементов (свинец  $\times$  цинк  $\times$  серебро). По этому показателю наименьший уровень эрозионного среза имеет медно-молибденовое оруденение, приуроченное к северному штоку гранодиорит-порфиров. Здесь совмещены в плане ореолы меди, молибдена, свинца и цинка. Сопоставление геохимических спектров зоны оруденения и рудных тел месторождения Борлы показывает их полную идентичность. Это позволило использовать для оценки эрозионного среза описываемого оруденения показатель, применявшийся при оценке его на месторождении Борлы: он здесь равен 2800, что соответствует верхним горизонтам рудного тела, которое может быть прослежено до глубины свыше 300—400 м. Бурением это предположение подтвердилось.



В настоящее время проводится оценка первичных ореолов меди поисковыми скважинами. По предварительным данным, медно-молибденовое оруденение в пределах северного штока гранодиорит-порфиров прослежено до глубины 650 м, а на южном фланге центрального штока до глубины 500 м; скважины остановлены в руде.

Медно-молибденовое оруденение представлено халькопиритом, молибденитом, борнитом в кварц-серицитовых и кварцевых прожилках, а также в виде вкрапленности в гранодиоритах, диоритах и реже гранодиорит-порфирах. Отмечается увеличение вкрапленности халькопирита в маломощных ксенолитах диоритов в гранодиоритах. Порядок содержания меди и молибдена в рудах характерен для данного подтипа медно-порфировых месторождений — первые десятые доли процента меди и сотые доли молибдена.

Учитывая площадь первичных ореолов меди и молибдена и глубину распространения минерализации, запасы меди на участке могут быть значительными.

Полученные результаты подтвердили правильность выдвинутых прогнозов и выбранной методики поисков и оценки оруденения.

---

*Г. Н. Засухин, Л. А. Логинова, И. В. Швецов*  
(Башкирское геологическое управление)

## **МЕТОДИКА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В БАШКИРИИ**

Поиски рудных месторождений в Башкирской АССР проводятся в восточной ее части, в пределах Башкирского Урала и Зауралья на площади 50 тыс. км<sup>2</sup>.

Интересны месторождения меди, относящиеся к колчеданной формации, и месторождения золота, относящиеся к золото-колчеданной, золото-полиметаллической и золото-сульфидной в зонах расслаивания формациям, в частности, территория восточного склона Урала и Башкирского Зауралья, охватывающая западное крыло Магнитогорского мегасинклинория. Эта территория (площадью 14 тыс. км<sup>2</sup>) характеризуется широким развитием палеозойского вулканизма. В ее геологическом строении принимают участие эффузивные, пирокластические, интрузивные, жильные и осадочные породы.

К западному склону Башкирского Урала приурочено Западно-Уральское поднятие, занимающее площадь 35 тыс. км<sup>2</sup>, перспективное на месторождения свинца, меди, железа, стронция. Среди них возможны стратиформные и метаморфогенные месторождения.

Разделяющая две указанные выше структуры зона Главного Уральского разлома сопровождается проявлением интенсивного ультраосновного магматизма. В меньшей степени развиты интрузии диоритового ряда. К зоне разлома приурочены месторождения меди, золота и некоторых других металлов.

Для поисков глубокозалегающих рудных месторождений Башкирии используются следующие виды геохимических работ: 1) площадные литогеохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния; 2) литогеохимические поиски по первичным (эндогенным) ореолам (площадное геохимическое опробование коренных пород); 3) глубинные литогеохимические поиски по профилям с применением бурения и различных способов пробоот-

бора; 4) гидрогеохимические поиски (опробование природных вод в естественных и искусственных водопунктах).

Перечисленные выше виды геохимического опробования при поисковых и геологических маршрутах дополняются избирательным пробоотбором в местах, заведомо перспективных или интересных по каким-либо геологическим, минералогическим, геоморфологическим и другим признакам.

Наряду с отбором валовых проб, в которых измельчается и анализируется вся масса почвы, рыхлой или коренной породы, широко применяется избирательный отбор наиболее информативных сред и составляющих. Так, в рыхлых отложениях, особенно триасового и юрского возраста, отбираются осадочные бурые железняки, развитые в виде линз, пластов и конкреций\*. Вторичные ореолы рассеяния в бурых железняках имеют размеры в 3—4 раза больше, чем во вмещающих их суглинках, и отличаются значительно большей контрастностью.

Из коренных пород для анализа отбираются сульфидные концентраты (обычно методом флотации). Отбор таких проб является обязательным при изучении керна скважин поисково-картировочного и поисково-структурного бурения, а также при детальных поисковых работах.

Все геохимические пробы подвергаются эмиссионному спектральному анализу на Cu, Zn, Pb, Ag, As, Ba, Ni, Co, Mn, Ti, Cr, V и другие элементы. Анализ сульфидных концентратов обычно повышает информативность геохимических исследований, так как позволяет выявлять наличие комплекса таких рудных элементов, содержание которых в породе в 10—100 раз ниже порога чувствительности эмиссионного спектрального анализа на эти элементы. Это в ряде случаев дает возможность увеличить эффективные размеры эндогенных ореолов в 2—4 раза и облегчает выделение признаков отдельных зон, позволяющих осуществлять ориентировку внутри ореолов. При глубинных геохимических поисках возрастает роль специальных видов лабораторно-геохимических исследований. В валовых геохимических пробах производится определение элементов, позволяющих получить дополнительный материал для ориентировки в ореоле, в том числе в его периферических зонах. К таким элементам относятся K, Na, Rb, I, Hg. При поисках золоторудных месторождений проводится массовая высокочувствительная спектрозолотометрия.

Для повышения эффективности интерпретации геохимических аномалий проведено районирование территории башкирской части Магнитогорского мегасинклинория по признакам геологического строения, уровню эрозионного среза относительно рудоносных свит и др. В результате выделено три типа площадей:

1) с широким развитием выходящих на поверхность открытых эндогенных геохимических ореолов и аномалий, легко выделяемых рядовым литогеохимическим опробованием; 2) с выходящими на поверхность эрозионного среза пологозалегающими рудоносными свитами, содержащими экранирующие горизонты, существенно ослабляющие на поверхности поисково-геохимические сигналы, для выявления и оценки которых требуется специальная методика; 3) с повсеместным развитием мощных надрудных толщ, проницаемых для рудообразующих элементов, которые на поверхности образуют весьма слабые аномалии, выявляемые существующими методами геохимических поисков, однако очень трудно интерпретируемые.

Соотношение охарактеризованных выше трех типов площадей таково: 1-й тип — 40%; 2-й — 40; 3-й — 20%.

При непосредственном использовании данных поисково-геохимических работ Башкирским геологическим управлением открыты медноколчеданные, золото-колчеданные,] медно-цинковое и полиметалли-

\* З а с у х и н Г. Н. Геохимические методы поисков медноколчеданных месторождений на восточном склоне Урала. — «Разведка и охрана недр», 1969, № 4.

ческое месторождения. Геохимические методы использовались также в процессе открытия еще одного колчеданного месторождения, (Подольско-го), однако здесь их роль не была достаточно активной.

Приводим краткую характеристику месторождений, открытых при существенном участии геохимических методов поисков.

### МЕДНОКОЛЧЕДАНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

1. Озерное. Открыто в 1959 г. Рудное тело, сложенное сфалерит-халькопирит-пиритовыми и халькопирит-пирротиновыми рудами, залегает на глубине 200 м. На поверхность эрозионного среза коренных пород выходит первичный геохимический ореол, на котором развит вторичный ореол рассеяния. Эпицентр вторичного ореола рассеяния смещен на 200 м к юго-востоку от рудного тела.

В 1958 г. двумя скважинами проверялась геохимическая аномалия в почвах. Скважины вскрыли зону сульфидной вкрапленности (первичный ореол), а одна из них пересекла небольшие скопления сплошных сульфидных руд. Первоначально результаты проверки считались отрицательными, однако дальнейшее изучение участка привело к открытию месторождения.

2. Юбилейное. Открыто в 1965 г. Месторождение перекрыто толщей рыхлых отложений мощностью 70 м. Руды медно-цинковые и медные, сплошные. Они образуют линзовидные тела и залежи, одна из которых сопровождается железной шляпой.

В 1961 г. при геологическом картировании литогеохимическим опробованием керна поисково-картировочных скважин был выявлен первичный геохимический ореол в диабазах и вторичный ореол рассеяния в коре выветривания и рыхлых отложениях мезозойского возраста. Однако вследствие неправильной стратиграфической датировки коренных пород, отнесенных к неперспективным каменноугольным (вместо силурийских) отложениям, участок не был оценен достаточно объективно. Еще раньше, в результате проведения площадных литогеохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния масштаба 1 : 50 000, в 3,5 км к западу от будущего месторождения была выявлена литогеохимическая аномалия, детальное изучение которой позволило установить высокую перспективность участка, названного Петропавловским. В дальнейшем здесь были выявлены и оконтурены зоны околорудных метасоматитов и обнаружены сульфидные рудные тела. Разведочные работы на месторождении продолжаются, выявляются все более глубокозалегающие новые рудные тела.

### ЗОЛОТО-КОЛЧЕДАНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

1. Майское. Открыто в 1960 г. при проверке литогеохимических аномалий, выявленных площадными литогеохимическими поисками по вторичным ореолам рассеяния в масштабах 1 : 25 000 и 1 : 10 000. Детализация этих аномалий поисковым бурением и литогеохимическим опробованием керна проводилась с учетом данных геологической съемки, выявившей здесь бурые железняки. В результате вскрыты сульфидные сплошные руды с преобладанием пирита.
2. Балта-Тау. Открыто в 1962 г. в результате работ по уточнению геологической карты масштаба 1 : 50 000. Литогеохимическим опробованием керна мелких картировочных скважин выделено несколько перспективных геохимических аномалий. Их оценка и детализация поисковыми скважинами привела вначале к открытию Западно-Балтатауской зоны расланцованных гидротермальноизмененных пород с месторождением Санкым, а затем — Восточно-Балтатауской зоны с месторождением Балта-Тау.

3. Таш-Тау. Открыто в 1958 г. при проведении поисковых работ в пределах первичного ореола, обнаруженного при деталлизации и оценке геохимических аномалий, выявленных в рыхлых покровных отложениях в результате литогеохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния.
4. Ново-Семеновское и Восточно-Семеновское. Открыты в 1964 г. в результате детальных поисковых работ, в комплекс которых входили детальные геохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния, а также литогеохимическое опробование коренных пород с целью выявления, прослеживания и оценки первичного ореола.

#### ПРОЧИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И РУДОПРОЯВЛЕНИЯ

1. Таш-Ярское сульфидное медно-цинковое месторождение. Выявлено в 1960 г. при опосковании участка литогеохимической аномалии, установленной в результате проведения площадных литогеохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния в масштабе 1 : 50 000.
2. Полиметаллическое месторождение Новое. Открыто в 1961 г. в результате проверки бурением гидрогеохимической аномалии, совпадающей в плане с геофизическими аномалиями (находится на территории Уральского геологического управления).
3. Ташкулинский участок в пределах Бурибай-Маканского рудного района. Выделен в 1958 г. как перспективный по данным гидрогеохимического опробования поисково-картировочных скважин. В дальнейшем при бурении в пределах участка обнаружены непромышленные скопления сульфидов (Ташкулинское месторождение), а впоследствии — промышленное месторождение Октябрьское, в выявлении которого большую роль сыграл геофизический метод заряда.

В 1971 г. под покровом туфогенно-осадочных пород улутауской свиты и пирокластических пород карамалыташской свиты среднего девона открыто глубокозалегающее медноколчеданное месторождение Подольское. Выявление этого месторождения стало возможным благодаря проведению значительного объема поисково-структурного бурения. Скважины задавались с учетом данных геолого-структурной обстановки, гравиметрических материалов и результатов литогеохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния, выполненных в 1960—1961 гг. Однако об источниках формирования многочисленных литогеохимических аномалий, выявленных на породах улутауской свиты, в то время достоверных сведений не было. Литогеохимическими поисками по вторичным ореолам рассеяния, проведенными в масштабе 1 : 50 000 по гумусовому горизонту почвы трестом «Башнефтегеофизика» в 1960 г., т. е. еще до открытия Подольского месторождения, непосредственно над ним четких литохимических аномалий установлено не было (рис. 1). В какой-то мере это может объясняться наличием поселка, расположенного точно над месторождением. При этом все же была выявлена цепочка слабоконтрастных аномалий, ориентированных по незамкнутому на востоке кольцу диаметром 5 км, как теперь выяснилось, расположенных вокруг месторождения. Последующими работами В. П. Клемина\* была обнаружена вулканокупольная постройка, контуры которой довольно точно совпали с кольцеобразной цепочкой геохимических аномалий. Можно предполагать, что это связано с повышенной интенсивностью формирования разрывных нарушений по контуру кальдеры вулканической постройки в период продолжающейся деятельности рудогенерирующего очага после формирования пород улутауской свиты.

\* Клеми н В. П. Погребенные рудоконтролирующие вулканогенные структуры. — «Докл. АН СССР», 1977, т. 233, № 4.

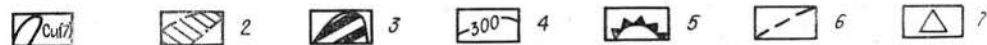
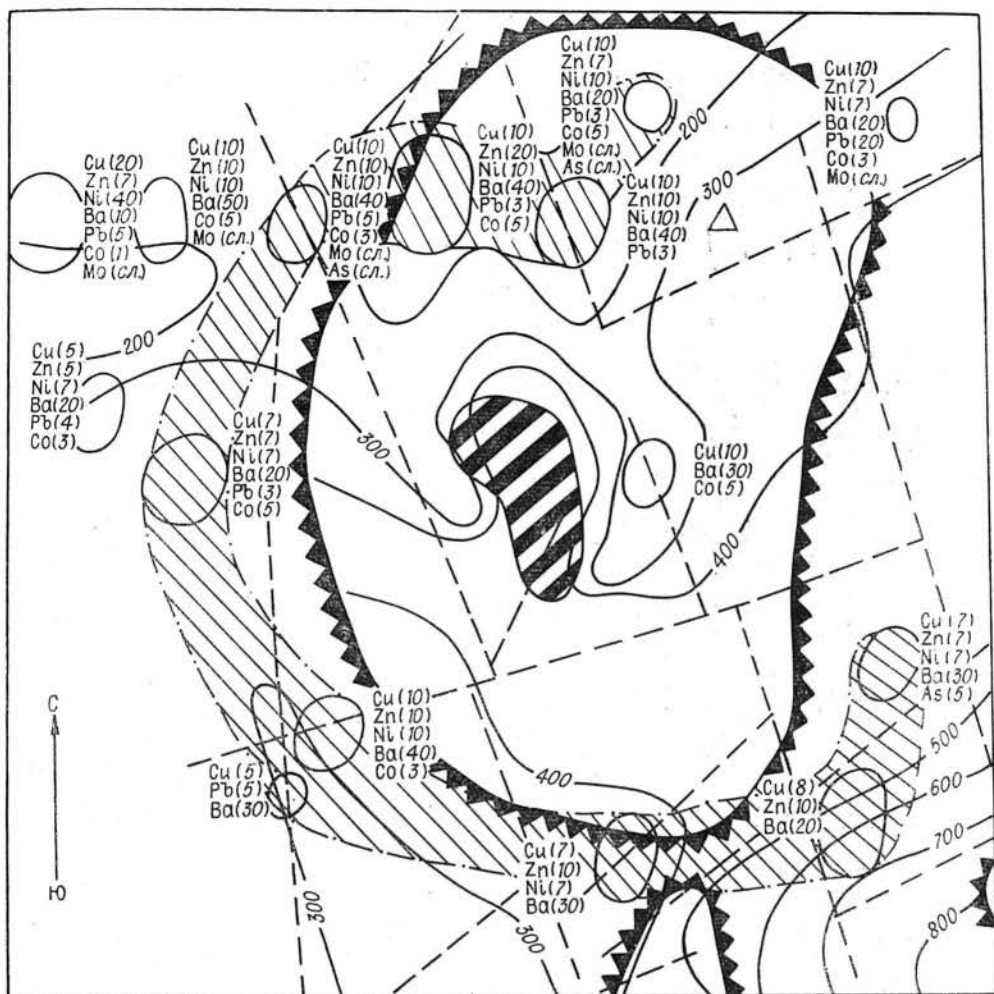


Рис. 1. Карта литохимических аномалий в почве, установленных литохимическими поисками по вторичным ореолам рассеяния в 1960 г. на участке выявленного впоследствии Подольского медноколчеданного месторождения.

1 — контуры локальных литохимических аномалий в почве и содержания металлов ( $n \cdot 10^{-3} \%$ ); 2 — контуры генерализованных литохимических аномалий; 3 — схематизированная проекция рудного тела на дневную поверхность; 4 — изопахиты туфогенно-осадочных образований улугауской свиты ( $D_{\text{сгв}}^{\text{ул}}$ ); 5 — вулканокупольные постройки; 6 — разрывные нарушения (4–6 по В. П. Клемину); 7 — водопункт № 210 ( $\text{SO}_4 - 10 \text{ мг/л}$ ,  $\text{Cu} - > 0,01 \text{ мг/л}$ ).

Кроме перечисленных объектов, выявлено еще около 20 мелких рудопроявлений и зон вкрапленности, разведка которых установила их заведомо непромышленное значение или доказала необходимость дальнейшего опробования и прослеживания сложно построенных крупных аномалий в коренных породах.

В пределах западного борта Магнитогорского мегасинклиория на территории Башкирии выделяются два типа (рис. 2) эндогенных геохимических ореолов колчеданных месторождений:

I — открытые ореолы с надрудным (А), рудным (Б) и подрудным (В) уровнями эрозионного среза,

II — закрытые ореолы: 1-й подтип (Г) — в отложениях вулканических построек центрального типа, в той или иной мере охваченных процес-

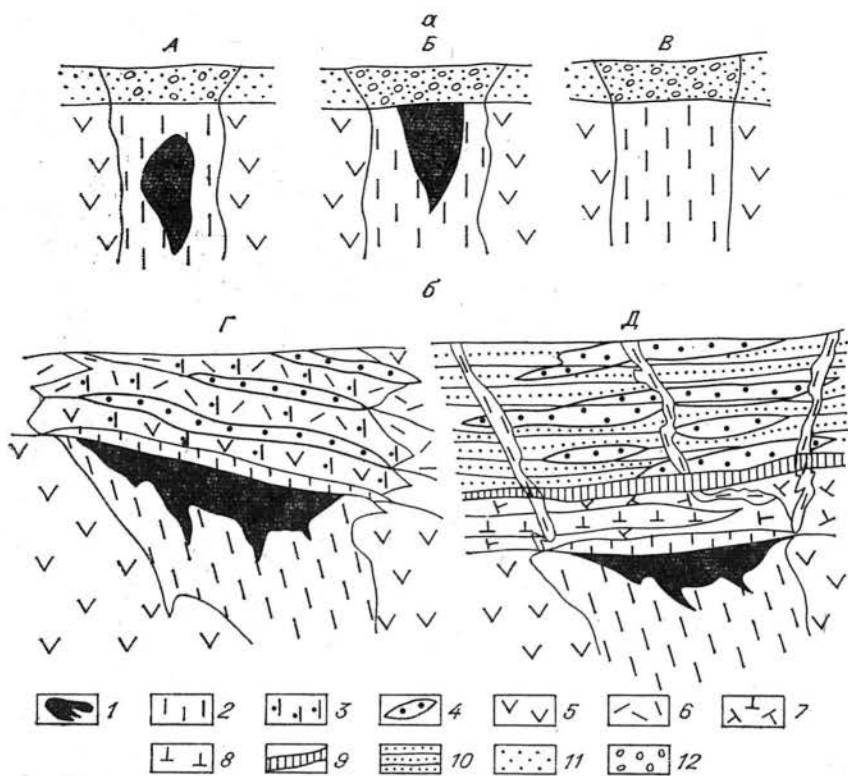


Рис. 2. Типы эндогенных геохимических ореолов колчеданных месторождений Южного Урала.

**а** — открытые ореолы: А — надрудный эрозионный срез, Б — рудный, В — подрудный; **б** — закрытые ореолы: подтип Г — в отложениях вулканических построек центрального типа (Юбилейное и Октябрьское месторождения), надрудная часть ореола — субгидротермально-осадочно-метасоматического генезиса; подтип Д — в районах двухъярусного строения с рудомещающими вулканитами, погребенными под вулканогенно-осадочными породами улутауской свиты мощностью 500—600 м (Подольское месторождение), охваченными субгидротермально-осадочным ореолом. 1 — рудные тела; 2 — околорудные геохимические ореолы, связанные с метасоматитами; 3 — слабые проявления надрудных ореолов, связанные с рудным метасоматозом; 4 — субгидротермально-осадочные ореолы; 5 — рудомещающие эффузивно-пирокластические породы; 6 — надрудные эффузивно-пирокластические породы; 7 — надрудные пирокластические породы; 8 — субвулканические тела андезитового и дацитового составов; 9 — кремнисто-гематитовые породы бугульгурского горизонта; 10 — туфогенно-осадочные породы улутауской свиты среднего девона; 11 — элювиально-делювиальные отложения; 12 — вторичные гипергенные ореолы расщелин.

сами метасоматоза и содержащими горизонты с проявлениями рудного минералообразования в период формирования туфогенно-осадочных слоев. В случае наклонного залегания вулканогенных толщ рудные зоны этих ореолов с интенсивной минерализацией и высокоаномальными содержаниями рудных элементов иногда могут по восстанию выходить на поверхность эрозионного среза палеозойских пород; 2-й подтип (Д) — в отложениях вулканических построек центрального типа, с угловым и стратиграфическим несогласием перекрытых туфогенно-осадочными породами улутауской свиты. Ореол этого подтипа охватывает все породы нижнего и верхнего структурных ярусов.

Ореолы всех типов и подтипов с той или иной степенью интенсивности поисково-геохимического сигнала проявляются на поверхности эрозионного среза коренных пород.

При поисках глубокозалегающих месторождений в закрытых и двухъярусных структурах в Башкирском геологическом управлении применяются следующие основные методические приемы:

1. Массовое литогеохимическое опробование коренных пород на типоморфный для колчеданного оруденения комплекс элементов, определяемый методами рядового эмиссионного спектрального анализа (Cu, Zn, Pb, Ag, As, Ba, Mo, Ni, Co, Sn) с целью выявления и оконтуривания эндогенных геохимических ореолов и аномалий, выходящих на уровень эрозионного среза палеозойских пород.

2. Выделение пиритных концентратов из пород и их приближенно-количественный спектральный анализ на Cu, Ag, Zn, Pb, As, Ba и обычный спектральный анализ на Ni, Co, Mn и Mo. Пиритные концентраты выделяются флотацией из проб весом 0,4—3 кг.

3. Сеть геохимического опробования определяется принятым масштабом поисков и регламентируется инструкциями и методическими указаниями по поисковым и поисково-съёмочным работам.

4. Прослой туфогенных и туфогенно-осадочных пород опробуются из расчета три пробы на один прослой; из других литологических разновидностей пород отбор литогеохимических проб производится из расчета одна проба на 5 м керна. Каждая литогеохимическая проба подвергается рядовому эмиссионному спектральному анализу на Cu, Zn, Pb, Ag, As, Ba, Mo, Sn, Mn, V, Ni, Co и приближенно-количественному или количественному — на K, Na, из большой навески определяется Hg.

5. Для прогноза оруденения составляются планы и разрезы, отражающие следующие признаки:

- а) наличие повышенных содержаний Cu и Zn (0,007—0,03% и более);
- б) локальные концентрации Pb (0,001—0,003% и более);
- в) локальные концентрации Na более 3,5% (3,5—5%);
- г) аномалии K (0,5—1,5% и более);
- д) вынос Na (1,5—2,5%);
- е) отношение содержания K к содержанию Na более 0,3, а также сумму содержаний калия и натрия, равную 3,5% и меньше.

6. Фиксируются и изучаются гематитизация пород и выходящие на поверхность эрозионного среза коренных пород эндогенные ореолы с геохимическими спектрами колчеданного оруденения.

7. Выявляются нижние и центральные части эндогенных ореолов, характеризующиеся низкими содержаниями K и Na (до 1,5%) и обычно высокими показателями отношений содержаний K к Na (от 4 до 30).

8. Опробуются дайки — повышенные содержания в них K (более 1%) и элементов типоморфного комплекса указывают на перспективность структуры.

Поиски месторождений типа Подольского в районах развития двухъярусных структур проводятся с применением метода литогеохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния в обычном варианте и метода поисков по первичным (эндогенным) ореолам путем опробования коренных пород из обнажений, керна и шлама скважин. При этом масштабы геохимических поисков и шаг опробования, навески проб и их обработка такие же, как при поисках в закрытых структурах. Поскольку геохимический сигнал, полученный при анализе валовых проб, весьма слаб, при мелкомасштабных поисках необходимо применять методы, усиливающие его.

Рекомендуется комплексировать сейсмические работы с геохимическими. Для геохимических исследований отбирается шлам буровых скважин, используемых для закладки взрывчатки. Шлам коренных пород и коры выветривания изучается визуально. Каждая проба идет на полный спектральный анализ и химический анализ на Cu, Zn, Pb и As в 10%-ных солянокислых и водных вытяжках. В случае, если визуально наблюдаются сульфиды или окислы железа по сульфидам, производится их отмывка с выделением электромагнитной и магнитной фракций. Полученные концентраты анализируются спектральным методом.

Изложенные методические приемы применяются в настоящее время и служат основой для использования геохимических методов с целью поисков глубокозалегающих месторождений.

А. Г. Хваловский, М. А. Абатурова, К. Р. Карибуллин,  
Л. И. Гельман

(Объединение «Ташкентгеология» МГ УзССР)

## РОЛЬ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ОТКРЫТИИ СМЕЩЕННОЙ ЧАСТИ ОДНОГО ИЗ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Основной задачей геохимических исследований в описываемом районе являлись поиски золотого оруденения на южном фланге известного месторождения. Высокая актуальность этой задачи определялась необходимостью увеличения запасов месторождения, обеспечивающего работу предприятия лишь в течение одного амортизационного срока.

Само известное месторождение образовалось в условиях приповерхностных глубин и относится к адуляр-карбонатно-кварц-золоторудной (электрум) формации. Рудное поле сложено андезитовыми порфиритами, туфами минбулакской свиты ( $C_{1-2}$ ) и роговообманковыми, плагиоклазовыми порфиритами и туфами акчинской свиты ( $C_2$ ), прорванными различными вулканическими и интрузивными (кварцевые порфиры, сиенит-порфиры) телами, размещение которых контролируется разрывными нарушениями северо-западного простирания (рис. 1).

Месторождение приурочено к висячему боку разлома, проходящего в осевой части антиклинали вдоль эндоконтакта средне-верхнекарбонатовых гранитоидов, прорывающих эффузивно-осадочные породы минбулакской свиты ( $C_{1-2}$ ). Рудовмещающие трещины в основном сколового типа, развиты главным образом в приконтактных частях гранитоидов и затухают как в вышележащих эффузивах, так и в гранитоидах.

Жильная зона, включающая основные золоторудные тела, проходит по контакту диоритовых порфиритов с андезитовыми и характеризуется весьма сложным строением. Центральное положение занимает веерообразно расходящийся книзу пучок жил. По простиранию жил интенсивность золотого оруденения увеличивается с севера на юг. В нижней части разреза (в эффузивах минбулакской свиты) жилы имеют весьма сложное строение, в перекрывающих отложениях акчинской свиты они более простые, а еще выше, в породах чиурабсайской свиты, отмечаются лишь их признаки с золоторудной минерализацией.

На юге рудная зона месторождения срезается северо-западным разломом, плоскость которого полого падает ( $50-65^\circ$ ) в северо-восточном направлении. По мнению большинства геологов, продолжение рудной зоны следовало искать южнее разлома под покровом шурабсайских эффузивов вдоль субмеридионального разлома, являющегося непосредственным геометрическим продолжением рудной зоны месторождения. С целью проверки этих представлений вдоль предполагаемой рудной зоны было пробурено семь скважин, но они золотое оруденение не подсклели.

Детальная золотометрическая съемка масштаба 1 : 2000, выполненная к югу от известного месторождения с захватом его южной части, позволила установить, что подавляющее большинство ореолов золота может быть объединено в субмеридиональную зону, отдельные части которой испытали горизонтальные перемещения по серии северо-западных



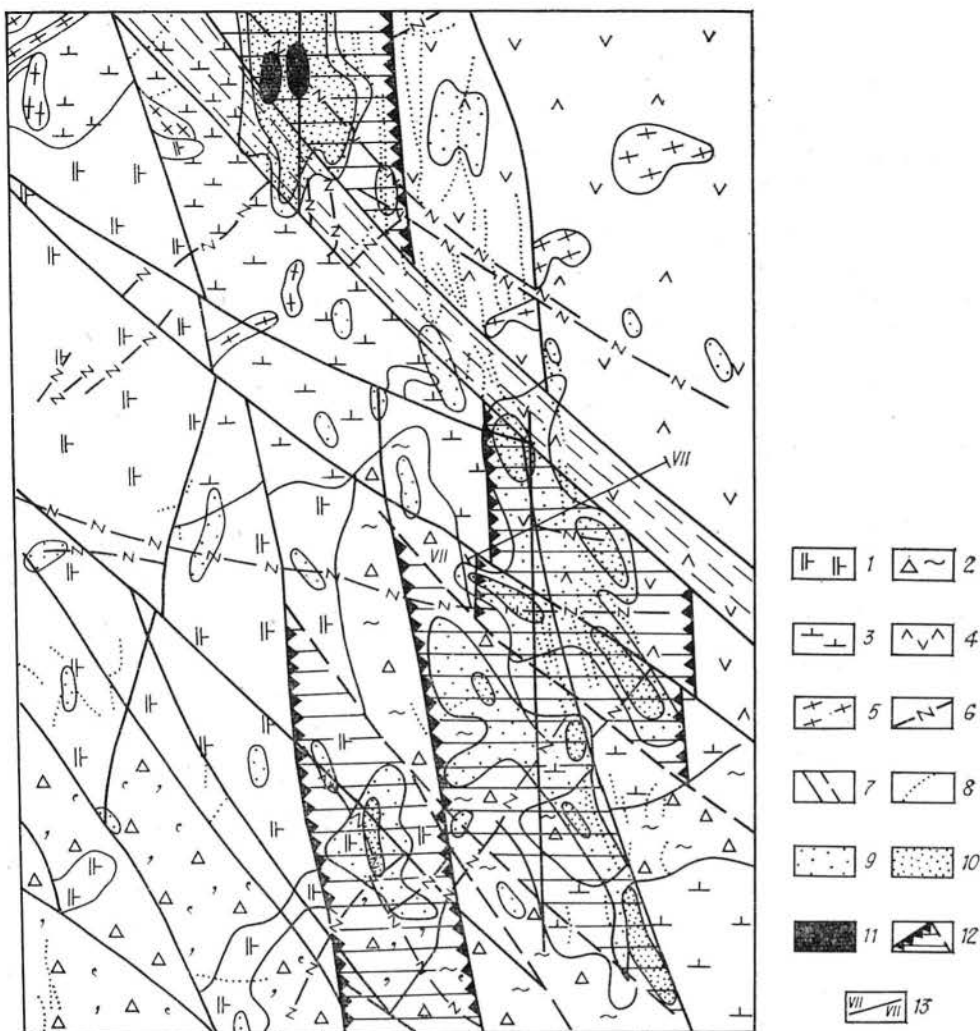


Рис. 1. Результаты литогеохимической съемки на золото.

1 — эффузивы шурабайской свиты (порфириты, туфы и туфолавы); 2 — эффузивы акчинской свиты — роговообманковые плагиоклазовые порфириты; 3 — эффузивы минбулакской свиты (андезитовые порфириты и туфы с прослоями песчанников, аргиллитов); 4 — сленито-диоритовые порфириты; 5 — кварцевые фельзит-порфиры; 6 — дайки диабазовых порфиритов; 7 — разрывные нарушения; 8 — кварцевые и кварц-карбонатные жилы. Ореолы рассеяния золота в геофонах: 9 — >3; 10 — >10; 11 — >100; 12 — зоны золоторудной минерализации; 13 — линия продольной проекции.

нарушений. Опираясь на полученные геохимические данные, можно предположить, что месторождение образовалось на пересечении довольно крупной субмеридиональной структуры с Северо-Западным разломом, ограничивающим в настоящее время месторождение с юга. Позднее в результате бокового давления отдельные фрагменты меридиональной зоны испытали горизонтальные перемещения, амплитуда которых затухает с севера на юг, что может объясняться различной степенью нарушенности зон-сместителей. Наибольшее горизонтальное смещение, достигающее 400 м, отмечается по разлому, ограничивающему собственно месторождение с юга, тогда как самый южный фрагмент зоны, по-видимому, вообще не смещен.

Исходя из полученных данных золотометрической съемки и новых представлений о механизме пострудных подвижек, был рекомендован профиль проверочных скважин через ореольную зону, примыкающую с юга к южному ограничивающему известное месторождение разлому.

Результаты этого бурения подтвердили предполагаемое по геохимическим данным существование южной части месторождения, смещенной относительно его в юго-восточном направлении на 400 м.

В дальнейшем, в процессе проведения разведки вновь выявленной части месторождения постоянно выполнялись специальные работы по первичным ореолам во всех разведочных скважинах и подземных горных выработках с целью выявления типоморфного комплекса элементов, сопровождающего золотое оруденение, и определения закономерностей размещения первичных ореолов в рудоконтролирующей плоскости.

Сопоставительный анализ корреляционных зависимостей ореолообразующих элементов и поперечной зональности ореолов смещенной части месторождения с таковыми ранее изученных эталонных месторождений золота региона позволил отнести ее первичные ореолы к золото-серебряному геохимическому типу и сделать вывод о тождественности минерализации, проявленной на участке, с минерализацией основного месторождения.

Для установления пространственных закономерностей размещения первичных ореолов анализ вычисленных геохимических параметров выполнялся на вертикальных геохимических проекциях, составленных в плоскости простираения рудной зоны. В результате рассмотрения обобщенных геохимических проекций известного месторождения и его смещенной южной части намечается существование единого рудоносного канала, имеющего пологое южное склонение (рис. 2). К северу от месторождения канал, по-видимому, полностью уничтожен эрозией. В районе месторождения он вскрыт эрозионным срезом, а в южном направлении — полого погружается. В настоящее время рудоносный канал в южном направлении прослежен разведочными работами до глубины 150 м от поверхности. Далее на юг его продолжение следует ожидать на большей глубине (200—300 м).

Золоторудная минерализация на южной смещенной части месторождения сосредоточена в основном в трех рудных столбах, сопрягающихся с основным каналом и имеющих встречное по отношению к нему падение. Наиболее полно оконтурен Северный рудный столб, вплоть до сопряжения его с рудоносным каналом. Установлено, что в месте сопряжения происходит повышение концентраций золота. Центральный столб изучен лишь в верхней части. Судя по геохимическим данным, сопряжение Центрального столба с каналом осталось пока не вскрыто. И наконец, третий — Южный столб вскрыт пока только одной скважиной и является слепым, не выходящим на дневную поверхность.

Намечаемая структура главного рудоносного канала хорошо подчеркивается характерным размещением ореолов верхнерудных (свинец, серебро, мышьяк) и нижнерудных (вольфрам, висмут) элементов. Так, серебро — элемент, обладающий наибольшей близостью к золоту, при совпадении с ним во внешних ореольных контурах образует более широкие ореолы с увеличением средневзвешенных содержаний и продуктивности вверх по восстанию рудного канала и в верхних частях рудных столбов, причем наибольшей продуктивности ореолы серебра достигают на месторождении, т. е. в самых верхних частях главного рудоносного канала. Аналогичную картину распределения имеют ореолы свинца. Ореолы нижнерудных элементов (вольфрама и висмута) размещаются главным образом в лежащем боку самого рудоносного канала и в нижних частях рудоносных столбов.

Такая контрастная картина в размещении ореолов в рудовмещающей структуре особенно подчеркивается в распределении коэффициента геохимической зональности, вычисленного по формуле  $\nu = \frac{Pb \cdot Ag}{W \cdot Bi}$ . Так, значения коэффициента зональности в верхних горизонтах рудоносного канала (собственно месторождение) и в верхних частях рудных стол-

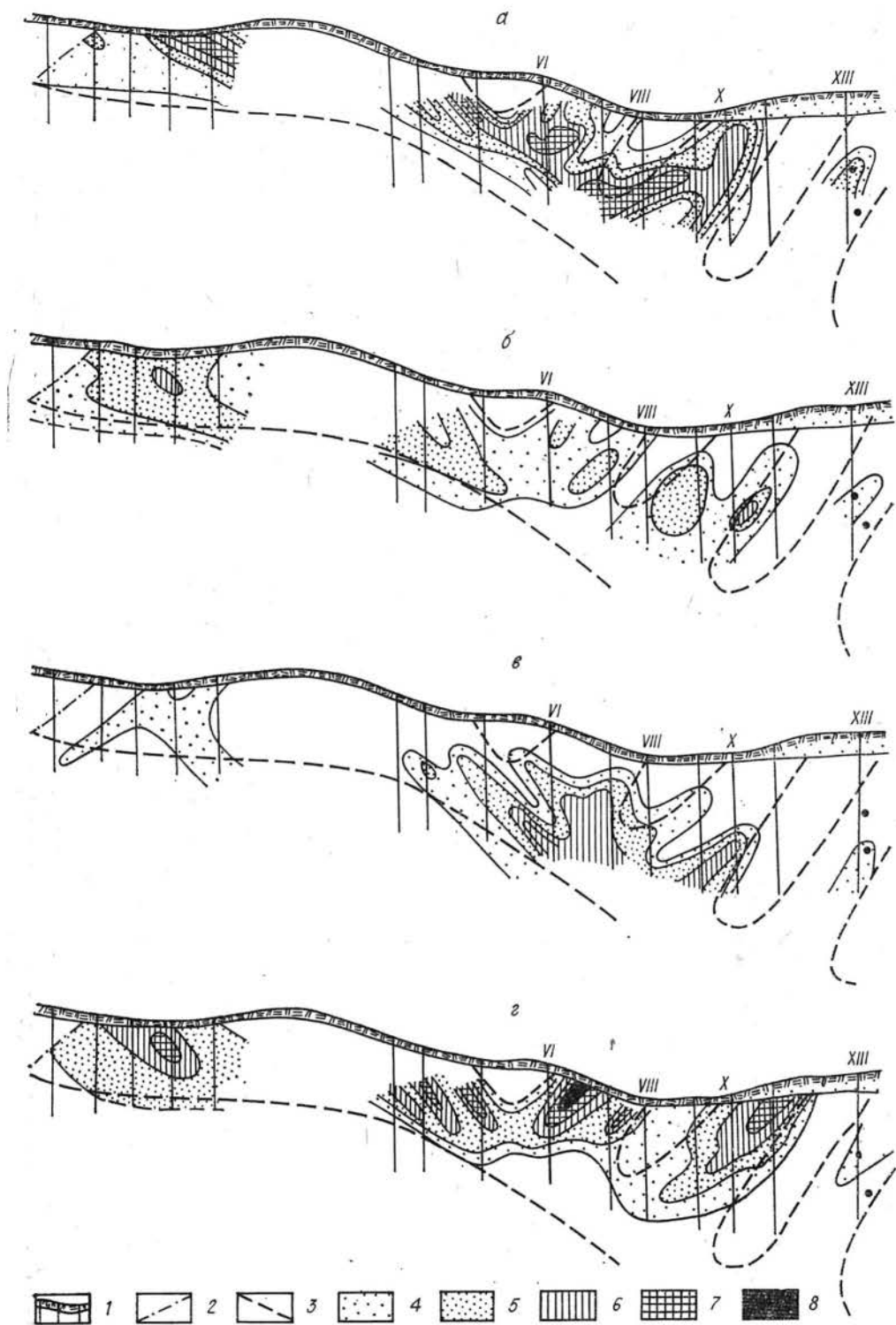


Рис. 2. Вертикальная геохимическая проекция рудной зоны золото-серебряного месторождения с первичными геохимическими ореолами.

а — золото, б — свинец, в — висмут, г — коэффициент геохимической зональности. 1 — линии поперечных геолого-геохимических разрезов; 2 — разлом; 3 — границы рудных столбов и основного рудоподводящего и рудовмещающего каналов. Содержания элементов в первичных ореолах (в геофонах) и коэффициент геохимической зональности: 4 — от 10 до 100; 5 — от 100 до 500; 6 — от 500 до 1000; 7 — от 1000 до 10 000; 8 — >10 000.

бов (смещенная часть месторождения) достигают более  $n \cdot 10^4$ , а в нижних частях столбов — первые десятки единиц.

В свете полученных геохимических данных были сделаны выводы о расширении перспектив рудного поля за счет глубоких горизонтов вновь выявленного южного участка месторождения.

Выполненные исследования показали высокую эффективность при поисках глубокозалегающего оруденения комплексирования двух геохимических методов: литогеохимических поисков по вторичным и первичным ореолам. Литогеохимическая съемка масштаба 1:2000, несмотря на сложную пострудную тектонику, помогла определить положение в плане минерализованной зоны, что, в свою очередь, позволило целенаправленно выполнить поисковое бурение. Последующее изучение первичных ореолов привело к выявлению склонения главного рудоносного канала в плоскости основной рудоконтролирующей структуры в южном направлении, что обусловило возможность прогнозирования золотого оруденения в южной части рудного поля на глубину 200—300 м от поверхности.

---

*В. П. Василенко, А. И. Бураго, Ф. И. Ростовский,  
А. А. Безруков, М. Ф. Пальгуева  
(Приморское геологическое управление)*

### **РОЛЬ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИМОРЬЯ**

В Приморском крае к настоящему времени выявлено четыре месторождения, которые могут быть отнесены к числу глубокозалегающих. Два из них (Николаевское и Садовое) принадлежат скарново-полиметаллической формации, два других — касситерит-силикатной (Верхнее и Южно-Силинское). Располагаются они в хорошо изученных и освоенных горнодобывающей промышленностью рудных районах края — Дальнегорском и Кавалеровском.

Скарново-полиметаллические месторождения Дальнегорского района парагенетически связаны с дальнегорским вулканическим комплексом позднемелового возраста. Локализуются они в пределах развития известняков тетюхинской свиты (верхний триас) в ядрах антиклиналей, на участках наиболее интенсивной тектонической проработки либо вблизи контакта с вулканитами дальнегорского комплекса. Месторождения представлены преимущественно трубообразными телами геденбергит-сульфидного состава. Площадь поперечного сечения отдельных тел колеблется от первых десятков до нескольких сотен квадратных метров. Наряду с трубчатыми телами развиты также плащеобразные залежи, приуроченные к границе структурных этажей.

Рудные тела Николаевского месторождения залегают на глубинах от 700 до 1200 м и представлены пологопадающими скарново-полиметаллическими залежами, осложненными трубообразными ответвлениями, и приурочены к мощной тектонической зоне на границе двух структурных этажей. Вулканиты, перекрывающие рудные тела, содержат многочисленные маломощные жилки и участки прожилково-вкрапленного оруденения, сопровождающиеся достаточно интенсивными первичными ореолами свинца, цинка, серебра, меди и других химических элементов. Несмотря на то, что ореолы сопровождают не саму скарновую залежь, а прожилково-вкрапленное оруденение в эффузивах, применение геохимических методов сыграло определенную роль в открытии этого месторождения.

При проведении гидрогеохимических и площадных литогеохимических поисков по вторичным ореолам и потокам рассеяния в верховье пади Николаевской выявлена комплексная геохимическая аномалия, связанная с прожилково-вкрапленным оруденением в эффузивах. При последующем бурении было установлено, что до глубин 350—400 м характер оруденения не меняется. В дальнейшем, после детального геологического картирования в масштабе 1 : 10 000 на смежных участках, где из-под вулканитов обнажаются осадочные породы нижнего структурного этажа, выявлена и экстраполирована в верховье пади Николаевской благоприятная рудоносная структура. При выделении ее учитывались структурно-литологические и геохимические факторы, т. е. то обстоятельство, что на этом участке имела место литогеохимическая аномалия, связанная с прожилково-вкрапленным оруденением в вулканитах, устойчиво-сохраняющимся до глубины 400 м. Заданные на этой структуре поисковые скважины вскрыли на глубинах 700—1000 м основные рудные тела Николаевского месторождения.

Рудные тела Садового месторождения представлены тремя пространственно разобщенными скарново-полиметаллическими залежами на глубинах 200—300 м от поверхности. Располагаются они на контакте известняков и песчано-сланцевых пород поздне триасового возраста в зоне крупного разлома северо-западного простирания.

Месторождение было открыто при проведении поисково-съёмочных работ масштаба 1 : 10 000, в результате которых выявлена перспективная рудоконтролирующая структура, приуроченная к контакту известняков и характеризующаяся интенсивной гидрогеохимической и литогеохимической аномалиями по потокам рассеяния. После оконтуривания массива известняков с поверхности, его продолжение было экстраполировано на глубину под покров верхнемеловых эффузивов и рассчитано положение узла пересечения этого массива с плоскостью разлома, сопровождающегося интенсивной пропилитизацией и несущего минерализованные воды с повышенным содержанием сульфат-иона и суммы тяжелых металлов. Заданные в пределах намеченного перспективного участка буровые скважины вскрыли на глубине 200—300 м богатую скарново-полиметаллическую залежь значительной мощности. После бурения первых скважин в них были проведены геофизические исследования по методу вызванной поляризации (ВП) и оконтурена проекция на дневную поверхность аномалии ВП, в пределах которой продолжалось дальнейшее бурение. Как оказалось впоследствии, после проведения разведочных работ, эта аномалия ВП четко оконтуривала проекцию первичного ореола рудной залежи.

Последующее комплексное геолого-геохимическое и геофизическое изучение Николаевского и Садового месторождений показало, что для поисков глубокозалегающего оруденения подобного типа можно широко применять геохимические методы в комплексе с геофизическими, структурно-тектоническими, литологическими и петрографическими.

Изучение первичных ореолов скарново-полиметаллических месторождений позволило расширить и конкретизировать возможности и роль геохимических методов при поисках глубокозалегающего оруденения этого типа. Установлено, что основными ореолообразующими элементами здесь являются свинец, цинк, серебро, медь, мышьяк, олово, кадмий, барий, висмут, никель, молибден, марганец. Размеры ореолов зависят от литологического состава пород и интенсивности их тектонической проработки и колеблются в весьма широких пределах: от первых десятков метров (Садовое месторождение) до нескольких сотен метров (Николаевское). Зональное строение первичных ореолов позволяет использовать мультипликативные показатели зональности (отношения произведений средних содержаний элементов в ореоле), предложенные С. В. Григорьевым (1971) для определения степени эродированности оруденения. Такие

Таблица 1

Мультипликативные значения для разных уровней эрозионного среза рудных тел Садового месторождения

Мультипликативный показатель зональности	Уровень среза		
	надрудный	рудный	подрудный
Pb·Ba/Mn·Sn	3,0	3,0—0,3	0,3
Zn·Ba/Mn·Ag	3,0	3,0—0,1	0,1
Zn·Ba/Cu·Bi	1 000	1 000—10	10
Pb·Zn·Ba/Cu·Ni·Co	80 000	80 000—800	800

показатели и их эталонные значения для различных уровней Садового месторождения приведены в табл. 1 (Сафронов, 1977).

Для Николаевского месторождения, по данным В. И. Сафронова (1977), наибольшей разрешающей способностью обладают два мультипликативных показателя, эталонные значения которых приведены в табл. 2.

Изменение линейной продуктивности рудного тела и первичного ореола по свинцу на месторождении Садовом (залесь Мартовская) описывается эмпирическими уравнениями:

$$\lg M_i = a_p \cdot X_i^2 + \lg M_{\max},$$

$$\lg m_i = a_0 X_i^2 + \lg m_{\max}$$

где  $M_i$  и  $m_i$  — линейные продуктивности свинца по рудному телу и первичному ореолу соответственно в  $i$ -м пересечении;  $M_{\max}$ ,  $m_{\max}$  — значения тех же параметров на уровне с максимальным оруденением;  $a_p$ ,  $a_0$  — эмпирические коэффициенты ( $a_p = -0,00005$ ;  $a_0 = -0,000035$ );  $X_i$  — расстояние  $i$ -го уровня до уровня с максимальным оруденением. Параметры  $M_i$  и  $m_i$  в пределах рудного интервала связаны между собой линейной функциональной зависимостью:

$$\lg M_i = 1,44 \lg m_i + 1,96,$$

откуда следует, что

$$\lg M_{\max} = 1,44 \lg m_{\max} + 1,96,$$

т. е. на уровне с максимальным оруденением линейная продуктивность рудного тела по свинцу в 100—150 раз превышает продуктивность ореола.

Приведенные уравнения можно использовать для приближенной количественной оценки скарново-полиметаллического оруденения, залегающего в геологических условиях, аналогичных Садовому месторождению.

Применение геохимических методов при поисках глубокозалегающего оловянного оруденения базируется на результатах методических исследований, проведенных на месторождениях Приморья Приморским

Таблица 2

Мультипликативные значения для разных уровней эрозионного среза рудных тел Николаевского месторождения

Мультипликативный показатель	Значения показателей на расстоянии (м) от рудного тела к дневной поверхности						
	0—100	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600	600—800
Ag·Ag/Cu·Ni	0,0006	0,005	0,29	0,39	0,7	9,6	
Pb·Zn·Ag/Cu·Ni·Co	0,5	4,5	795	1232	1350	10 000	30 000

геологическим управлением, ИМГРЭ, Геохимической экспедицией ЦГТ, кафедрой геохимии МГУ.

В результате разработаны критерии и методы оценки оловянного оруденения по вторичным и первичным литогеохимическим ореолам (Кравченко и др., 1971, 1976; Бураго, 1973; Бураго, Чуланов, 1974, 1975а, б), позволяющие определять формационный и геохимический тип оруденения, уровень эрозионного среза, прогнозные запасы.

Наряду с разработкой геохимических методов в Приморском геологическом управлении продолжались исследования по выработке геофизических, структурно-тектонических, литологических, минералого-геохимических, метасоматических критериев и методов поисков и оценки выходящего на поверхность и глубокозалегающего оловянного оруденения. Рациональное комплексирование перечисленных выше методов и критериев привело к выявлению в Кавалеровском рудном районе глубокозалегающего оловянного оруденения на двух участках — Верхнем и Южно-Силинском.

Территория участка Верхнего, представляющего собой юго-восточный фланг одноименного месторождения, сложена интенсивно дислоцированными песчано-сланцевыми породами нижнего мела, прорванными дайками и штоками дацитов, плагиоклазовых и диабазовых порфиритов. По литологическому и химическому составу породы благоприятны для развития в них оловянного оруденения.

Комплекс применявшихся при детальном поисках масштаба 1 : 10 000 методов включал гравиразведку, вертикальное электрическое зондирование, интерпретацию ранее проведенного дипольного профилирования, литогеохимическую съемку по вторичным ореолам рассеяния, профильное изучение первичных ореолов, геологическое картирование метасоматитов.

В результате проведенных работ в пределах участка выявлена геофизическая аномалия размером 150 × 300 м, характеризующаяся повышенными значениями силы тяжести и пониженными сопротивлениями пород (500—800 Ом·м на фоне 2000—3000 Ом·м). Рудная природа геофизической аномалии была определена по результатам литогеохимических исследований, которыми на участке выявлены вторичные и первичные ореолы олова, свинца, цинка, серебра, мышьяка, бария и других химических элементов. Ширина ореолов 50—150 м, протяженность — более 500 м.

По спектру ореолообразующих химических элементов установлена принадлежность ожидаемого на глубине оруденения к оловянному умеренно свинцово-цинковому геохимическому типу. Уровень эрозионного среза ореолов по мультипликативным геохимическим показателям определен как верхнерудный — надрудный. Количественная оценка выходящей на поверхность безрудной минерализованной зоны, выполненная по первичным ореолам, показала, что максимум оловянного оруденения может находиться на глубинах более 400 м, а ожидаемая максимальная продуктивность рудного тела по олову достигать 3,5 м%.

Геологическим картированием на участке выявлены характерные для оловорудных месторождений рудно-магматические проявления и измененные породы, принадлежащие внешним (верхним) зонам метасоматической колонки.

Таким образом, по комплексу поисковых методов перспективы участка на глубокозалегающее оловянное оруденение были оценены положительно.

С целью заверки сделанных прогнозов на участке по двум профилям были пробурены 4 скважины до глубины 880—1100 м. В результате трем из них на глубинах 730—860 м вскрыта промышленно интересная оловянная минерализация штокверкового типа. Последующее изучение первичных ореолов показало, что в разрезе они имеют сложную форму:

вблизи штокверка — овално-изометричную, а на удалении 100—200 м от него — линейно-вытянутую. На поверхность ореолы выходят на небольших участках вдоль крутопадающих тектонически ослабленных минерализованных зон.

Южно-Силинский участок представляет собой южный фланг эксплуатируемого Силинского месторождения и находится от него на удалении 1,0—1,5 км. Здесь в 50-х годах были выявлены две крутопадающие минерализованные зоны, залегающие среди песчано-сланцевых отложений юрского возраста. Зоны изучались с поверхности горными выработками и на глубину 200—250 м буровыми скважинами и были признаны бесперспективными на возможность выявления промышленного оловянного оруденения.

В 70-е годы после проведения геологической съемки масштаба 1 : 10 000, картирования метасоматической зональности, повторной интерпретации геофизических материалов, структурно-тектонических исследований, изучения первичных литохимических ореолов были получены новые данные, послужившие основанием для постановки поисково-оценочных работ, направленных на выявление глубокозалегающего оловянного оруденения. Применение геохимических методов на этой стадии показало, что установленные на участке первичные ореолы по элементному составу и строению совершенно аналогичны таковым Силинского месторождения. Интенсивность и размеры ореолов с глубиной увеличиваются, а максимум оловянного оруденения оценивается в 2—2,5 м% и находится на глубинах около 400 м от поверхности. Результаты прогнозной количественной оценки в общих чертах совпадают с контуром промышленных руд, установленным по буровым скважинам и подземным горным выработкам.

Опыт применения геохимических методов при поисках рудных месторождений в Приморье показал, что их роль не должна ограничиваться только выявлением различного рода геохимических аномалий и чисто качественной оценкой последних. В их задачи должна входить количественная оценка оруденения с подсчетом прогнозных запасов в геометризованном пространстве горных пород. Для этих целей применим метод оценки оруденения по продуктивностям первичных ореолов, полученным не менее чем по шести пересечениям аномалии, не лежащим на одной прямой в плоскости ее продольного разреза.

Исследованиями, проведенными в Приморском геологическом управлении, установлено, что десятичный логарифм линейной продуктивности первичного ореола и рудного тела изменяется в стороны от максимума оруденения в плоскости его продольного разреза обратно пропорционально расстоянию от него:

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

где  $M_i$  — линейная продуктивность ореола в  $i$ -м пересечении;  $M_{\max}$  — максимальное значение того же параметра;  $X_i$  — расстояние от  $i$ -го пересечения до максимума оруденения по оси  $X$ ;  $Y_i$  — то же, по оси  $Y$ ;  $a, b$  — эмпирические коэффициенты, определяемые на каждом оцениваемом объекте;  $\varphi$  — угол склонения ореола (минерализации). Эта зависимость справедлива для оловянных, вольфрамовых, полиметаллических и золоторудных месторождений и рудопроявлений. В приведенном уравнении неизвестными являются все шесть характеристик, находящихся в его правой части. Для решения задачи количественной оценки оруденения необходимы данные не менее чем по шести пересечениям аномалии (ореола). В этом случае система решается. В результате определяется положение максимума оруденения в плоскости его продольного разреза в координатах  $X, Y$ , величина линейной продуктивности ореола на участке с максимальным оруденением, склонение ореола, степень эродированности



оцениваемого объекта. Размеры рудной залежи и прогнозные запасы могут быть приближенно оценены посредством введения значений коэффициента рудоносности и бортовых содержаний.

Если на поверхности имеются минерализованные зоны, то каждую из них можно оценить аналогичным образом по значениям их линейных продуктивностей по основному полезному компоненту.

В заключение необходимо подчеркнуть, что в целях повышения эффективности и надежности поисковых работ геохимические методы целесообразно комплексировать с геофизическими и общегеологическими на всех стадиях геологоразведочного процесса. Состав поисковых методов, их очередность и рациональное комплексирование целесообразно определять в каждом конкретном случае, в зависимости от геологической обстановки, ландшафтно-геохимических условий, изученности территории, ее рудно-формационной специализации.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Бураго А. И. Геохимические основы прогнозирования и оценки оловянного оруденения Сихотэ-Алиня. Автореф. канд. дис. М., 1973.
- Бураго А. И., Чуланов Э. И. Количественная оценка оловянного оруденения по первичным ореолам. — Инф. листок № 97-74. Дальневост. центр науч.-техн. инф. Владивосток, 1974.
- Бураго А. И., Чуланов Э. И. Номограммы для количественной оценки масштаба оловянного оруденения на глубину. — Инф. листок № 326-75. Дальневост. центр науч.-техн. инф. Владивосток, 1975а.
- Бураго А. И., Чуланов Э. И. Первичные ореолы оловорудных месторождений Приморья и методы их оценки. — В кн.: Геохимические методы при поисках месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток, 1975б.
- Григорян С. В. Первичные геохимические ореолы гидротермальных месторождений, методы их изучения и практическое использование. Автореф. докт. дис. М., 1971.
- Григорян С. В., Беспалов Н. И. Опыт поисков эндогенного оруденения по первичным ореолам в рудном Карамазаре. — В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1970.
- Кравченко Э. С., Морозова Т. А. Геохимическая зональность эндогенных ореолов касситерит-сульфидных месторождений как критерий оценки геохимических аномалий. — В кн.: Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений. М., ИМГРЭ, 1971.
- Кравченко Э. С., Еремин Н. Ф., Рябов В. Н. Результаты работ по прогнозу скрытого оловянного оруденения в Приморье. — В кн.: Геохимические методы прогнозирования и поисков рудных месторождений. М., ИМГРЭ, 1976.
- Сафронов В. И. Геохимические предпосылки и признаки поискового прогнозирования слепых свинцово-цинковых месторождений скарновой формации. Автореф. канд. дис. М., 1977.

---

*Э. Х. Гулян, К. Р. Варданян, Р. Г. Оганесян, Л. С. Карсецян*  
(Управление геологии СМ АрмССР, ИМГРЭ)

### ПРИМЕРЫ ОТКРЫТИЙ В АРМЕНИИ СКРЫТЫХ РУДНЫХ ТЕЛ ГЕОЛОГОПОИСКОВЫМИ РАБОТАМИ ПРИ УЧАСТИИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

На территории Армении первые геохимические работы (купрометрическая съемка) проводились еще в 1936 г. на Каджаранском медно-молибденовом месторождении. На западном фланге месторождения были обнаружены зоны с повышенным содержанием меди. Последующие геологоразведочные работы установили их промышленное значение.

Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых в настоящее время широко внедряются в практику поисково-разведочных работ на территории республики.

Литогеохимической съемкой по вторичным ореолам рассеяния различных масштабов покрыто около 6 тыс. км<sup>2</sup> площади. Поиски по потокам рассеяния в масштабе 1 : 100 000 проведены почти на всей территории республики. Составлена гидрогеохимическая карта республики в масштабе 1 : 200 000.

Необходимо отметить, что поиски по вторичным ореолам и потокам литогеохимического и гидрогеохимического рассеяния ощутимых результатов не дали, хотя в системе нашего управления ежегодно отбирается и анализируется примерно 75—100 тыс. геохимических проб.

Более результативным оказался метод поисков по эндогенным геохимическим ореолам. Начиная с 60-х годов широкое развитие получили геохимические методы поисков «слепых» и глубокозалегающих рудных тел и месторождений на основе первичных геохимических ореолов. Эти работы проводились, в первую очередь, в пределах площадей действующих горнодобывающих рудных предприятий, таких как Шамлуг, Кафан, Ахтала и другие, а затем и на разведываемых месторождениях Личквас-Тей, Газма, Меградзор, Арманис, Техут и др.

Первоначально работы на этих месторождениях носили опытно-методический характер. Суть их заключалась в отборе точечных геохимических проб по отдельным профилям, горным выработкам и скважинам, ориентированным вкрест простирания имеющихся геологических структур, рудных зон или же отдельных рудных тел.

Установлена общность состава и строения ореолов, проявляющихся независимо от рудных районов и возраста месторождений. Эндогенные геохимические ореолы морфологически повторяют рудные тела, а по размерам основных элементов-индикаторов существенно превосходят их, являясь тем самым прямыми признаками обнаружения рудных тел и месторождений, особенно скрытых.

В строении эндогенных ореолов выявлена зональность, обусловленная закономерной дифференциацией основных ореолообразующих элементов. Выражается она следующим рядом (от надрудных к корневым частям): йод, бром, барий, мышьяк, золото, серебро, свинец, цинк; медь, висмут, мышьяк, молибден, кобальт, вольфрам. Этот ряд четко согласуется с общеизвестным рядом геохимической зональности, предложенным Л. Н. Овчинниковым и С. В. Григоряном.

Зональное строение ореолов свое количественное выражение находит в изменении величин отношений содержаний или продуктивностей пар или групп элементов. Этот показатель служит критерием не только при определении уровня геохимического среза концентрированного типоморфного оруденения, но и при разбраковке зон рассеянной рудной минерализации.

Отмеченные особенности эндогенных геохимических ореолов позволили решить ряд практических задач при выявлении скрытых медноколчеданных, золоторудных и полиметаллических рудных тел на Шамлугском, Арманисском и других рудных полях.

Шамлугское рудное поле находится в северной части Армении, в Алавердском рудном районе. Сложено оно мощными вулканогенно-осадочными юрскими образованиями, прорванными многочисленными субвулканическими телами. В структурном отношении рудное поле расположено на северном крыле Алавердского антиклинория.

Промышленное медноколчеданное оруденение локализовано на площади около 3 км<sup>2</sup>, где известно около 70 рудных тел (штоки, линзы и жилы) на глубинах 100—700 м, нигде не вскрытых эрозийной поверхностью.

Геохимические исследования, проведенные здесь еще в 1963 г., имели цель разработать геохимические критерии прогнозирования скрытого медноколчеданного оруденения в условиях данного рудного поля и внедрить их в практику геологоразведочных работ. В связи с вышеотмеченным, на Шамлугском медноколчеданном месторождении выполнены опытно-

методические и опытно-производственные работы. Методические работы включали изучение особенностей развития эндогенных геохимических ореолов вокруг известных рудных тел, а опытно-производственные — покрытие всей площади (3 км<sup>2</sup>) литогеохимической съемкой масштаба 1 : 5000.

В результате геохимических исследований составлена карта эндогенных геохимических ореолов, на которой были выделены 14 участков, перспективных на скрытое медноколчеданное оруденение. Последние и были рекомендованы для проверки. К сожалению, до настоящего времени проверены только две аномалии.

Наличие скрытого оруденения подтверждено поисковым бурением двух скважин, которые вскрыли на восточном участке под аномалиями рудные тела с промышленным содержанием меди.

Арманисское рудное поле находится также в Северной Армении. Площадь его сложена стратифицированными метаморфическими, осадочными и вулканогенными образованиями эоценозоя, мела и среднего эоцена, интродуцированными штоко- и дайкообразными телами основного состава. В структурном отношении Арманисское рудное поле расположено в северо-западной части Присеванской мнгогеосинклинальной зоны, вблизи ее северной границы с Сомхето-Карабахской эвгеосинклинальной зоной.

Поисково-разведочные работы на Арманисском рудном поле направлены на оценку перспектив колчеданно-полиметаллического и золотого оруденения Арманисского месторождения и его флангов. Геохимические исследования, сопровождающие поисково-разведочные работы на Арманисском рудном поле, проводились с целью прогнозирования и выявления скрытых рудных тел как на месторождении, так и на его флангах.

Ниже приводится только описание геохимического прогнозирования и результаты проверки на участке Восточный. В его пределах, по данным геохимического опробования поверхности, выявлены ореолы элементов-индикаторов типоморфного полиметаллического и золотого оруденения. Отмеченные ореолы обнаруживают четкую пространственную связь с зонами гидротермально измененных пород, трассирующих по разрывным нарушениям. В южной части участка в основном установлены широкие и слабоконтрастные ореолы элементов-индикаторов подрудного комплекса. На фоне последних редко прослеживаются относительно интенсивные, но узкие ореолы свинца + серебра + бария и меди + висмута + кобальта.

Не останавливаясь на ряде мелких особенностей, обуславливающих пространственное поведение групп элементов-индикаторов, укажем лишь, что наиболее интересны аномалии, выявленные в северо-восточной части участка. При оценке уровня эрозионного среза отмеченных выше перспективных аномалий устанавливается их надрудный характер относительно скрытого полиметаллического оруденения.

С целью проверки геохимических аномалий пройдены три скважины, две из них вскрыли рудоносные зоны на глубинах 180—200 м с суммарным содержанием свинца и цинка более 3%.

Личквас-Тейское рудное поле находится в Южной Армении. В геологическом строении рудного поля принимают участие преимущественно изверженные и вулканогенные образования нижнего эоцена. Представлены они гранодиоритами, кварцевыми диоритами, порфиритами, туфами, туфобрекчиями. Золото-сульфидное оруденение приурочено к зонам тектонических трещин, в пределах отдельных крупных блоков.

Поисково-разведочные работы на Личквас-Тейском рудном поле были поставлены для оценки его глубоких горизонтов и флангов. Геохимические исследования, подключившиеся к разработке методики и ее внедрению при прогнозировании золотого оруденения на глубину, дали следующие результаты. Особенности проявленного надрудного (As, Ag, Pb

и Zn) и подрудного (Cu, Mo, Co и W) комплексов неодинаковы во всех изученных нами горизонтах. Чередование проявлений по интенсивности надрудных и подрудных комплексов элементов на разных горизонтах по отдельным взятым рудоносным зонам выявляет характер многоярусного строения данного месторождения, т. е. происходит выклинивание одного тела и появление нового, перспективного на глубину.

Оценка перспектив каждого рудного тела и рудоносных зон с помощью построенных мультипликативных ореолов и рассчитанных их коэффициентов зональности позволила нам прогнозировать на глубину ниже горизонта штольни новые, скрытые рудные тела, впоследствии подцененные скважинами.

В настоящее время в пределах республики совместно с ИМГРЭ интенсивно проводятся методические и производственные исследования. Методические работы ставятся с целью разработки и усовершенствования методики геохимического прогнозирования золотого, колчеданно-полиметаллического, медноколчеданного и особенно медно-молибденового оруденения. В связи с тем, что республика является одним из классических районов по специализации меди, в настоящее время на первый план выдвигается изучение ранее известных объектов с «малыми» содержаниями меди. Последние нередко по новой интерпретации представляют собой скрытые медно-порфировые и медно-молибденовые типы оруденения. К таким объектам, рекомендованным нами для проверки, следует отнести Мецдзорское и Сваранцкое проявления меди, а также фланги Техутского месторождения и рудопроявление меди Шевут.

В связи с вышеизложенным в настоящее время проводится интенсивное изучение особенностей состава и строения рудных объектов с целью разработки новых усовершенствованных критериев разбраковки и прогнозирования сульфидного оруденения.

В конечном итоге проводимые исследования во многом будут способствовать разработке геохимических основ для составления прогнозных карт перспективных рудных полей масштаба 1 : 50 000, начатого в республике с 1975 г.

---

*А. Б. Дзайнуков, Э. Б. Федчишин, Р. Г. Оганесян,  
Н. А. Кудрина, Ю. И. Бранько*  
(Управление геологии СМ ТаджССР, ИМГРЭ)

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКОВ ПО ПЕРВИЧНЫМ ГЕОХИМИЧЕСКИМ ОРЕОЛАМ СКРЫТЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ТАДЖИКИСТАНЕ**

Геохимические методы поисков эндогенных рудных месторождений по первичным ореолам за 15 лет их применения в Таджикистане получили общее признание и включены в рациональные комплексы на всех стадиях геологоразведочных работ.

Вопросы зональности первичных геохимических ореолов, методики ее изучения и эффективного использования в условиях Таджикистана широко освещены в специальной литературе (Григорян, 1963; Григорян и др., 1968, 1969, 1971, 1973; Дзайнуков и др., 1975). Это позволяет нам, не вдаваясь в детали, напомнить лишь общие итоги первого десятилетия исследований.

В течение 1963—1973 гг. в Северном (Кармазар) и Центральном Таджикистане выявлено около тысячи геохимических аномалий, 466 из

Эффективность проверки геохимических аномалий

Рудное поле или район	Количество геохимических аномалий					Процент подтверждения прогноза
	выявленных	проверено	прогноз			
			положительный		отрицательный	
			руда рядовая	руда бедная		
Курусай-Джангалыкское и Текелийское рудные поля (Карамазар)	$\frac{350}{200}$	40	7	13	—	50
Кансайский рудный район (Карамазар)	$\frac{244}{150}$	76	3	40	2	59
Рудные поля (Центральный Карамазар)	$\frac{310}{70}$	57	28	10	12	87
Чорухдайронское и другие рудные поля (гора Моголтау, Карамазар)	$\frac{40}{19}$	12	6	1	1	66
Тарор-Мосрифский рудный район (Центральный Таджикистан)	$\frac{50}{27}$	5	2	1	—	60
Итого . . . . .	$\frac{994}{466}$	190	46	65	15	66

них рекомендовано в качестве перспективных на скрытое оруденение. К 1974 г. из 190 проверенных геохимических аномалий скрытое оруденение выявлено на 111 (табл. 1), что говорит о высокой эффективности геохимических исследований.

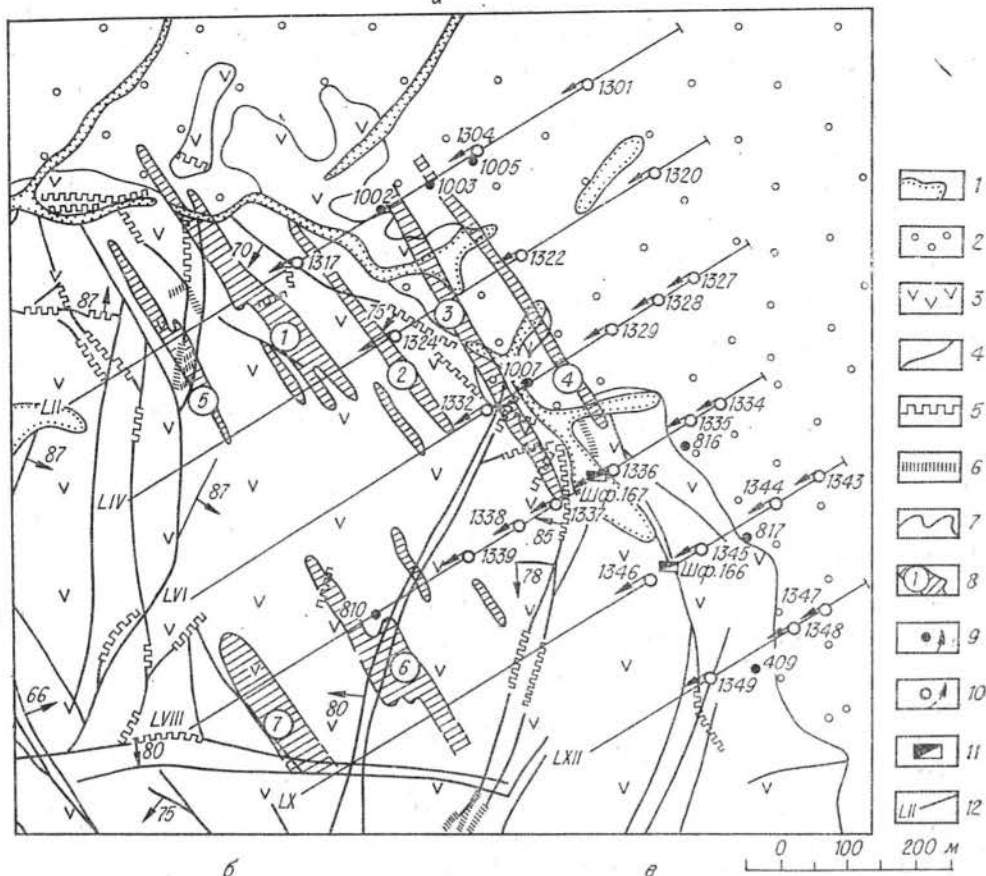
Результаты последующего периода работ характеризуются еще более высокой эффективностью геохимических поисков, выразившейся в создании предпосылок для существенного расширения масштабов известных мелких месторождений (Новый Канмансур, Меридиональная зона, Джилау и др.) за счет выявления новых скрытых рудных залежей на флангах. Наиболее ярко это можно показать на примере Меридиональной зоны. Названная зона расположена в центральной части Канмансурского рудного поля в Центральном Карамазаре (рис. 1, а). Она сложена в основном верхнепалеозойскими кислыми вулканитами (липаритовыми горфами, туфами). Структура ее характеризуется наличием густой

Таблица 2

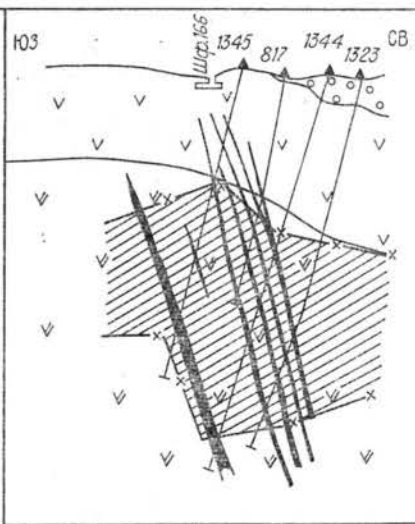
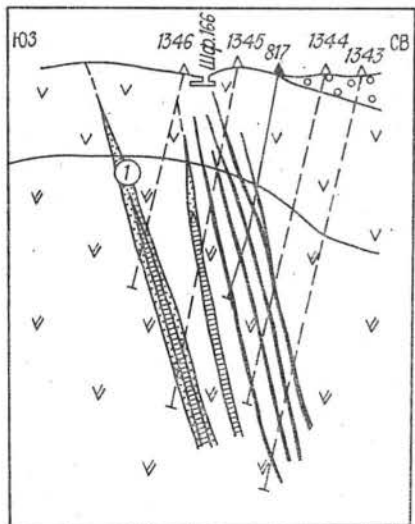
Показатели зональности геохимических аномалий

Участок	№ аномалий	Pb+Ag+Ba Cu+Bi+Co	Уровень сечения аномалии
	2	31,7	»
	3	25	»
	4	20,1	»
	5	22,2	»
	6	16,4	»
	7	18,1	»
Северо-западный (эталонный объект)		16,5,0	Надрудный Подрудный

a



б



- 13
- 14
- 15
- 16

Рис. 1. Геолого-геохимическая карта Меридиональной зоны (по А. П. Артеменко, Р. Г. Оганяну и др.).

1 — границы четвертичных отложений; 2 — терригенные образования мела; 3 — калиевые липариты оясайской свиты (C<sub>2</sub>), тавакская толща; 4 — разрывные нарушения; 5 — баритовые жилы; 6 — кварцевые жилы; 7 — геологические границы пород; 8 — геохимические аномалии в их номера; 9 — скважины пробуренные; 10 — скважины проектные; 11 — шурфы пройденные; 12 — профили буровых скважин; 13 — липариты оясайской свиты (C<sub>2</sub>), сферолитовая толща; 14 — геохимические ореолы с предполагаемыми рудными телами; 15 — обогащенные зоны свинцово-серебряных руд; 16 — контуры свинцово-серебряных руд.

Критерии оценки отдельных формационных типов месторождений Карамазара

Формационный тип	Pb	Zn	Cu	Ag	Bi	W	Mo	Ba	Ряды условных интенсивностей	Индикаторные отношения		
										Cu	Pb+Zn	W+Mo
										Pb+Zn	Cu+Bi	Cu+Bi
Полиметаллический (в вулканитах)	$\frac{1151}{0,92}$	$\frac{1388}{1,10}$	$\frac{2,57}{0,33}$	$\frac{7}{0,83}$	$\frac{46}{0,50}$	$\frac{11}{0,25}$	$\frac{27}{0,61}$	$\frac{524}{0,73}$	Zn, Pb, Ag, Ba, Mo, Bi, Cu, W	1,3	0,036	0,027
Полиметаллический (в гранитоидах)	$\frac{1585}{1,27}$	$\frac{1794}{1,38}$	$\frac{198}{0,26}$	$\frac{7}{0,83}$	$\frac{6,5}{0,07}$	$\frac{13}{0,30}$	$\frac{6}{0,14}$	$\frac{29,5}{0,41}$	Zn, Pb, Ag, Ba, W, Cu, Mo, Bi	0,14	0,67	0,14
Скарново-полиметаллический	$\frac{1694}{1,36}$	$\frac{2174}{1,74}$	$\frac{650}{0,85}$	$\frac{8}{0,95}$	$\frac{15}{0,16}$	$\frac{15}{0,34}$	$\frac{18}{0,41}$	$\frac{339}{0,47}$	Zn, Pb, Ag, Cu, Ba, Mo, W, Bi	0,19	0,66	0,14
Медно-висмутовый	$\frac{321}{0,26}$	$\frac{356}{0,27}$	$\frac{1019}{1,33}$	$\frac{7}{0,83}$	$\frac{332}{3,66}$	$\frac{40}{0,91}$	$\frac{11}{0,25}$	$\frac{1107}{1,55}$	Bi, Ba, Cu, W, Ag, Zn, Pb, Mo	18,7	0,002	0,005
Полиметаллический и медно-висмутовый (телескопированный)	$\frac{1099}{0,88}$	$\frac{776}{0,60}$	$\frac{958}{1,25}$	$\frac{10}{1,20}$	$\frac{189}{2,10}$	$\frac{47}{1,10}$	$\frac{30}{0,68}$	$\frac{1286}{1,80}$	Bi, Ba, Cu, Ag, W, Pb, Mo, Zn	4,1	0,082	0,087
Скарново-редкометалльный	$\frac{137}{0,11}$	$\frac{384}{0,29}$	$\frac{1134}{1,47}$	$\frac{0,8}{0,10}$	$\frac{1,5}{0,016}$	$\frac{112}{2,55}$	$\frac{183}{4,16}$	$\frac{239}{0,33}$	Mo, W, Cu, Ba, Zn, Pb, Ag, Bi	4,8	0,14	4,1
Золото-сульфидный	$\frac{1548}{1,24}$	$\frac{2591}{2,0}$	$\frac{1173}{1,53}$	$\frac{28}{3,33}$	$\frac{23}{0,24}$	$\frac{11}{0,25}$	$\frac{17}{0,39}$	$\frac{620}{0,87}$	Ag, Zn, Cu, Pb, Ba, Mo, W, Bi	0,30	0,33	0,058

Примечания: 1. В числителе приводятся средние содержания элементов-индикаторов, г/т, в знаменателе — коэффициенты интенсивности ( $\frac{\text{с Pb по отдельному формационному типу}}{\text{с Pb по всем формационным типам}}$ ) и т. д. для всех элементов-индикаторов. 2. Индикаторные отношения определялись по нормативным средним содержаниям.

Породы	Коэффициенты концентраций по отношению к																																		
	Li		Rb		Cs		V		Cr		Co		Ni		Mo		Cu																		
	0,5	1	2	3	4	0,5	1	2	3	4	0,5	1	2	3	4	0,5	1	2	3	4	0,5	1	2	3	4	0,5	1	2	3	4					
Основные																																			
Средние																																			
Умеренно-кислые																																			
Кислые																																			
Субщелочные ос-новые																																			
Субщелочные средние																																			
Субщелочные умеренно-кислые																																			
Субщелочные кислые																																			
Субщелочные ультракислые																																			

Рис. 2. Распределение микроэлементов в группах

сети разноориентированных трещин в узле сопряжения серии крупных северо-восточных, субширотных и меридиональных сколов.

Геохимическое опробование здесь проводилось по сети 50—200×2—10 м. Опробование выполнялось линейно-точечным методом путем отбора 5—6 свежих сколков, равномерно распределенных по интервалу опробования. Вес проб варьировал от 100 до 150 г. Пробы дробились, истирались до 200 меш и анализировались методом просыпки на спектрографе ДФС-8 на кобальт, никель, цинк, мышьяк, молибден, серебро, кадмий, олово, сурьму, барий, вольфрам, свинец, висмут и др. По результатам анализов проб на площади Меридиональной зоны выявлены первичные ореолы свинца, серебра, бария, меди, висмута, кобальта и других элементов, среди которых наиболее контрастные аномалии первых. По отношениям нормированных (через геофоны), суммарных содержаний свинца, серебра и бария к меди, висмуту, кобальту на участке выделено семь перспективных геохимических аномалий (см. рис. 1, а). Сравнение показателей зональности этих аномалий с эталонными уровнями по другим объектам (табл. 2) позволило отнести их к надрудным уровням ореолов, сопровождающих полиметаллическое оруденение.

Наиболее продуктивные части аномалий с учетом данных скважин, пробуренных в северо-западной части зоны, предполагалось вскрыть на глубине 300—350 м от поверхности. Результаты геохимического картирования площади Меридиональной зоны были использованы для оценки промышленной рудоности площади, начатой в 1973 г. Скважины, пробуренные под геохимические аномалии, вскрыли на глубине 200—270 м от поверхности ряд скрытых рудных зон с серебро-свинцовым оруденением (см. рис. 1, б — разрез проектный, рис. 1, в — разрез фактический). Вертикальный размах оруденения, по данным пробуренных скважин, превышает 500 м.

Детальное изучение форм нахождения элементов в первичных ореолах, проведенное Б. Ф. Зленко под руководством Л. Н. Овчинникова, позволило установить широкое распространение серебряной минерализации за пределами обогащенных серебро-свинцовых рудных зон. Серебряная минерализация, представленная самородным серебром, аргентитом, полибазитом, пираргиритом, мателъдитом и т. д., развивается в трещиноватых вулканитах в виде густого штокверка на значительном пространстве, охватывающем площадь Меридиональной зоны, однотипного месторождения Новый Канмансур, Комсомольской и Аксайской зон. Границы минерализованных пород еще не установлены. По соотношению серебра к свинцу рудная залежь отнесена в разряд перспективных свинцово-серебряных месторождений, заслуживающих скорейшей разведки.

Положительные результаты крупномасштабного геохимического картирования рудных полей, начиная с 1974 г., позволили перейти к систематической геохимической съемке всего Карамазара.

За период с 1974 по 1977 г. геолого-геохимическим картированием масштаба 1 : 25 000 покрыта площадь в 1100 км<sup>2</sup>. Расстояние между про-



стандартным кларкам (по А.П. Виноградову)						$K_K > 1$ Увеличение	$K_K = 1$	$K_K < 1$ Уменьшение
Zn	Ca	Ag	Sn	Hg	Pb			
0,5 1,5 3 4	0,5 1,5 3 4	0,5 1,5 3 4	0,5 1,5 3 4	0,5 1,5 3 4	0,5 1,5 3 4			
						V, Cs, Ag, Hg, Rb, Ca, Li		Sn, Mo, Pb, Zn, Co, Cu, Ni, Cr
						V, Ag, Li, Pb, Ca, Mo, Zn, Rb		Cu, Co, Cr, Ni
						Hg, Ag, Cs, Ca, Pb, Mo, Zn, V	Sn, Co	Cu, Cr, Li, Pb, Ni
						Ag, Pb, Hg, Mo, Cs, Ca, Rb, Zn		Cu, Sn, Li, Co, Ni, V, Cr
						Cs, Li, V, Hg, Ag, Pb, Rb, Ca		Mo, Sn, Cu, Zn, Co, Cr, Ni
						V, Li, Ag, Pb, Cu, Ca, Zn		Cr, Ni
						Ag, Hg, Ca, Pb, V, Mo, Cu, Sn, Co, Zn, Cs, Ni, Rb		Li, Cr
						Ag, Pb, Cs, Hg, Ca, Mo, Zn, Cu, Sn, Rb, Li		V, Cr, Ni, Co
						Ca, Ag, Sn, Hg, Pb, Rb	Cu	Mo, Cs, Zn, Ni, V, Co, Cr, Li

магматических пород Западного Карамазара.

филиями составляло 300—400 м, шаг опробования был принят варьирующим (20—100 м) в зависимости от геологической однородности интервалов пробоотбора. Вес проб 200—250 г. Кроме геохимических проб, по всем минерализованным жилам, зонам гидротермально метасоматических изменений и зонам разрывных нарушений отбирались точечные пробы весом 1 кг, подвергавшиеся полному спектральному и спектрозотометрическому анализам.

Наряду с геолого-геохимическим картированием площади осуществлялось изучение вертикальной зональности на типоморфных объектах Западного Карамазара и выявление специализации магматических комплексов, проводилась оценка геохимических аномалий на основе изучения метасоматитов и статистических связей элементов в геохимических ореолах.

Изучение вертикальной геохимической зональности на типоморфных объектах Западного Карамазара дало возможность дополнить и уточнить оценочные критерии для отдельных формационных типов месторождений Карамазара (табл. 3). Анализ накопленного фактического материала при изучении вертикальной зональности на типоморфных объектах позволил подчеркнуть следующие особенности:

— на зональное распределение элементов в первичных геохимических ореолах заметное влияние оказывает вещественный состав вмещающих пород;

— принадлежность типоморфных объектов к определенной рудной формации в большинстве случаев однозначно определяется по рядам условных интенсивностей, статистическим максимумам и индикаторным отношениям элементов;

— наиболее устойчивой зональностью обладают первичные геохимические ореолы на месторождениях, залегающих в вулканогенных образованиях;

— сравнительно хуже зональность проявлена в гранитоидах.

Исследования геохимической специализации магматических комплексов позволили определить фоновые содержания химических элементов в основных типах и группах магматических пород и тем самым создали основу для надежного выделения малоинтенсивных аномалий, выявляемых при региональных работах (рис. 2). Попутно полученные результаты использованы для расчленения и параллелизации магматических комплексов.

Данные геолого-геохимического профилирования позволили обобщить материалы по рудоносности зон разрывных нарушений разного генетического типа и порядка в различных вмещающих породах. Все это позволило при классификации аномалий и установлении очередности их проверки, кроме их оценки, учесть литолого-стратиграфический и структурно-тектонический факторы прогноза скрытых рудных объектов.

В результате проведенного комплекса работ составлена прогнозная геохимическая карта, на которой выделено около трехсот суммарных геохимических аномалий по свинцу, цинку, меди, серебру, висмуту, молибде-

ну и 394 аномалии по мышьяку, сурьме, вольфраму и вышеперечисленным рудным элементам. Из них в качестве перспективных для постановки поисково-оценочных работ первой и второй очередей рекомендовано по 15 объектов, а также 6 объектов третьей очереди, перспективных на полиметаллическое, медно-висмутовое и другие типы скрытого оруденения. Точечным опробованием минерализованных жил, зон гидротермально-метасоматических изменений и зон разломов в Западном Карамазаре установлено 115 новых проявлений ценного металла, из которых на 14 даже на поверхности содержания близки к промышленным и заслуживают первоочередной постановки оценочных работ.

Таким образом, разномасштабное геохимическое картирование в Таджикистане рудных районов, полей и месторождений разной формационной принадлежности позволило выявить большое количество эндогенных геохимических аномалий, создавших благоприятные предпосылки для выявления новых скрытых рудных месторождений или существенного расширения масштабов известных. Высокая эффективность этого метода способствовала его широкому внедрению в производство.

#### ЛИТЕРАТУРА

Григорян С. В. Эндогенные ореолы рассеяния химических элементов вокруг свинцово-цинковых рудных тел. — В кн.: Эндогенные ореолы рассеяния некоторых гидротермальных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1963.

Григорян С. В., Янишевский Е. М. Эндогенные ореолы рудных месторождений и их использование при поисках скрытого оруденения. М., «Недра», 1968.

Григорян С. В., Зубов М. И., Оганесян Р. Г. О вертикальной зональности первичных ореолов месторождения Восточный Канимансур и их практическое значение. — В кн.: Минеральное сырье. Вып. 23. М., «Недра», 1973.

Григорян С. В., Федотова Г. Э., Дегтярев В. С. Геохимические поиски слепого полиметаллического оруденения в Курасайском рудном поле. — В кн.: Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений. Вып. 1. М., ИМГРЭ, 1969.

Григорян С. В., Беспалов Н. И., Оганесян Р. Г., Жукова А. В., Федотова Г. Э. Эффективность изучения первичных ореолов при оценке перспектив рудоносности. — В кн.: Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений. Вып. 6. М., ИМГРЭ, 1971.

Дзайнуков А. Б., Еникеев А. М., Оганесян Р. Г. К методике поисков скрытого оруденения по первичным ореолам. — В кн.: Проблемы геологии. Вып. 484. Ташкент, 1975.

---

*С. А. Али-Заде, Д. А. Рожкова, С. А. Кязимов, В. Н. Хананиев*  
(Управление СМ АзербССР по геологии)

### ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ И ПОИСКАХ СКРЫТЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

В результате изучения истории геологического развития, тектоники и магматизма восточной части Малого Кавказа в Азербайджане наметились широкие перспективы выявления новых рудных залежей как в пределах известных рудных полей, так и в новых районах. Успешному расширению перспектив минерально-сырьевой базы региона препятствуют весьма труднопроходимые горные условия, а также тот факт, что по ряду кардинальных вопросов стратиграфии, тектоники, возраста интрузивов и металлогении нет единого мнения. В связи с вышеизложенным возрастает роль и значение геохимических методов поисков, свободных от определенных геологических концепций, способных эффективно и оперативно выявить

перспективные на рудную минерализацию площади, а в их пределах — рудогенные геохимические аномалии, оценивать последние и определять местоположение поисково-разведочных выработок.

Однако широкое применение геохимических методов поисков в производственных условиях сдерживается рядом причин. В частности, в настоящее время нет единого практического руководства, обобщающего обширный опыт применения этих методов и предусматривающего использование конкретных математико-статистических приемов и методов для обработки геохимической информации с целью получения обоснованных выводов.

В Азербайджане к 1972 г. был намечен комплекс геохимических методов для поисков рудных месторождений в условиях Малого Кавказа. Выбор этого комплекса основан на детальном ознакомлении с опытом геохимических исследований различных геологических организаций нашей страны, а также на опыте работ поискового, опытно-методического, тематического и ландшафтно-геохимического направлений, выполненных геологами республики за период, начиная с 1953 г.

Наиболее эффективным для условий Кавказа признан комплекс методов, сочетающий обследование потоков рассеяния гидросети с последующими литогеохимическими поисками на выявленных перспективных площадях.

В условиях расчлененного и резко расчлененного рельефа Кавказа потоки рассеяния, благодаря глубинности и непрерывности процесса разрушения рудных месторождений природными водами, имеют отчетливую связь с рудными телами. Опробование потоков рассеяния позволяет в сравнительно короткий срок получить наиболее полную геохимическую характеристику территории, поскольку, с одной стороны, в них проявляются все формы миграции химических элементов в зоне гипергенеза (механическая, солевая, водная), а с другой — одна проба потока рассеяния несет информацию о геохимических условиях целого бассейна стока.

Полевым исследованиям по потокам рассеяния предшествовало изучение материалов о геологическом строении, металлогении, геохимии, геоморфологии, гидрогеологии, климате, почвах и растительности территории исследований. Анализ этих данных, в сочетании с изучением топографических карт и аэрофотоматериалов, позволил составить основу для выбора оптимальной сети опробования потоков. Сеть опробования намечалась так, чтобы каждый вид геохимического ландшафта в пределах частного водосборного бассейна поверхностных вод был охарактеризован последовательно в направлении стока не менее, чем двумя пробами. Полученная таким образом плотность сети опробования соответствует масштабу 1 : 100 000 — 1 : 50 000.

Далее поструктурно осуществлялось обследование потоков. При этом сопряженно отбирались пробы поверхностных вод и донных образований (фракция 1 мм). При опробовании донных осадков в промышленно освоенных районах для избежания техногенного загрязнения глубина опробования принята 0,4—0,5 м.

Методика отбора и обработки гидро- и литогеохимических проб соответствовала требованиям «Инструкции...» (1965), а также «Методическим указаниям по гидрохимическим поискам...» (Голева и др., 1968). Опробованию подвергались преимущественно потоки II и IV порядков со средней протяженностью 3—5 км в местах наиболее спокойного течения. На временно действующих (пересыхающих) потоках отбирались только пробы донного осадка. Работы планировались так, чтобы в период летней межени исследовались потоки территории ландшафтов высокогорных степей и альпийских лугов с сравнительно небольшой мощностью наносов (0,2—0,8 м), а в заключительный период спада дождевого паводка — территория горнолесных ландшафтов с хорошо развитым почвенным покровом (0,6—1,2 м) и растительностью с глубокопроникающей корневой системой.

Такой подход позволяет в первом случае получить информацию о геохимических особенностях геологического разреза большой мощности, а во втором, — иметь информацию как о коренных породах, так и о рыхлом покрове.

При интерпретации фактического материала по донному и гидрогеохимическому опробованию большой объем разнообразной информации был разбит на три группы: 1) данные химического анализа водных проб; 2) данные спектрального анализа микроэлементов сухих остатков водных проб; 3) данные спектрального анализа микрокомпонентов проб донных осадков.

Важной задачей при обработке геохимической информации являлось выделение поисковых гидро- и литогеохимических признаков наличия оруденения. С этой целью были выбраны элементы, рудный генезис концентрации которых не вызывает сомнения, и исследовались их корреляционные связи с остальными элементами. Такими элементами для металлогении Сомхито-Агдамской структурно-формационной зоны Малого Кавказа являются сера, медь, цинк, серебро, свинец, молибден, кобальт.

Ограниченные возможности в выборе комплекса элементов-индикаторов рудной минерализации, обусловленные возможностями спектрального анализа сухих остатков водных проб Центральной лаборатории Управления СМ Азербайджана по геологии, были восполнены путем использования всего круга химических элементов, определяемых анализом. При этом мы руководствовались положением о том, что образование свободной серной кислоты при окислении некоторых сульфидных минералов резко повышает интенсивность химических процессов как в самих рудных телах, так и за их пределами, что ведет к обогащению вод гидрогеохимических аномалий не только элементами рудообразующих минералов, но и минералов, характерных для вмещающих пород.

Поисковая геохимическая ассоциация химических элементов в природных водах и донных осадках определялась на основе анализа коэффициентов ранговой корреляции с последующим кластерным анализом, который позволяет выделить однородные блоки элементов, характеризующиеся общностью источников питания, идентичностью путей и форм миграции, а также сродством условий их формирования. Таким образом, было установлено, что поисковая ассоциация в водах поверхностных потоков представлена: сульфат-ионом, его отношением к гидрокарбонатному иону; молибденом, марганцем, титаном, медью и серебром. Анализ дендрограммы и таблицы коэффициентов корреляции химических элементов в донных осадках позволил получить информативную ассоциацию Mo, Zn, Co, Pb, Ag, Cu, Mn, Ti, куда вошли все ведущие и второстепенные элементы данной металлогенической зоны.

С целью комплексной интерпретации материалов по гидро- и литогеохимическому опробованию, взаимодополняющих друг друга, была использована обобщенная характеристика  $A$  (Эленбоген и др., 1973), которая представляет собой среднее геометрическое отношение концентраций химических элементов в пробе ( $X_i$ ) к фоновым концентрациям элементов ( $X_0$ ):

$$A = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{X_0}\right)^i}, \quad (1)$$

где  $n$  — число элементов-индикаторов.

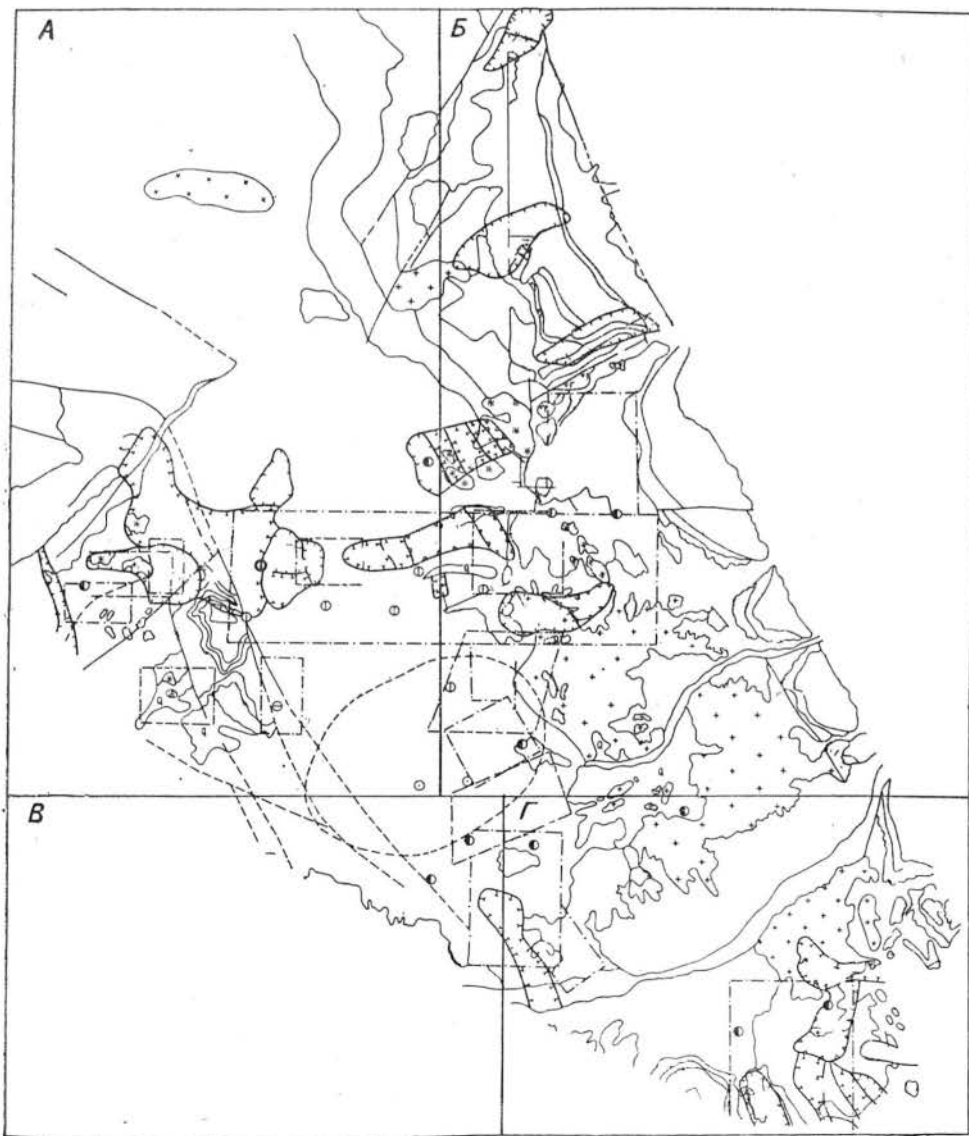
Значения  $A$  вычислялись отдельно для гидро- и литогеохимических проб. За нижний предел полезного сигнала для каждого метода в отдельности принята:  $C_a \geq \bar{x} + t(\bar{x} - \text{среднее значение } A, t - \text{стандартное отклонение } A)$ .

Из 180 изученных бассейнов стока выделено, таким образом, 45. Относительные перспективы аномальных бассейнов ранжированы по величине

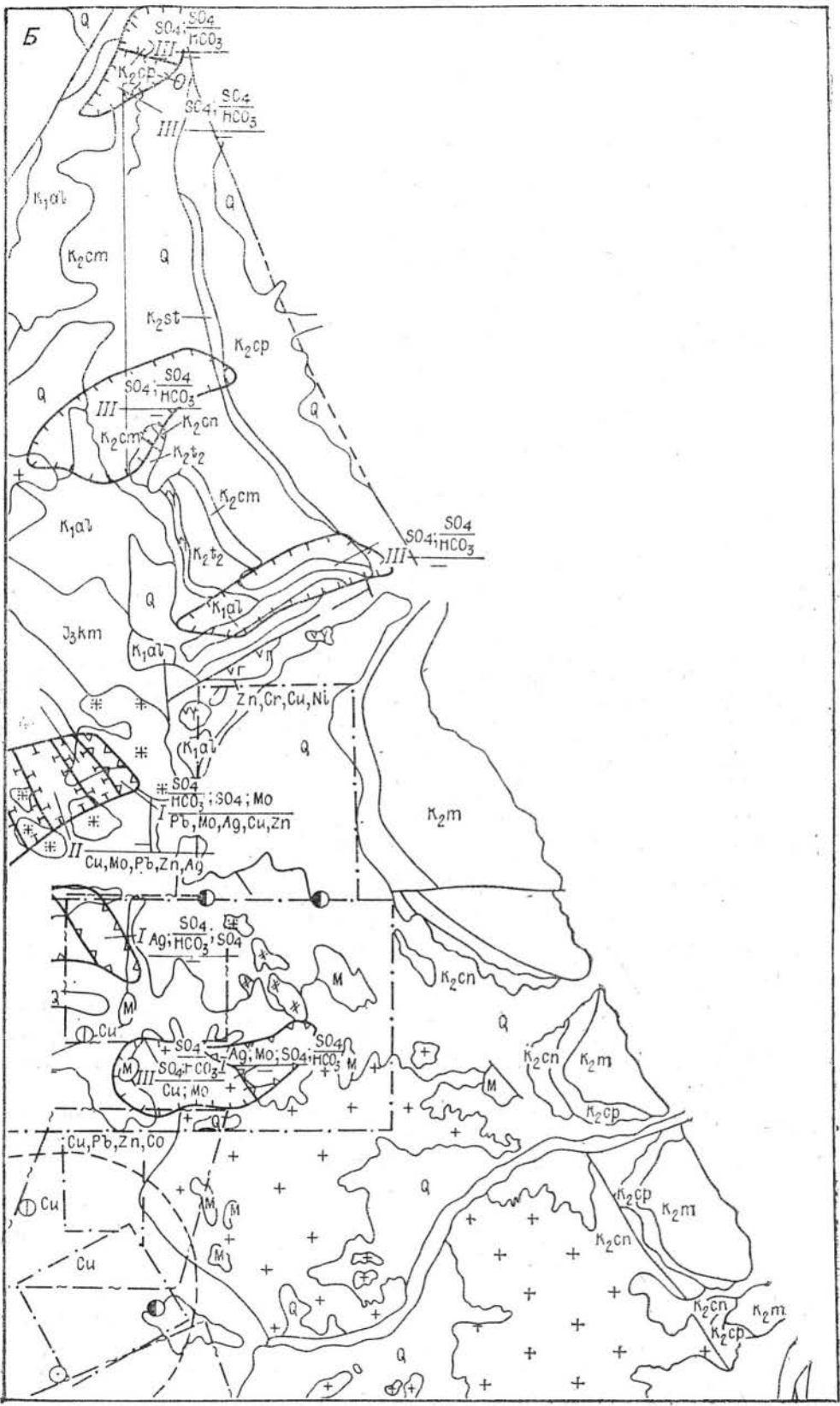
не А для каждого поискового метода и по их совокупности. В результате ранжирования выделено 35 бассейнов стока I, II и III степеней перспективности, образующих в пространстве 9 аномальных площадей, в пределах которых наблюдается закономерное изменение перспективности от большего к меньшему (рис. 1). Заслуживающими внимания признаны 4 площади, условно названные Касапет, Гюлятаг, Амбаринджур, Еддихирман.

Описанная методика выделения геохимических аномалий отличается определенной степенью субъективизма. В настоящее время по материалам исследования потоков рассеяния территории Шамхорского поднятия Сомхито-Агдамской зоны для выделения геохимических ассоциаций, характерных как для поля сингенетического рассеяния элементов, так и для аномальных областей, используется метод главных компонентов факторного анализа, основанный на исследовании матрицы коэффициентов корреляции всего пространства признаков.

По первым главным компонентам (факторам), имеющим большую долю вклада в общую изменчивость системы для всех точек наблюдения, производится вычисление комплексной характеристики с весами, про-







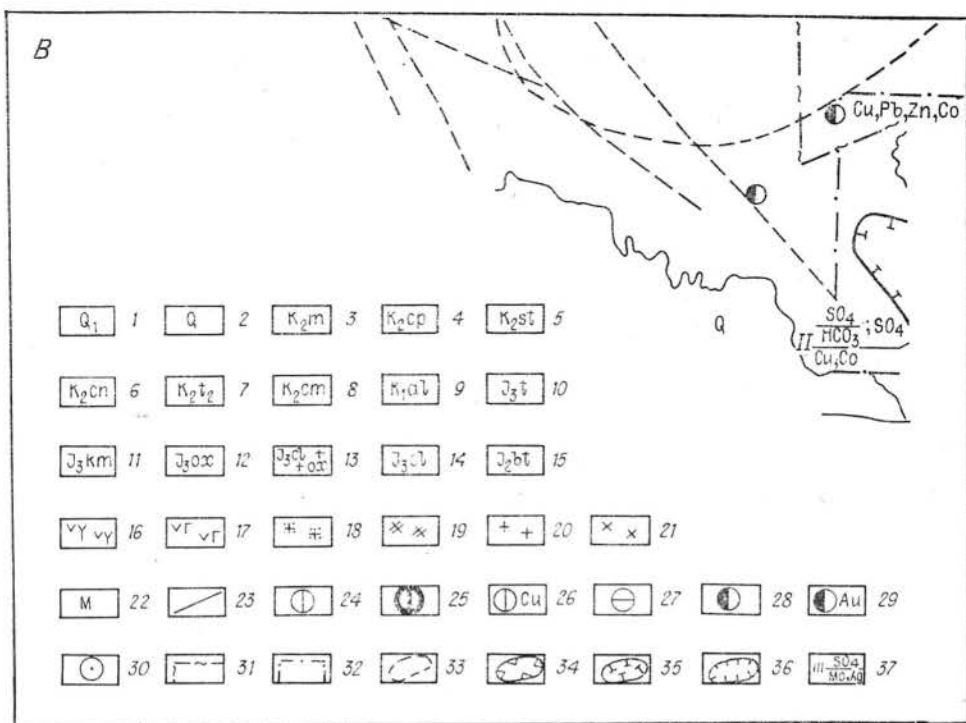


Рис. 1. Карта бассейнов стока, перспективных на

1 — современные речные образования; 2 — четвертичные; 3 — мелоподобные известняки; 4 — 6 — аргиллиты, туфы, песчанистые кристаллические известняки; 7 — глины, глинистые песчанники и известняки; 8 — туфопесчанники, туфобрекчи, мергели, аргиллиты; 9 — кри туфогравелиты; 10 — кри туфогравелиты; 11 — кри туфогравелиты; 12 — кри туфогравелиты; 13 — кри туфогравелиты; 14 — кри туфогравелиты; 15 — кри туфогравелиты; 16 — андезит-дациты; 17 — андезит-дациты; 18 — андезит-дациты; 19 — андезит-дациты; 20 — андезит-дациты; 21 — андезит-дациты; 22 — андезит-дациты; 23 — андезит-дациты; 24 — андезит-дациты; 25 — андезит-дациты; 26 — андезит-дациты; 27 — андезит-дациты; 28 — андезит-дациты; 29 — андезит-дациты; 30 — андезит-дациты; 31 — андезит-дациты; 32 — андезит-дациты; 33 — андезит-дациты; 34 — андезит-дациты; 35 — андезит-дациты; 36 — андезит-дациты; 37 — андезит-дациты.

порциональными нагрузкам элементов на данный фактор, по формуле

$$I_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \lg \frac{x}{\bar{x}} \right)_i^2 \quad (2)$$

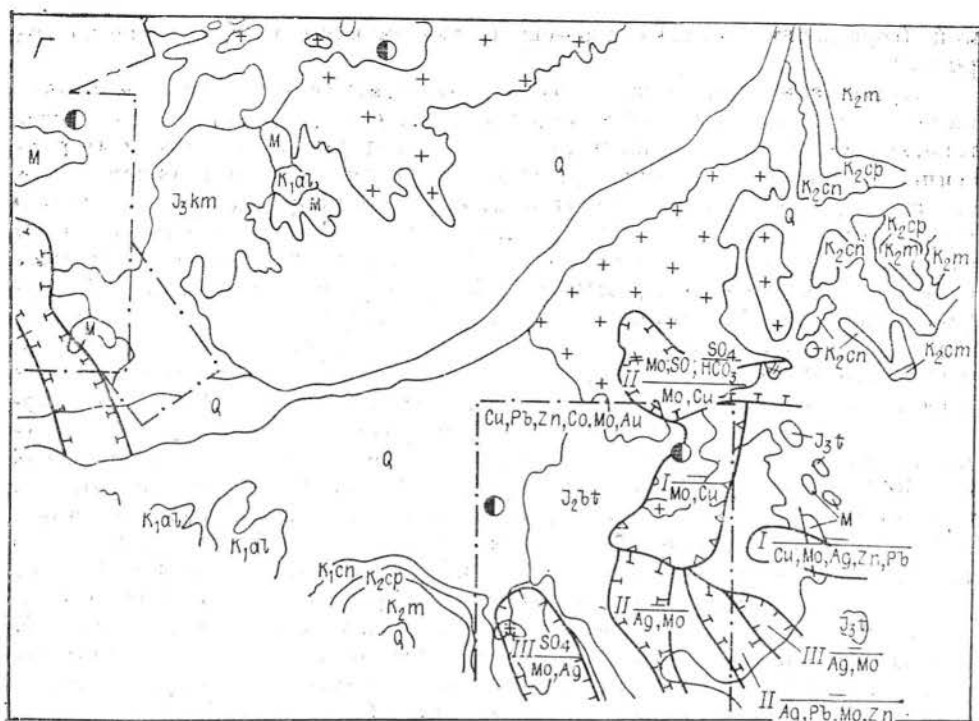
где  $I_j$  имеет смысл среднего количества информации (в хартли) об аномальности данной точки площади исследований (пробы) по совокупности элементов главных компонентов;  $n$  — число элементов главного компонента;  $x_i$  — концентрация элемента в пробе с весом, пропорциональным нагрузке на данный фактор;  $\bar{x}_i$  — среднее (фоновое) содержание этого элемента в ландшафте.

Выделение комплексных аномалий производится методом скользящего окна для неравномерной сети опробования. Оценка среднего значения комплексных характеристик поля по окну вычисляется по формуле

$$\bar{I}_j = \frac{\sum_{j=1}^m I_j S_j}{\sum_{j=1}^m S_j} \quad (3)$$

где  $\bar{I}_j$  — оценка комплексной характеристики в  $j$ -й пробе, точка отбора которой попадает в окно;  $S_j$  — представляемое ею пространство (в нашем случае — длина потока, представляемого  $j$ -й пробой);  $m$  — число точек опробования, попавших в окно.





рудную минерализацию (Агдамский антиклинорий).

кристаллические, пелитоморфные известняки; 5 — глины с редкими линзами известняков; чаники, гравелито-песчанистые туфогенные известняки; 8 — чередование аргиллитов, туфосталлические известняки; 11 — известковистые туфоконгломераты, туфобрекчи, туфопесчаники, ки, туфобрекчи, туфогравелиты; 14 — известковистые туфопесчаники, туфогравелиты; 15 — андезит-базальты, 18 — диорит-порфириды, 19 — диоритовые порфириды, сиенит-диорит-пор-21 — габбро; 22 — динамометаморфизованные породы (псевдопорфириды, филлиты, кварцевые в виде жил и вкрапленников; 25 — месторождение полиметаллов; 26 — проявление меди и помедная минерализация в кварцевых жилах и прожилках; 29 — проявление золота и меди; малин; 33 — область обнаружения золота; 34 — наиболее перспективные бассейны стока; 35 — тивности бассейна, в числителе — данные гидрохимии, в знаменателе — донного опробования.

Усредненное комплексное поле строится линейной интерполяцией между точками. В результате составляется небольшое число карт факторов, отражающих пространственную изменчивость геохимических ассоциаций. Такой подход дает возможность не только выделять аномальные участки геохимического поля и по выделенным геохимическим ассоциациям определять тип возможного оруденения, но и оценивать их по степени относительной перспективности.

Выявленные по данным гидро- и литохимических поисков по потокам рассеяния аномальные площади на следующем этапе работ оценивались литогеохимической съемкой масштаба 1 : 10 000 — 1 : 25 000. При этом большое внимание было уделено выбору объекта опробования.

Из соображений экономичности отбор проб в подавляющем большинстве случаев, как известно, производится с глубины не более 0,2—0,4 м. Опыт показывает, что таким образом в пробу отбирается материал из различных генетических горизонтов почв. Но в каждом конкретном случае даже на участке рудного тела количественные изменения одних и тех же элементов в разрезе вторичных литогеохимических ореолов рассеяния могут заметно меняться, что обуславливает известную неопределенность при сравнении результатов комплексных исследований.

С другой стороны, задача сводилась к комплексной интерпретации поисковых признаков, при которой необходимость построения полиэлементных ореолов, отражающих пространственную изменчивость геохимических ассоциаций, также требует применения таких приемов интерпретации, при которых все признаки имеют один масштаб разброса содержа-

ний (содержания многих элементов различаются между собой на порядки).

Применение принципа нормирования признаков по средним значениям, в пределах которых из опробованных объектов (коренные породы, генетические горизонты почв) не теряется информация о степени их рассеяния, позволило, во-первых, опробовать геологические образования со стандартной глубины и, во-вторых, выразить полученную информацию в виде комплексных полиэлементных ореолов. Расчет производился по формуле (1). Средние оценки комплексных характеристик и их дисперсии определялись с помощью ЭВМ «Мир-2» (программа «Свертка»). Графическое выражение результатов счета осуществлялось методом скользящего окна, что позволило выделить закономерную и случайную составляющие и изобразить в изолиниях картину закономерно изменяющегося геохимического поля. Размер окна принят  $2 \times 2$  см, шаг — 1 см в масштабе карты вдоль по профилю и перпендикулярно ему. В настоящее время внедрена программа для расчета оптимального размера и шага окна на ЭВМ «ЕС-1020», что позволило более достоверно выбирать эти параметры.

На рис. 2 представлена карта изоконцентраций обобщенных аномалий по комплексу элементов (участок Касапет). На этой карте выделяется аномальное геохимическое поле, оконтуренное изолинией  $A = 0,6$ , на фоне которого отмечаются три аномальных участка со значениями  $A$  до 1,2 и дисперсий от 1,2 до 2,4. Первая и вторая аномалии, расположенные в западной части участка Касапет, оценены по данным исследований потоков рассеяния II степенью перспективности, третья — восточная аномалия — I степенью (высокоперспективная).

В пределах каждой обобщенной аномалии устанавливался ряд зональности путем анализа нормированного ряда химических элементов по методике Г. А. Вострокнутова (1972) и сравнением рядов зональности по Д. В. Рундквисту и др. (1975). Упорядоченный ряд зональности восточной аномалии участка Касапет представлен (снизу вверх):  $Fe \rightarrow Mo, Cu \rightarrow Cu, Ag \rightarrow Zn, Pb, Ag$ , что согласуется с медно-молибденовой рудной минерализацией. Западная аномалия характеризуется рядом  $Zn \rightarrow Pb \rightarrow Ag$  и фиксирует верхние горизонты медно-молибденового оруденения. Такая же зональность наблюдалась в пределах аномальных бассейнов стока участков Гюлятаг, Амбаринджур и Еддихирман.

Таким образом, результаты геохимических исследований позволили предположить наличие в пределах Агдамской структуры медно-молибденовой порфировой рудной минерализации — типа рудной формации, ранее не характерного для Сомхито-Агдамской структурно-формационной зоны.

Геолого-структурная позиция территории согласуется с этим предположением: Агдамский антиклинорий является краевой структурой Сомхито-Агдамской зоны и граничит по Предмалокавказскому глубинному разлому с Куринским межгорным прогибом. В пределах структуры отмечаются крупные поперечные сбросы — Тертерский и Хачинчайский. В строении структуры принимают участие вулканогенные и вулканогенно-осадочные образования юры и мела. Отложения юры интенсивно интродуцированы различными субвулканическими телами, пластовыми инъекциями, малыми интрузиями и главным Мехманинским массивом гранитоидного состава. В экзоконтактовой зоне интрузив представлен кварцевыми диоритами, тоналитами, диоритами; в экзоконтакте развиты главным образом мелкозернистые порфиroidные их разновидности — кварцевые диорит-порфиры и гранодиорит-порфиры. Дайковый комплекс представлен тремя подфазами пород различного петрографического состава — от базальтового, андезитового, диоритового, гранодиорит-порфиroidного до лампрофиroidного включительно, являющихся или поздними дифференциатами Мехманинского интрузива, или жерловыми фациями вулканических аппаратов.

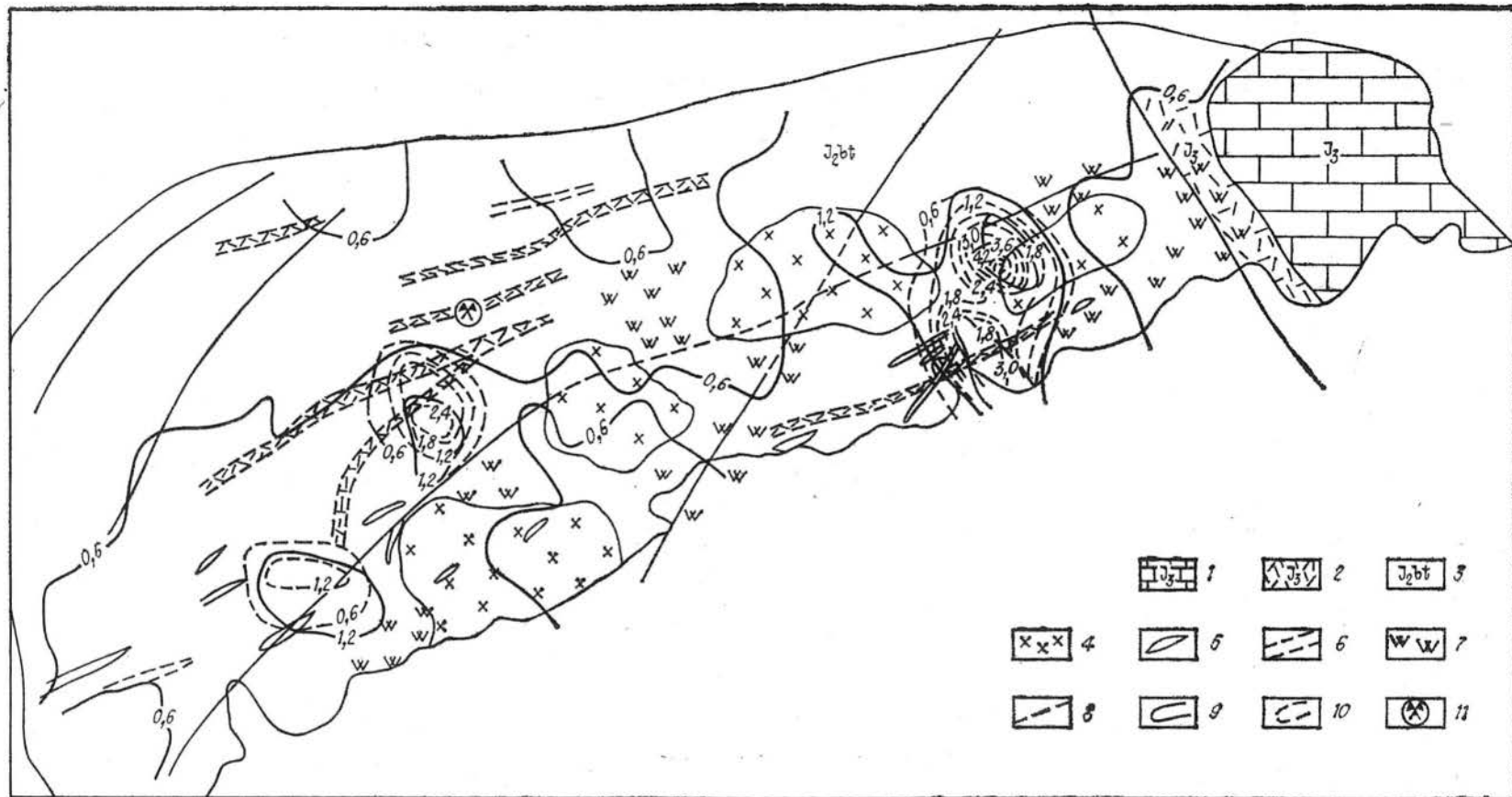


Рис. 2. Карта изоконцентраций обобщенных аномалий меди, молибдена, свинца, цинка, серебра, ванадия (участок Касапет).

1 — известняки верхней юры; 2 — вулканогенные образования верхней юры; 3 — вулканогенные образования бата; 4 — интрузивные породы диорит-порфировитового состава; 5 — дайки порфировитового и диорит-порфировитового состава; 6 — гидротермально измененные зоны; 7 — вторичные кварциты; 8 — тектонические нарушения; 9 — поля концентраций средних (Cu, Mo, Pb, Zn, Ag, V) обобщенных аномалий; 10 — поле дисперсий (Cu, Mo, Pb, Zn, Ag, V) обобщенных аномалий; 11 — Касапетское медно-полиметаллическое проявление.

Бурением скважины в эпицентре восточной Каспетской геохимической аномалии с глубины 40 м вскрыта минерализация прожилково-вкрапленного типа со средним содержанием меди до 0,3% и молибдена до 0,003%.

В результате поисковых работ 1974—1977 гг. в пределах Еддихирманской геохимической аномалии установлена медно-молибденовая минерализация, приуроченная к диоритовым порфирирам, трандиорит-порфирирам и дайкам среднекислого состава. Наблюдения по скважинам (до глубины 300 м) показали закономерное увеличение в целом по разрезу соотношения молибден—медь при их содержаниях, соответствующих промышленным требованиям к медно-молибденовым порфировым рудам.

Выявленные геохимическими методами и подтвержденные последующими геологическими работами перспективы на медно-молибденовое порфировое оруденение в Сомхито-Агдамской структурно-формационной зоне явились основанием для включения поисков руд этого типа в дальнейшие планы геологоразведочных работ.

## ЛИТЕРАТУРА

Вострокнутов Г. А. Некоторые статистические методы выделения геохимических аномалий. — В кн.: Геохимические поиски рудных месторождений. М., «Недра», 1972.

Голева Г. А., Крайнов С. Р., Соколов И. Ю. Методические указания по гидрогеохимическим поискам рудных месторождений. М., «Недра», 1968.

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

Рундквист Д. В., Неженский И. А. Зональность эндогенных рудных месторождений. Л., «Недра», 1975.

Эленбоген А. М., Алексеев В. В. О статистических приемах сравнения разнородных геохимических данных. — В кн.: Математические методы при геохимических исследованиях. Свердловск, 1973.

А. А. Бригинский, А. Б. Дзайнуков, Ю. А. Дьяков, Ю. А. Ладагин,  
И. И. Найденев, Л. Г. Пентегова, Ш. Б. Хисамутдинов, В. З. Фурсов

(Управление геологии СМ ТаджикиССР, ИМГРЭ)

## РЕЗУЛЬТАТЫ ГАЗОРТУТНЫХ ПОИСКОВ В ТАДЖИКИСТАНЕ

В 1971—1973 гг. на ряде крупных месторождений Таджикистана была опробована методика газортутных поисков с целью выявления погребенного и скрытопогребенного оруденения. При этом в почвенном слое четвертичных отложений над всеми исследованными сурьмяно-ртутными, ртутными и полиметаллическими проявлениями были установлены аномальные содержания паров ртути, что позволило в последующие годы (1974—1977 гг.) включить газортутный метод в рациональный поисковый комплекс. Ниже изложены некоторые особенности методики и результаты внедрения метода в практику геологоразведочных работ.

Работы выполнялись на различных рудных полях Центрального Таджикистана и Карамазара.

Магианское и Кавнокское рудные поля, в пределах которых выполнялись опытно-методические работы, входят в Шинг-Магианский рудный район Магиан-Каракульской зоны Зеравшано-Гиссарского сурьмяно-ртутного пояса. В их геологическом строении принимают участие карбонатные породы силура и нижнего девона, с угловым несогласием перекрываемые терригенными песчано-сланцево-кремнистыми отложениями среднего девона и нижнего карбона. К несогласному контакту карбонатных и терригенных отложений приурочен горизонт рудовмещающих брекчий. Мощность его непостоянная и, как правило, увеличивается к осевым час-

тям антиклинальных и синклинальных складок. В замках последних, осложненных разрывными нарушениями, локализованы все известные проявления сурьмы и ртути.

Профили газортутной съемки на месторождениях и рудопоявлениях ртути (Кавнок), сурьмы (Туркпарида), сурьмы и свинца (Южный Каракамар) Магианского рудного района располагались вкрест простирания рудовмещающих структур над известными рудными телами через 100—200 м друг от друга.

На точках опробования в почве пробивались шпуров до глубины 0,2—0,4 м, в которых производились замеры газоанализатором конструкции ИМГРЭ-4, позволяющим фиксировать содержания паров ртути в почвенном воздухе с чувствительностью  $(1-2) \cdot 10^{-8}$  мг/л и средней относительной ошибкой  $\pm 17-30\%$ . В интервалах аномальных концентраций паров ртути и на контрольных пикетах (в количестве 30% от общего количества пикетов) пробивались контрольные шпуров и дублировались замеры. Выявленные аномалии подвергались детализации путем сгущения сети профилей до 10—25 м и уменьшения шага опробования до 5 м. Отбор почвенного воздуха осуществлялся с предварительным накоплением паров ртути на золотом струнном сорбенте при постоянной скорости прокачки (1 л/мин) через зонд в течение 1 мин и с последующей десорбцией паров ртути с сорбента путем возгонки. Фоновое содержание паров ртути в почвенном воздухе варьировало очень незначительно и не превышало  $(1-3) \cdot 10^{-8}$  мг/л.

Для сопоставления вторичных литогеохимических ореолов, рассеяния с газортутными производился отбор проб из рыхлых отложений.

В результате проведенных работ над перекрытыми рудными телами установлены газортутные ореолы рассеяния, площадь которых в плане значительно шире выходов рудных тел на поверхность. Оруденение обнаружено под наносами, достигающими 30 м и более. Рудные тела, скрытые под монолитными песчано-сланцево-кремнистыми отложениями мощностью свыше 5—30 м, фиксировались лишь локальными газортутными ореолами рассеяния, размеры которых определялись шириной тектонических зон и трещин.

Значения концентрации паров ртути в ореолах зависели от минералогического состава руд. Максимальными (до  $1720 \cdot 10^{-8}$  мг/л) они были над ртутными рудными телами месторождения Кавнок. Над сурьмяными рудными телами месторождения Туркпарида концентрации паров ртути в почвенном воздухе не превышали  $312 \cdot 10^{-8}$  мг/л. Наиболее низкой интенсивностью паров ртути (до  $50 \cdot 10^{-8}$  мг/л) обладали аномалии, развитые над сурьмяно-свинцовыми рудами Южного Каракамара (Шут). На скарново-полиметаллическом месторождении Ташбулак в Карамазаре аномалии паров ртути до  $(5-10) \cdot 10^{-8}$  мг/л в почвенном воздухе были зафиксированы над свинцово-цинковыми рудными залежами, погребенными под мощным (100—110 м) чехлом мезозойско-кайнозойских песчано-глинистых отложений (рис. 1).

Первоисточником паров ртути в сурьмяных и ртутных рудах является киноварь, а в сурьмяно-свинцовых и свинцово-цинковых, очевидно, шпатцит, содержащий до 17% ртути.

Прямой зависимости между интенсивностью газортутных аномалий в почвенном воздухе и содержаниями ртути в минерализованных коренных породах не установлено, и обнаружить эту зависимость пока невозможно, поскольку интенсивность газортутных аномалий определяется целым рядом причин, в том числе мощностью и составом перекрывающих рыхлых отложений, степенью эродированности рудных тел, формой нахождения ртути в первичных ореолах и рудах, тектонической трещиноватостью и др.

Анализируя результаты выполненных опытно-методических работ, отметим следующее:

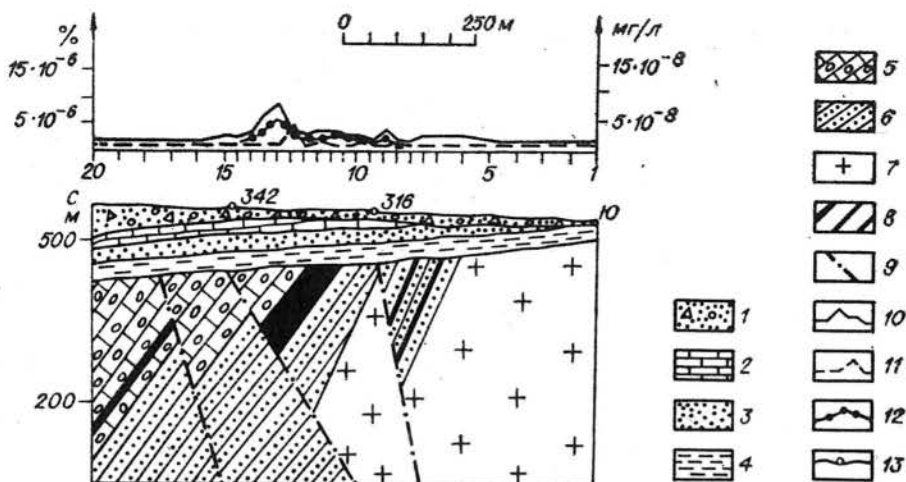


Рис. 1. Графики паров ртути по поисково-структурному профилю II. Участок Долинный, месторождение Ташбулак (скарново-полиметаллическое).

1 — галечники с песком; 2 — известняки палеогена; 3 — кварцевые песчаники палеогена-мела; 4 — бентонитовые глины палеогена-мела; 5 — известняки и мергели верхнего девона; 6 — песчаники и алевролиты верхнего и среднего девона; 7 — гранитоиды; 8 — рудные тела; 9 — тектонические нарушения; 10 — графики содержаний паров ртути в почвенном воздухе; 11 — графики содержаний ртути в рыхлых отложениях; 12 — контрольные графики содержаний паров ртути в почвенном воздухе; 13 — сваяины.

1. Газортутные аномалии довольно четко фиксируют положение рудных тел и минерализованных тектонических зон, «дышащих» парами ртути.

2. Газортутный метод можно использовать для поисков как чисто ртутных, так и комплексных ртутно-сурьмяных, сурьмяных, сурьмяно-свинцовых и свинцово-цинковых месторождений различных морфогенетических типов, находящихся в открытом, скрытом и скрытопогребенном залегании.

3. Газортутная съемка — один из наиболее «экспрессных» и эффективных методов, позволяющих более целенаправленно вести поиски и рациональнее использовать объемы геологоразведочных выработок для вскрытия и прослеживания рудных тел.

На основании полученных результатов разработана методика газортутных поисков \*, которая в 1974—1977 гг. была применена для выявления погребенных и скрытопогребенных ртутных месторождений на площади Рузиобнокского рудного поля на южном склоне Туркестанского хребта (рис. 2).

На изученной площади развиты интенсивно дислоцированные осадочно-метаморфические образования силура, представленные глубоководными глинисто-углистыми и глинистыми сланцами лянгарской свиты (мощностью до 350 м), содержащими прослой и пачки кремнистых сланцев, известняков, алевролитов и песчаников, прибрежно-морскими глинистыми сланцами, алевролитами, алевропесчаниками и песчаниками кштудакской свиты (500—700 м) и ритмичной толщей глинистых и углисто-глинистых сланцев, алевролитов и песчаников (с горизонтом песчано-марказитовых конкреций) падаскской свиты (800—1700 м). Магматические проявления ограничены пятью небольшими (20—30×2—5 м) дайками гранитпорфиров.

Описанные три свиты в районе смяты в ряд асимметричных северо-западных складок. Наиболее крупная из них — Центральная антиклиналь. Ядро ее сложено отложениями кштудакской свиты, а крылья пред-

\* Фурсов В. З. Газортутные поиски рудных месторождений. — «Разведка и охрана недр», 1975, № 3.

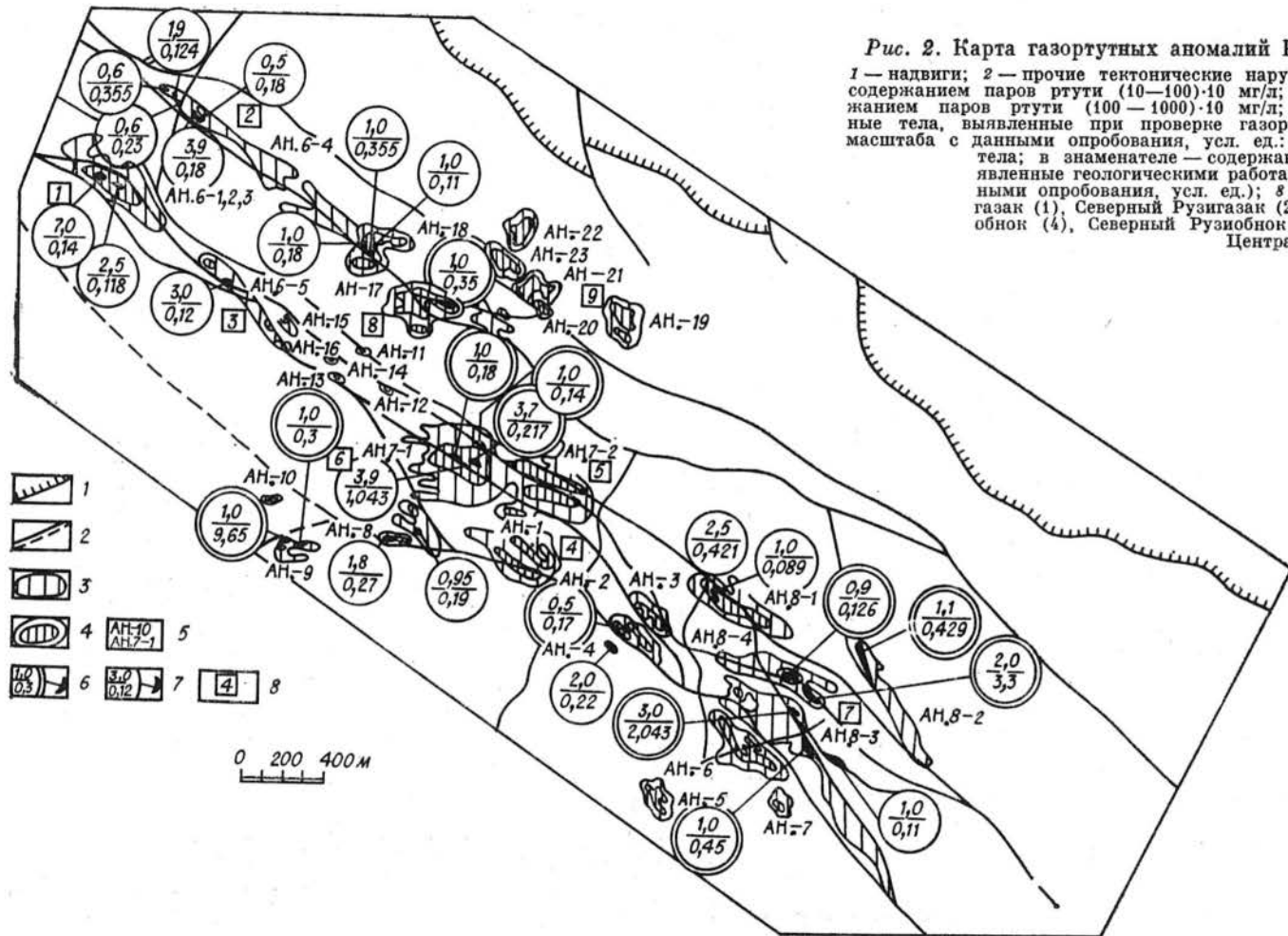


Рис. 2. Карта газортутных аномалий Рузобнокского рудного поля.

1 — надвиги; 2 — прочие тектонические нарушения; 3 — газортутные ореолы с содержанием паров ртути (10—100)·10 мг/л; 4 — газортутные ореолы с содержанием паров ртути (100—1000)·10 мг/л; 5 — номера аномалий; 6 — рудные тела, выявленные при проверке газортутных аномалий (показаны вне масштаба с данными опробования, усл. ед.: в числителе — мощность рудного тела; в знаменателе — содержание ртути); 7 — рудные тела, выявленные геологическими работами (показаны вне масштаба с данными опробования, усл. ед.); 8 — номера рудных участков: Рузигазаз (1), Северный Рузигазаз (2), Восточный Рузигазаз (3), Рузобнок (4), Северный Рузобнок (5), Южный (6), Сарчашма (7), Центральный (8), Северный (9).

ставлены преимущественно породами падакской свиты. Крылья складок рассечены соскладчатыми сколами (Рузиобнокский взброс, Продольная зона скалывания, Кштудакский взбросо-надвиг, Северный взбросо-сдвиг и другие более мелкие оперяющие разрывы).

Поиски проведены на рудопроявлениях Рузигазак, Рузиобнок, Сарчашма, Восточный Рузигазак, Северный Рузигазак, Северный Рузиобнок, Южное, Уата и Хайрабад, размещающихся в сводовой части Центральной антиклинали и в замках других более мелких антиклинальных и синклинальных складчатых сооружений. Главная масса рудной минерализации приурочена к сложно построенной Продольной зоне сколовых нарушений, протягивающихся вдоль шарнира Центральной антиклинали. Небольшая часть ее связана с зоной Кштудакского надвига, осложняющего более пологое северо-восточное крыло Центральной антиклинали. Залежи прожилковых, прожилково-вкрапленных и вкрапленных киноварных руд локализируются в замках приразломных складочек волочения, в мелких секущих и послойных разрывах, а также на участках их сочленения и пересечения. Сложное сплетение пликтивных и дизъюнктивных нарушений обуславливает формирование факеловидных, многоярусных и каркасных рудных тел небольшой протяженности и мощности.

Основная часть оруденения сосредоточена в падакских алевролитах и песчаниках, характеризующихся, по сравнению со сланцами, повышенной пористостью, хрупкостью и трещиноватостью. Сланцы в ядрах и на крыльях складок, вследствие их высокой пластичности, не теряют сплошности и, наряду с тектоническими «глинками», отчетливо экранируют оруденение.

Состав руд довольно выдержан и прост. В основном они сложены киноварью, кварцем, карбонатами (кальцит, анкерит) и дикситом. Другие минералы (галенит, метациннабарит, халькопирит, золото, реальгар, антимонит, блеклые руды, барит, серицит, гематит, аурипигмент и др.) встречаются в рудах в очень незначительных количествах. В зоне окисления часто отмечаются самородные ртуть и сера с лимонитом. Изредка они ассоциируют с каломелью, эггестонитом, терленгуаитом, монтроидитом, арагонитом, гипсом и окислами марганца.

Высокая способность к возгонке ртути из руд и литогеохимических ореолов способствует развитию над рудными телами контрастных ореолов рассеяния паровоздушной ртути, которая накапливается в почвенном слое.

Формы газортутных аномалий сложные — амебо- или линзовидные. Эффективная длина их варьирует от 150 до 600 м и более. Интенсивность аномалий колеблется от  $50 \cdot 10^{-8}$  до  $9300 \cdot 10^{-8}$  мг/л.

В результате выполненных работ выявлено порядка 83 газортутных аномалий, из которых 38 наиболее продуктивны (см. таблицу и рис. 2). Все газортутные аномалии в пределах Рузиобнокского рудного поля четко фиксируют рудные участки — Рузигазак, Рузиобнок, Сарчашма, Северный Рузигазак и др. А в отдельных случаях (участки Южный, Восточный Рузигазак) они развиваются над рудными телами. В частности, при детализации 7 аномалий в пределах участка Сарчашма в 3 из них канавами вскрыты рудные тела. Концентрация паров ртути в почвенном воздухе в пределах этих аномалий составляет  $(150-1200) \cdot 10^{-8}$  мг/л. Протяженность рудных тел 20—30 м при мощности 0,5—2 м.

На Южном участке из рекомендованных трех аномалий одна совпала с ранее выявленным рудным телом мощностью 0,95 м и содержанием ртути 0,19%. При вскрытии канавами второй аномалии обнаружено рудное тело с содержанием ртути до 0,65%.

В целом, в результате проверки 74 газортутных аномалий расширены перспективы известных рудных тел и вскрыто 12 новых с промышленным содержанием металла.



## Результаты проверки газорудных аномалий канавами на участках поисковых работ \*

№ аномалии	Характеристика аномалий	Результаты проверки
1	2	3
<i>Рузигазак</i>		
6-1	Сложная амёбовидная с 5 максимумами в песчаниках и алевролитах в зонах скальвания; $2l=460$ , $2a=60-220$ , $C_1=600$ , $C_2=960$ , $C_3=8550$ , $C_4=8100$ , $C_5=1260$	Максимумы $C_1$ , $C_2$ и $C_3$ не вскрыты из-за большой мощности пролювия — аллювия. На $C_4$ 4 канавы вскрыли рудное тело ( $2L=5-25$ , $2p=1-7$ , $\bar{C}_3=0,18$ ), на $C_5$ 3 канавы — также рудное тело ( $2L=15-20$ , $2p=1-2$ , $\bar{C}_3=0,11$ ). Киноварь, метациннабарит, самородная ртуть, монтроидит, эггелстонит в седло- и линзовидных залежах
6-2	Линзовидная с одним максимумом; $2l=250$ , $2a=30-70$ , $C=1380$	Не вскрыта из-за большой мощности пролювия — аллювия
6-3	Линзовидная с раздувами и пережками с 3 максимумами в глинистых сланцах и алевролитах в зоне продольного разлома; $2l=600$ , $2a=20-70$ , $C_1=1230$ , $C_2=270$ , $C_3=189$	На $C_1$ канавой вскрыто рудное тело ( $2L=10$ , $2p=1$ , $\bar{C}_1=0,1$ ), на $C_2$ двумя канавами — также рудное тело ( $2L=60$ , $2p=3$ , $\bar{C}_2=0,12$ ). Киноварь, монтроидит, пирит в линзовидной залежи. На $C_3$ канавой вскрыта зона продольного разлома, возможно, рудное тело на глубине
<i>Северный Рузигазак</i>		
6-4	Линзовидная с раздувами с 4 максимумами в песчаниках и алевролитах оперяющих трещин; $2l=760$ , $2a=20-150$ , $C_1=96$ , $C_2=66$ , $C_3=360$ , $C_4=66$	На $C_1$ , $C_2$ , $C_3$ и $C_4$ канавами вскрыто рудное тело ( $2L=15-20$ , $2p=1$ ). Киноварь, монтроидит, галенит, лимонит в линзовидных залежах
<i>Восточный Рузигазак</i>		
6-5	Линзовидная с 4 максимумами в песчаниках и алевролитах в зоне сколовых нарушений; $2l=180$ , $2a=20$ , $C_1=339$ , $C_2=153$ , $C_3=258$ , $C_4=219$	На максимуме $C_1$ задана канава, которая вскрыла зону каолинизации и лимонитизации $C_1=0,001$ , возможно наличие слепой залежи на глубине. На $C_2$ канавы не задавались, на $C_3$ канавы вскрыли вкрапленность монтроидита, на $C_4$ 5 канав — рудное тело ( $2L=10-30$ , $2p=1$ , $C_4=0,2$ )
<i>Рузиобнок</i>		
7	Сложная ветвящаяся амёбовидная с 12 максимумами в глинистых сланцах, песчаниках и алевролитах. Концентрация в максимумах 500—3450	На максимуме $C_4$ 3 канавы вскрыли тело ( $2L=20$ , $2p=2$ , $C_4=0,14$ ), на максимумах 6, 8 и 9 выявлено 8 канавами тело ( $2L=20-30$ , $2p=1-3,7$ , $\bar{C}_6, 8, 9=0,4$ ), на максимуме $C_7$ 3 канавы — тело $2L=30$ , $2p=2$ , $\bar{C}_7=0,17$ , на максимуме $C_{10}$ канавой — тело $2L=50$ , $2p=1$ , $\bar{C}_{10}=0,1$ . Киноварь, монтроидит, самородная ртуть, каломель, аурипигмент, реальгар, сфалерит, халькопирит, пирит. Остальные максимумы в линзообразных телах канавами не вскрывались
1	Линзообразная с одним максимумом в песчаниках и алевролитах; $2l=150$ , $2a=30$ , $C=1230$	5 канав и скважина № 38 вскрыли редкую вкрапленность киновари в песчаниках

1	2	3
2	Линзовидная с одним максимумом в песчаниках и алевролитах; $2l=240$ , $2p=30$ , $C=560$	Скважинами № 36 и 37 вскрыта редкая крапленность киновари в песчаниках
<i>Северной Рузиобок</i>		
7-2	Линзовидная с 4 максимумами в песчаниках и алевролитах; $2l=610$ , $2a=10-110$ , $C_1=500$ , $C_2=9300$ , $C_3=1080$ , $C_4=5550$	На максимуме $C_3$ канавой вскрыто рудное тело в форме линзы ( $2L=20$ , $2p=1$ , $C_3=0,13$ ), остальные максимумы канавами не вскрывались
<i>Южный</i>		
7-3	Ветвящаяся линза с одним максимумом в песчаниках и алевролитах; $2l=260$ , $2a=30-40$ , $C=120$	На максимуме 3 канавами вскрыто тело ( $2L=30$ , $2p=1,5$ , $C=0,3$ ). Киноварь в линзах зоны нарушений
8	Линзовидная с одним максимумом в песчаниках и алевролитах; $2l=160$ , $2a=30$ , $C=170$	Совпадает с известным рудным телом в форме линзы в зоне тектонического нарушения. Киноварь
9	Линзообразная с одним максимумом в песчаниках и алевролитах; $2l=240$ , $2a=110$ , $C=198$	На максимуме 6 канавами вскрыто рудное тело ( $2L=15-20$ , $2p=1$ , $C=0,3$ ). Киноварь в линзообразной залежи
10	Линза с одним максимумом в песчаниках и алевролитах; $2l=70$ , $2a=15$ , $C=190$	Проверка не проводилась
<i>Сарчаиша</i>		
8-1	Ветвящаяся линза с одним максимумом в песчаниках и алевролитах; $2l=800$ , $2a=10-140$ , $C=1050$	Большая мощность пролювиальных отложений, аномалия не проверялась
8-2	Ветвящаяся линза с одним максимумом в песчаниках и алевролитах зоны сколовых нарушений; $2l=760$ , $2a=10-70$ , $C=250$	4 канавами вскрыто тело ( $2L=20-40$ , $2p=0,9-1,5$ , $C=0,15$ ). Киноварь в линзовидной залежи
8-3	Ветвящаяся линза с 4 максимумами в зоне Продольного разлома в песчаниках и алевролитах; $2l=1400$ , $2a=10-200$ , $C_1=255$ , $C_2=300$ , $C_3=240$ , $C_4=80$	На максимуме $C_1$ вскрыто тело ( $2L=40$ , $2p=3$ , $C_1=0,4$ ), на $C_2$ — дробленые алевролиты с бедной вкрапленностью киновари, на $C_3$ — тело ( $2L=20$ , $2p=1$ , $C_3=0,2$ ), на $C_4$ — тело ( $2L=26-30$ , $2p=1,5$ , $C_4=0,09$ ). Киноварь в линзах тектонического нарушения
8-4	Ветвящаяся линза с 2 максимумами в песчаниках и алевролитах зон сколовых нарушений; $2l=600$ , $2a=20-90$ , $C_1=615$ , $C_2=510$	На одном максимуме вскрыта 2 канавами рудная линза ( $2L=15-20$ , $2p=1-3$ , $C=1,6$ ), на максимуме 2 — тело ( $2L=20-25$ , $2p=1-1,5$ , $C=0,24$ ). Киноварь
3	Линзообразная с одним максимумом в песчаниках и алевролитах; $2l=200$ , $2p=30$ , $C=951$	4 канавами вскрыта редкая вкрапленность киновари в песчаниках
4	Линзообразная с одним максимумом в песчаниках и алевролитах; $2l=260$ , $2a=25$ , $C=591$	6 канавами вскрыто тело ( $2L=10-15$ , $2p=0,5$ , $C=0,17$ ). Киноварь в виде линзы в тектонической зоне
5	С одним максимумом в алевролитах и песчаниках; $2l=200$ , $2a=100$ , $C=336$	Задана канава, которой вскрыта рудная минерализация. Возможно наличие слепого тела
6	Аномалия с одним максимумом в алевролитах и песчаниках; $2l=210$ , $2p=80$	8 канавами вскрыта редкая вкрапленность киновари в алевролитах и песчаниках
7	Линзообразная с одним максимумом в алевролитах и песчаниках; $2l=80$ , $2p=25$ ; $C=1040$	Одной канавой вскрыта зона дробления в песчаниках. Возможен основной источник аномалии на глубине

1	2	3
<i>Центральный</i>		
11-16	Линзообразная с одним максимумом в алевролитах и песчаниках; $2l=150-200$ , $2a=50-100$ , $C=150$	Проверка не проводилась
17	Сложная амёбовидная с 2 максимумами в алевролитах и песчаниках; $2l=200$ , $2a=130$ , $C_1=1102$ , $C_2=4275$	Большая мощность перекрывающих четвертичных отложений не позволила аномалию вскрыть канавами
18	С 1 максимумом в алевролитах и песчаниках; $2l=200$ , $2a=100$ , $C=3800$	4 канавами вскрыта зона дробления с редкой вкрапленностью монтроидита. Возможно наличие слепого тела
<i>Северный</i>		
19-23	Сложная амёбовидная с 8 максимумами в песчаниках и алевролитах. Концентрации паров ртути изменяются в максимумах от 90 до 1000; $2l=60-200$ , $2a=50-100$	Аномалия перекрыта четвертичными отложениями мощностью 7-8 м. Осталась не проверенной.
<i>Ута</i>		
8-3	Сложная амёбовидная с 4 максимумами в песчаниках и алевролитах зоны сколовых нарушений; $2l=800$ , $2a=100-360$ , $C_1=156$ , $C_2=258$ , $C_3=240$ , $C_4=222$	На $C_1$ 7 канавами вскрыто рудное тело ( $2L=10-80$ , $2p=1-5$ , $C=0,24$ ). Киноварь, на $C_4$ — окварцованные песчаники с вкрапленностью киновари, на $C_2$ и $C_3$ проверка не проводилась

\*  $2l$  — эффективная длина газортутного ореола рассеяния, м;  $2a$  — ширина, м;  $C$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  и т. д. — концентрации паров ртути в почвенном воздухе в максимумах аномалий ( $\cdot 10^{-8}$  мг/л);  $2L$  — протяженность рудного тела;  $2p$  — мощность,  $\bar{C}$  — среднее содержание ртути в рудных телах.

Все известные в пределах Рузобнокского рудного поля 48 рудных тел четко фиксируются газортутными аномалиями интенсивностью  $(50-9300) \cdot 10^{-8}$  мг/л паров ртути.

Приведенные данные говорят о высокой эффективности применения газортутного метода для поисков ртутных месторождений, перекрытых рыхлыми отложениями. Для широкого внедрения этого метода необходимо наладить серийный выпуск газоанализаторов типа ИМГРЭ-4.

*Л. С. Галецкий, М. М. Комский, С. М. Лепилин,  
Б. Ф. Мицкевич, А. Д. Пилипчук  
(Трест «Киевгеология»)*

## ГЛУБИННЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ В ЗАКРЫТЫХ РАЙОНАХ УКРАИНЫ

Территорию Украинской ССР по рельефу и мощности чехла осадочных отложений, а также по климатическим показателям разделяют на 16 ландшафтно-геохимических районов. Наиболее благоприятны для ведения геохимических съемок Украинский щит, Донбасс, Карпаты и Горный Крым. Эти же регионы наиболее перспективны по своим металлогеническим особенностям. Донбасс, Карпаты и Горный Крым представляют собой складчатые области с характерным распределением мощностей осадочных отложений. Каждая расположена в пределах одной климатической зоны, что предопределяет благоприятные условия для использования геохимических методов при поисках рудных месторождений.

Особое место занимает Украинский щит (УЩ), значительные резервы рудных месторождений которого скрыты под мощным чехлом осадочных отложений. Исходя из того, что большинство их связано с коренными породами (кроме осадочных месторождений титана, марганца и др.), важное значение приобретает выявление геохимической связи кристаллического фундамента с поверхностью. С этих позиций здесь выделяются три категории площадей — геохимических ландшафтов: I — с прямой связью, II — с затрудненной и III — с отсутствием связи. Поверхностные геохимические съемки возможны лишь на площадях I категории, составляющих 7,5% к площади щита.

На остальной его территории, в связи с тем, что мощность чехла осадочных отложений более 5—10 м, геохимические поиски связаны в основном с использованием глубинных вариантов. Горизонтом опробования при этом является кора выветривания кристаллических пород, и в отдельных случаях, континентальные отложения палеоген-неогенового возраста.

В результате проведенных геохимических исследований УЩ определены специфические особенности нахождения микроэлементов и развития первичных ореолов в докембрийских метаморфических и магматических комплексах. Характер распределения химических элементов среди докембрийских образований чрезвычайно сложный, что обусловлено прежде всего интенсивным и неоднократным метаморфизмом осадочно-вулканогенных и магматических пород, а также влиянием наложенных метасоматических процессов. Это требует восстановления сложной истории поведения химических элементов в ходе последовательно формирующихся продуктов магматизма и метаморфизма.

Определены следующие главные особенности развития первичных ореолов среди докембрийских метаморфических комплексов. Во-первых, обращает на себя внимание большое количество элементов (нередко 15 — 20), образующих аномальные концентрации, их разнообразие и сложные сочетания. Это связано с широким развитием метаморфических и метасоматических процессов, вызвавших рудообразование, сопровождающихся мобилизацией из вмещающих пород различных элементов. Примечательно, что метасоматические процессы наиболее активно и продуктивно проявляются в контактных зонах кислых и основных пород (реакции кислотно-основного взаимодействия). Такая обстановка усугубляет разнородность аномальных ассоциаций: так, нередки сочетания аномальных концентраций Be, Sn, TR, Zr, Pb, Zn, Cu, Mo, Co, Ni, V.

Во вторых, зональность ореолов осложнена, нередко затуманена в результате особых условий развития процессов рудообразования в докембрии: их длительности (иногда сотни миллионов лет), многостадийности и многостадийности; охвата рудообразующей системой огромных масс вмещающих пород; значительным влиянием анизотропности среды, определяющим сложный характер миграции элементов; высокими параметрами давления и температуры.

Таким образом, первичные ореолы докембрийских рудоносных образований развиваются в условиях решающего влияния вмещающей среды. Главные критерии оценки первичных геохимических ореолов — благоприятная геологическая позиция аномалий, дифференцированность геохимических полей, зональность первичных ореолов.

Литогеохимические методы поисков по первичным ореолам применяются при геологосъемочных и поисковых работах. Доказана высокая эффективность метода для поисков цветных и редких металлов, пьезокварца. В пределах УЩ на площади развития метасоматических пород гранитоидной щелочной формации проведено геохимическое картирование по глубоким развалам, высыпкам, керну скважин. В результате открыто редкометальное месторождение в новом районе. Изучение первичных ореолов,

их зональности позволило выявлять слепые рудные тела на глубине от 50 до 300 м и более от современного среза кристаллического фундамента. В Закарпатье изучаются первичные геохимические ореолы ртутного и золото-полиметаллического оруденения. С помощью полученных данных обнаруживаются новые перспективные площади и ориентируются поисковые работы на флангах и глубинных горизонтах рудных полей. Выявлены скрытые рудные тела.

В Донбассе установлены параметры зональности ртутного оруденения, что дает возможность вести поиски скрытого оруденения на глубинах по 300—500 м и более.

**Литогеохимические методы поисков по вторичным ореолам и потокам рассеяния** имеют ряд ограничений. Для закрытых районов УЩ определена эффективность применения поверхностных методов при поисках редкометального оруденения при мощности аллохтонных отложений 5—7, иногда до 20 м. Показано развитие вторичных ореолов рассеяния, обусловленных никелевым и редкоземельным оруденениями при мощности рыхлых отложений до 30—40 м. В пределах развития медных и никелевых проявлений по потокам рассеяния установлены аномалии Ni, Co, Cu, Pb, Zn, Mo при мощности наносов 10—60 м. Проверкой этих ореолов бурением были выявлены тела серпентинитов, перспективные на никелевое оруденение. В Закарпатье площадные поверхностные литогеохимические съемки выполняются в связи с поисками полиметаллов, ртути, золота, барита. Удовлетворительные результаты получены при мощности наносов 10—15 м.

**Гидрогеохимические методы поисков** проводились в пределах УЩ и его склонов, в Закарпатье, Донбассе. Применение их целесообразно для перспективной оценки закрытых структурно-металлогенических зон, а также при оценке флангов рудных районов и полей при мощности наносов до 100—200 м.

**Биогеохимические методы поисков** апробированы в северо-западной части УЩ и в Закарпатье. Над редкометальным рудным полем выявлены биогеохимические ореолы (по сосне, березе) редких металлов, четко оконтуривающие рудные зоны при мощности наносов до 20 м. В Закарпатье полиметаллическое оруденение фиксируется при мощности наносов до 50—60 м.

**Атмогеохимические методы** используются при поисках ртути в Донбассе и Закарпатье. Аномалии ртути были установлены над рудными телами, залегающими на глубине до 200 м. Газортутные поиски являются опережающим методом изучения перспективных на ртуть площадей в комплексе с геофизическими методами. Апробируется применение газортутных методов при выделении и оценке зон глубинных разломов в пределах УЩ и других регионов Украины.

Особый интерес представляют поиски месторождений нефти и газа в Днепровско-Донецкой впадине, где проводится площадная гелиевая съемка. Как известно, газовые и нефтяные залежи обладают значительно большей удельной емкостью к гелию, чем первичный раствор, заполняющий поры пород. В связи с этим в период образования и геохимической молодости их воздействие на первоначальное распределение гелия эквивалентно отрицательному источнику. Концентрации гелия над залежью в этой стадии уменьшаются. В результате насыщения залежи гелием начинается его рассеяние, концентрация вблизи залежи возрастает, знак аномалии меняется на положительный. Кроме возраста и глубины образования залежей, на амплитуду гелиевой аномалии значительно влияют структура района, наличие тектонических нарушений, характер термодинамической обстановки при изменении гипсометрического положения залежи относительно дневной поверхности в процессе роста структур и ряд других факторов. Пробы отбираются из бурового раствора специальных геохимических скважин при достижении ими представительных горизонтов —

мергелей киевской свиты, песков бучакской свиты. Строятся карты изоконцентраций гелия, поверхности тренда, выделяются положительные и отрицательные аномалии. Геологическая интерпретация результатов гелиевой съемки проводится с учетом комплекса геофизических работ. Выделены аномальные зоны, соответствующие известным месторождениям и площадям, перспективным для их нахождения. Глубинность метода до 5—8 км.

В последние годы на Украине апробировались глубинные геохимические поиски с применением бурения. В пределах УЩ они осуществлялись в условиях моренно-зандровой равнины и лесостепного района при мощности аллохтонных образований до 50 м. Применялось бурение шнековым способом станком УРБ-50 м.

При геологической съемке масштаба 1 : 200 000 проводилось глубинное геохимическое картирование в профильном варианте, при геологической съемке масштаба 1 : 50 000 выполнялись площадные поиски по сети 1500×250 м, 400×100 м и др. В гидрослюдисто-каолининовом горизонте коры выветривания были выявлены остаточные ореолы редких элементов. Профильные работы позволили определить геохимическую специализацию структурно-металлогенических зон и выделить в их пределах площади, перспективные на цветные и редкие металлы. Площадные глубинные поиски проводились на рудопроявлении молибдена. На этом рудопроявлении и его флангах при мощности аллохтонных отложений 20 м выявлены в коре выветривания остаточные ореолы Mo, Cu, Zn, Mn, Co площадью до 700×250 м. Полученные данные расширили перспективную площадь.

Глубинные геохимические исследования применялись также для оценки геофизических аномалий, выявленных методами вызванной поляризации, электропрофилирования, магнитометрии и гравиразведки. В корах выветривания обнаружены аномалии меди, свинца, цинка, никеля, молибдена, редких металлов. Это позволило определить рудоперспективность характерных типов геофизических аномалий и рекомендовать их для проверки, в результате осуществления которой были выявлены зоны грейзенизации, щелочного метасоматоза, сульфидизации, пегматиты, перспективные на цветные и редкие металлы.

Поверхностными литогеохимическими (металлометрическими) съемками на изученных участках открытых геохимических аномалий не обнаружено.

Таким образом, показана эффективность глубинных литогеохимических методов для условий Украины. Особое значение они имеют на площадях, где развиты культурные ландшафты с нарушенными геохимическими ассоциациями элементов. Представительным горизонтом для опробования являются кора выветривания докембрийских образований и базальные слои перекрывающих осадочных отложений.

Определена следующая последовательность геохимических исследований на Украине: ландшафтно-геохимические исследования и опытные работы; рекогносцировочная съемка по потокам рассеяния для выделения перспективных площадей; литогеохимические поиски по вторичным ореолам — для локализации участков; поиски по первичным ореолам — для выявления месторождений или их эндогенных ореолов. Особое внимание уделяется комплексированию геохимических и геофизических методов, проведению опережающего геохимического картирования выделенных в результате прогнозно-металлогенических исследований перспективных площадей и геохимическим поискам с применением шнекового и колонкового бурения.

## К МЕТОДИКЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ В ПОЛУЗАКРЫТЫХ И ЗАКРЫТЫХ РАЙОНАХ БУРЯТИИ

Средне- и крупномасштабные геохимические поиски на преобладающей части наиболее обнаженных и открытых площадей Бурятии к настоящему времени завершены. На этих площадях геохимическими методами выявлено большое количество различных рудопроявлений, а геохимическими аномалиями обозначились, по-видимому, все непокрытые эродированные месторождения большой группы рудных элементов. В первую очередь это относится к молибдену, цинку и свинцу, которые с достаточной чувствительностью анализировались во всех пробах на протяжении всего периода массового применения геохимических методов поисков. Если бы чувствительность анализа была достаточной на все элементы, этап среднимасштабных геохимических съемок, законченный на нашей территории в 1972 г., завершился бы выявлением непокрытых эродированных месторождений всех рудных элементов. Однако имеются неблагоприятные в этом плане элементы, чувствительность анализа на которые все время оставалась низкой. К ним относятся золото, вольфрам, висмут, мышьяк, ртуть. Теперь приходится доизучать и переоценивать на эти элементы ряд ранее исследованных площадей. Но даже с учетом этой работы средне- и крупномасштабная геохимическая съемка на открытых площадях может быть полностью завершена в республике в короткий срок. Сейчас объем проб, ежегодно отбираемых при геохимических поисках, распределен примерно так: 40% — крупномасштабная геохимическая съемка и доизучение открытых площадей; 40% — детализация и оценка аномалий на открытых и полузакрытых площадях; 20% — геохимические поиски на полузакрытых и закрытых площадях.

Необходимо отметить, что геохимические поиски в полузакрытых и закрытых районах Бурятии следует резко расширить. К таким выводам приводит анализ ландшафтно-геохимической обстановки, геохимической изученности территории республики и размещения всех рудопроявлений и месторождений. Остановимся только на двух вопросах методики геохимических поисков в полузакрытых и закрытых районах Бурятии: районирование территории по условиям геохимических работ и особенности этих условий на некоторых месторождениях, выявленных с помощью геохимических методов.

Изучение и районирование природной обстановки на нашей территории проводилось и ранее, но в связи с расширением поисков в закрытых районах приобретает теперь еще более важное значение, поскольку невозможно достоверно оценить эффективность различных геохимических методов и повышать ее, если отсутствуют хорошо разработанная классификация условий геохимических поисковых работ и достаточно точные соответствующие карты.

Существует производственная необходимость в составлении средне- и крупномасштабных карт условий геохимических поисков. Среднимасштабные карты предназначены для планирования, оценки эффективности геохимических работ и геохимической изученности определенных рудных районов или более значительной площади; крупномасштабные и детальные карты — для количественной обработки геохимических полей и разбраковки аномалий, обобщения опыта их оценки. При составлении карт условий учитываются следующие факторы: морфоструктуры и границы усиленной эрозии и денудации, кайнозойские отложения и степень перекрытости ими площадей, палео- и современная ландшафтная обстановка, геологическое строение. Районирование условий геохимических поисков основыва-

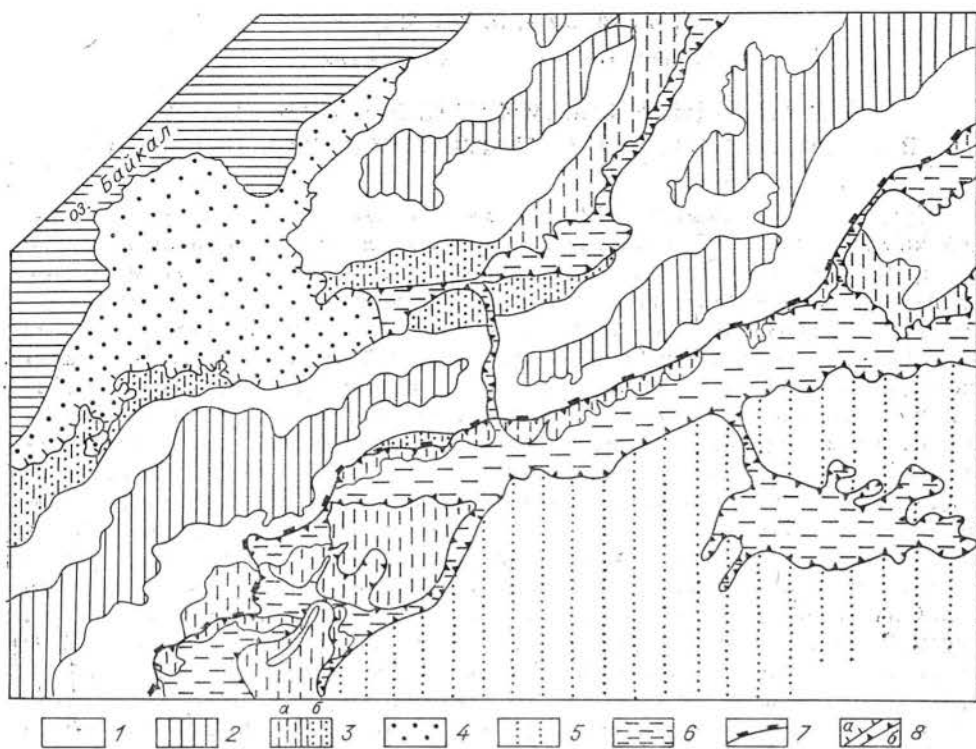


Схема условий геохимических поисков (фрагмент центральной части Бурятии). Составлена Э. Ф. Жбановым, Т. С. Бердниковой, С. А. Смирновой.

1 — открытые площади; 2 — преобладание открытых площадей с реликтами доплиоценовых кор выветривания; 3 — чередование полузакрытых (а) и открытых (б) площадей; 4 — максимально закрытые площади; 5 — полузакрытые и закрытые; 6 — закрытые; 7 — граница стран интенсивного и умеренного горообразования; 8 — впадины: а — байкальского типа, б — забайкальского.

ется на методологических принципах, разработанных А. И. Перельманом (1966, 1975), В. И. Красниковым (1959), Ю. В. Шарковым, А. С. Милыевым (1973), Н. П. Костенко (1970). В значительной степени разгруженный фрагмент среднемасштабной схемы условий геохимических поисков для территории площадью около 20 тыс. км<sup>2</sup> приводится на рисунке. В условных обозначениях этого рисунка и в таблице дается классификация полузакрытых и закрытых районов.

Условия геохимических поисков рассмотрим на примерах различных рудных месторождений. При этом считаем целесообразным учесть имеющиеся сведения о выветрелости, степени окисления и выщелачивания руд, так как они имеют прямое отношение к проявлению вторичных ореолов.

**Молибденовые месторождения** и рудопроявления представляют самую многочисленную группу примеров эффективного применения геохимических поисков. К числу наиболее значительных открытий последних лет относятся следующие молибденовые месторождения: Мало-Ойногорское (1970 г.), Харитоновское (1972 г.), Худанское (1974 г.), Ново-Павловское (1975 г.), Колтыгейское (1976 г.), Колобковское (1977 г.). Три из них являются первыми представителями новой для Бурятии рудной молибденовой формации в нижнепалеозойских (Мало-Ойногорское) и триасовых эффузивах (Худанское, Колтыгейское). Все месторождения расположены на полузакрытых и частично закрытых площадях и, кроме Мало-Ойногорского, попадают в полосу развития низкогогорья и среднегогорья Южной Бурятии, в той или иной степени перекрытых золотыми отложениями. Районы, в которых находятся перечисленные месторождения, относятся к числу



## Классификация основных природных факторов, используемых для среднемасштабного районирования условий геохимических поисков

Условия геохимических поисков	Ландшафты, процессы окисления руд	Морфоструктуры	Кайнозойские отложения на склонах и водоразделах
1	2	3	4

## Байкальская страна интенсивного горообразования

Открытые площади	Зона чередования горно-таежных, гольцовых ландшафтов с простой историей развития и редкими реликтами доплиоценовых кор выветривания. Зоны окисления и выщелачивания эродированы в период горообразования	Наиболее расчлененная горная зона с интенсивной эрозией и денудацией с плиоцена по настоящее время; соответствует главной стадии горообразования	При преобладании дефлюкционных чередование дефлюкционных, солифлюкционных, гравитационных отложений мощностью 0,5—3 м
Преобладание открытых площадей	Зона чередования горно-таежных темновойных, тундровых, болотных и гольцовых ландшафтов с реликтами доплиоценовых кор выветривания, озерно-речных отложений. Повсеместно развиты зоны окисления и выщелачивания сульфидных месторождений	Слабо расчлененная горная зона с доорогеной поверхностью выравнивания; соответствует начальной стадии горообразования	Чередование солифлюкционных, дефлюкционных отложений, курумов с реликтами перетолженных кор выветривания глинисто-слиудистого состава. Мощность отложений 0,5—5 м
Чередование полузакрытых и открытых площадей	Зона чередования горно-таежных светловойных и лесостепных ландшафтов, частично развивающихся на реликтах доплейстоценовых кор выветривания, плейстоценовых золовых и других аллохтонных отложений	Окраинная низкогорная зона, вместе с расчлененной и втянутой в поднятые частью межгорных впадин, умеренная эрозия и денудация	Чередование дефлюкционных, делювиальных, пролювиальных отложений. Мощность отложений 0,5—5 м
Максимально закрытые площади	Чередование лугово-степных, степных, болотных, таежнокотловинных и аквальных ландшафтов со сложной историей развития	Впадины Байкальского типа	Палеоген-четвертичные озерно-речные, озерно-болотные отложения мощностью 500—5500 м

## Забайкальская страна умеренного горообразования

Полузакрытые и закрытые площади с подчиненным количеством открытых площадей	Чередование южнотаежных, лесостепных ландшафтов, развивающихся на позднеплейстоценовых золовых и других аллохтонных отложениях. Развиты зоны окисления сульфидных руд	Горная зона, претерпевшая главную стадию горообразования в мезозое и слабую активизацию в четвертичном периоде	Двухчленные золово-дефлюкционные, золово-делювиальные, золовые и полигенетические аллохтонные отложения мощностью 1,5—15 м
Закрытые площади	Чередование степных, горно-степных и луговых ландшафтов со сложной историей развития	Впадины Забайкальского типа	Палеоген-четвертичные озерно-речные и другие отложения мощностью 20—300 м; покровы базальтов мощностью до 100 м

наиболее изученных в Бурятии. В этой связи интересен сам по себе факт открытия новых месторождений в, казалось бы, достаточно хорошо опосредованных районах.

Для ландшафтно-геоморфологических и ландшафтно-геохимических условий этих месторождений характерны следующие особенности. Месторождения находятся в зоне лесных и лесостепных ландшафтов с очень редкими проявлениями многолетней мерзлоты. Они в большинстве расположены на водоразделах, но на их площади полностью отсутствуют коренные обнажения оруденелых пород, редко встречается и глыбовый материал с реликтами эндогенного оруденения. Зато повсеместно развиты рыхлые отложения или дресвянистая кора выветривания мощностью 0,5—5 м. Выраженные во всех случаях зоны окисления и выщелачивания руд, так же как зоны дезинтеграции и осветления вмещающих пород — реликты доплиоценовых ландшафтных обстановок. Преобладание выщелоченных руд на поверхности эрозионного среза и наличие покровных рыхлых отложений являются причиной отсутствия очень контрастных вторичных ореолов и потоков рассеяния. Вместе с тем ослабленные вторичные ореолы и потоки достаточно точно указали местоположение всех рудных зон, тогда как визуальные поиски и шлиховая съемка, исполняемые по традиционной методике, не могут обеспечить при указанной обстановке даже приблизительного наведения на оруденение. Поэтому названные месторождения были пропущены при средне- и крупномасштабной геологической съемке. Но и в процессе оценки геохимических аномалий они были распознаны не сразу. Во всех случаях оруденение промышленного характера было установлено в основном после буровых работ, и только в одном случае изучение поверхности привело к открытию малоокисленного рудного тела.

По степени проявления ореолов и сложности ландшафтной обстановки месторождения можно подразделить на две группы: а) с полузакрытыми и ослабленными вторичными ореолами (Мало-Ойногорское и др.); б) с закрытыми и полузакрытыми вторичными ореолами (Ново-Павловское и др.). На месторождениях второй группы закрытые вторичные ореолы связаны с широким развитием эоловых и эолово-делювиальных отложений на склонах и в распадках, что приводит к необходимости применения биогеохимического метода поисков, а также метода, основанного на опробовании различных форм нахождения элементов. Эоловые, эолово-делювиальные и полигенетические (озерно-речные с эоловой примесью) отложения занимают не менее 15% территории в южной и юго-восточной частях Бурятии.

**Полиметаллические рудопроявления** — вторая группа примеров эффективного применения геохимических поисков. Около 10 рудопроявлений открыто с помощью геохимических поисков (Жбанов и др., 1973; Сливинский, Нефедьев, 1977). Следует отметить, что на двух наиболее интересных колчеданно-полиметаллических месторождениях Бурятии — Озерном и Холоднинском — комплексные, но не контрастные геохимические аномалии были выявлены в 1962—1964 гг., еще до обнаружения самого оруденения. Однако первоначально они не привлекли большого внимания, так как содержание элементов во вторичном ореоле, выявленном в результате крупномасштабной геохимической съемки и обозначающем, например, Озерное месторождение, составляло (в вес. %): цинка — 0,01—0,05, свинца — 0,1—0,6, марганца — 0,2—0,8, бария — 0,01—0,02, меди — 0,01—0,03. Только по свинцу содержание находилось на уровне второго аномального значения, а по остальным элементам оно соответствовало нижнему аномальному пределу. Класс крупности, так же как и формационный тип ожидаемого рудного объекта, по данному ореолу не был распознан. Но как выяснилось позже, этот ореол достаточно правильно указывал местоположение и размеры рудного поля, а после детализации — и самого месторождения (Филько и др., 1979).

Методический просчет, выражающийся в недооценке значения слабых геохимических аномалий, в данных двух случаях связан с недостаточным учетом условий геохимических поисков. Оба этих месторождения, как и выше рассмотренные молибденовые, расположены также на полузакрытых и частично на закрытых площадях, с той лишь разницей, что на Холдинском месторождении аллохтон представлен комплексом различных ледниковых отложений. На обоих месторождениях встречаются зоны с сильно выщелоченными рудами, содержание цинка в которых на один порядок ниже, чем в нижезалегающих рудах, слабо затронутых процессами выветривания. Это обстоятельство, наряду с наличием на месторождениях солифлюкционных и дефлюкционных отложений мощностью 1—5 м, значительно ослабило вторичные ореолы цинка на поверхности. Избирательное выветривание колчеданно-полиметаллического оруденения приводит к изменению соотношения цинка и свинца, которое в свежих и слабовыветрелых рудах колеблется в пределах 10 : 1—8 : 1, а в зоне гипергенеза — 2 : 1—1 : 10.

**Вольфрамовые и оловянные месторождения и рудопроявления** с помощью геохимических методов долгое время выявить не удавалось в связи с особенностями ореолов вольфрама, которым свойственны небольшие размеры, а еще чаще — поля разрозненных аномальных точек, что объясняется полузакрытым и закрытым характером механических ореолов вольфрама и слабой чувствительностью спектрального анализа. Для выявления четких ореолов вольфрама, а также олова и золота требуется применение более высокочувствительных аналитических методов или глубинного опробования даже на площадях с относительно небольшим по мощности покровом — 1,5—2,5 м.

Шлиховое опробование, выполненное по традиционной методике, несмотря на очень широкое применение его по всей территории республики, положительно себя показало на вольфрам и олово в довольно редких случаях — в районе известного Холтосонского месторождения и единичных рудопроявлений вольфрама в Джидинском рудном районе (1930—1940 гг.), а также Амалатского (1952—1954 гг.), Паренгского, Сайжеконского и Сивоконского (1968—1971 гг.) проявлений олова на Витимском плоскогорье. Примеры успешных геохимических поисков вольфрама и олова до 1968—1970 гг. на нашей территории вообще отсутствовали. Перелом в геохимических поисках на эти элементы намetilся только тогда, когда на перечисленных проявлениях были изучены особенности их механических ореолов (полузакрытый и закрытый характер), установлен надежный способ их выявления, а территории, подлежащие опробованию, были дифференцированы по степени своей перекрытости. Часть ранее выявленных районов с низким («знаковым») содержанием касситерита в русловых отложениях и слабоконтрастными, иногда точечными ореолами и потоками олова и вольфрама были подвергнуты переоценке.

К первым примерам успешного применения геохимических поисков на вольфрам следует отнести открытие в 1972—1976 гг. вольфрамовых рудопроявлений в новых районах — в бассейнах рек Турки и Кыджимита (Оланское, Алтанское и др.) и на Икатском хребте (Ангокитское и Бурундинское рудные поля). Кыджимитское и Моховое рудопроявления олова, выявленные в районе слабоконтрастных шлиховых ореолов касситерита и потоков олова, являются пока единственными примерами, в открытии которых геохимические методы поисков сыграли важное значение. Все эти рудопроявления расположены в полузакрытых районах с мощностью склоновых отложений не более 3,5 м. Но в то же время большой сложностью условия геохимических поисков в этих районах не отличаются, за исключением Мохового рудопроявления, где широко развиты курумы. Для механических ореолов вольфрама, шеелита и касситерита на всех перечисленных рудопроявлениях характерны следующие общие черты. Ореолы залегают на небольшой глубине от поверхности (0,3—1,5 м), обычно вытя-

нуты вдоль склона на 30—200 м от коренного источника, имеют в разрезе вид постепенно утончающихся пластин или слоев. При общей тенденции снижения концентраций элементов от коренного источника к поверхности в приповерхностной части ореола содержания элементов становятся очень неравномерными. Во всех случаях максимальные концентрации элементов в ореоле оказываются погребенными. Для точного определения местоположения рудных тел по вторичным ореолам наиболее эффективна, хотя и трудоемка, методика сплошного опробования рыхлого чехла (интервалами по 0,25—0,5 м) по вертикальному разрезу (скважины, шпур, короткие траншеи). Удовлетворительные результаты дает сеть  $(200-20) \times 40$  м, дальнейшее разрежение которой может привести к пропуску рудных тел среднего класса крупности.

Анализ условий геохимических поисков и изучение особенностей формирования вторичных ореолов различных рудных месторождений показывают, что в последние годы их прирост происходит главным образом за счет полузакрытых районов, получивших в прошлом недостаточно достоверную оценку или считавшихся безрудными. Полузакрытые площади с расположенными на них эродированными, но в значительной степени выщелоченными и перекрытыми месторождениями являются на нашей территории сейчас главным, наиболее доступным и еще слабо раскрытым резервом рудных месторождений. Если иметь в виду глубину залегания слабо выветрелых руд, такие месторождения могут быть отнесены к погребенным и скрытопогребенным. Глубина залегания руд, слабо измененных гипергенными процессами, составляет 5—50 м, мощность перекрывающего рыхлого чехла 2—20 м. Обычно в контуре таких месторождений и их рудного поля при разведке устанавливаются и более глубоко залегающие рудные тела. Очень важным элементом методики геохимических поисков таких месторождений является районирование, учитывающее степень перекрытости и ландшафтно-геохимические условия изучаемых площадей и ожидаемых рудных объектов. К числу апробированных методов поисков в полузакрытых районах относятся: поиски по потокам рассеяния с плотностью 6—10 проб на 1 км<sup>2</sup>, послойное шлиховое и металлотрическое опробование рыхлого чехла на полную мощность, газортутная и биогеохимическая съемки, метод МПФ.

## ЛИТЕРАТУРА

Жбанов Э. Ф., Пак А. С., Егоров К. И., Тарасов В. Н., Шобогоров П. Ч., Игнатович В. И., Тайсаев Т. Т., Белоголовов В. Ф. Результаты и вопросы совершенствования литохимической съемки по вторичным ореолам на территории Бурятской АССР. — В кн.: Вторичные ореолы рассеяния и их использование при поисках рудных месторождений на территории Сибири. Улан-Удэ, 1973.

Костенко Н. П. Развитие рельефа горных стран (на примере Средней Азии). М., «Мысль», 1970.

Красников В. И. Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. М., Гостеолтехиздат, 1959.

Перельман А. И. Геохимия ландшафтов. Изд. 1-е и 2-е. М., «Высшая школа», 1966, 1975.

Поликарпочкин В. В. Теория вторичных механических ореолов рассеяния и их генетическая классификация. — В кн.: Вторичные ореолы рассеяния и их использование при поисках рудных месторождений Сибири. Улан-Удэ, 1973.

Сливинский А. А., Нефедьев М. А. Эффективность геохимических поисков на Назаровском месторождении. — В кн.: Комплексирование геохимических методов при поисках и разведке эндогенных месторождений. М., ИМГРЭ, 1977.

Филько А. С., Жбанов Э. Ф., Шобогоров П. Ч., Шабалин М. И. Состояние, практические результаты и направление геохимических поисков на территории Бурятской АССР. — В кн.: Геохимические поиски молибденовых месторождений. Новосибирск, «Наука», 1979.

Шарков Ю. В., Миляев А. С. Методические основы крупномасштабного районирования территории Сибири по условиям ведения геохимических поисков рудных месторождений. — В кн.: Вторичные ореолы и их использование при поисках рудных месторождений на территории Сибири. Улан-Удэ, 1973.

## ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В НОВЫХ РУДНЫХ РАЙОНАХ ОРЕНБУРГСКОГО УРАЛА

Оренбургский Урал становится одним из важнейших меднорудных районов Советского Союза. Палеозойские образования на этой территории претерпели длительное и глубокое гипергенное преобразование. Это обусловило существенное эпигенетическое и морфологическое изменение первичных ореолов, активное формирование вторичных ореолов и потоков рудных элементов в природных водах и рыхлых образованиях.

В связи с этим поисковая геохимия в рассматриваемом регионе в значительной мере опирается на опробование вод и почв, а также использование косвенных минералого-геохимических поисковых признаков.

### ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ

Геохимические методы поисков на Южном Урале ведут свою историю с середины 30-х годов, когда впервые по гидрогеохимическим показателям Купоросного озера (вблизи дер. Калиновка) была оценена перспектива нового рудного района — Гайского. Однако длительное время описывался ореол рудных элементов в подземных водах непосредственно вокруг Купоросного озера. Только спустя 20 лет под руководством А. А. Бродского было решено проследить поток рудных элементов в подземных водах, направленный в район озера. Это привело к открытию в 1954 г. в 2 км к северо-западу от Купоросного озера Южно-Гайского месторождения (Бродский, 1964). Окончательная конфигурация водного потока рудных элементов и его значительная протяженность (несколько километров) определились лишь после длительных разведочных и опробовательских работ (Черняхов 1972; рис. 1).

К сожалению, история открытия Южно-Гайского месторождения, описанная во многих монографиях, посвященных гидрогеохимическим методам (Бродский, 1964; Голева, 1968; Албул, 1969), и ставшая классической, не доучитывалась и не послужила примером эффективного применения гидрогеохимического метода при ведении поисковых работ в рассматриваемом регионе. Правда, гидрогеохимическое опробование проводилось постоянно на всех стадиях и при всех масштабах геологических работ, однако должной камеральной обработки гидрогеохимической информации и оценки полученных результатов не производилось. Только в середине 60-х годов Т. А. Шимковой была осуществлена систематизация материалов гидрогеохимического опробования региона по состоянию на 1/1 1965 г. В ходе этого обобщения выявлен ряд перспективных гидрогеохимических аномалий на Оренбургском Урале, в том числе в новых районах — Теренсайском и Домбаровском, куда к этому времени переместился центр тяжести поисковых работ (№ 223 и 250 на рис. 2,а). Аномалии эти выделены по данным оп-

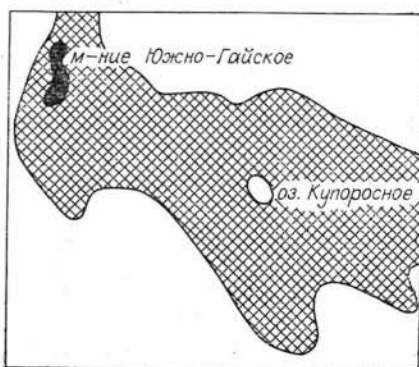


Рис. 1. Поток рудных элементов в подземных водах на участке Южно-Гайского месторождения (по материалам В. Б. Черняхова, 1972).

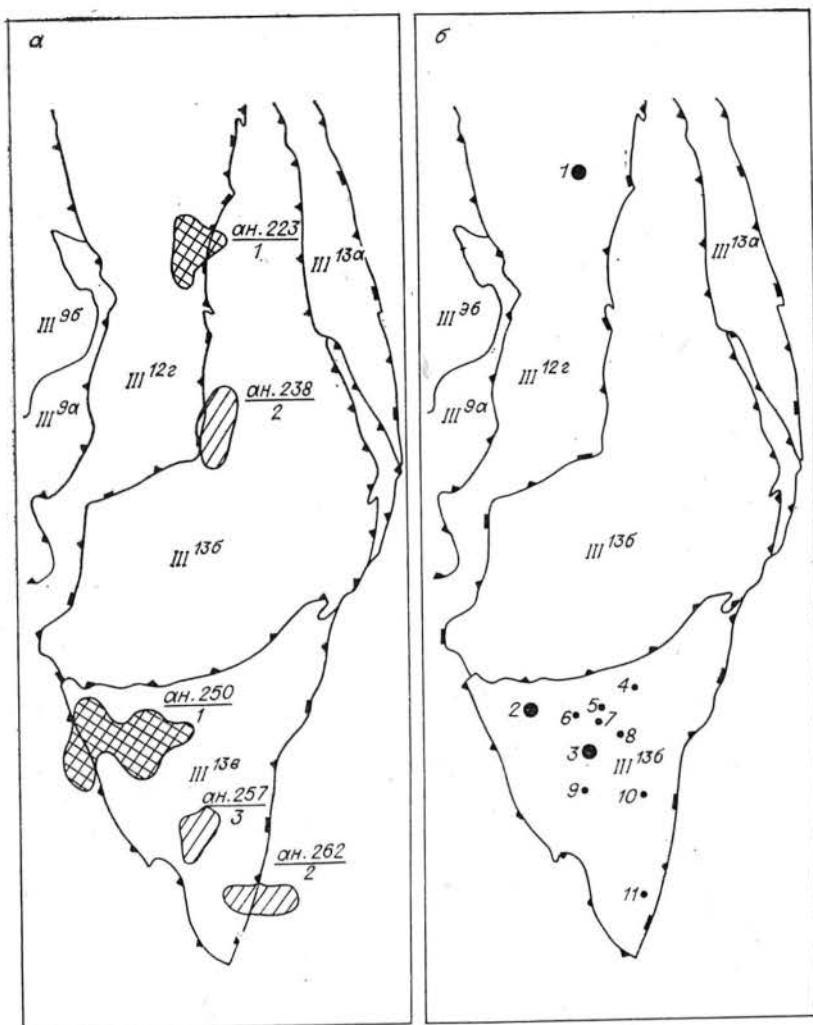


Рис. 2. Карта структурно-формационных подзон Теренсайского и Домбаровского рудных районов: III<sup>9а</sup> — Якши-Акжарская, III<sup>9б</sup> — Акжарская, III<sup>12а</sup> — Джусинско-Карабутакская, III<sup>13а</sup> — Андреевская, III<sup>13б</sup> — Аул-Кумакская, III<sup>13в</sup> — Киембаевская.

а — карта площадных гидрогеохимических аномалий (1, 2, 3 — очереди проверки), выявленных в районах по состоянию на 1/1 1965 по материалам Т. А. Шимковой; б — карта медноколчеданных месторождений и рудопроявлений, выявленных в районах по состоянию на 1. I. 1977 по материалам В. Л. Черкасова. Месторождения: 1 — Барсучий лог, 2 — Летнее, 3 — Осеннее; рудопроявления: 4 — Северо-Карабайское, 5 — Джайлган I, 6 — Промежуточное, 7 — Джайлган II, 8 — Водопадное, 9 — Курмантау, 10 — Южно-Джайлганское, 11 — Посадское.

робования разрозненных картировочных скважин или колодцев в ходе геологических и гидрогеологических съемок масштаба 1 : 50 000—1 : 200 000, при которых пробы вод анализировались на сокращенный круг компонентов.

Аномалия № 223 расположена в долине р. Кумак. Воды сульфатно-хлоридные, содержание сульфат-иона достигает 446 мг/л, отношение сульфат-иона к хлор-иону составляет — 2, рН = 7,1, содержание меди — до 0,14 мг/л (коэффициент контрастности 8,2), цинка — 0,34, свинца — 0,025, молибдена — 0,003 мг/л.

Аномалия № 250 расположена в долине р. Камсак. Воды сульфатно-гидрокарбонатные, содержание сульфат-иона достигает 441 мг/л, отноше-

ние сульфат-иона к хлор-иону до 13 (коэффициент контрастности 2,7), рН = 5,2, содержание меди — до 0,14 мг/л, цинка — 0,27 (коэффициент контрастности — 2,1), молибдена — 0,04 (коэффициент контрастности — 4,0). Остальные элементы не определялись.

Необходимо отметить, что указанным аномалиям должного внимания не было уделено и поисковые работы в этих районах велись планомерно на всей площади комплексом методов при соблюдении определенной стадийности. Результатом работ явилось открытие трех медноколчеданных месторождений (Осеннее, Летнее, Барсучий лог) и большого числа рудопроявлений (см. рис. 2, б).

Сопоставление карт гидрогеохимических аномалий (см. рис. 2, а) и позднее выявленных рудных объектов (см. рис. 2, б) свидетельствует об их пространственном совпадении. Отраженные на карте аномалии № 223 и 250 — по-видимому, только фрагменты более обширных ореолов (потоков), так как они были оконтурены по крайне ограниченной и неравномерной сети опробования.

Таким образом, обнаруженные на рассматриваемой территории в ходе планомерных поисковых работ масштаба 1 : 10 000 рудные объекты оказались пространственно связанными с гидрогеохимическими аномалиями, установленными в ходе предшествующего гидрогеохимического опробования. Своевременное прослеживание и оценка ореолов (потоков) рудных элементов в природных водах на участках аномалий № 223 и 250, вероятно, могли бы привести к более быстрому открытию медноколчеданных месторождений Осеннее, Летнее, Барсучий лог и при этом с меньшими затратами.

Таким образом, гидрогеохимическое опробование в комплексе с геологической и гидрогеологической съемкой масштаба 1 : 50 000—200 000 в условиях Домбаровского и Теренсайского рудных районов — один из ведущих методов при поисках сульфидных рудных объектов.

### ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ

Литогеохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния на территории Оренбургского Урала начали проводиться с середины 50-х годов, т. е. тогда, когда гидрогеохимические поиски уже привели к открытию Южно-Гайского медноколчеданного месторождения.

На территории Теренсайского и Домбаровского рудных районов литогеохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния в комплексе с геологосъемочными работами масштаба 1 : 50 000—1 : 200 000 должного эффекта не дали. Эти работы оказались более результативными при проведении их в масштабе 1 : 10 000 в комплексе с геофизическими исследованиями. Поиски по вторичным ореолам осуществлялись геологическими отрядами, которые одновременно выполняли геологическое и ландшафтно-геохимическое картирование. Методика этих работ стандартная (Инструкция..., 1965).

В 1965 г. к северу от пос. Кошенсай в почвенном покрове при проведении комплексных геофизических и геохимических работ масштаба 1 : 10 000 О. А. Ломаковым выявлена геохимическая аномалия с содержанием меди 0,007% (коэффициент аномальности  $K_a$  — 1,4), цинка — 0,07 ( $K_a$  — 11,2), свинца — 0,003 ( $K_a$  — 1,5), бария — 0,05 ( $K_a$  — 1,4), мышьяка — 0,03%. Суммарная продуктивность ведущих элементов — 200 м<sup>2</sup>%. Геохимическая аномалия была подтверждена геофизическими работами методом ВП.

Проверочная скважина, заданная в эпицентре геохимической аномалии, на глубине 63 м вскрыла сплошные руды месторождения Весеннего, которое залегает на контакте вулканитов контрастно-дифференцированной формации и массива габбро-диорит-плагногранитной формации и

представлено десятью крутопадающими на запад под массив рудными телами. Глубина верхней кромки рудных тел от 20 до 250 м. Протяженность рудной зоны по простиранию составляет 1400 м, по падению — 250 м, мощность — от первых до 90 м. Руды сложены пиритом, халькопиритом, сфалеритом. Над рудными телами развита трещинная кора выветривания (зона окисления), в современном рельефе над ними отмечается слабое понижение.

В 1969 г. к северу от пос. Курмансай при проведении аналогичных работ выявлены зона бурожелезняковых образований и карстовая воронка — «голый» карст. Литогеохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния подтвердили перспективность участка. В почвенном покрове выявлен ореол с содержанием меди до 0,03%, цинка до 0,06%. В связи с существенной закрытостью территории был применен глубинный вариант литогеохимических поисков по вторичным ореолам. Контрастность и размеры ореола очень возросли. Содержание металла в коре выветривания достигло 1,0%. Контуры рудных тел были уточнены при геофизических работах методами МППО и ВП. Скვაжиной в эпицентре на глубине 23 м вскрыты сплошные медноколчеданные руды месторождения Летнего. Рудные тела его залегают субгоризонтально в толще вулканогенных пород основного состава на глубинах от 10 до 150 м. Рудная зона месторождения прослежена по простиранию на 1000 м. Рудные тела представлены обычными колчеданными рудами с пиритом, халькопиритом, сфалеритом и небольшим количеством магнетита. Средние содержания металлов достигают процентов.

В эти годы в рассматриваемом районе в результате литогеохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния выявлено также несколько рудопроявлений — Домбаровское, Курмансайское, Лучистое и др.

Таким образом, литогеохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния в комплексе с геофизическими работами масштаба 1 : 10 000 в условиях новых рудных районов Оренбургского Урала оказались наиболее эффективными на медноколчеданные месторождения.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРУГИХ ПОИСКОВЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ

Исследования рыхлого покрова на участках медноколчеданных месторождений Оренбургского Урала, начатые в середине 60-х годов (Читаева, Черных, 1975), показали наличие существенных эпигенетических и морфологических изменений облика рыхлых образований. Особенно четко проявляются они в минералогическом облике средних горизонтов коры выветривания. В них от периферии к рудным телам обнаруживаются зоны глинистых пород (в основном галлуазитизированных), затем сульфатно-глинистых (галлуазит-алунитовых), сульфатно-кремнистых (ярозито-кварцевых) и, наконец, вблизи рудных тел кремнистых (вторичнокварцевых и кварцевых губок). Набор элементов-индикаторов в этом же направлении меняется от меди, цинка к кобальту, молибдену (возможны селен, теллур) до свинца, бария (возможны мышьяк, серебро).

В верхних горизонтах коры выветривания на месторождениях широко развиты бурожелезняковые образования рудной природы, для которых характерен кварц стебельчатой структуры, пирит, халькопирит, самородная медь. Для бурых железняков, образовавшихся по серноколчеданным рудам, свойственно отношение теллура к селену от 1 : 8 до 1 : 10. Для бурых железняков медноколчеданных руд, в отличие от рассмотренных, характерны цинк, молибден, золото и отношение теллура к селену от 1 : 1,2 до 1 : 1,7. Песчано-глинистые отложения мезокайнозой, особенно их нижние горизонты, наследуют реликты зон гипергенного преобразования: обломки бурых железняков, кварцевых губок, зерен барита, самородного золота и т. д. На всю мощность разреза рыхлых отложений накладывается



лимонитизация (вплоть до образования сливных железистых песчаников), гидрослюдизация, огипсование, накопление железисто-марганцевых конкреций, малахита, азурита, ритмично-полосчатых агрегатов галлуазита и лимонита. Причем от периферии к центру (к рудным телам) ассоциации железисто-марганцевистых конкреций с малахитом и атакамитом сменяются ассоциациями галлуазита и малахита, атакамита и псиломелана и, наконец, сложными полиминеральными образованиями гипса, гидраргиллита, галлуазита, малахита и атакамита.

Изменение минералого-геохимических и физико-химических параметров пород приводит к изменению их объема и к карстообразовательным процессам, охватывающим верхние горизонты пород палеозоя, кору выветривания, отложения мезокайнозоя и почвенный покров. Отмечается развитие как «голового» карста (месторождение Летнее), так и закрытого, в большинстве случаев (месторождения Весеннее, Осеннее, Летнее, Барсучий лог) выполненного мезокайнозойскими отложениями. Глубины просадок для рудных объектов Теренсаевского и Домбаровского рудных районов составляют первые метры, для Гайского рудного района — первые десятки метров. Все эти изменения в рыхлых отложениях отчетливо фиксируются как при дешифрировании аэрофотоснимков, так и при геологическом картировании. Сейчас целый ряд таких просадок разбуривается.

Таким образом, картирование эпигенетических и морфологических изменений рыхлых образований, наряду с гидро- и литогеохимическим опробованием, является важнейшим поисковым приемом в новых меденосных рудных районах Оренбургского Урала.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Албул С. П. Рудопоисковая гидрохимия. М., 1969.  
Бродский А. А. Основы гидрогеохимического метода поисков сульфидных месторождений. М., «Недра», 1964.  
Голева Г. А. Гидрогеохимические поиски скрытого оруденения. М., «Недра», 1968.  
Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М., «Недра», 1965.  
Черняхов В. Б. Геохимические особенности ореолов в сопряженных природных средах на медноколчеданных месторождениях Оренбургского Урала. М., ИМГРЭ, 1972.  
Читаева Н. А., Черняхов В. Б. Косвенные поисковые признаки колчеданных месторождений Южного Урала и Северных Мугоджар. — В кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым Оренбургской области. Челябинск, 1975.

*Г. П. Шорохов, Г. А. Вострокнутов*  
(Уральское геологическое управление)

#### ГАЗОРТУТНЫЕ ПОИСКИ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ МЕДНОКОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА УРАЛЕ

Глубокозалегающие месторождения составляют основной резерв прироста минерального сырья в промышленно развитых и хорошо изученных районах (Красников, 1959). К их числу можно отнести Южный и Средний Урал. Развитие довольно мощного покрова рыхлых отложений на участках эрозионно-тектонических депрессий и пенепленизированных районов Урала снижает эффективность поверхностных литогеохимических съемок и в то же время является благоприятным фактором для постановки газортутных поисков, глубинность которых может достигать 600—800 м (Фурсов, 1977а).

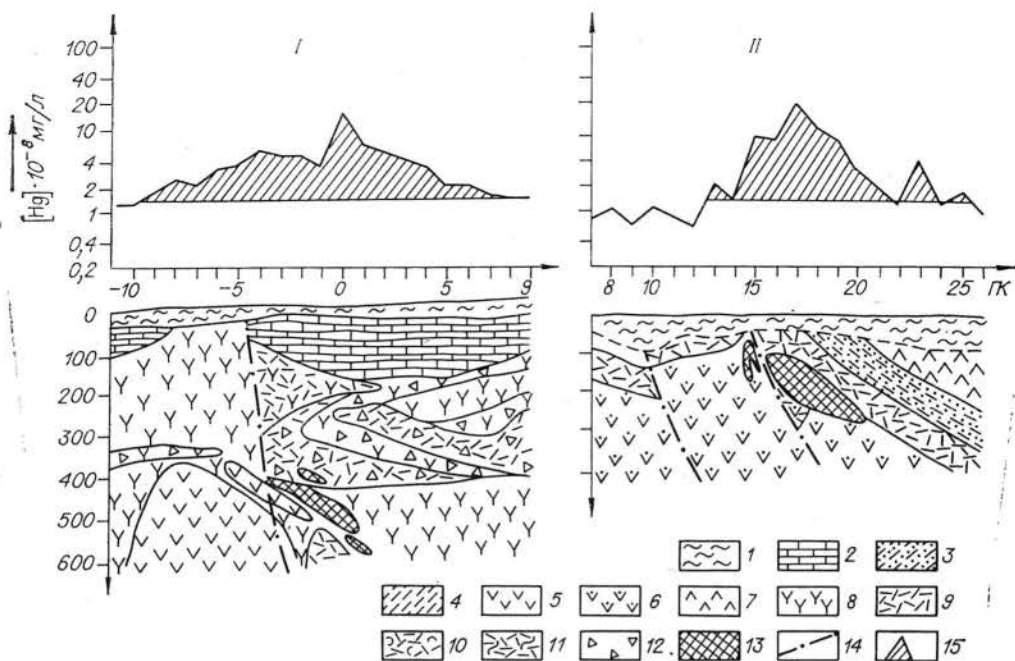


Рис. 1. Изменение интенсивности и размеров газортутных ореолов в зависимости от глубины залегания рудных тел.

Поперечные геологические разрезы сульфидных месторождений: I — Узельгинского, II — Молодежного, III — Западно-Курасанского.

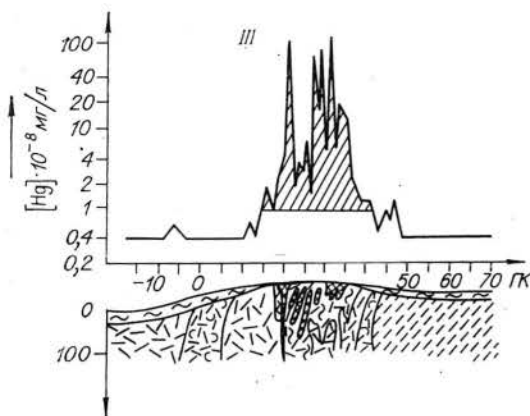
1 — рыхлые отложения; 2 — известняки; 3 — туфопесчаники; 4 — кварц-серицитовые сланцы; 5 — базальтовые миндалекаменные порфириды; 6 — базальтовые порфириды, измененные до метасоматитов; 7 — андезитовые порфириды; 8 — дацитовые порфириды; 9 — эффузивы кислого состава; 10 — туфы эффузивов кислого состава; 11 — гидротермально измененные кислые эффузивы; 12 — взрывные брекчи; 13 — сульфидные рудные тела; 14 — разрывные нарушения; 15 — графики содержаний паров ртути в почвах.

На Урале газортутные поиски стали применяться с 1973 г. Уральским геологическим управлением под научно-методическим руководством ИМГРЭ.

Работы проводились в площадном и профильном вариантах. Шаг наблюдений составлял 10—50 м, расстояние между профилями 250—300 м. Полевые измерения содержаний ртути в почвенном воздухе осуществлялись фотометром ИМГРЭ-4. Исследования выполнялись на различных объектах, выбор которых производился с учетом скрытого или скрыто-перекрытого характера рудовмещающих структур и рудных тел месторождений, развития мелкообломочных покровных отложений, отсутствия участков интенсивного увлажнения и техногенного загрязнения почв.

Указанным требованиям удовлетворяют колчеданные месторождения Молодежного рудного района (Южный Урал): Узельгинское, Молодежное, Чебачье. Молодежный рудный район находится в степной полосе умеренно всхолмленной пенецелизированной равнины и приурочен к восточному крылу Магнитогорского мегасинклинория. В размещении оруденения основную роль играют вулканокупольные структуры центрального типа и разрывные нарушения. Рудовмещающие структуры не выходят на дневную поверхность. Колчеданные рудные тела имеют скрыто-перекрытое пологое залегание на глубинах 80—600 м (Петров, 1968). Палеозойские породы перекрыты рыхлыми отложениями мощностью 5—30 м, на отдельных участках до 70—90 м.

Газортутные исследования также проведены на колчеданных месторождениях Кировоградского района (Средний Урал), находящихся в иных ландшафтных и геологических условиях. Район месторождений располо-



жен в таежно-лесной низкогорной полосе и приурочен к западному крылу Тагильского прогиба. Рудовмещающие сланцы круто залегают среди вулканогенно-осадочных образований и содержат в скрытом залегании мелкие рудные тела. Мощность рыхлых отложений обычно не превышает 10 м.

В результате проведенных работ установлены следующие закономерности:

1. Слабая изменчивость

фоновых содержаний паров ртути в почвах и отсутствие зависимости содержаний ртути почвенной атмосферы от состава и возраста пород. Причиной этого является однородность распределения ртути в горных породах (Фурсов, 19776). Фоновые содержания паров ртути в почвах степной зоны существенно выше (от 0,807 до 0,873 · 10<sup>-8</sup> мг/л), чем в почвах лесной зоны (от 0,647 до 0,729 · 10<sup>-8</sup> мг/л), что, по-видимому, обусловлено разной степенью увлажнения почв. С увеличением увлажнения почв фоновые содержания паров ртути в них снижаются.

2. В почвах над рудными телами и рудными зонами известных месторождений установлены газортутные ореолы, различающиеся по интенсивности, размерам и характеру проявления (см. таблицу).

Широкие выдержанные ореолы паров ртути в почвах зафиксированы над глубоко- и пологозалегающими медноколчеданными месторождениями Молодежного рудного района. Над крутопадающими месторождениями Кировоградского района газортутные ореолы имеют меньшие размеры и большую неоднородность содержаний ртути. Газортутные ореолы в последнем случае фиксируют выходы к поверхности рудоносных зон.

3. Интенсивность и размеры газортутных ореолов определяются главным образом масштабами оруденения и глубиной залегания рудных тел, хотя не исключено влияние состава руд и ландшафтно-климатических

**Характеристика газортутных ореолов рассеяния над сульфидными месторождениями Урала**

Месторождение	Глубина залегания рудных тел, м	Мощность рудных тел, м	Мощность перекрывающих пород, м	Мощность рыхлых покровных отложений, м	Содержания паров ртути, (· 10 <sup>-8</sup> мг/л)		Эффективная ширина ореолов, м
					ореольные	Фоновые	
<i>Открытые месторождения</i>							
Западно-Курсанское	2—10	5—20			[5—103]	0,5—1,0	30—100
<i>Скрытые месторождения</i>							
Ломовское	250—300	5—25	200—300		2—3	0,4—0,7	250—300
Левихинское	60—400	10—20	50—400		2—4	0,4—0,8	200
Калугинское	100—150	5—14	100—130		2—8	0,4—0,7	200—250
<i>Погребенные месторождения</i>							
Касаргинское	60—80	2—15		10—70	2—20	0,4—0,8	100—350
Ново-Шайтанское	50—200	10—50		10—80	3—32	0,4—0,8	100—350
<i>Скрытопогребенные месторождения</i>							
Узельгинское	150—450	20—100	140—450	2—60	3—28	0,4—0,8	200—450
Молодежное	100—250	10—50	80—250	5—30	3—20	0,4—0,8	100—300
Чебачье	250—350	10—50	250—350	10—20	2—8	0,4—0,6	70—200

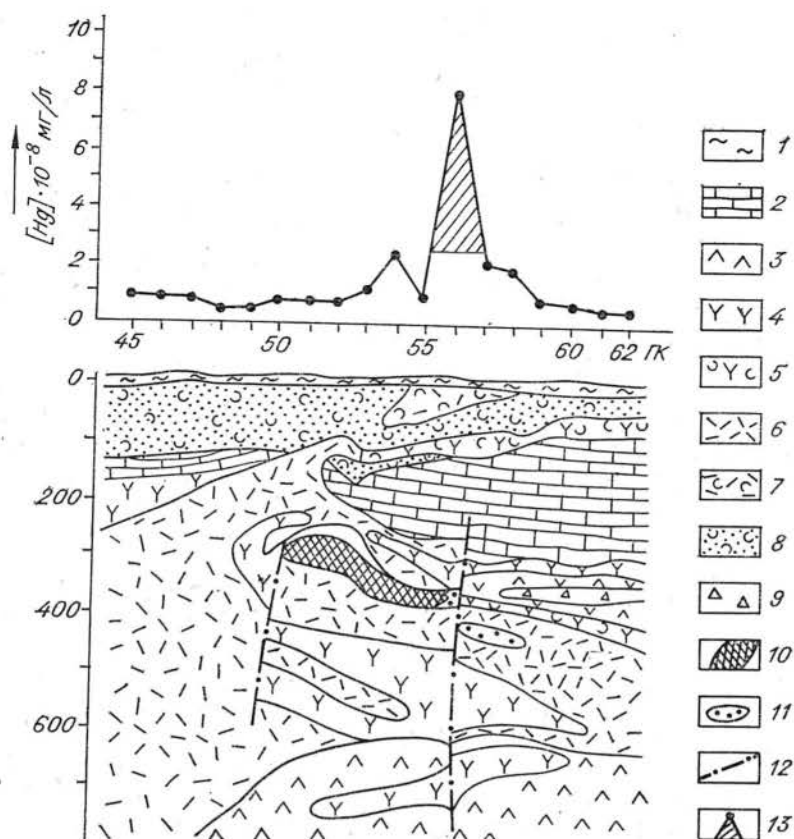


Рис. 2. Газортутные ореолы на медноколчеданном месторождении Чебачье (схематический геологический разрез по Ю. С. Емельянову)

1 — рыхлые отложения и коры выветривания; 2 — известняки; 3 — базальтовые порфириды; 4 — дацитовые порфириды; 5 — туфы дацитовых порфиридов; 6 — кварцевые липаритовые порфириды; 7 — туфы эффузивов кислого состава; 8 — туфы смешанного состава; 9 — зруптивные брекчии; 10 — массивные руды; 11 — вмрапленные руды; 12 — разрывные нарушения; 13 — графики содержания ртути в почвенном воздухе.

особенностей. Зависимость газортутных ореолов от масштаба оруденения хорошо проявляется на месторождениях Молодежного рудного района. Обычно над крупными рудными телами ореолы ртути в 2,5–3,5 раза превышают по размерам и интенсивности ореолы над мелкими рудными телами (при одинаковой глубине залегания). С увеличением глубины залегания оруденения снижается интенсивность газортутного ореола и увеличиваются его размеры (рис. 1). Так, на северном фланге Узельгинского месторождения рудное тело залегает на глубине 450 м. Газортутный ореол над ним имеет интенсивность до  $12 \cdot 10^{-8}$  мг/л. Ширина его в 2,5 раза превышает размеры рудного тела. В центральной части Молодежного месторождения рудные тела располагаются в 80–150 м от дневной поверхности. Газортутные ореолы над ними имеют большую интенсивность (до  $20 \times 10^{-8}$  мг/л), размеры их лишь в 1,5 раза превышают размеры рудных тел. На Западно-Куросанском золото-сульфидном месторождении, где сульфидные тела выходят под рыхлые отложения, газортутные ореолы имеют наибольшую интенсивность (до  $103 \cdot 10^{-8}$  мг/л) и не выходят за пределы зоны оруденения.

4. Взаимоотношения газортутных ореолов с литогеохимическими различны. Над скрыто-перекрытыми пологозалегающими месторождениями в почвах часто отсутствуют литогеохимические ореолы рудосоставляющих элементов, в то время как газортутные ореолы проявлены четко (место-

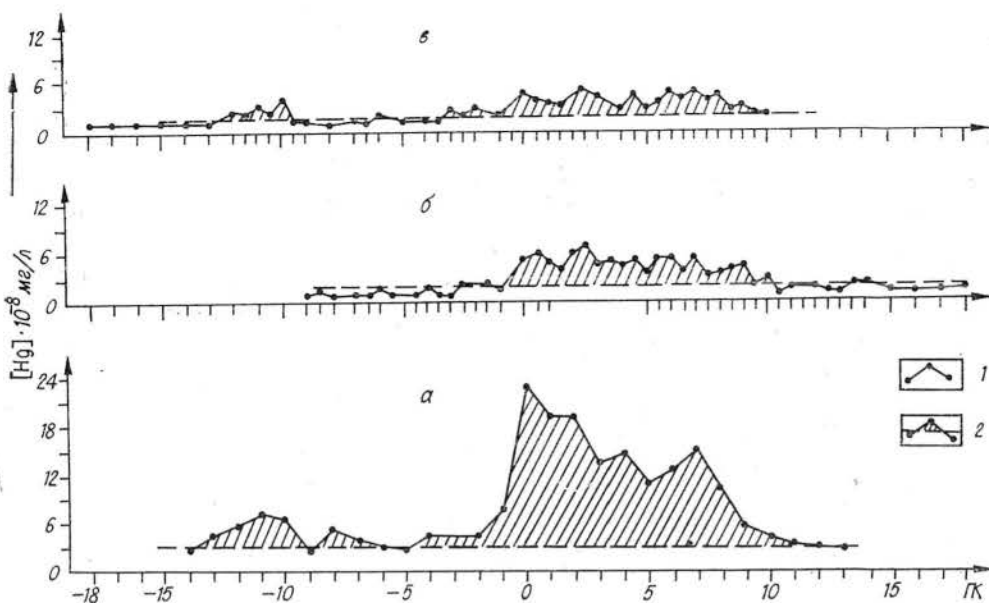


Рис. 3. Зависимость содержаний ртути в почвенном воздухе от увлажнения почв (по В. З. Фурсову).

1 — содержание ртути в почвенном воздухе при увлажнении почв: а — <15%, б — 20—25%, в — >25%; 2 — интенсивность ореола ртути в почвенном воздухе при уровне 99,9%.

рождения Молодежное, Чебачье). Над крутопадающими месторождениями, рудные зоны которых выходят к земной поверхности, наблюдаются как ореолы паров ртути, так и литогеохимические ореолы (Ломовское месторождение).

5. На распределение содержаний ртути в почвенной атмосфере над рудными телами оказывает влияние степень проницаемости надрудной толщи. На Узельгинском и Молодежном медноколчеданных месторождениях, где надрудная толща подвергнута интенсивному воздействию тектонических процессов, аномалии ртути располагаются непосредственно над рудными телами. В центральной части месторождения Чебачье надрудная толща практически непроницаема, сложена ненарушенными породами (рис. 2). Субмеридиональное тектоническое разрывное нарушение проходит вблизи восточного фланга месторождения. Сопровождающая это нарушение проницаемая зона обуславливает газортутную аномалию, связанную с месторождением, но частично смещенную на восток от проекций рудных тел.

6. Большое влияние на газортутные ореолы оказывает содержание влаги в почве. Контрастность и размеры газортутных ореолов резко уменьшаются в увлажненных почвах с содержанием влаги более 25% (рис. 3).

7. Газортутные ореолы могут быть смещенными и не смещенными относительно проекций рудных тел на дневную поверхность. Определяющий фактор пространственного соотношения ореолов и рудных тел — структурно-тектоническая позиция месторождения.

Ниже рассмотрены некоторые практические результаты газортутных поисков.

1. В 1975 г. газортутная съемка была поставлена на рудоперспективном Гунинском участке, в южной части которого расположено месторождение Чебачье. Газортутная аномалия, выявленная на восточном фланге месторождения, прослежена в северном направлении за пределы месторождения на 1 км. При оконтуривании бурением северного фланга месторождения на площади указанной аномалии скважиной было вскрыто

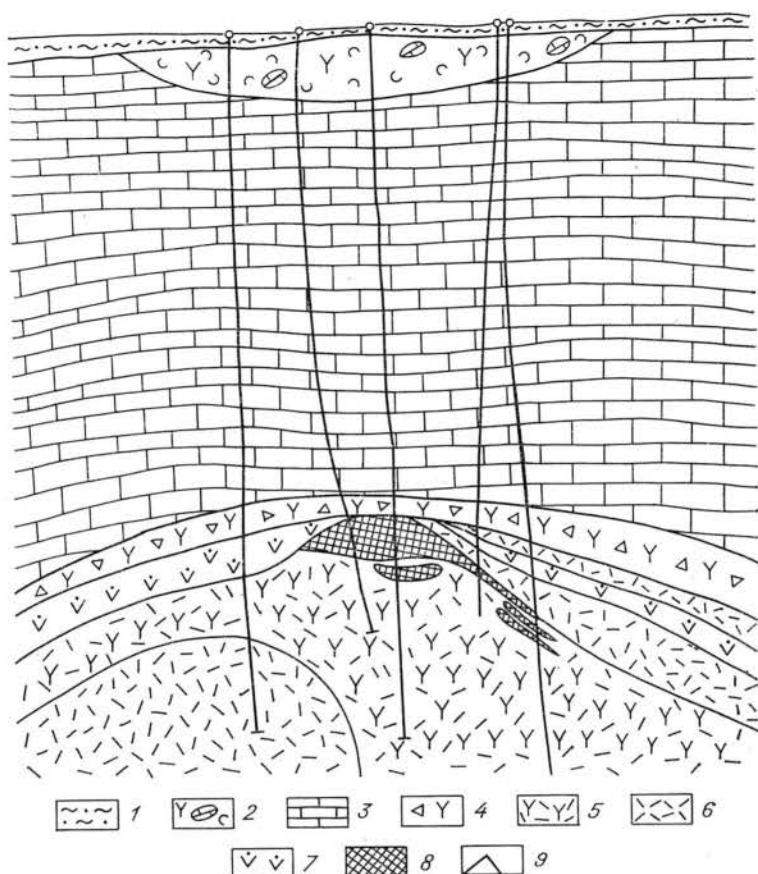
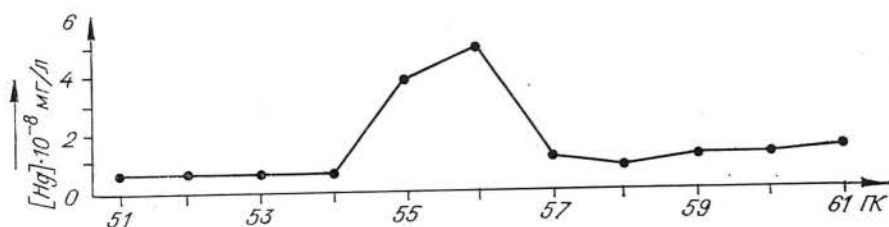


Рис. 4. Газортутный ореол и выявленное скрытое оруденение на северном фланге месторождения Чебачье (схематический геологический разрез по Ю. С. Емельянову).

1 — рыхлые отложения; 2 — туфы дацитовых порфиритов; 3 — известняки; 4 — брекчи дацитовых порфиритов; 5 — дацито-липаритовые порфиры; 6 — кварцевые порфиры; 7 — базальтовые миндалекаменные порфиры; 8 — руды; 9 — график содержания ртути в почвенном воздухе.

на глубине около 350 м новое медноколчеданное рудное тело мощностью до 25 м (рис. 4). В 1,5 км к западу от месторождения Чебачье установлена другая аномалия, перспективная на обнаружение скрытого колчеданного оруденения.

2. Площадная газортутная съемка проведена в 1974—1975 гг. на Байгазинском участке, расположенном в 30 км на запад от г. Челябинска. Участок сложен толщей вулканитов преимущественно основного состава, перекрытых рыхлыми отложениями мощностью до 10—15 м. В южной части участка установлена резкоконтрастная локальная аномалия ртути в почвенном воздухе (до  $200 \cdot 10^{-8}$  мг/л), совпадающая с комплексными литогеохимическими ореолами и аномалией ВП. По характеру проявления

аномалий можно предполагать наличие близповерхностного сульфидного оруденения. При проверке аномалий скважиной в интервале 45—90 м вскрыта зона густой сульфидной вкрапленности. Поисковые работы на участке будут продолжены.

3. Газортутные поиски в 1977 г. проведены на участке Пчелка, расположенном в 15 км северо-западнее пос. Уйское Челябинской области. Участок слагают эффузивы основного и кислого состава, относящиеся к улутауской свите среднего девона. В центральной части участка вулканогенную толщу прорывает интрузия плагиаоплитов. Газортутные наблюдения проведены по проектным буровым профилям, расстояние между которыми 500—1000 м. Шаг наблюдений 50 м. Газортутных аномалий не установлено. Участок оценен как малоперспективный на обнаружение промышленного колчеданного оруденения. В настоящее время на нем пробурено 7 скважин глубиной 600—800 м. Оруденения не установлено, что подтверждает результаты газортутных поисков.

Приведенные примеры свидетельствуют о возможности и эффективности применения газортутного метода при поисках глубокозалегающих колчеданных, скарново-магнетитовых и золото-сульфидных месторождений Урала.

Дальнейшее использование газортутного метода на Урале предполагается в следующих направлениях:

1. Широкое проведение площадных поисков крупных скрытых и скрыто-перекрытых месторождений меди в пределах закрытых территорий Урала и Зауралья в комплексе с другими геохимическими и геофизическими методами.

2. Совершенствование методики газортутных поисков применительно к условиям таежно-лесной зоны Урала.

3. Продолжение работ по проверке эффективности поисков по ртути глубокозалегающего скарново-магнетитового и золото-сульфидного оруденения.

#### ЛИТЕРАТУРА

Красников В. И. Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. М., Гостеолтехиздат, 1959.

Петров Г. В. Особенности геологии и методы поисков медноколчеданных месторождений в Верхне-Уральском районе Челябинской области.— «Изв. АН СССР. Серия геол.», 1968, № 5.

Фурсов В. З. Поиски рудных месторождений по газовым ореолам рассеяния ртути.— «Сов. геология», 1977а, № 4.

Фурсов В. З. Ртуть — индикатор при геохимических поисках рудных месторождений. М., «Недра», 1977б.

*А. М. Еникеев*

*(Управление геологии СМ ТаджССР)*

### МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ РУД И ПЕРВИЧНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАНСАЙ

В основу данной статьи положены материалы минералого-геохимического исследования рудных тел 5, 11 и «Четка» месторождения Центральный Кансай, проведенного автором в 1972—1976 гг.

Целью работы являлось количественное изучение минерального состава руд и поведения главных и второстепенных рудных элементов в рудах и основных рудных минералах с целью расшифровки характера эндогенной зональности.

Выполненные работы включали сбор фактического материала, химико-аналитические, минералогические и другие исследования, обработку и обобщение полученных результатов. По верхней части рудного тела «Четка» использованы данные Ю. А. Арапова (1936), М. Р. Еникеева (1959), М. И. Моисеевой (1959), Н. В. Нечелюстова и др. (1961) и других исследователей.

В геологическом строении месторождения участвуют среднепалеозойские ( $D_3$  —  $C_1$ ) известняки и доломиты и прорывающие их верхнепалеозойские штоки сиенит- и гранодиорит-порфиров.

Все полиметаллическое оруденение на месторождении приурочено к двум сколам субширотного простирания с крутым падением на север под углами  $70$ — $75^\circ$ . Сместители имеют слабоволнистую поверхность как по простиранию, так и по падению. В приоткрытых четкообразных полостях они залечены сульфидами и прожилками карбонатов.

Центральная часть рудных тел сложена массивными, реже полосчатыми сульфидными рудами, фланги — пироксен-гранатовыми скарнами, в которых нередки обломки незамещенных карбонатных пород.

Гипогенное минералообразование на месторождении началось с формирования магнезиальных скарнов (Жариков, 1959), затем следовали процессы доломитизации, ороговикования, серпентинизации, перекристаллизации, образования известковых скарнов и сульфидных руд. Минеральные ассоциации, слагающие известковые скарны и сульфидные руды, обнаруживают тесную генетическую и пространственную связь и образуют самостоятельный морфогенетический тип оруденения — скарново-полиметаллический (рудное тело «Четка»).

В заключительную стадию образовались кварц-кальцит-сульфидные, кальцит-барит-сульфидные жилы и прожилки. Продукты этой стадии слагают самостоятельный морфогенетический тип оруденения — жильно-полиметаллический (рудные тела 5 и 11). Среди скарново- и жильно-полиметаллического типов оруденения по текстурно-структурным особенностям выделяются галенит-сфалеритовые, пиритовые, пирит-магнетитовые и другие типы руд. Первые на  $80\%$  сложены галенитом и сфалеритом с включениями пирита и халькопирита. Часто они переходят в руды галенит-сфалеритового состава с халькопиритом. На верхних горизонтах это массивные, крупно- и среднезернистые образования, а в средней части рудного тела «Четка» наряду с массивными появляются полосчатые текстуры и мелкозернистые, катакластические структуры.

Галенит-сфалеритовые рудные тела 5 и 11 представлены на  $15$ — $20\%$  галенитом и сфалеритом, локализующимися в кварц-кальцит-хлоритовых жилах и прожилках. Сульфидная минерализация, состоящая из пирита, халькопирита, реже тетраэдрита, халькозина, ковеллина, аргентита, прустита, пираргирита, занимает в сумме до  $40$ — $45\%$  объема этих руд. Текстуры руд массивные, гнездовые и равномерно-вкрапленные средне- и мелкозернистой структуры. Нередко этот тип оруденения наложен на скарново-полиметаллический.

Пиритовые рудные тела состоят на  $95\%$  из пирита с незначительными содержаниями галенита, сфалерита и халькопирита. В верхних частях рудного тела «Четка» они образуют массивные текстуры, крупно- и среднезернистые, идиоморфные структуры, а в средних — мелкозернистые, катакластические структуры и массивные, реже полосчатые текстуры.

Пирит-галенитовые рудные тела вкрапленной текстуры, мелкозернистой и катакластической структуры слагают преимущественно бока и надрудные тела галенит-сфалеритовых рудных тел.

Пирит-магнетитовые руды массивной, реже равномерно-вкрапленной текстуры, средне- и мелкозернистой структуры тяготеют к лежащему боку галенит-сфалеритового рудного тела «Четка».

На гипсометрическом уровне от  $1060$  до  $908$  м развита галенит-сфалеритовая минеральная ассоциация с незначительными содержаниями пи-



рита, сульфосолей и самородных элементов. Текстура массивная, структура крупно- и среднезернистая, идиоморфная. На гипсометрическом уровне от 908 до 890 м в результате пережима по восстанию граней сместителей галенит-сфалеритовая минеральная ассоциация сменяется на галенит-сфалерит-пиритовую с халькопиритом и далее на пиритовую с незначительными содержаниями галенита и сфалерита. Текстура руд массивная, структура крупно- и среднезернистая, идиоморфная, реже гипидиоморфная. На гипсометрическом уровне от 890 до 629 м, в местах сопряжения оперяющего нарушения «Четка» с Южно-Дарбазинским разломом, преимущественное развитие получили галенит-сфалерит-пиритовая с халькопиритом и пиритовая с незначительными содержаниями галенита и сфалерита минеральные ассоциации. Подчиненное развитие имеют пирит-галенитовая и пирит-магнетитовая с гематитом. Пирит-галенитовая ассоциация слагает периферийные части рудных тел со стороны висячего бока, а магнетитовая с гематитом — со стороны лежащего бока. Текстура руд массивная у основной минеральной ассоциации и вкрапленная у подчиненной.

На всем протяжении от поверхности до 12-го горизонта содержание сфалерита по отношению к галениту возрастает, на что также указывает плавно уменьшающееся от 1,70 до 0,84 соотношение свинца к цинку.

Начиная с гипсометрического уровня 629 по 431 м, максимальное развитие получила пирит-галенит-сфалеритовая с халькопиритом минеральная ассоциация с соподчиненным развитием сфалерит-галенитовой во внешнем контуре рудных тел со стороны висячего бока и пирит-магнетитовая с сфалеритом — со стороны лежащего бока. Текстура руд массивная у пирит-галенит-сфалеритовой с халькопиритом и пирит-магнетитовой со сфалеритом и гематитом и прожилковая или струйчатая у сфалерит-галенитовой минеральных ассоциаций. Структура руд в основном мелкозернистая, гипидиоморфно-зернистая, реже катакластическая. Соотношение основной минеральной ассоциации с соподчиненными на различных уровнях изменяется от 3 : 1 до 1 : 1, а в целом составляет 2 : 1. Характерно валовое увеличение содержания сфалерита с глубиной, выражающееся также в увеличении отношения свинца к цинку от 1,8 на гипсометрическом уровне 589 м до 0,87 — на уровне 431 м.

Анализ форм нахождения элементов в руде и первичных ореолах позволил составить баланс вещества на различных геохимических уровнях аномалий и доказать в них идентичность минерального состава вещества.

Главными элементами руд и первичных ореолов являются свинец, цинк, серебро, медь; второстепенными — висмут, кадмий, мышьяк, сурьма, молибден, кобальт и сопутствующими — галлий, германий, рений, индий, селен, теллур, таллий, никель, титан, ванадий. Поведение элементов в рудах и первичных ореолах по падению характеризуется закономерным уменьшением роли одних и возрастанием других, иначе говоря, зональностью, для которой свойственны следующие особенности:

1) содержание серебра, мышьяка, сурьмы и молибдена с глубиной резко падает;

2) содержание свинца, цинка и кадмия с глубиной сохраняется на одном уровне;

3) содержание меди и висмута с глубиной возрастает.

Галенит — главный рудный минерал скарново-полиметаллического и жильно-полиметаллического типов оруденения. В первом типе он входит в галенит-сфалеритовую с пиритом и халькопиритом, пирит-галенитовую и пиритовую с галенитом ассоциации. Во втором типе оруденения он является составной частью кварц-кальцит-сульфидной, пирит-галенитовой и кварц-кальцит-баритовой с флюоритом и (или) сульфидами минеральных ассоциаций. Галенит из разных ассоциаций находится в тесной связи со сфалеритом, пиритом, гранатом, пироксеном, хлоритом, серпентином, волластонитом и другими минералами. В верхней части рудного тела «Чет-

Баланс элементов в рудах и главных минералах месторождения Центральный Кансай \*

Рудное тело (геохимический уровень)	Анализируемый материал	Кол-во проб	Содержание в минерализованной зоне, %	Элементы и их порядок содержания, г/т								
				Ag	Pb	Zn	Cu	Bi	Cd	Sb	As	Mo
«Четка» (верхняя часть)	Руда	3		2200	105 500	63 600	3000	250	500	200	400	5
	Галенит	3	12,5	$\frac{1000}{125}$	$\frac{820\ 000}{102\ 500}$	$\frac{2200}{275}$	$\frac{2000}{250}$	$\frac{1000}{125}$	$\frac{50}{6}$	$\frac{500}{60}$	$\frac{50}{6}$	$\frac{5}{0,6}$
	Сфалерит	3	10	$\frac{200}{20}$	$\frac{5000}{500}$	$\frac{630\ 000}{63\ 000}$	$\frac{5000}{500}$	$\frac{10}{1}$	$\frac{5000}{500}$			$\frac{10}{1}$
	Пирит	8	10	$\frac{100}{10}$	$\frac{3000}{300}$	$\frac{1500}{150}$	$\frac{2000}{200}$	$\frac{100}{10}$				$\frac{5}{0,5}$
	Разность между содержаниями элемента в руде и минералах-носителях ( $\pm$ )				2045	2200	0	2050	114		140	394
«Четка» (средняя часть)	Руда	4		400	60 500	51000	7000	900	400		100	2
	Галенит	4	6,5	$\frac{5000}{325}$	$\frac{805\ 000}{52\ 330}$	$\frac{2200}{143}$	$\frac{6000}{390}$	$\frac{1000}{65}$	$\frac{50}{3,2}$			$\frac{10}{0,65}$
	Сфалерит	2	8	$\frac{800}{64}$	$\frac{13\ 700}{1096}$	$\frac{620\ 500}{49\ 640}$	$\frac{10\ 000}{800}$	$\frac{600}{50}$	$\frac{4600}{368}$			
	Пирит	5	32,5	$\frac{40}{13}$	$\frac{7000}{2275}$	$\frac{3500}{1100}$	$\frac{5000}{1500}$	$\frac{150}{50}$			$\frac{100}{30}$	

	Разность между содержаниями элемента в руде и минералах-носителях ( $\pm$ )			0	4799	0	4310	735			70	1,35
5,11 (верхняя часть)	Руда	8		100	35 700	5500	2500	3	760	200	1000	10
	Галенит	3	5	$\frac{144}{7,2}$	$\frac{86\ 200}{4310}$	$\frac{1900}{95}$	$\frac{380}{19}$	$\frac{30}{1,5}$	$\frac{100}{5}$	$\frac{3000}{150}$		
	Сфалерит	3	7,5	$\frac{100}{7,5}$	$\frac{5000}{375}$	$\frac{61\ 000}{4575}$	$\frac{3000}{225}$	$\frac{20}{1,5}$	$\frac{6300}{473}$	$\frac{400}{30}$	$\frac{200}{15}$	$\frac{2}{0,15}$
	Пирит	4	11	$\frac{70}{7,7}$	$\frac{4000}{440}$	$\frac{7000}{770}$	$\frac{500}{55}$		$\frac{10}{1}$		$\frac{2000}{220}$	
	Разность между содержаниями элемента в руде и минералах-носителях ( $\pm$ )			77,6	30 575	0	2201	0	281	20	765	9,85
	Причины отклонения в балансе вещества			Присутствуют минералы серебра	Присутствуют сульфосоли свинца		Присутствуют минералы меди и висмута			Присутствуют минералы сурьмы и мышьяка		

\* В числителе — содержание элемента в минерале, в знаменателе — содержание элемента в руде, вычисленное через процентное содержание в ней данного минерала.

ка» он образует правильные зерна размером от долей миллиметра до 2—3 см в виде мономинеральных скоплений с сульфидами. В средней части рудного тела галенит вытянутой, неправильной формы с размером зерен 1—2 мм. С глубиной общее количество его заметно уменьшается.

Основными элементами-примесями галенитов являются серебро, медь, висмут, мышьяк и сурьма (см. таблицу). Поведение серебра в общей массе руды имеет четкую тенденцию к уменьшению интенсивности с глубиной. На верхних горизонтах рудного тела «Четка» оно представлено самостоятельными минеральными формами — аргентитом и самородным серебром, а также изоморфной примесью в галените и других сульфидах. На уровне средней части рудного тела серебро входит лишь в виде изоморфной примеси, а возможно, и в скрытозернистой минеральной форме в рудообразующие сульфиды. Галенит на этом уровне включает основную часть серебра. Поведение сурьмы и мышьяка аналогично поведению серебра — тенденция к резкому уменьшению их содержаний с глубиной. На верхних горизонтах рудного тела «Четка» эти элементы представлены как самостоятельными минералами (теннантит, тетраэдрит), так и изоморфными и механическими примесями в галените. На уровне средней части рудного тела блеклые руды отсутствуют и соответственно исчезает сурьма в главных рудных минералах. Зависимость для мышьяка несколько иная. Он здесь представлен арсенопиритом и в виде изоморфной примеси содержится лишь в пирите.

Поведение меди аналогично поведению висмута и обнаруживает четкую тенденцию к увеличению содержаний вниз по падению рудных тел как в рудах, так и в главных минералах-носителях: галените, сфалерите, пирите. На верхних горизонтах медь находится в виде блеклых руд (теннантит, тетраэдрит), а висмут — в виде висмутитина и самородного висмута. Количество этих минеральных форм незначительно (единичные зерна в руде), они вниз по падению сменяются халькопиритом и галенобисмутитом. На уровне средней части рудного тела «Четка» количество халькопирита достигает 0,4% и висмутитина с галенобисмутитом 0,1%. Галенит находится в тесной парагенетической связи с кварцем, кальцитом, хлоритом, сфалеритом и пиритом. Он является наиболее распространенным сульфидом жильных образований месторождения. Форма выделения галенита — правильные кубы с размером ребер 3—8 мм.

Основные элементы-примеси в этих галенитах — серебро, медь, висмут и сурьма (см. таблицу).

Концентрация серебра невысокая и обусловлена в основном микроскопическими вростками самородного серебра и аргентита. Цинк, медь и кадмий связаны тонким и мелким прорастанием галенита сфалеритом и халькопиритом. Висмут представлен микровключениями самородного висмута, висмутитина и клапротолита (?). Сурьма входит в сульфоантимониты свинца (менигинит, геокронит, полибазит, бурнонит, джемсонит, буланжерит), которые заполняют все механические дефекты в кристаллах — микротрещины, каверны. Отсутствие мышьяка в галените компенсируется наличием его в виде самостоятельного минерала — арсенопирита. По сравнению с галенитом из скарнов, в жильном галените содержания серебра, меди, висмута ниже в 10—40 раз, а сурьмы — выше в 6 раз.

Сфалерит, наряду с галенитом, является главным рудным минералом и тесно связан с ним в скарново- и жильно-полиметаллическом типах оруденения пространственно и генетически едиными минеральными ассоциациями.

В верхней части рудного тела «Четка» сфалерит образует правильной формы кристаллы размером от долей до 5 мм в виде массивных скоплений среди сульфидов. Он приурочивается к центральной и фланговой частям лежащего бока рудного тела. В верхней части рудного тела минерал более светлый (клеюфан), чем на глубине (марматит), благодаря увеличению количества микровростков халькопирита и пирротина по падению тела.

Из элементов-примесей в сфалеритах характерно присутствие серебра, свинца, меди, кадмия, висмута (см. таблицу). Содержания серебра, свинца, меди и висмута связаны с микровключениями галенита, висмутина, самородного серебра, висмута, аргентита и др. Содержание кадмия в сфалерите обусловлено изоморфным замещением из цинка. Молибден, по-видимому, изоморфно замещает железо в халькопирите, образующем эмульсионную вкрапленность в сфалерите.

Сфалерит из жильно-полиметаллического типа оруденения отличается от скарнового более правильными и крупными размерами кристаллов. Цвет его также меняется от светлых до темных разностей. Последние обусловлены тонкими прорастаниями с галенитом, пиритом и эмульсиевидной вкрапленностью халькопирита, пирротина, халькозина, ковеллина и сульфосолей. Содержания серебра, меди и висмута в нем ниже в 3—8 раз, а сурьмы и молибдена — выше в 10 раз и более.

Пирит — самый распространенный и проходящий минерал всех типов руд, встречается во всех продуктивных минеральных ассоциациях. В скарново-полиметаллическом типе он образует простые кубы размером от долей миллиметра до 10 см. В верхней части рудных тел пирит правильной кубической формы, более деформирован и часто образует двойники. Размер кристаллов в поперечнике от долей до 1 мм. Серебро в пирите связано с микровключениями самородного серебра и аргентита. В отличие от галенита и сфалерита содержание серебра в пирите с глубиной уменьшается. Свинец, цинк, медь и висмут связаны с микровключениями и субмикроскопическими прожилками галенита, сфалерита, халькопирита, висмутина, галенобисмутита и др. С глубиной содержания этих элементов в пирите возрастают.

Пириты из жильно-полиметаллического типа оруденения по кристалломорфологии отличаются от вышеописанных и представлены пентагон-додекаэдрами и их сростками. Кубические формы очень редки. Пирит тесно ассоциирует с галенитом, сфалеритом, блеклыми рудами и тетрамитом. По сравнению с пиритом из скарново-сульфидного типа оруденения в жильном пирите содержания мышьяка на порядок выше, серебра и меди ниже в 2—4 раза, а висмут вообще отсутствует.

Рассмотренные особенности поведения элементов в рудах и главных рудных минералах позволяют сделать следующие выводы:

1. Поведение элементов в руде, главных рудных минералах и околорудных ореолах идентично:

а) содержания серебра, сурьмы, мышьяка и молибдена с глубиной уменьшаются, а меди и висмута — увеличиваются;

б) уровни свинца, цинка и меди по падению рудных тел сохраняются.

2. Верхняя часть рудного тела «Четка» характеризуется наличием некоторого количества серебра. С глубиной общее содержание серебра и самостоятельных серебряных минералов резко уменьшается.

3. Экстраполяция градиентов интенсивностей всех вышеназванных элементов позволяет говорить о перспективности рудного тела «Четка» на глубину не менее чем до гипсометрического уровня 300 м.

## ЛИТЕРАТУРА

Арапов Ю. А. Минералогия и геохимия Кансайского месторождения. — В кн.: Труды Таджикско-Памирской экспедиции АН СССР. Вып. XI. М., 1936.

Еникеев М. Р. Галениты Юго-Западного Карамазара. — Зап. Узб. отд. ВМО, 1959, вып. 13.

Жариков В. А. Геология и метасоматические явления скарново-полиметаллических месторождений Западного Карамазара. — Труды ИГЕМ АН СССР. Вып. 14. М., 1959.

Моисеева М. И. Сфалериты Юго-Западного Карамазара.— «Зап. Узб. отд. ВМО», 1959, вып. 13.

Нечелостов Н. В., Попова Н. Н., Минцер Э. Ф. Распределение элементов-примесей в процессе гипогенного минералообразования в свинцово-цинковых и медно-молибденовых месторождениях Карамазара.— В кн.: Труды ИМГРЭ АН СССР. Вып. 5. М., 1961.

В. Ф. Митрофанский, И. Л. Бибичков, Р. Р. Ислев,  
С. С. Цингауз, Л. С. Виль

(Южно-Казахстанское геологическое управление)

## ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ОРУДЕНЕНИЯ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТЕКЕЛИЙСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Текелийское рудное поле расположено на северном крыле Южно-Джунгарского антиклинория. Колчеданные свинцово-цинковые месторождения представляют собой крутопадающие стратиформные залежи в известково-углисто-линистых породах текелийской свиты, которая, по последним данным (Никитченко и др., 1971), относится к докембрийским образованиям. Рудные тела пиритового и галенит-сфалерит-ширитового состава имеют пластовую и линзообразную форму и содержат прослои вмещающих пород. В рудном поле имеется несколько месторождений и рудопроявлений, вытянутых в субширотном направлении и приуроченных к рудному горизонту текелийской свиты.

Для изучения геохимической зональности месторождений Текелийского рудного поля использованы данные выполненного в Центральной химической лаборатории Южно-Казахстанского геологического управления спектрального анализа дубликатов проб 129 разведочных скважин месторождений Текели, Западное Текели, Яблоновое, рудопроявлений Клубное и 2-й Кордон. Месторождения разведуются несколько десятилетий, но по большей части скважин опробованы только интервалы с видимой минерализацией. Это обусловило изучение зональности в сравнительно узком интервале оруденения, за границы которого принята изолиния первичного ореола цинка с содержанием 0,02%.

В качестве параметров оруденения по скважинам определялись линейные продуктивности, средние и средневзвешенные содержания по известным формулам (Беус, Григорян, 1975).

В соответствии с общепринятой методикой изучения геохимической зональности, направленной на выявление вертикальной ее составляющей как наиболее важной в прикладном отношении, работы были начаты с исследования зональности на вертикальных геологических разрезах путем определения коэффициентов контрастности и показателей зональности элементов по методике, предложенной С. В. Григоряном (Григорян, Янишевский, 1968), и по программам МГУ-064 и НЮ-2 А. П. Соловова (Соловов и др., 1973). Всего по месторождениям и рудопроявлениям изучено 39 разрезов.

При визуальном анализе распределения элементов установлено, что рудные тела сопровождаются первичными ореолами сурьмы, серебра, кадмия, фтора, ртути, меди, мышьяка, германия, таллия, олова, молибдена, галлия, бария и марганца. Стабильной вертикальной зональности в строении первичных ореолов вокруг рудных тел и околорудном пространстве не выявлено. Замечены тенденции к приуроченности максимальных содержаний серебра, сурьмы, фтора, германия, таллия, кадмия, ртути к центральным частям рудных тел, меди и мышьяка к их периферии, а олова, молибде-

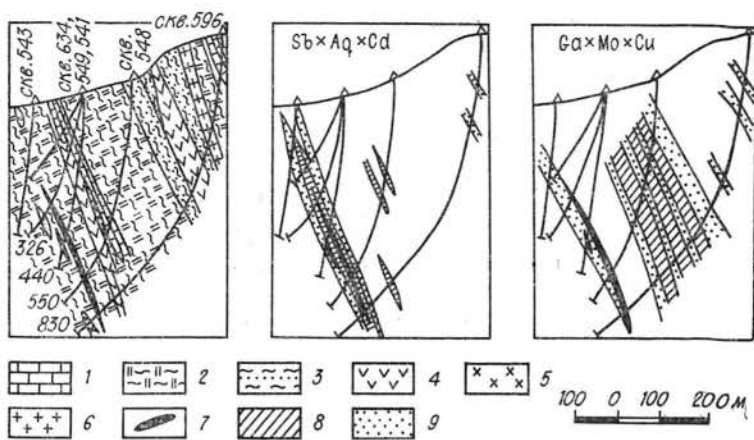


Рис. 1. Месторождение Западное Текели. Геологический разрез и мультипликативные ореолы по профилю XIII.

1 — известняки; сланцы; 2 — кремнисто-углисто-глинистые, 3 — глинистые с прослойками песчаников; порфириды; 4 — среднего и основного состава, 5 — кварцево-диоритовые, 6 — гранит- и гранодиорит-порфиры; 7 — колчеданно-полиметаллические рудные тела; мультипликативные ореолы: 8 — высокоаномальные, 9 — низкоаномальные.

на, галлия, бария и марганца — к околорудному пространству и безрудным прослойкам рудных линз. По отдельным разрезам, где скважины последних лет полностью охарактеризованы геохимическим опробованием, намечается геохимическая зональность в разрезе текелийской свиты. По сравнению с рудным, надрудный горизонт обогащен медью, молибденом, оловом, галлием и марганцем при низких содержаниях других элементов (рис. 1), подрудный горизонт характеризуется повышенными содержаниями бария и мышьяка.

При определении рядов вертикальной зональности по показателям зональности и программам МГУ-064 и НЮ-2 использованы линейные продуктивности элементов. Поведение этого параметра соответствует поведению среднего и средневзвешенного содержаний, но отличается большой контрастностью. Ряды зональности определялись по отдельным разрезам и по месторождениям в целом. В последнем случае каждое месторождение делилось на ряд блоков по гипсометрическому принципу, за параметры по блоку принимались средние значения линейных продуктивностей по скважинам, входящим в блок.

По программе НЮ-2 монотонных показателей зональности, общих для смежных разрезов каждого из изученных месторождений, получено не было. Ряды вертикальной геохимической зональности, определенные с помощью этой программы, существенно отличаются при сравнении: отдельных разрезов каждого месторождения между собой, рядов каждого разреза с общим для месторождения, определенным по блокам, и рядов зональности по месторождениям. Показатели ранговой корреляции между рядами зональности по смежным разрезам каждого месторождения имеют незначимые положительные и даже отрицательные величины.

Ряды вертикальной геохимической зональности, полученные по методике С. В. Григоряна, также значительно различаются для разрезов в одном месторождении и для разных месторождений, но, анализируя их, можно выделить элементы (олово, молибден, галлий, медь, мышьяк), которые по многим разрезам характеризуют верхние и нижние части рудных тел. Вероятно, по этой причине на основе выявленных рядов индикаторных отношений продуктивностей элементов, по которым четко бы различались верхние и нижние части рудных тел, не получено.

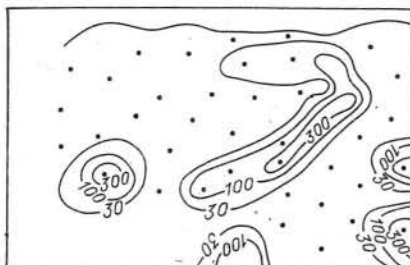
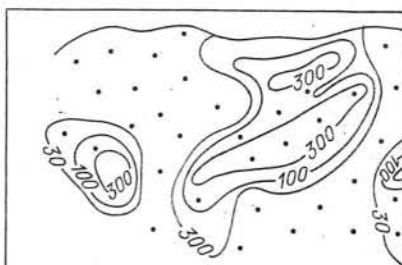
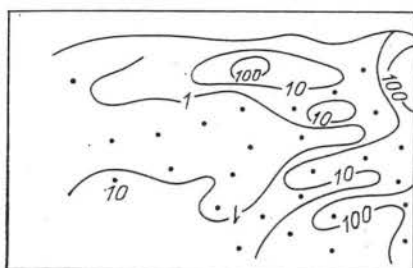
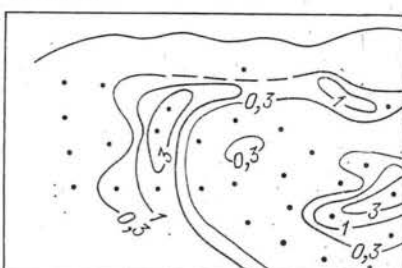
$Sb \times Ag \times Cd, n \cdot 10^{-6}$  $Pb \times Zn$  $Cu \times Mo \times Co, n \cdot 10^{-6}$  $Ba \times Mn$ 

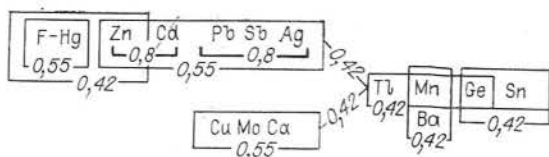
Рис. 2. Месторождение Западное Текели. Мультипликативные ореолы линейных продуктивностей на продольной вертикальной проекции.

Таким образом, при изучении зональности на геологических разрезах устойчивых рядов вертикальной геохимической зональности и индикаторных отношений, характеризующих верхние и нижние части рудных тел, не установлено, поэтому дальнейшие исследования зональности оруденения проводились на продольных вертикальных проекциях рудных тел. При визуальном изучении распределения параметров ореолов (линейных продуктивностей и средних содержаний) в плоскости рудных тел замечено, что элементы образуют несколько ассоциаций, сходных с ассоциациями, выделенными при визуальном анализе первичных ореолов на геологических разрезах (рис. 2). Это подтверждается и результатами корреляционного анализа между линейными продуктивностями элементов по скважинам. Матрицы коэффициентов парной корреляции обработаны с помощью одного из методов ветвящихся связей (Боннер, 1969), в результате чего получено графическое выражение, позволяющее показать ассоциации элементов, связи между ними и отдельными элементами. На месторождении Западное Текели (рис. 3) при значении коэффициента парной корреляции 0,8 (что соответствует 1%-ному уровню значимости) выделяются только две ассоциации: цинк — кадмий и сурьма — серебро — свинец. При значении коэффициента корреляции 0,55 (уровень значимости 5%) выделяются три ассоциации элементов: фтор — ртуть, цинк — кадмий — свинец — сурьма — серебро, медь — молибден — галлий. Внутри каждой из ассоциаций все элементы попарно имеют коэффициенты корреляции большие или равные 0,55. Эти три ассоциации связаны между собой на уровне показателя корреляции 0,42 непосредственно или через другие ассоциации.

Ассоциации элементов, полученные по каждому месторождению отдельно и по всему рудному полю, очень схожи между собой и находят отражение в распределении параметров ореолов на вертикальных проекциях. Это позволяет сделать вывод, что в Текелийском рудном поле реально существуют стабильные ассоциации элементов. Пространственное распределение их внутри каждой ассоциации характеризуется общими



Рис. 3. Ассоциативные группы элементов, полученные по методу ветвящихся связей. (цифрами обозначены величины корреляционной связи между элементами).



чертами. Это дает возможность рассматривать поведение не отдельных элементов, а ассоциаций. В месторождениях Текелийского рудного поля выделено три ассоциации: первая включает цинк, свинец, серебро, сурьму, кадмий, иногда к ней добавляется мышьяк, ртуть, таллий, фтор; вторая — медь, олово, молибден, галлий, иногда германий, таллий, мышьяк; третья — барий, марганец, иногда таллий, ртуть. Элементы первой ассоциации пространственно тяготеют к центру, а второй — к периферическим частям рудных тел. Третья ассоциация занимает промежуточное положение.

На продольных вертикальных проекциях изучалось не только распределение параметров ореолов, но и расположение однородных зон, выявленных с помощью автоматической классификации объектов в многомерном пространстве признаков по системе программ, реализованной в Каз-ВИРГе на ЭВМ ЕС-1020 (Гольдшмидт, Беляшов, 1975).

В этой системе с помощью одного из методов факторного анализа — метода главных компонент — осуществлен переход от первичных зависимых признаков (в нашем случае — параметров ореолов по скважинам) к системе независимых компонент. Для интерпретации компонент применен метод вращения факторов, позволяющий выбрать для классификации наиболее информативные компоненты. В качестве алгоритма автоматической классификации использована схема Р. Е. Боннера (1969), основанная на определении мер различия между объектами и позволяющая часть выработок относить одновременно к нескольким классам. Такие выработки можно рассматривать как связующие звенья между соседними классами, что позволяет графически представить взаимное расположение классов (рис. 4, б).

Анализ расположения выработок, соответствующих различным классам, позволяет выделить области, пространственно соответствующие полученным классам. Для месторождения Западное Текели (см. рис. 4, а) на вертикальной проекции выделяются концентрически расположенные однородные зоны. Такое же расположение однородных зон характерно для рудных тел месторождения Яблоновое. Фрагменты концентрической зональности наблюдаются на месторождении Текели. Фрагментарность обусловлена, вероятно, тем, что верхняя, отработанная, часть месторождения не исследовалась из-за отсутствия информации, а нижние горизонты разведаны слабо.

По нескольким направлениям от центра к периферии различных рудных тел определены ряды концентрической зональности. Ряды, полученные по всем вариантам, очень близки между собой. Стабильность рядов концентрической зональности подтверждается большим количеством общих монотонных показателей зональности от центра к периферии, полученных по программе НЮ-2. Для пяти вариантов направлений от центра к периферии рудного тела месторождения Западное Текели количество общих монотонных показателей зональности второго порядка составляет 73.

Обобщенный ряд концентрической зональности для месторождений Текелийской группы выглядит следующим образом: сурьма, серебро, свинец, фтор, ртуть, цинк, кадмий, германий, таллий, медь, мышьяк, марганец, олово, барий, галлий, молибден. На основе этого ряда предложено несколько индикаторных отношений (показателей) концентрической зональности, из которых наиболее интересны  $\frac{\text{ртуть} \cdot \text{фтор}}{\text{молибден} \cdot \text{галлий}}$  и

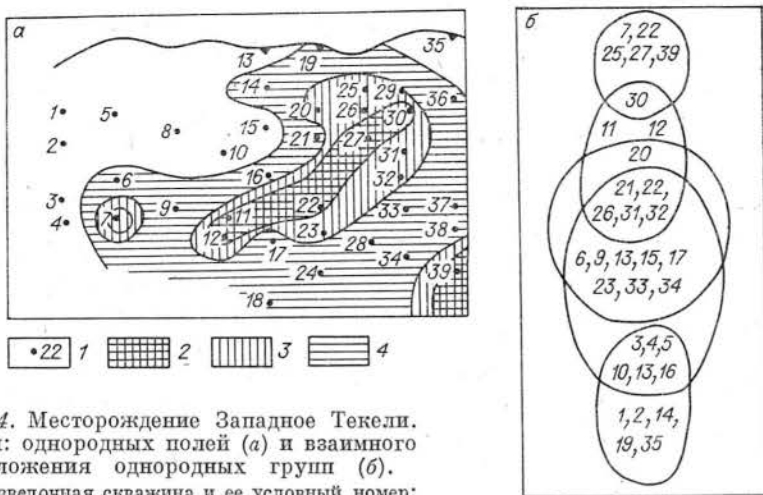


Рис. 4. Месторождение Западное Текели. Схемы: однородных полей (а) и взаимного расположения однородных групп (б).

1 — разведочная скважина и ее условный номер; однородные поля рудного тела: 2 — центральной части, 3 — промежуточной, 4 — периферической.

ртуть · фтор  
молибден · олово

Их значения в центральных частях месторождений и рудопроявлений составляют 100—1000, в периферических — 0,01—0,1 и не зависят от масштабов оруденения, что позволило использовать эти показатели для отличия периферических частей богатых рудных линз (где содержания рудных элементов низки, а показатели зональности имеют минимальные значения) от центральных частей бедных рудных линз, соответствующих зонам рассеянной рудной минерализации (здесь содержания рудных элементов также низкие, а значения коэффициентов высокие). При наличии нескольких скважин, пересекающих периферические части богатых рудных линз, по градиенту предложенных показателей определяется направление разведочных работ для вскрытия центральных частей рудного тела.

Предложенные отношения просчитаны для всех интервалов полиметаллического оруденения исследуемых месторождений и рудопроявлений. На рудопроявлениях 2-й Кордон и Клубное значения этих показателей достигают нескольких тысяч в центральных частях выявленного оруденения и резко уменьшаются к флангам. Это позволило сделать вывод, что на данном этапе разведочных работ здесь вскрыты зоны бедной рассеянной минерализации.

На месторождении Западное Текели градиент показателя зональности четко фиксирует возможное увеличение запасов на нижних горизонтах Восточного фланга. На месторождении Яблоновое по поведению показателей концентрической зональности наиболее перспективным выглядит четвертое рудное тело.

Таким образом, в результате изучения геохимической зональности оруденения месторождений Текелийской группы вертикальной геохимической зональности не установлено. Выявлена концентрическая зональность и определены возможности ее практического использования.

Полученные результаты позволяют несколько дополнить методику изучения зональности рудных объектов, предложенную Г. Р. Бекжановым (1973), и представить ее в следующей последовательности:

1. Выделение ассоциаций элементов;
2. Изучение поведения ассоциаций элементов в геологическом пространстве;
3. Выделение геохимических однородных областей;
4. Анализ расположения однородных областей относительно геологических структур и разных частей рудных тел;

5. Определение направления зональности на основе изучения расположения однородных областей и распределения мультипликативных показателей по ассоциациям элементов;

6. Установление рядов геохимической зональности и определение геохимических характеристик для разных частей рудных тел.

Отсутствие на месторождениях Текелийской группы вертикальной и наличие концентрической зональности представляет интерес и с точки зрения их генезиса. Не анализируя взгляды разных авторов (Байкенов, 1972; Башкиров, 1962; Соловов и др., 1972; и др.), отметим только, что полученные результаты наилучшим образом увязываются с представлениями о гидротермально (вулканогенно-)осадочном происхождении месторождений.

## ЛИТЕРАТУРА

Байкенов Ш. А. Закономерности локализации колчеданно-свинцово-цинкового оруденения на месторождении Текели в Джунгарском Алатау. — «Изв. АН КазССР. Серия геол.», 1972, № 2.

Башкиров Б. Г. Генезис свинцово-цинковых месторождений Джунгарского Алатау. — «Сов. геология», 1962, № 3.

Бекжанов Г. Р. Эндогенные ореолы и поиск скрытых месторождений полезных ископаемых. — В кн.: Геохимические поиски скрытого оруденения. Алма-Ата, 1973.

Беус А. А., Григорян С. В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М., «Недра», 1975.

Боннер Р. Е. Некоторые методы классификации. — В кн.: Автоматический анализ сложных изображений. (Сб. переводов). М., «Мир», 1969.

Гольдшмидт В. И., Беляшов Д. Н. Математические методы при прогнозно-металлогенических исследованиях (на примере Рудного Алтая). Алма-Ата, 1975.

Григорян С. В., Янишевский Е. М. Эндогенные геохимические ореолы рудных месторождений и их использование при поисках скрытого оруденения. М., «Недра», 1968.

Никитченко И. И., Киселев В. Е., Королев В. Г. Докембрий Южно-Джунгарского антиклинория. — В кн.: Стратиграфическое совещание по допалеозою и палеозою Казахстана. Алма-Ата, 1974.

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

*Л. А. Иванов, А. Г. Лозовой*

*(Северо-Казахстанское геологическое управление)*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ ГИПЕРГЕННЫХ ОРЕОЛОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ОРУДЕНЕНИЯ НА ГЛУБИНУ

В основе разрабатываемых методик оценки геохимических аномалий лежит зональность в распределении элементов в рудных телах и ореолах. В этой связи проблема изучения зональности отдельных месторождений является актуальной, что неоднократно подчеркивалось многими исследователями.

Нами рассматривается вопрос связи горизонтальной зональности вторичных ореолов рассеяния с зональностью первичных ореолов и возможность использования отдельных геохимических характеристик, полученных в результате опробования коры выветривания, для оценки эндогенных ореолов в условиях Северного Казахстана.

Описываемые барит-полиметаллические месторождения располагаются в районе сочленения Шатского антиклинория со Степнякским синк-

линорием и пространственно тяготеют к местам развития кислых эффузивов девона, контролируемых широтной Шатской зоной разломов.

По минеральному составу месторождения очень близки, некоторое отличие проявляется лишь в количественном соотношении ряда элементов и структуре руд. Из рудных минералов наиболее распространены галенит, сфалерит, халькопирит и пирит. В меньших количествах отмечаются ковеллин, аргентит и самородное золото. Жильные минералы представлены баритом, кварцем, реже кальцитом. Характерные окolorудные изменения — хлоритизация и серицитизация. Зона окисления по отдельным рудным телам развита от 10 до 60 м. Ее основные минералы — барит, церуссит, смитсонит, ярозит, малахит, азурит. Реже встречаются ангидрит, кераргидрит и золото.

Изучение эндогенных ореолов обычно проводилось по скважинам колонкового бурения, пробуренным по профилям, ориентированным вкрест простирания оруденения.

Гипергенные ореолы изучались по тем же профилям канавами и скважинами шнекового бурения. Канавы и керн колонковых скважин были опробованы метровыми интервалами точечным способом (15—20 сколков с 1 м). Из скважин шнекового бурения после проходки каждого рейса длиной 1,5 м отбиралась одна проба. Вес проб, независимо от места отбора, составлял 250—300 г.

Всего было проанализировано более 10 000 проб. Спектральные анализы выполнялись в лаборатории Северо-Казахстанской геофизической экспедиции на дифракционном спектрографе ДФС-13 на 30 элементов, в том числе на 9 основных с чувствительностью: на свинец —  $1 \cdot 10^{-4}$ , цинк —  $1 \cdot 10^{-3}$ , серебро —  $1 \cdot 10^{-5}$ , молибден —  $2 \cdot 10^{-5}$ , мышьяк —  $5 \cdot 10^{-3}$ , барий —  $1 \cdot 10^{-2}$ , висмут —  $1 \cdot 10^{-4}$ , сурьму —  $1 \cdot 10^{-3}$ . Спектрозолотометрический анализ проводился в этой же лаборатории по методике Н. И. Сафронова с чувствительностью 0,01 г/т.

Достоверность результатов анализов контролировалась повторными спектральными анализами в лаборатории Центральной геохимической экспедиции КазИМСа и частично химическими анализами в лаборатории Майкаинской ГРЭ.

Полученные данные подвергались статистической обработке с применением вероятностного графарета для логарифмически нормального распределения. При этом нижние аномальные содержания и геохимический фон устанавливались по пробам, отобранным из неизмененных пород. Для элементов, чувствительность анализов на которые ниже значения местного геохимического фона, за нижние аномальные содержания были приняты величины, соответствующие нижнему пределу чувствительности анализа.

Вокруг рудных тел всех рассматриваемых месторождений в результате опробования установлены эндогенные и гипергенные ореолы рассеяния свинца, цинка, меди, бария, стронция, висмута, мышьяка, молибдена и золота. Граница между рудными телами и эндогенными ореолами в большинстве случаев имеет условный характер, отделяет промышленные руды от забалансовых. Одинаковый элементный и минералогический состав каждого рудного тела с окружающим его эндогенным ореолом позволяет считать, что рудные тела и их первичные ореолы имеют один общий источник и образовались одновременно, поэтому при изучении они рассматривались совместно.

В пределах контуров, ограниченных нижеаномальными содержаниями, по 15 выработкам определялась линейная продуктивность ореолов по формулам, рекомендуемым А. П. Соловьевым (1969). По этим же выработкам с помощью формулы Е. М. Янишевского и С. В. Григоряна (1968) рассчитывался статистический коэффициент ранговой корреляции между содержаниями всех элементов, образующих ореолы рассеяния. Выборка в этом случае ограничивалась нижними аномальными содержаниями эле-

Коэффициенты корреляции элементов в эндогенных ореолах  
в зависимости от метрокларков

Эле- мент	Метрокларки концентраций						
	5200	4700	3500	860	700	160	25
	Ag	Pb	Bi	As	Mo	Cu	Zn
Ag		0,7	0,7	0,2	0,2	0,01	-0,3
Pb	0,5		0,7	0,5	0,4	0,0	-0,2
Bi				0,4	0,3	-0,3	-0,5
As	-0,4	-0,6			0,7	0,1	-0,2
Mo	0,2	0,7		0,2		0,4	0,1
Cu	0,7	0,8		-0,5	0,6		0,6
Zn	0,7	0,7		-0,4	0,4	0,8	
$M_K$	730	2400		180	260	3500	100

Примечание. Над пробелом ореол рудного тела 1, под ним — рудного тела 2.

мента, образующего наиболее широкий ореол из выбранной пары.

Для выявления горизонтальной зональности по каждому сечению вычислялся коэффициент ранговой корреляции методом скользящего окна между содержаниями всех элементов, образующих ореолы рассеяния. Размер окна соответствовал 1/4 ширины наиболее узкого ореола. Шаг скольжения при расчете по данным опробования канав и скважин колонкового бурения равнялся 2—5 точкам отбора. При расчете этого коэффициента по данным опробования скважин шнекового бурения в одно окно объединялись точки отбора из соседних скважин (2—4 скважины), причем из каждой скважины в подсчет входили содержания элементов в 4—5 пробах. Шаг скольжения в этом случае соответствовал количеству проб, отобранных из одной скважины. Вычисленный коэффициент относился к середине окна. По данным этих расчетов строились графики изменения корреляционной связи вкрест простираения оруденения.

Анализ вычисленных коэффициентов корреляции показал, что корреляционные связи некоторых элементов, установленные в эндогенных ореолах, сохраняются в зоне развития щебенистой и глинистой кор выветривания. Связь элементов в эндогенных ореолах зависит в основном от величины метрокларка концентраций ( $M_K$ ), которая вычислялась по формуле (Иванов, 1976)  $M_K = \frac{M}{K}$ , где  $M$  — продуктивность;  $K$  — местный кларк элемента (геохимический фон).

Для примера приведены расчеты по центральным сечениям двух рудных тел (см. таблицу).

На рассматриваемых проявлениях наиболее связаны между собой элементы с наибольшими или близкими метрокларками концентраций (связь определялась с 5%-ным уровнем значимости; в таблице значимые коэффициенты подчеркнуты). Элементы, имеющие резко отличные метрокларки концентраций, либо не связаны между собой, либо связаны отрицательной корреляционной связью.

Форма графиков изменения корреляционной связи, построенных вкрест простираения оруденения, кроме количественных соотношений, зависит от залегания ореола.

При вертикальном (85—90°) залегании ореола форма корреляционных графиков симметричная. Для элементов, имеющих в ореоле небольшие или близкие метрокларки концентраций, характерны положительные значения коэффициентов корреляции по всему сечению оруденения, при

этом связь, установленная на периферии рудных тел, разворачивается в большинстве случаев в центральной части. Для пар элементов, имеющих в ореоле резко различные метрокларки концентраций, характерны положительные значения коэффициентов корреляции на периферии рудных тел и отрицательные — в центральной части. При этом положительная корреляционная связь, установленная на периферии рудных тел, в большинстве случаев меняется на отрицательную в центральной части.

При наклонном залегании ореола форма графиков корреляции элементов, имеющих резко различные метрокларки концентраций, асимметричная. На периферии висячего бока значения коэффициента корреляции положительные и значимые, а на периферии лежащего бока положительные, но не значимые. Минимальные значения коэффициентов корреляции смещены по отношению к центральной части ореола в сторону лежащего бока. Форма графиков корреляции элементов, имеющих в ореоле наибольшие или близкие метрокларки концентраций, аналогична графикам, построенным на рудных телах с вертикальным падением.

Аналогичная закономерность отмечается и в ореолах рассеяния щепенистой и глинистой кор выветривания, что позволяет использовать эту закономерность для определения залегания эндогенных ореолов. Отклонение от общей закономерности отмечается у элементов с большой миграционной способностью в зоне гипергенеза (Cu, Zn, Sr, Ag), определяющейся величиной коэффициента  $k$  (Соловов, 1969) и соответствующей отношению продуктивности ореола в коре выветривания к продуктивности эндогенного ореола.

Методика определения залегания эндогенного ореола по зональности гипергенного была апробирована на рудопроявлениях Джамбульском и Мезгильсоре и дала положительные результаты.

## ЛИТЕРАТУРА

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

Иванов Л. А. Горизонтальная зональность эндогенных и гипергенных ореолов рассеяния барит-полиметаллических месторождений Северного Казахстана. — «Геол. рудн. месторожд.», 1976, № 1.

Соловов А. П. Количественная интерпретация вторичных остаточных ореолов рассеяния рудных месторождений (краткое методическое пособие). Алма-Ата, 1969.

Янишевский Е. М., Григорян Е. В. Эндогенные геохимические ореолы рудных месторождений. М., «Недра», 1968.

*И. Ф. Бровчук, А. П. Инговатов*

*(Геохимическая экспедиция Центрального геофизического треста)*

## ОПЫТ РАБОТЫ ПО ГЛУБИНЫМ ГЕОХИМИЧЕСКИМ СЪЕМКАМ В НЕКОТОРЫХ РАЙОНАХ РСФСР

Геохимическая экспедиция Центрального геофизического треста проводит глубинные геохимические съемки на Южном Урале (медь, свинец, цинк, золото), в степной части Рудного Алтая (свинец, цинк), на Ветреном Поясе в Прионежье (никель, медь), на Уссури-Ханкайском кристаллическом массиве в Приморье (олово, фтор). Каждый из районов характеризуется своими металлогеническими признаками, составом и мощностью покрова древних кор выветривания, ледниково-моренных образований и современных осадков. Эти ландшафтно-геологические условия в общем

виде определяют методику и виды применяемых геохимических съемок, выбор представительного горизонта и фракции опробования, а также технические средства для отбора проб.

Глубинные геохимические съемки здесь направлены на поиски погребенных и скрытопогребенных месторождений, рудные тела которых или их первичные ореолы обычно выходят на уровень древнего денудационного среза и перекрыты чехлом древних и более молодых современных осадков мощностью от 5—25 до 50—100 м. Как правило, съемки комплексуются с геофизическими методами исследований МПП, АМПП, ВП, магниторазведкой и газортутной съемкой. Для анализа геохимических проб применяются высокочувствительные спектральные методы на широкий круг элементов, спецметоды — на мышьяк, сурьму, золото, фтор, атомно-абсорбционные и атомно-флюоресцентные — на ртуть и ее формы нахождения и др.

**Южный Урал.** Предпосылкой для применения глубинных геохимических методов исследований служит наличие в пределах зеленокаменной полосы вулканогенных пород обширных закрытых территорий, претерпевших длительное континентальное развитие в период, предшествовавший накоплению молодых осадков, которые перекрыли и таким образом сохранили древние коры выветривания с развитыми в них вторичными остаточными ореолами рассеяния медноколчеданных месторождений или их первичных ореолов. Распространение древней коры носит фрагментарный характер, кора представлена пестроцветным гидрослюдистым и щебенистым горизонтами мощностью 5—10 м, редко 20—25 м. Мощность покрова современных осадков 0,5—1,5 м, иногда более. В связи с тем, что чехол современных образований почти полностью экранирует погребенные вторичные ореолы рассеяния, поверхностная литохимическая съемка по наложенным солевым ореолам эффекта не дает.

Используя шнековое бурение станком УГБ-50 и, как контрольное, колонковое бурение станком УРБ-2А, можно при небольших затратах вести глубинную геохимическую съемку в масштабе 1 : 50 000—1 : 25 000 и выявлять участки с погребенными остаточными, высокой контрастности и интенсивности ореолами меди, свинца, цинка, серебра, золота, мышьяка, сурьмы, ртути, молибдена. Изучение зональности в распределении элементов-индикаторов медноколчеданного и золото-полиметаллического оруденения и других параметров погребенных ореолов позволяет определять местоположение их коренных источников — минерализованных зон или первичных ореолов рассеяния. Для определения уровня древнего денудационного среза и рудоносности выявляемых структур учитываются также особенности зонального распределения ртути в твердой и газовой фазах, термоформ нахождения ртути в зонах и первичных ореолах — хлоридной, фторидной, сульфидной, изоморфной. Дополнительно для установления положения рудного объекта применяются современные глубинные геофизические методы переходных процессов (МПП) в наземном и скважинном вариантах. Для определения масштаба оруденения и качества руд, вскрытых одной-двумя скважинами, успешно используется электрохимический метод КСПК.

**Рудный Алтай.** На обширной территории степной части Алтая широко распространены депрессионные впадины и мульды, заполненные мезокайнозойскими осадочными образованиями. Мощность их обычно составляет 50—100 м и более. Фундамент депрессий сложен вулканогенными и осадочно-вулканогенными породами среднего палеозоя, продуктивными в отношении полиметаллического оруденения.

Опытные геохимические работы, выполненные экспедицией в течение 1974—1975 гг., позволили установить слабое и весьма фрагментарное развитие погребенных древних кор выветривания с интенсивными остаточными вторичными ореолами рассеяния элементов-индикаторов полиметаллического оруденения. Мощность образований древней коры 0,5—1,5 м,

редко 3—5 м. Древние коры в межрядовых долинах и впадинах перекрыты мощным (50—100 м) чехлом мезокайнозойских образований с развитыми в них наложенными солевыми ореолами свинца, серебра, мышьяка, сурьмы, ртути, проникающими от коренных источников сквозь толщу осадков к земной поверхности. Литохимическими съемками масштаба 1 : 50 000 при глубине опробования 20—30 см по наложенным солевым ореолам четко зафиксированы рудные поля Рубцовского, Степного, Таловского, Ново-Золотушинского и Крючковского полиметаллических месторождений и выявлены новые перспективные на оруденение участки и зоны. Это позволило перейти к наземным литохимическим поискам по наложенным ореолам рассеяния погребенных и скрытопогребенных полиметаллических месторождений на обширных площадях при мощности рыхлых отложений до 50—100 м.

На выявленных по наложенным ореолам рассеяния локальных участках для установления природы солевых ореолов и характера коренных источников применяются глубинные геохимические съемки в масштабе 1 : 25 000—1 : 10 000.

При съемках используются также методы анализа пирофосфатных вытяжек из металлоорганических соединений, буферноацетатных — из почв, термоформ нахождения ртути — в ореолах и др.

Для обработки геохимической информации на ЭВМ и усиления сигнала по наложенным ореолам рассеяния используются специально разработанные программы «МГУ-100» и «МГУ-103».

**Ветренный Пояс (Прионежье).** На территории пояса на площади более 25 000 км<sup>2</sup> развиты ледниковые и моренные отложения, сплошным чехлом покрывающие рифейские комплексы метаморфических образований, вмещающих многочисленные интрузии ультраосновных и основных пород, потенциально рудоносных на никель и медь. Мощность ледниково-моренных отложений составляет 2—25 м и более.

Применение при поисках традиционной литохимической съемки в поверхностном варианте эффекта не дает: месторождения и рудопроявления никеля и меди открытыми остаточными и наложенными вторичными ореолами рассеяния по фракции опробования ледниково-моренных отложений 0,5—1,0 мм не отражаются, что можно объяснить своеобразием условий формирования осадков в периоды оледенения.

Для повышения глубинности геохимической съемки нами выполнялись опытные работы на объектах Кольского полуострова и Ветреного Пояса, которыми удалось установить представительный горизонт и фракцию материала опробования ледниково-моренных отложений, что позволило вести наземную литохимическую съемку по вторичным ореолам и потокам рассеяния на площадях, закрытых моренными образованиями. Представительной для опробования морен является супесчано-глинистая фракция размером 0,04—0,08 мм, отсеиваемая непосредственно в полевых условиях и направляемая на сжигание и анализ без предварительного истирания материала проб. Глубина опробования 0,7—1,5 м ниже слоя торфов. Глубинность метода — до 25 м.

Используя высокочувствительные анализы на медь, никель, кобальт, мышьяк, серебро, свинец, ртуть и другие элементы, удастся четко фиксировать вторичными солевыми ореолами рассеяния медно-никелевые проявления и выделять перспективные площади для постановки детальных поисковых работ и поискового бурения.

Благоприятные геоэлектрические условия разреза позволяют в комплексе с геохимическими съемками применять методы переходных процессов (МПП) с глубиной исследования до 200—300 м.

Для повышения производительности и геологической эффективности поисков планируется постановка на больших площадях метода переходных процессов в аэроварианте (АМПП) с последующей постановкой на выявленных аномалиях наземной и глубинной геохимической съемки в масшта-



бе 1 : 10 000 с использованием бурения скважин станком БСК-100.

**Уссури-Хантайский кристаллический массив (Приморье).** Эта территория рассматривается нами как весьма благоприятная для постановки глубинных геохимических исследований по погребенным остаточным ореолам рассеяния. Здесь широко и полно развиты древние коры выветривания мощностью 5—50 м, сплошным чехлом покрывающие депрессии и горные гряды. Образования коры выветривания, в свою очередь, перекрыты современными осадками мощностью 1—15 м. На примере изученных нами в 1976 г. оловорудных и полиметаллических объектов впервые показано, что в корях хорошо развиты интенсивные остаточные погребенные ореолы, по которым можно вести планомерное изучение рудоносности закрытых территорий массива, используя станки шнекового (УГБ-50) и колонкового (УПБ-25) бурения.

*Н. Н. Амшинский*

*(Западно-Сибирское управление НГО-горное)*

## **К СТРАТЕГИИ И ОРГАНИЗАЦИИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В. И. Вернадский и А. Е. Ферсман оставили нам замечательное наследство — новую науку геохимию. По своим задачам, методам исследований и конечным целям среди геологических наук нет другой, столь близко стоящей к запросам практики. По замыслам основоположников геохимии именно она должна быть ответственной за выявление закономерностей миграции, рассеяния и концентрации химических элементов в земной коре и на этой базе — за прогнозирование минерального сырья.

Хотелось бы обратить внимание на то, что успех прогнозирования ставился в зависимость от умения определить генезис месторождения. А. Е. Ферсман еще в 1932 г. писал: «... мы должны подчеркнуть, что правильное определение генезиса имеет решающее значение как в поисковой, так и в разведочной деятельности, а неверное трактование генезиса приводит нередко к грубейшим ошибкам и даже к роковым результатам при организации промышленного предприятия»\*.

Значение этого положения очевидно, и можно было бы привести много примеров тому, как неверное представление о генезисе предопределяло неверное направление разведочных работ и оценку перспектив месторождений. Вместе с тем иногда приходится слышать суждения совершенно противоположные, что де главное состоит в том, чтобы правильно понять структуру месторождения, а о генезисе зачастую ничего не скажешь даже по окончании отработки месторождения. Нам представляется, что в данном случае мы имеем пример досадного отрыва формы от содержания, поскольку правильное представление о генезисе всегда позволяет более правильно построить модель его строения, формы тел и их структурное соотношение.

А. Е. Ферсман никогда не ограничивал геохимию рамками методического придатка поисковых и разведочных работ и разъяснял, что «геохимическая мысль... есть метод мышления, врывающийся в самые разнообразные дисциплины (*разрядка А. Ферсмана*)». В этом его огромное историческое значение на новых путях геологической работы, в этом его роль обобщающей мысли, объединяю-

\* Ферсман А. Е. Геохимия. Т. 2. М., 1953, с. 532—533.

щей разнообразные научные течения и вливающей свежую теоретическую струю в те еще слабые научные течения, которые изучают вещество в его применении к промышленности и хозяйству»\*.

Именно такое понимание геохимии и ее задач представляется единственно правильным. И если сейчас в практической геологии геохимия сведена на роль геохимического придатка поисков, то, может быть, в этом и следует искать причину разнообразных недостатков и малой эффективности таких поисков, неоднократно отмечавшихся на различных совещаниях и семинарах по обмену опытом. Если, кроме того, учесть, что в геологической службе организационно нет подразделения, которое отвечало бы за развитие геохимических исследований, то, может быть, будет правильным считать, что эффективность здесь, как и в любом деле, соответствует уровню организации. Во всяком случае вряд ли можно найти сколько-либо серьезное объяснение тому факту, что Министерство геологии СССР не имеет в своем составе такого же равноправного геохимического подразделения, как, скажем, геофизика.

Представляется, что органом, который бы отвечал за геохимию в Министерстве геологии, должен быть отдел геохимии, а не геохимических поисков и разведки. Область его компетенции — не только разработка разнообразных геохимических методов поисков, т. е. вопросы тактики, но и постановка таких задач, как составление геохимических карт тех или иных регионов, карт ландшафтно-геохимического районирования; оценка перспектив рудоносности тех или иных территорий на основе сведений о геохимической специализации магматических комплексов с учетом глубины и структурных условий их становления и глубины эрозионных срезов; составление опорных геохимических разрезов как основы выяснения геохимической зональности осадочных фаций и оценки перспектив их рудоносности; изучение геохимической зональности рудных тел, месторождений, рудных полей и т. п.

На основе этого цикла исследований можно определить наиболее перспективные направления и последовательность поисковых и разведочных работ в тех или иных регионах, наметить наиболее рациональный комплекс методов их осуществления, иными словами, выработать стратегию геохимических исследований. Вот тогда можно будет рассчитывать и на больший успех геохимических методов поисков.

3. Организация геохимических исследований на уровне геологических управлений, очевидно, должна возглавляться группой специалистов либо при главном геологе, либо при начальнике геолого-производственного отдела. Возможно, что лучше создать отдел геохимии. Мы имеем в виду, что поиски с каждым годом будет проводить все труднее, поскольку все легко открываемое уже исчерпывается, а для обнаружения трудно открываемых месторождений нужно будет разрабатывать не только геофизические, но и геохимические, высокочувствительные, достаточно глубокие методы поисков. Этому же отделу нужно подчинить все изотопные геохронологические исследования.

Важно добиться такого положения дел, при котором геохимические исследования пронизывали бы все стадии и виды геологоразведочных работ.

При геологической съемке необходимо обеспечить сбор материала (и его обработку) для составления геохимической карты и опорных геолого-геохимических разрезов. В это же время необходимо разобраться с фациями глубинности и глубинами эрозионных срезов интрузивов, их возрастом (в том числе и методами радиологии) и структурными условиями становления. Последнее важно потому, что ими определяется место локализации оруденения (в интрузиве или в его ореольной зоне) и так называемая металлогеническая специализация плутонов.

\* Там же, с. 416—417.

При тематических обобщениях — составлять геохимические карты отдельных регионов и карты ландшафтно-геохимического районирования как средства выбора правильных стратегических решений при организации поисков.

При изучении разведующихся месторождений — обеспечить выявление геохимической зональности, позволяющей более обоснованно прогнозировать перспективы глубоких горизонтов и намечать слепые рудные тела и т. п.

Научно-исследовательские региональные институты необходимо обязать заниматься геохимическими исследованиями в плане оказания наибольшей помощи территориальным геологическим управлениям и по программам, согласованным с ведущим институтом МГ СССР геохимического направления — ИМГРЭ. Им же следует поручить разработку методических руководств и рекомендаций по геохимическим поискам и обобщающие региональные геохимические исследования с составлением необходимых карт.

Целесообразно организовать методические семинары, совещания, обмен опытом, пропагандирующие прогрессивность геохимических методов исследований, роль которых все более будет возрастать по мере сокращения фонда легко открываемых месторождений и составления более детальных геологических карт.

Назрела необходимость решительного улучшения лабораторной базы организаций Министерства геологии СССР, обеспечения ее современным оборудованием начиная от институтов и кончая стационарными экспедициями. Мало того, следует думать и об экспресс-методах и приборах, позволяющих анализировать вещество непосредственно в поле.

---

*Г. Б. Свешников, Ю. И. Туркин, Э. Л. Альтман,  
Н. Р. Машьянов, С. Е. Шолупов*

*(Ленинградский государственный университет им. А. А. Жданова)*

### **АППАРАТУРА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО АТОМНО-АБСОРБЦИОННОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПАРОВ РТУТИ В АТМОСФЕРЕ**

В настоящее время при анализе газообразных элементов в атмосфере все чаще используются усовершенствованные оптические методы, и в частности, метод дистанционного спектрального анализа. В основном методы дистанционного спектрального анализа применяются при исследовании загрязнений воздуха и при решении задач атмосферной геохимии. К преимуществам рассматриваемого метода следует отнести прежде всего его высокую чувствительность, экспрессность, возможность в некоторых случаях проводить прямой анализ с движущихся платформ (автомобилей, самолетов).

При определении газов ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{J}_2$  и др.), линии поглощения которых лежат в видимой или инфракрасной области, в качестве источника излучения можно использовать солнце. Тогда эта разновидность дистанционного спектрального анализа называется пассивной. Если спектр поглощения находится в ультрафиолетовой области спектра (короче 300 нм, например, Hg), то чаще всего используются искусственные источники излучения — метод анализа называют активным. В предположении, что пары ртути находятся в воздухе в атомарном состоянии, т. е. обладают сильной линией поглощения ( $\lambda = 254$  нм), мы использовали метод ак-

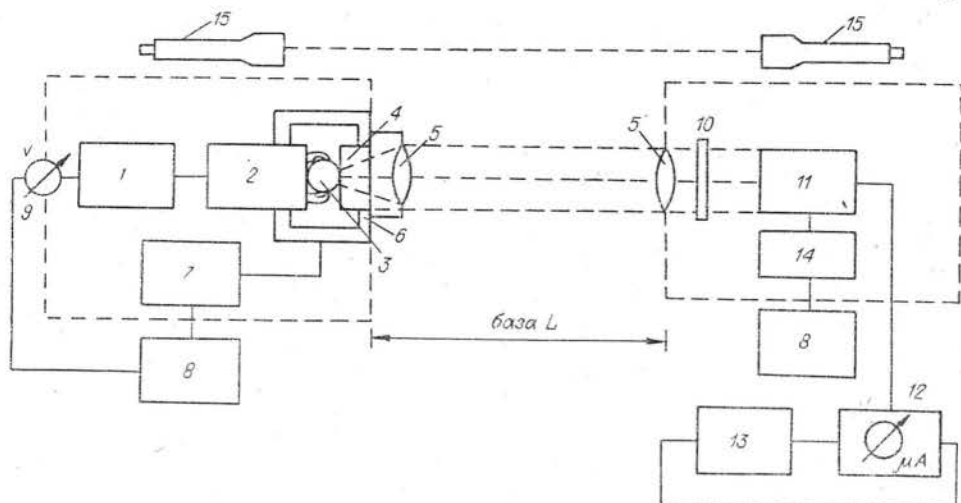


Рис. 1. Блок-схема однолучевой аппаратуры «ГРАД».

I — блок источника излучения: 1 — преобразователь напряжения, 2 — ВЧ генератор, 3 — шариковая ртутная лампа, 4 — кварцевое окно, 5 — собирающая линза (тж блок II), 6 — термостат, 7 — блок управления термостатом, 8 — источник питания (тж блок II), 9 — вольтметр; II — блок приемника излучения: 10 — интерференционный фильтр, 11 — ФЭУ, 12 — регистрирующий микроамперметр, 13 — система компенсаций, 14 — преобразователь напряжения для питания ФЭУ, 15 — зрительные трубы для взаимной наводки приборов (тж блок I).

тивного дистанционного атомно-абсорбционного спектрального анализа.

В Ленинградском государственном университете им. А. А. Жданова созданы макеты аппаратуры для дистанционного атомно-абсорбционного анализа паров ртути в атмосфере. В настоящее время сконструированы и прошли лабораторные и полевые испытания два типа приборов: однолучевой анализатор паров ртути в приземном слое воздуха и двухволновой зеемановский анализатор. Рассмотрим кратко основные характеристики приборов. Блок-схема однолучевой аппаратуры «ГРАД» (газортутный анализатор дистанционный) приведена на рис. 1. Этот комплект состоит из двух автономных блоков — источника излучения и приемника излучения, — питаемых от аккумуляторов. Основным элементом источника излучения является высокочастотная ртутная лампа, находящаяся в прецизионном термостате, поддерживающем температуру лампового отсека с точностью до  $\pm 0,01^\circ\text{C}$ . Излучение лампы, содержащее интенсивную резонансную линию ртути  $\lambda = 254$  нм, собирается кварцевым объективом и направляется в анализируемое пространство. На расстоянии  $L$  (называемом «базой») от источника излучения находится второй автономный блок-приемник излучения. Очевидно, что присутствие паров ртути в анализируемом промежутке приведет к поглощению (атомной абсорбции) резонансной линии. В простейшем виде это явление будет описываться законом Ламберта — Бэра:

$$I = I_0 \cdot \exp - (\kappa_{\text{рез}} \cdot N \cdot L + k_{\text{неселект}} \cdot L),$$

где  $I_0$  — интенсивность падающего света,  $I$  — интенсивность прошедшего света;  $\kappa_{\text{рез}}$  — сечение резонансного поглощения;  $k_{\text{неселект}}$  — коэффициент неселективного поглощения;  $N$  — концентрация атомов ртути. Пройшедшее излучение собирается объективом, проходит через узкополосный интерференционный фильтр и преобразуется солнечно-слепым фотоумножителем в фототок, который и является основной информативной величиной, пропорциональной концентрации ртути.

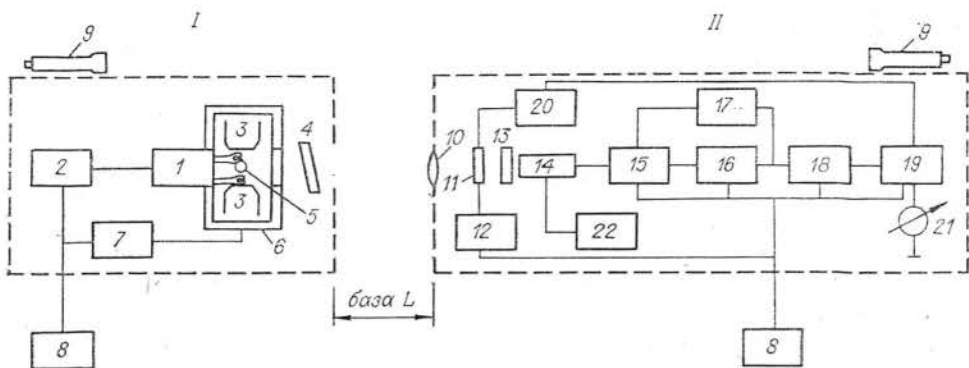


Рис. 2. Блок-схема двухволновой аппаратуры «ГРОЗА».

I — блок источника излучения: 1 — высокочастотный генератор, 2 — преобразователь-модулятор, 3 — постоянный магнит, 4 — компенсатор поляризации, 5 — шариковая ртутная лампа, 6 — термостат, 7 — блок управления термостатом, 8 — источник питания (т.ж. блок II), 9 — зрительные трубы для взаимной наводки приборов (т.ж. блок II); II — блок приемника излучения: 10 — собирающая линза, 11 — вращающийся поляризатор, 12 — электромотор, 13 — интерференционный фильтр, 14 — ФЭУ, 15 — предусилитель, 16 — детектор, 17 — усилитель АРУ, 18 — узкополосный усилитель, 19 — синхронный детектор, 20 — формирователь опорного сигнала, 21 — регистрирующий прибор, 22 — преобразователь напряжения для питания ФЭУ.

К достоинству однолучевых приборов типа «ГРАД» надо отнести простоту конструкции, малый вес прибора, а также простоту работы с ним. Один из недостатков — неселективность прибора на ртуть.

Более современным, но и более сложным прибором является двухволновой анализатор «ГРОЗА» (газортутный оптический зеемановский анализатор), сконструированный на основе эффекта Зеемана.

Рассмотрим прибор типа «ГРОЗА» (рис. 2). Источником света служит спектральная шариковая лампа ВСБ-1 с изотопом ртути  $^{204}$ , помещенная в постоянное магнитное поле. За счет этого происходит расщепление резонансной линии ртути на 3 компонента:  $\pi$ -компоненту, линейно поляризованную в плоскости, параллельной линии магнитного поля, и две  $\sigma$ -компоненты, имеющих круговую поляризацию. Причем  $\pi$ -компонента не смещается относительно невозмущенной линии, а  $\sigma$ -компоненты смещаются на величину  $\Delta\nu = \pm 0,07 B$ , где  $B$  — величина магнитной индукции магнитного поля. При достаточно больших полях  $\sigma$ -компоненты выходят из-под контура поглощения и не поглощаются ртутью. Действительно, для интенсивности компонент имеем:

$$I_{\pi} = I_0 \pi \cdot \exp - (\kappa_{\pi} \cdot N \cdot L + k_{\text{неселект}} \cdot L),$$

$$I_{\sigma} = I_0 \sigma \cdot \exp - (\kappa_{\sigma} \cdot N \cdot L + k_{\text{неселект}} \cdot L).$$

Очевидно, что отношение интенсивностей компонент будет связано с концентрацией следующим образом:

$$\frac{I_{\pi}}{I_{\sigma}} = \frac{I_0 \pi}{I_0 \sigma} \cdot \exp - (\kappa_{\pi} - \kappa_{\sigma}) \cdot N \cdot L.$$

Поскольку удается добиться равенства интенсивностей компонент в отсутствие ртути и учитывая малую оптическую плотность поглощающих атомов, для отношения интенсивностей получаем

$$\frac{I_{\pi}}{I_{\sigma}} = 1 - \Delta\kappa \cdot N \cdot L,$$

где  $\Delta\kappa$  — разность сечений поглощения компонент.

Поддерживая постоянной интенсивность  $\sigma$ -компоненты с помощью автоматической регулировки усиления, для концентрации находим такое соотношение:

$$N = \text{const}(I_{\sigma} - I_{\pi}),$$

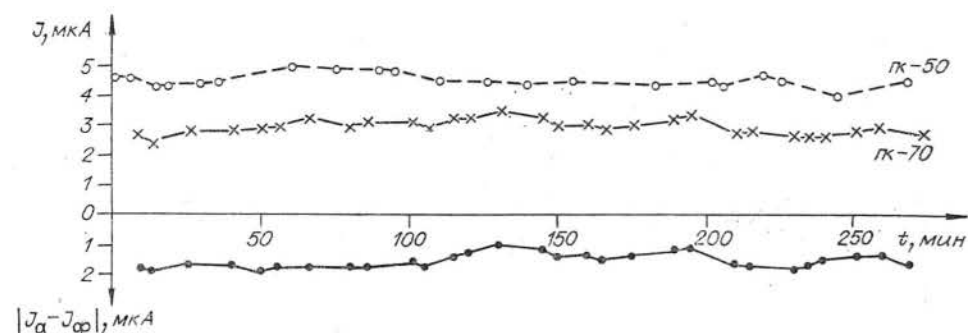


Рис. 3. Пример стабильности газовой аномалии ртути во времени. Участок «Малый Медный Чайник».

так как длины волн  $\pi$ - и  $\sigma$ -компонент практически равны. Следовательно, неселективные помехи действуют одинаково на обе компоненты и их отношение не зависит от их влияния. Для стабилизации условий высокочастотного разряда ртутная лампа, так же как и в однолучевом приборе, помещается в термостат.

Плоскополяризованное излучение ртутной лампы из блока источника (I), пройдя слой анализируемого воздуха, попадает в блок приемника (II). Так как перед катодом фотоумножителя находится вращающийся поляризатор, то, очевидно, фототок будет модулирован. Электрический сигнал с анода фотоумножителя с частотой, равной удвоенной частоте вращения поляризатора ( $\sim 30$  Гц), усиливается в блоке предусилителя, регулируется блоком автоматической регулировки усиления (АРУ) и поступает в синхронный детектор. Окончательный результат в аналоговой форме, пропорциональной концентрации паров ртути в анализируемом промежутке, регистрируется амперметром.

Теоретические и лабораторные исследования однолучевого анализатора паров ртути были направлены, в частности, на создание полевых приборов со стабильными характеристиками. Полевые испытания 1975 — 1977 гг., проведенные на Полярном Урале, в Забайкалье и Средней Азии, установили принципиальную возможность регистрации рудоконтролирующих структур по газовым ореолам ртути в атмосферном воздухе. Вместе с тем были выяснены принципиальные ограничения на чувствительность прибора «ГРАД», связанные с влиянием метеорологических условий (температуры воздуха, влажности, озона и т. д.).

При постоянстве метеорологических условий воспроизводимость измерений аппаратурой «ГРАД» оказывается высокой. Устойчивость газовых ореолов ртути во времени подтверждают также долговременные наблюдения за величиной аномалии, проводившиеся на ряде различных рудных объектов. При подобных измерениях приборы периодически переносились с аномальной точки на фоновую и обратно. В качестве примера на рис. 3 приведены результаты наблюдений на контрастной газортутной аномалии над скарновым магнетит-вольфрамовым рудопроявлением в Восточном Забайкалье, где пикет 50 находился в фоновой области, а пикет 70 — в аномальной. Расстояние между ними составляло 20 м. Многократные повторные измерения по профилям, пересекающим рудные зоны, показали, что при регистрации газовых ореолов аппаратурой типа «ГРАД» изменение метеорологических условий приводит не к исчезновению аномалий, а к вариациям их интенсивности.

В 1977 г. на полиметаллическом месторождении в Средней Азии была проведена проверка двухволнового зеемановского анализатора «ГРОЗА». На рис. 4 представлены результаты измерений приборами «ГРАД» и «ГРОЗА» концентраций ртути в атмосферном воздухе и в пробах рыхлых отложений при пересечении рудной зоны. Над зоной однолу-

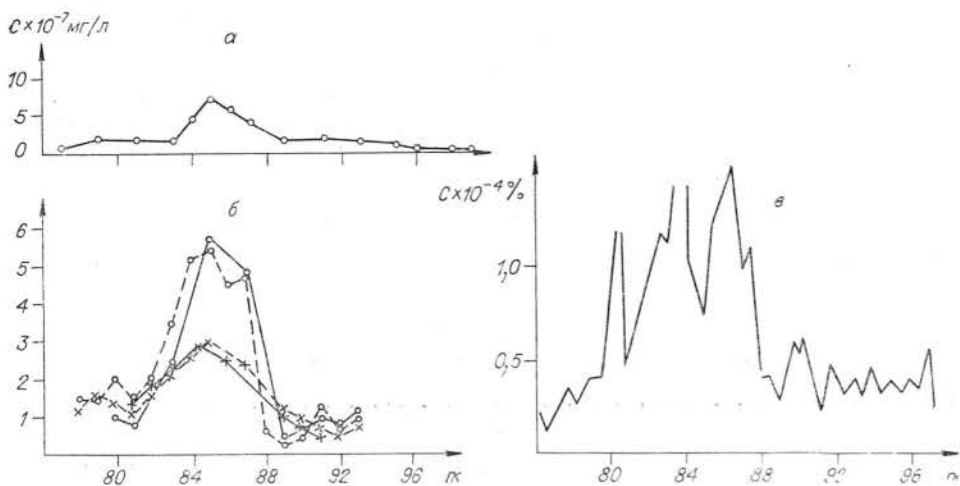


Рис. 4. Месторождение Кочбулак. Содержания ртути в атмосферном воздухе, измеренные однолучевой (а) и двухволновой аппаратурой (б), и в покрывающих рыхлых отложениях (в) — данные ВИТРа.

чевым комплексом была зарегистрирована аномалия величиной  $1,5 \text{ мкА}$ ; одновременно с этими измерениями двухволновым анализатором получены абсолютные величины содержания ртути, достигающие  $5,5 \cdot 10^{-7} \text{ мг/л}$ . В другой раз величина аномалии уменьшилась вдвое — до  $3 \cdot 10^{-7} \text{ мг/л}$ . Максимальная величина в  $6 \cdot 10^{-7} \text{ мг/л}$  получена через 10 ч после того, как прекратился дождь, меньшая — в сухую погоду.

Как видно из рис. 4, наблюдается прямая корреляция аномальных величин паров ртути над рудной зоной в атмосферном воздухе и в пробах рыхлых отложений. Первые зарегистрированы приборами «ГРОЗА» и «ГРАД», вторые — прибором АРП (данные ВИТРа). Таким образом, на исследуемом месторождении газортутные ореолы отчетливо отмечают рудоконтролирующие структуры, перекрытые лессовыми отложениями мощностью до 40–60 м.

Атмохимический метод поисков полезных ископаемых, основанный на дистанционном атомно-абсорбционном определении паров ртути непосредственно в атмосферном воздухе, к настоящему времени успешно прошел экспериментальную проверку в различных ландшафтно-геохимических условиях на ряде рудных месторождений и рудопроявлений Средней Азии, Приполярного Урала, Восточного Забайкалья. Рудные тела ртутных, сурьмяных, золоторудных, полиметаллических, редкометалльных месторождений четко фиксируются газовыми ореолами ртути. Отметим также, что газовые ореолы ртути присутствуют в приземном слое атмосферы над нефтяными месторождениями (например, в Удмуртии и Башкирии).

Однако экспериментальная проверка возможностей дистанционного варианта атмохимического метода проведена еще в небольшом объеме на ограниченном числе месторождений. Поэтому необходима дальнейшая разработка метода применительно к условиям различных районов СССР. Важнейшей задачей является повышение чувствительности и селективности газортутных приборов и разработка аппаратуры для анализа других газообразных элементов и соединений-индикаторов полезных ископаемых.

Внедрение атмохимических методов должно способствовать повышению эффективности поисков глубокозалегающих руд цветных и редких металлов, нефтяных и газовых месторождений.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<i>Д. И. Горжесский, А. Г. Натаров, Е. А. Алекторова.</i> Методика поисков глубокозалегающих рудных месторождений . . . . .	4
<i>Л. Н. Овчинников.</i> Геолого-геохимические условия, определяющие глубинность геохимических поисков рудных месторождений . . . . .	12
<i>Ю. Г. Щербаков, Н. А. Росляков, Н. В. Рослякова, Г. В. Нестеренко, Б. А. Воротников.</i> Геохимические методы при поисках глубокозалегающих и перекрытых месторождений золота . . . . .	22
<i>С. В. Григорян, В. С. Воронов.</i> Роль математических методов в повышении эффективности геохимических методов поисков . . . . .	34
<i>В. З. Фурсов.</i> Глубинность газорутного метода поисков рудных месторождений	39
<i>Е. М. Келятковский, Н. Ф. Майоров, Г. А. Стуккей.</i> Геохимические методы поисков рудных месторождений в районах развития моренных отложений . . . . .	46
<i>П. А. Удодов, С. Л. Шеварцев, Н. М. Рассказов, А. А. Лукин, Ю. Г. Копылова, З. В. Тупчий, В. Я. Бычков.</i> Гидрогеохимический метод при прогнозировании и поисках рудных месторождений в закрытых районах Сибири . . . . .	51
<i>Г. А. Голева.</i> Роль гидрогеохимического метода при поисках и прогнозировании погребенных и скрытопогребенных месторождений . . . . .	56
<i>Э. И. Большаков, И. П. Васильев, В. Д. Мисюк.</i> Условия применимости и методика геохимических поисков эндогенного оруденения в закрытых районах Салаира и Кольвань-Томской складчатой зоны . . . . .	59
<i>В. М. Чекалин, И. Ф. Мясников, Л. И. Кочуркова.</i> Применение геохимических методов при поисках скрытопогребенных месторождений полиметаллических руд на примере Рубцовского рудного района . . . . .	69
<i>В. А. Загоскин, В. В. Поликарпочкин.</i> Геохимические поиски рудных месторождений под аллювиальными отложениями речных долин . . . . .	77
<i>Ф. Л. Думлер.</i> Методика исследования региональной геохимической зональности при крупномасштабных поисково-съемочных работах . . . . .	79
<i>К. И. Лукашев, В. К. Лукашев.</i> Учет геохимической обстановки при ведении глубинных поисков . . . . .	83
<i>М. М. Омельченко, И. Н. Крицук.</i> Гипергенные ореолы рассеяния мышьяка, ртути, таллия как основа геохимических поисков скрытого оруденения Куранахского типа (Центральный Алдан) . . . . .	88
<i>С. Г. Петровская, Б. П. Санин, А. М. Спиридонов.</i> Эффективность геохимических исследований при поисках глубокозалегающих редкометалльных месторождений . . . . .	93
<i>Г. А. Вострокнутов.</i> О роли геохимических методов поисков в открытии глубокозалегающих медноколчеданных месторождений и некоторые особенности проявления околорудных геохимических ореолов на Южном Урале (Молодежный рудный район) . . . . .	99
<i>А. А. Жданова, В. А. Калашишникова, В. Я. Пашов, А. И. Демченко.</i> Комплексная методика геохимических поисков глубокозалегающих рудных месторождений в Восточном Казахстане . . . . .	107
<i>А. В. Покусаев, Б. Н. Сафиولين, Б. С. Зейлик, М. И. Жуков.</i> Комплексная методика поисков в Коунрадском районе погребенных медно-порфировых месторождений с применением геохимических методов . . . . .	109
<i>Г. Н. Засухин, Л. А. Логинова, И. В. Швецов.</i> Методика и эффективность геохимических поисков глубокозалегающих рудных месторождений в Башкирии . . . . .	113
<i>А. Г. Хваловский, М. А. Абатурова, К. Р. Карибуллин, Л. И. Гельман.</i> Роль геохимических методов в открытии смещенной части одного из золоторудных месторождений . . . . .	120



<i>В. П. Василенко, А. И. Бураго, Ф. И. Ростовский, А. А. Безруков, М. Ф. Пальгуева.</i> Роль геохимических методов при поисках глубокозалегающих рудных месторождений Приморья . . . . .	124
<i>Э. Х. Гулян, К. Р. Варданян, Р. Г. Оганесян, Л. С. Карсецян.</i> Примеры открытий в Армении скрытых рудных тел геологопоисковыми работами при участии геохимических методов . . . . .	129
<i>А. Б. Дзайнуков, Э. Б. Федчишин, Р. Г. Оганесян, Н. А. Кудрина, Ю. И. Бранько.</i> Результаты поисков по первичным геохимическим ореолам скрытых рудных месторождений в Таджикистане . . . . .	132
<i>С. А. Али-Заде, Д. А. Рожкова, С. А. Кязимов, В. Н. Хананиев.</i> Геохимические методы при прогнозировании и поисках скрытых рудных месторождений в Азербайджане . . . . .	138
<i>А. А. Бригинский, А. Б. Дзайнуков, Ю. А. Дьяков, Ю. А. Ладягин, И. И. Найденов, Л. Г. Пентесова, Ш. Б. Хисамудинов, В. З. Фурсов.</i> Результаты газорудных поисков в Таджикистане . . . . .	148
<i>Л. С. Галецкий, М. М. Комский, О. М. Лепилин, Б. Ф. Мицкевич, А. Д. Пилличук.</i> Глубинные геохимические поиски в закрытых районах Украины . . . . .	155
<i>Э. Ф. Жбанов, З. М. Мареев.</i> К методике геохимических поисков в полуоткрытых и закрытых районах Бурятии . . . . .	159
<i>Б. П. Потапенко, В. Б. Черняхов.</i> Возможности использования геохимических методов в новых рудных районах Оренбургского Урала . . . . .	165
<i>Г. П. Шорохов, Г. А. Вострокнутов.</i> Газорудные поиски глубокозалегающих медноколчеданных месторождений на Урале . . . . .	169
<i>А. М. Еникеев.</i> Минералого-геохимическая зональность руд и первичных геохимических ореолов месторождения Центральный Кансай . . . . .	175
<i>В. Ф. Митрофанский, И. Л. Бибичков, Р. Р. Ивлев, С. С. Цингауз, Л. С. Виль.</i> Геохимическая зональность оруденения свинцово-цинковых месторождений Текелшйского рудного поля . . . . .	182
<i>Л. А. Иванов, А. Г. Лозовой.</i> Использование горизонтальной зональности гипергенных ореолов при оценке оруденения на глубину . . . . .	187
<i>И. Ф. Бровчук, А. П. Инговатов.</i> Опыт работы по глубинным геохимическим съемкам в некоторых районах РСФСР . . . . .	190
<i>Н. Н. Амшинский.</i> К стратегии и организации геохимических исследований	193
<i>Г. Б. Свешников, Ю. И. Туркин, Э. Л. Альтман, Н. Р. Машьянов, С. Е. Шолупов.</i> Аппаратура для дистанционного атомно-абсорбционного спектрального анализа паров ртути в атмосфере . . . . .	195

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ  
ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ  
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ответственный редактор  
*Юрий Гагарилович Щербakov*

Утверждено к печати ИГиГ СО АН СССР

Редактор издательства *Н. Г. Рязанова*  
Художественный редактор *М. Ф. Глазырина*  
Художник *А. А. Заплавный*  
Технический редактор *Г. Я. Герасимчук*  
Корректоры *А. М. Картавин, С. В. Блинова*

---

ИБ № 10646

Сдано в набор 15.06.79. Подписано к печати 10.10.80. МН-05306. Формат 70 × 108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага типографская № 2. Обыкновенная гарнитура. Высокая печать. Усл. печ. л. 18,2. Уч.-изд. л. 19,7. Тираж 1500 экз. Заказ № 564. Цена 3 р. 30 к.

---

Издательство «Наука», Сибирское отделение. 630099, Новосибирск, 99, Советская, 18.  
4-я типография издательства «Наука». 630077, Новосибирск, 77, Станиславского, 25.

**Методика поисков грубокзалегающих рудных месторождений.** Горжевский Д. И., Натаров А. Г., Алекторова Е. А. Геохимические методы поисков грубокзалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 4—11.

Поиски грубокзалегающих месторождений базируются на комплексе критериев и признаков каждого промышленно-генетического типа месторождений, в том числе скрытых (слепых, погребенных, погребенно-слепых). Ведущим методом исследований является научно обоснованный геологический прогноз, в основе которого лежат металлогенетический анализ региональных и локальных рудоуплотняющих факторов, а также данные современных методов поисковой минералогии, прикладной геохимии, наземных и аэрогеофизических методов, космических исследований.

Основной принцип составления схем комплексирования поисковых методов должен учитывать взаимосвязь между промышленно-генетическим типом месторождения, природно-климатическими условиями ведения поисковых работ, поисковыми критериями и признаками грубокзалегающего оруденения, геологическими задачами, методами их решения, ожидаемыми результатами исследований. Табл. 2. Библ. 9.

УДК 550.84

**Геолого-геохимические условия, определяющие глубинность геохимических поисков рудных месторождений.** Овчинников Л. Н. Геохимические методы поисков грубокзалегающих рудных месторождений, Новосибирск. «Наука», 1980, с. 12—22.

Освещаются теоретические аспекты и возможности геохимических методов поисков по первичным ореолом для прогнозирования и выявления грубокзалегающих месторождений. Рассматриваются геолого-геохимические условия формирования первичных ореолов, типы геохимической зональности и ее использование для прогнозирования оруденения на глубину. Табл. 1. Ил. 11. Библ. 6.

УДК 550.42+551.311+550.84

**Геохимические методы при поисках грубокзалегающих и перекрытых месторождений золота.** Щербakov Ю. Г., Росляков Н. А., Рослякова Н. В., Нестеренко Г. В., Вороников Б. А. Геохимические методы поисков грубокзалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 22—34.

На основе многих тысяч высокоточных и чувствительных нейтронно-активационных и атомно-абсорбционных анализов золота в породах и водах рассматривается применимость геохимических методов поисков грубокзалегающих и перекрытых золоторудных месторождений в зависимости от ландшафтно-геологических условий и объекта поисков. Табл. 5. Библ. 14.

УДК 550.84:519.2.

**Роль математических методов в повышении эффективности геохимических методов поисков.** Григорян С. В., Воронов В. С. Геохимические методы поисков грубокзалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 34—39.

Рассматриваются научно-методические и организационно-технические аспекты повышения эффективности геохимических исследований. Показано, что комплексное решение проблемы эффективной организации геохимических поисков с использованием современных методических разработок и математического аппарата возможно только в рамках автоматизированной системы обработки данных (АСОД) с применением средств вычислительной техники. Сформулированы задачи АСОД и намечены пути их решения. Описаны структура и особенности функционирования АСОД.

Приведены данные первой очереди АСОД, работающей в ИМГРЭ, и дано описание основных обрабатываемых программ системы. Ил. 2. Библ. 3.

УДК 550.84.092:553.499

**Глубинность газортутного метода поисков рудных месторождений.** Фурсов В. З. Геохимические методы поисков грубокзалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 39—46.

Рассматриваются различные виды газортутных ореолов рассеяния в горных породах, почвах, водах и приземной атмосфере. Анализируются геохимические свойства ртути, глубинные, поверхностные и технические факторы, влияющие на глубинность газортутного метода поисков. На основе опытных исследований на известных рудных месторождениях делается вывод о том, что газортутным методом можно фиксировать слепые месторождения, залегающие на глубинах 200—400 м, а также перекрытые рыхлыми отложениями мощностью 100—200 м. Табл. 1. Библ. 6.

УДК 550.84

**Геохимические методы поисков рудных месторождений в районах развития моренных отложений.** Квятковский Е. М., Майоров Н. Ф., Стукаев Г. А. Геохимические методы поисков грубокзалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 46—51.

Рассматриваются процессы формирования вторичных ореолов и потоков рассеяния рудных месторождений в Карело-Кольском регионе. Приводится методика отбора и анализа проб. На примере медно-никелевых месторождений показаны приемы разведки геохимических аномалий. Табл. 1. Ил. 2. Библ. 6.

Гидрогеохимический метод при прогнозировании и поисках рудных месторождений в закрытых районах Сибири. Удодов П. А., Шварцев С. Л., Рассказов В. М., Лукин А. А., Копылова Ю. Г., Тупчий З. В., Бычков В. Я. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 51—56.

Рассматриваются вопросы совершенствования методики гидрогеохимических поисков в условиях закрытых и полузакрытых структур с различными источниками поступления элементов в воды и процессами их обогащения. Одним из путей решения этой задачи является исследование насыщенности вод относительно породообразующих и рудных минералов с учетом влияния растворенного и живого органического вещества. На основе этих данных выявляются геохимические типы вод, рассматриваемые как однородные гидрогеохимические совокупности.

Освещаются способы изображения результатов поисков. При выделении гидрогеохимических аномалий для пространственного прогноза местоположения зоны минерализации применяются морфометрические построения, позволяющие учесть гидродинамические условия, что повышает надежность гидрогеохимических поисков. Библ. 8.

УДК 550.845

Роль гидрогеохимического метода при поисках и прогнозировании погребенных и скрытопогребенных месторождений. Голева Г. А. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 56—59.

Рассматриваются возможности гидрогеохимического метода при поисках глубокозалегающего эндогенного оруднения в зависимости от природных условий. В соответствии с задачами гидрогеохимические поиски подразделяются на стадии. Предлагаются методы обработки и интерпретации полевой гидрогеохимической информации.

УДК 550.84:553.4

Условия применимости и методика геохимических поисков эндогенного оруднения в закрытых районах Салаира и Кольвань-Томской складчатой зоны. Болшаков Э. И., Васильев И. П., Мисюк В. Д. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 59—69.

Рассматриваются условия применимости геохимических методов для поисков эндогенного оруднения в закрытых районах Салаира и Кольвань-Томской складчатой зоны. В соответствии с новыми видами геологического картирования (глубинного геологического картирования и групповой геологической съемки) геохимические поиски предлагается проводить по этапам, каждый из которых имеет свою цель и включает определенный комплекс геохимических методов. Рекомендуемая методика апробирована при поисках в регионе ртутного оруднения. Табл. 1. Ил. 1. Библ. 12.

УДК 550.84

Применение геохимических методов при поисках скрытопогребенных месторождений полиметаллических руд на примере Рубцовского рудного района. Чекалин В. М., Мясников И. Ф., Кочуркова Л. И. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 69—76.

В районе продуктивные девонские образования перекрыты толщей рыхлых отложений мощностью до 100 м и более. Все известные месторождения отчетливо фиксируются аномальным содержанием элементов-индикаторов полиметаллического оруднения во вмещающих породах, рыхлых отложениях и подземных водах. Первичные ореолы имеют горизонтальную зональность, представленную надрудным и подрудным комплексами элементов. Широко развитые надрудного комплекса позволяет осуществлять поиск месторождений, залегающих на глубинах до 400 м от поверхности древнего эрозионного среза. В почвах и подземных водах аномальные содержания рудных элементов над погребенными и скрытопогребенными месторождениями отмечаются при мощности рыхлых отложений до 60—90 м и более.

На основе полученных результатов рекомендуется рациональный комплекс методов поисков полиметаллических месторождений в условиях, аналогичных Рубцовскому району. Табл. 1. Ил. 3. Библ. 7.

УДК 550.84.

Геохимические поиски рудных месторождений под аллювиальными отложениями речных долин. Загоскин В. А., Поликарпочкин В. В. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 77—79.

Рассматриваются возможности применения метода поисков по потокам рассеяния для выявления золоторудных месторождений, залегающих в днищах речных долин, на территориях дражных отработок россыпей. Геохимические признаки указанных месторождений вблизи поверхности обуславливаются искусственным перемешиванием аллювиального материала в процессе работы драг и обогащением его рудными элементами по всему вертикальному разрезу за счет относительно контрастных потоков рассеяния в приплотинных горизонтах. Ил. 1.

УДК 550.84.

Методика исследования региональной геохимической зональности при крупномасштабных поисково-съемочных работах. Думлер Ф. Л. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 79—83.

Систематическое массовое опробование коренных пород в процессе крупномасштабной геологической съемки с последующим составлением геохимических карт позволило изучить региональную геохимическую зональность, выявить важнейшие закономерности пространственного распределения и концентрации рудных и сопутствующих элементов, выделить главные рудоподводящие и рудоконтролирующие структуры и локализовать перспективные площади под детальные поиски. Приводятся примеры решения этих задач в районах развития грайфеновых редкометалльных, стратиформных свинцово-цинковых и кварц-золото-сульфидных месторождений. Ил. 1. Библ. 6.

Учет геохимической обстановки при ведении глубинных поисков. Лукашев В. К. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 83—88.

Рассматриваются геохимическая обстановка и фашиальные особенности осадочных толщ Белоруссии с позиции применимости геохимических поисков глубокозалегающих месторождений. Отмечается высокая способность металлоорганических комплексов концентрировать металлы. Приводятся результаты опытов концентрирования металлов искусственными монообразными смолами и использования их при поисках глубокозалегающих месторождений. Библ. 4. §

Гипергенные ореолы рассеяния мышьяка, ртути, таллия как основа геохимических поисков скрытого оруденения Курахаского типа (Центральный Алдан). Омельченко М. М., Крицук И. Н. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 88—93.

Рассмотрены вопросы геохимических поисков скрытого золотого оруденения в карстах. Охарактеризован элементный состав рудных образований и вторичных ореолов. Обсуждаются особенности поведения ряда элементов в зоне окисления. На практических примерах показана эффективность использования мышьяка, таллия и ртути для поисков и оценки оруденения. Предлагается стратегия геохимических поисков оруденения Курахаского типа. Ил. 2. Библ. 7.

Эффективность геохимических исследований при поисках глубокозалегающих редкометалльных месторождений. Петровская С. Г., Санин Б. П., Спиридонов А. М. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 93—98.

Рассмотрено применение геохимических исследований на разных этапах поисково-разведочных работ. Показана эффективность этих исследований для разbroковки аномалий разных генетических типов выявления зональности геохимических ореолов и их зависимости от геологической обстановки. Табл. 1. Ил. 2. Библ. 7.

О роли геохимических методов поисков в открытии глубокозалегающих медноколчеданных месторождений и некоторые особенности проявления околорудных геохимических ореолов на Южном Урале (Молодежный рудный район). Вострокнутов Г. А. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 99—107.

Проведен комплекс гидрогеохимических и литохимических поисков. На ранее выявленной гидрогеохимической аномалии открыто глубокозалегающее месторождение. В краевых частях ряда озер устанавливаются гидрогеохимические аномалии, обусловленные скрытым колчеданным оруденением прилегающих площадей. По ореолам в почвах тоже открыто месторождение, но над другими глубокозалегающими месторождениями оно обычно проявлено слабо, поэтому требуется применение вытяжек или специальных математических приемов. Эндеогенные литохимические ореолы преимущественно развиты в рудомещающей толще. В надрудных породах они проявляются главным образом по зонам оперяющих разломов и в благоприятных литологических комплексах. Над некоторыми месторождениями ореолы рудообразующих металлов развиты слабо, хотя довольно значительно проявлены ореолы германия, который может являться дополнительным геохимическим индикатором глубокозалегающего колчеданного оруденения. Ил. 4. Библ. 9.

Комплексная методика геохимических поисков глубокозалегающих рудных месторождений в Восточном Казахстане. Жданова А. А., Калашникова В. А., Пашов В. Я., Демченко А. И. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 107—109.

Приведены результаты комплексной методики геохимических работ при поисках глубокозалегающих месторождений на территории деятельности Восточно-Казахстанского территориального геологического управления. Геохимические работы проводятся на всех стадиях поисковых работ. Описывается рациональный комплекс методов в зависимости от задачи и условий поисков.

Комплексная методика поисков в Коунрадском районе погребенных медно-порфировых месторождений с применением геохимических методов. Покусаев А. В., Сафиюлин Б. Н., Зейлик В. С., Жуков М. И. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 109—113.

Приводятся сведения по геологии, геофизике и геохимии медно-порфировых месторождений Коунрадского района Центрального Казахстана. Описываются геохимическая зональность медно-порфировых месторождений, показатели эрозийного среза и геохимические спектры для различных уровней среза оруденения и зон убогой рассеянной минерализации. На этой основе анализируются критерии прогноза и оценки погребенного медно-молибденового оруденения. Излагается методика комплексной оценки перспектив и поисков месторождений данного типа.

**Методика и эффективность геохимических поисков глубокозалегающих рудных месторождений в Башкирии.** Засухин Г. Н., Логинова Л. А., Швецов И. В. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 113—120.

Проведено районирование территории Башкирии по геологическому строению и условиям геохимических поисков. Описаны виды массовых поисков, геохимических работ и особенности их методики при поисках глубокозалегающих медноколчеданных и золоторудных месторождений. Наряду с массовым спектральным анализом валовых проб при поисках в закрытых одно- и двухъярусных структурах рекомендуется применять геохимическое изучение сульфидной составляющей эндогенных ореолов, а также определение в породах калия, натрия, ртути и гидрохимическое опробование природных вод. Приводится классификация эндогенных геохимических ореолов колчеданных месторождений. Даны примеры эффективного применения геохимических методов поисков, завершившихся открытием месторождений. Ил. 2. Библ. 1.

УДК 550.84

**Роль геохимических методов в открытии смещенной части одного из золоторудных месторождений.** Хваловский А. Г., Абатурова М. А., Каринбуллин К. Р., Гельман Л. И. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 120—124.

Рассматриваются вопросы прогнозирования и поисков глубокозалегающего золотого оруденения по вторичным и первичным ореолам. На основании коэффициента геохимической зональности сделаны выводы о перспективах оруденения на глубину. Рекомендуется методика геохимических поисков смещенных частей золоторудных месторождений. Ил. 2.

УДК 550.84:[553.45+553.44](-191)(571.63)

**Роль геохимических методов при поисках глубокозалегающих рудных месторождений Приморья.** Василенко В. П., Бураго А. И., Ростовский Ф. И., Безруков А. А., Пальгуева М. Ф. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 124—129.

Роль и возможности геохимических методов при поисках глубокозалегающего оруденения рассмотрены на примере выявления в Приморье двух скарново-полиметаллических и двух оловорудных месторождений. Приводятся основные закономерности и критерии, используемые для поисков и прогнозной оценки таких месторождений (основные функциональные зависимости и некоторые мультипликативные показатели). Обращается внимание на необходимость рационального комплексирования геохимических методов с геофизическими и общегеологическими (стратиграфическими, литологическими, структурно-тектоническими и др.) на всех стадиях и этапах поисков и оценки глубокозалегающего оруденения. Табл. 2. Библ. 9.

УДК 550.812.1:842

**Примеры открытий в Армении скрытых рудных тел геологопоисковыми работами при участии геохимических методов.** Гулян Э. Х., Варданян К. Р., Оганесян Р. Г., Карсецян Л. С. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 129—132.

Приводятся особенности состава и строения эндогенных геохимических ореолов медноколчеданного, медно-полиметаллического и золоторудного месторождений. В строении эндогенных ореолов установлена зональность, обусловленная закономерной дифференциацией основных ореолообразующих элементов, на основании чего для каждого из рассматриваемых месторождений выделен соответствующий комплекс подрудных и надрудных элементов. Разработаны критерии прогнозирования скрытого оруденения.

В результате апробации критериев геохимического прогнозирования выявлены новые скрытые рудные тела на флангах и на глубину изученных месторождений.

УДК 550.84:001.818(575.3)(045)

**Результаты поисков по первичным геохимическим ореолам скрытых рудных месторождений в Таджикистане.** Дзаиников А. Б., Федяшин Э. Б., Оганесян Р. Г., Рудрина Н. А., Бранько Ю. И. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 132—138.

Подведены итоги разномасштабного (1:100—1:25 000) геохимического картирования Карамазара (Северный Таджикистан), выразившиеся в выявлении на флангах известных рудных полей, месторождений и за их пределами первичных ореолов, перспективных на скрытое оруденение свинца, цинка, серебра, молибдена, висмута и других металлов. Полученные результаты создали благоприятные перспективы для расширения масштабов известных месторождений и выявления новых. Последнему в значительной степени способствовало проведение регионального геолого-геохимического картирования на площади 1100 км<sup>2</sup> с изучением геохимической специализации магматических комплексов пород, вертикальной зональности на типоморфных месторождениях, зон разрывных нарушений и околорудных метасоматитов. Табл. 3. Ил. 2. Библ. 6.

Геохимические методы при прогнозировании и поисках скрытых рудных месторождений в Азербайджане. Али-Заде С. А., Роякова Д. А., Кязимов С. А., Хананьев В. Н. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 138—148.

Представлен комплекс геохимических методов, эффективных в условиях Кавказа, сочетающий обследование потоков рассеяния гидросети с литохимическими поисками на выявленных перспективных площадях (бассейнах стока). Исползован анализ в ранговой корреляции с последующим кластерным анализом, а также характер распределения среднего геометрического отношения концентраций химических элементов в пробе к их средним концентрациям и другие статистические характеристики ореолов и потоков рассеяния.

Геохимические данные и эвристический анализ геологической ситуации позволили предположить наличие в пределах положительных структур Сомхито-Агдамской структурно-формационной зоны Малого Кавказа медно-молибденовой порфировой минерализации. Предположение подтверждено последующими поисковыми работами. Ил. 2. Библ. 5.

УДК 550.847:631.4:553.499(575.3)(045)

Результаты газорудных поисков в Таджикистане. Бригинский А. А., Дзайнуков А. Б., Дьяков Ю. А., Ладагин Ю. А., Найденов И. И., Пентегова Л. Г., Хисамутдинов Ш. Б., Фурсов В. З. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 148—155.

Рассмотрены итоги опытно-методических и производственных работ по газорудным поискам погребенных и скрытопогребенных сурьмяно-ртутных, ртутных и полиметаллических месторождений Таджикистана. Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности экспрессности газорудного метода для поисков скрытых и погребенных месторождений различных морфогенетических и формационных типов. Табл. 1. Ил. 2. Библ. 1.

УДК 550.84(477/478)

Глубинные геохимические поиски в закрытых районах Украины. Галецкий Л. С., Комский М. М., Ленилин О. М., Мишкевич Б. Ф., Пилипчук А. Д. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 155—158.

На территории Украины выделено 16 ландшафтно-геохимических районов. Наиболее благоприятные условия для ведения геохимических поисков свойственны Украинскому шты, Донбассу, Карпатам и Горному Крыму.

Выявлены специфические особенности нахождения микроэлементов и сложный генезис первичных ореолов в докембрийских метаморфических и магматических комплексах. Это обусловлено интенсивным и неоднократным метаморфизмом пород, наложенными метасоматическими процессами, значительным влиянием вмещающей среды.

Показаны условия применения, эффективность и приемы рационального комплексирования геохимических методов поисков при изучении закрытых территорий Украины.

УДК 550.84+551.4(—02)

К методике геохимических поисков в полузакрытых и закрытых районах Бурятии. Жбанов Э. Ф., Мареев З. М. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 159—164.

Описываются методические основы средне- и крупномасштабного районирования Западного Забайкалья по условиям применимости геохимических методов поисков. При среднемасштабном районировании расчленение рельефа основывается на морфоструктурах, а при крупномасштабном дополнительно учитываются остаточные формы рельефа. Кайнозойские отложения подразделяются на однородные толщи по следующим признакам: генезису, возрасту, выветриванию и мощности. Геохимические ландшафты районированы на основе оценки класса миграции элементов. Вторичные ореолы классифицируются по степени открытости — закрытости. Табл. 1. Ил. 1. Библ. 8.

УДК 550.84:553.435(470:56)

Возможности использования геохимических методов в новых рудных районах Оренбургского Урала. Потанико Б. П., Черных В. Б. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 165—169.

Приведены параметры перспективных гидрогеохимических и литогеохимических аномалий, в пределах которых выявлены медноколчеданные месторождения и ряд рудопроявлений Оренбургского Урала. Рассмотрены минерало-геохимические изменения рыхлого покрова на участках месторождений и использование их как поискового признака. Ил. 2. Табл. 6.

УДК 550.847:546.49:553.4:661.2

Газорудные поиски глубокозалегающих медноколчеданных месторождений на Урале. Шорохов Г. П., Вострокнутов Г. А. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 169—175.

Опытно-поисковыми работами с прибором ИМГЭ-4 установлены газорудные аномалии в подпочвенной атмосфере на участках ряда глубокозалегающих медноколчеданных месторождений Южного и Среднего Урала. Концентрация паров ртути на участках аномалий в 2—50 раз выше фона. Интенсивность и размеры газорудных аномалий определяются масштабами оруднения и глубиной залегания рудных тел, а также составом руд, структурно-геохимическими и ландшафтно-климатическими особенностями участков работ.

Практические результаты показывают высокую эффективность газорудного метода для поисков глубокозалегающих медноколчеданных месторождений на закрытых территориях в рациональном комплексе с другими методами. Табл. 1. Ил. 3. Библ. 4.

Минералогическая зональность руд и первичных геохимических ореолов месторождения Центральный Кансай. Енишев А. М. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 175—182.

Рассматривается распределение минеральных типов руд и изменение с глубиной их структурно-текстурных особенностей. Анализируется поведение элементов в руде, главных рудных минералах и эндогенных ореолах на различных уровнях геохимических срезов. Дан детальный разбор минеральных форм проявления элементов и их баланса. Экстраполяция градиентов интенсивностей элементов геохимических ореолов позволила расширить перспективы рудных тел на глубину. Табл. 1. Библ. 5.

УДК 550.84.092.1:553.444(574.57)

Геохимическая зональность оруденения свинцово-цинковых месторождений Текелынского рудного поля.<sup>1</sup> Митрофанский В. Ф., Бибицков И. Л., Ивлев Р. Р., Цингауз С. С., Виль Л. С. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 182—187.

При изучении геохимической зональности кроме анализа первичных ореолов по отдельным геологическим разрезам проанализировано поведение ассоциаций элементов и распределение геохимически однородных областей на продольной вертикальной проекции. Это позволило выявить концентрическую зональность первичных ореолов рудных тел. Вертикальной зональности, стабильной для разных разрезов изучаемых месторождений в рудном поле, установить не удалось. Предложены индикаторные отношения концентрической зональности, значения которых контрастно увеличиваются в центральных частях рудных тел и не зависят от масштабов оруденения, что позволяет определять направление к центральному рудному телу и отличать одинаково бедные по содержаниям рудных элементов фланги богатых рудных тел от зон рассеянной рудной минерализации. Ил. 4. Библ. 9.

УДК 550.30

Использование горизонтальной зональности гипергенных ореолов при оценке оруденения на глубину. Иванов Л. А., Лозовой А. Г. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 187—190.

Рассматривается взаимосвязь горизонтальной зональности гипергенных и эндогенных ореолов рассеяния. Установлено, что распределение элементов и их корреляционные связи в рудных телах и ореолах зависят от интенсивности минерализации и залегания рудных зон. Выявленные закономерности могут использоваться при оценке эндогенного оруденения на глубину по его гипергенным ореолам. Табл. 1. Библ. 4.

УДК 550.84.092

Опыт работы по глубинным геохимическим съемкам в некоторых районах РСФСР. Бровчук И. Ф., Инговатов А. П. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 190—193.

На примере работ в закрытых осадочным чехлом районах Южного Урала, Рудного Алтая, Ветреного Пояса и Усури-Ханкайского массива показана возможность эффективного применения глубинных геохимических съемок для оценки территорий на скрытые и скрытопогребенные оруденение меди, свинца, цинка, никеля, олова, фтора по погребенным вторичным ореолам в древних корах выветривания и по наложенным солевым ореолам в современных почвах при мощности чехла 25—100 м. Геохимические методы исследования на стадии поисково-оценочных работ выделенных перспективных участков и аномалий комплексированы с геофизическими методами, газортутной съемкой и изучением термоформ руды в ореолах. Для аналитических исследований геохимических проб применяются приборы ДФС-8, ДФС-13, РАФ-4, ФЛЮР-1.

УДК 550.4

К стратегии и организации геохимических исследований. Амшинский Н. Н. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 193—195.

Рассмотрены задачи геохимии как науки, определены важнейшие направления исследований (ее стратегия) и предложены рациональные формы организации геохимических исследований в системе Министерства геологии СССР.

УДК 550.4:551.3

Аппаратура для дистанционного атомно-абсорбционного спектрального анализа паров ртути в атмосфере. Свежников Г. Б., Туркин Ю. И., Альтман Э. Л., Машьянов Н. Р., Шолунов С. Е. Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 195—199.

Дистанционный спектральный атомно-абсорбционный анализ применяется для измерения концентрации паров ртути в воздухе. Описываются две модели приборов, разработанные в Ленинградском государственном университете: одноручевой анализатор и двухволновой всемановский анализатор. Показано применение ртутных анализаторов для регистрации рудоконтролирующих структур по газовым ореолам ртути в атмосфере. Полевые испытания приборов были проведены, в частности, на ряде рудных месторождений и рудопроявлений Средней Азии, Приполярного Урала и Восточного Забайкалья. Отмечается присутствие газовых ореолов ртути над нефтяными месторождениями (например, в Удмуртии и Башкирии). Ил. 4.