

СТРАТЕГИЯ  
ГЕОХИМИЧЕСКИХ  
ПОИСКОВ  
РУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ им. академика А. П. ВИНОГРАДОВА  
СИБИРСКАЯ СЕКЦИЯ МЕЖДУВЕДОМСТВЕННОГО СОВЕТА  
ПО ПРОБЛЕМЕ «НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ  
ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»

550.84

# СТРАТЕГИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ответственный редактор  
докт. геол.-мин. наук *В. В. Поликарпочкин*

3206



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
Новосибирск-1980



УДК 550.84

Рассматриваются различные вопросы стратегии поисков рудных объектов — применение совокупности геохимических методов и средств для выявления и оценки месторождений полезных ископаемых. Характеризуются также направления и методы поисковых геохимических работ, принятые территориальными геологическими управлениями.

Сборник представляет интерес для широкого круга специалистов, занимающихся геологическими съемками и поисками месторождений минерального сырья, для преподавателей и студентов геологических вузов.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

*Г. М. Гундобин, В. А. Загоскин, И. С. Ломоносов (зам. отв. ред.),*

*Б. П. Санин*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Вопрос о стратегии геохимических поисков был поставлен на Владивостокской сессии Сибирской секции Междуведомственного совета по проблеме «Научные основы геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых», состоявшейся в сентябре 1975 г. В выступлениях участников сессии отмечалась необходимость рассмотрения стратегии с учетом современного уровня теории геохимических методов и всего опыта поисковых геохимических работ, накопленного за длительное время их массового применения. Тогда же было решено включить этот вопрос в программу следующей сессии.

Настоящий сборник основан на докладах V сессии Сибирской секции (Красноярск, май 1977 г.). Помещенные в нем статьи ведущих специалистов по геохимическим методам касаются различных вопросов стратегии геохимических поисков и в целом, как нам кажется, удачно дополняют одна другую. В статьях, представленных территориальными геологическими управлениями, — авторами их являются руководители управлений и сотрудники геохимических партий — характеризуются направления и методы поисковых геохимических работ, которые предполагается практиковать в ближайшие годы.

Разумеется, стратегия геохимических поисков месторождений полезных ископаемых будет изменяться и совершенствоваться в дальнейшем. Соображения, приведенные в сборнике, имеют значение как для современного решения вопросов применения различных геохимических методов с наибольшей практической пользой, так и для разработки более совершенной стратегии их в будущем. Мы надеемся, что сборник представит интерес для широкого круга специалистов, занимающихся геологическими съемками и поисками месторождений минерального сырья, а также для преподавателей и студентов геологических специальностей высших и средних учебных заведений.

*Редколлегия.*

## О СТРАТЕГИИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Основные стратегические задачи геохимических поисков рудных месторождений необходимо рассматривать, прежде всего, в свете общих задач практической геологии. Последние определяются потребностями нашего общества в минеральном сырье и теми источниками, за счет которых эти потребности будут удовлетворяться.

Экономические расчеты показывают, что за последние 25 лет (1950—1975) добыча многих металлов у нас в стране увеличилась в несколько раз. Например, добыча железных руд за этот период возросла почти в 6 раз, добыча хромитов — более чем в 4, а марганцевых руд — в 2,5 раза (Мельников, 1977). Для этих основных металлов промышленности на последующий период мы вправе ожидать увеличения их добычи. Еще больший темп роста добычи следует ожидать для легких и редких металлов, применение которых в этот период должно резко возрасти.

В соответствии с этим необходимо планировать еще большие темпы роста запасов минерального сырья, имея в виду и то обстоятельство, что эксплуатационные запасы 2000 г. должны быть открыты и предварительно оценены по крайней мере к 1990 г.

Кроме того, при определении тенденции развития горнодобывающей промышленности нужно учитывать, что 54% суммарной добычи металлов и 65% их общих запасов приходится всего на 7% месторождений, относящихся по размерам к категории крупных (Красников, 1959). Эти цифры наглядно показывают, что наиболее рентабельной является разработка крупных месторождений. Поэтому при планировании поисковых работ практическая геология должна ориентироваться на поиски, прежде всего, крупных месторождений.

Вместе с тем необходимо иметь в виду и предупреждение С. С. Смирнова (1946) о снижении эффективности геолого-разведочных работ и об исчерпании фонда месторождений, обнажающихся на поверхности земли, особенно в старых горнорудных районах.

При определении вероятных источников прироста запасов минерального сырья необходимо иметь в виду возможности в ближайшем будущем увеличения его добычи из более бедных руд, вследствие перехода горнодобывающей промышленности на более эффективные способы разработки (открытая разработка, подземное выщелачивание, совершенствование технологии обогащения и т. д.).

Наконец, в связи с доминирующей ролью экономического фактора при определении целесообразности разработки месторождений, необходимо учитывать, что стратегические задачи поисковой геологии в экономически освоенных районах будут существенно отличаться от ее задач в экономически слабо освоенных районах.

В экономически освоенных старых горнорудных районах прирост запасов, прежде всего, должен быть направлен на обеспечение эксплуатационных запасов действующих горнорудных предприятий, а также на поиски новых типов руд и так называемых «труднооткрываемых» рудных залежей. При этом в зонах влияния действующих предприятий в эк-

сплуатацию могут вовлекаться не только крупные месторождения, но также средние и даже мелкие.

В экономически слабо освоенных районах, в условиях недостаточного развития коммуникаций, низкого энергетического потенциала и недостатка трудовых ресурсов, экономически выгодной будет являться разработка только отдельных месторождений или залежей уникального сырья, эксплуатация которых может быстро окупить те значительные затраты, которые необходимы для их освоения.

В этом отношении весьма показательны примеры месторождений медно-никелевых руд Норильского района и алмазонасных кимберлитовых трубок Якутии.

В комплексе поисково-разведочных работ сейчас выделяются четыре крупные стадии.

1. Общие поиски в районах с завершенной или завершающейся геологической съемкой (масштабы 1:50 000 — 1:200 000).
2. Детальные поисково-оценочные работы в масштабах 1:10 000 — 1:25 000 с оценкой масштабов оруденения в категориях прогнозных запасов ( $D_1$  и  $D_2$ ).
3. Предварительная разведка месторождений с геометризацией промышленных залежей в категориях запасов  $C_1$  (20%) и  $C_2$  (80%).
4. Детальная разведка месторождений с геометризацией промышленных запасов в категориях А, В и  $C_1$ .

До последнего времени геохимические методы поисков играли сколько-нибудь заметную роль только на первой стадии поисково-разведочных работах (общие поиски).

При этом основным видом геохимических работ являлась металлометрическая съемка, заключающаяся в опробовании по заданной сети верхней части рыхлых отложений. Недостаточная разработанность теории формирования вторичных ореолов и формально-статистический подход к анализу обнаруживаемых полей аномальных концентраций (геохимических аномалий) определили низкую эффективность этого вида работ, особенно в залесенных районах.

Необходимо указать, что зарубежные геохимики (Канада, США, Англия и др.) практически никогда не применяли методов металлометрической съемки и на первой стадии поисково-разведочных работ широко использовали поиски по потокам рассеяния, заключающиеся в опробовании донных отложений водотоков и озер.

У нас в стране В. В. Поликарпочкиным (1976) было показано, что низкая эффективность металлометрической съемки в залесенных районах определяется развитием в средней и нижней частях склонов закрытых ореолов, в которых концентрационные максимумы наблюдаются в нижней части разреза рыхлых отложений, а не вверху. В потоках же рассеяния, формирующихся за счет сползающей толщи рыхлых отложений, отражаются аномальные концентрации как верхних, так и нижних частей разреза рыхлых отложений.

Однако ни поискам по потокам рассеяния, ни металлометрической съемке обычно не предшествуют работы по геолого-тектоническому и петролого-геохимическому анализу перспективности территории поисков. В результате на этих начальных этапах геохимических поисков практически не используются геологические и геохимические данные об особенностях строения и развития районов поисков, которые выявляются на предшествующем этапе геологической съемки.

Между тем геолого-тектонический анализ перспективности территории поисков должен основываться на данных об истории геологического развития района, геологической, геофизической и геохимической характеристике развитых здесь основных разрывных тектонических структур и прежде всего зон глубинных разломов. Петролого-геохимический ана-

лиз развития магматизма основывается на геохимической типизации развитых здесь магматитов, морфологических особенностях развитых в районе интрузивов, уровне их эрозионного среза, а также на оценке потенциальной рудоносности развитых в районе магматитов и возможной рудной продуктивности потенциально рудоносных интрузивов. В целом геолого-тектонический и петролого-геохимический анализ позволяет осуществить региональное и локальное прогнозирование размещения полей эндогенных аномальных концентраций.

В экономически освоенных старых горнорудных районах поисково-разведочные работы должны проводиться, прежде всего, вблизи уже известных рудных месторождений, а также в участках, признанных благоприятными для поисков в результате предварительного регионального и локального прогнозов.

Поиски вблизи известных рудных месторождений должны планироваться исходя из двух главных принципов:

- а) в полях рудных месторождений возможно наращивание запасов за счет прослеживания оруденения на глубину и флангах известных рудных залежей, а также открытия новых рудных тел, прикрытых наносами или вообще «слепых», не обнажающихся на поверхности коренных пород;
- б) известные рудные месторождения могут рассматриваться только как части крупных рудных узлов, потенциальные возможности которых еще полностью не раскрыты.

Геохимические поиски в полях рудных месторождений должны предусматривать не только и не столько работы по изучению поверхности коренных пород (литохимическая, биогеохимическая съемка масштаба 1:2000), сколько работы по изучению структуры и состава эндогенных полей аномальных концентраций в горном пространстве месторождения, фиксируя геохимические особенности развития рудного процесса, синхронного с ним гидротермального изменения вмещающих пород, а также масштабов и уровней концентрирования рудных и редких элементов в первичных ореолах рудных тел.

Эти наблюдения в пределах обрабатываемых рудных залежей, вместе с представлениями о структуре месторождения и об источниках рудного вещества, могут быть обобщены в геолого-геохимическую модель месторождения. На основе этой модели могут быть построены прогнозы развития оруденения в поле месторождения и на его флангах, а систематическое изучение горного пространства с помощью минералого-геохимических индикаторов оруденения позволит с наименьшей затратой сил и средств открыть новые рудные залежи, в том числе и «слепые».

При геохимических поисках в пределах рудных узлов знание геохимических особенностей развития процессов рудообразования, связанного с ним гидротермального изменения вмещающих пород и закономерностей формирования полей аномальных концентраций для известных здесь рудных месторождений, естественно, необходимо. Однако кроме этого в пределах возможных границ рудного узла предварительно должен быть проведен комплекс геохимических изысканий, включающий следующие виды работ: 1) детальные геохимические поиски по потокам рассеяния в масштабе 1:25 000 — 1:10 000; 2) гидрогеохимические поиски в масштабе 1:25 000; 3) атмогеохимические поиски в масштабе 1:25 000 — 1:10 000; 4) изучение геохимических особенностей магматитов, развитых в районе; 5) трассирование геохимическими методами дизъюнктивных тектонических структур.

В дальнейшем, в случае обнаружения перспективных металлогенических зон, в их пределах должны быть проведены более детальные поисковые работы путем применения литогеохимической съемки по

коренным породам (масштаб 1:5000 — 1:10 000) и поисков по вторичным ореолам рассеяния (масштаб 1:5000 — 1:10 000).

Систематическое геохимическое опробование выявленных перспективных участков должно завершаться составлением моно- и полиэлементных геохимических карт и оценкой прогнозных запасов выявленного оруденения.

На стадии детальных геохимических поисковых работ желательно проведение некоторого объема горных работ для вскрытия коренных пород (канавы и шурфы), а также оценки распространения оруденения на глубину (буровые скважины). В этом случае прогнозная оценка масштабов оруденения будет иметь большую достоверность.

При геохимических поисках в районах, признанных благоприятными для поисков эндогенных рудных месторождений в результате регионального и локального металлогенического прогноза, проведенного на основе изложенных выше петролого-геохимических и геолого-тектонических принципов, начальный этап также должен включать поиски по потокам рассеяния и использование гидрогеохимического и атмосферического методов.

В случае организации поисков в районах, удаленных от известных рудных месторождений, их масштабность должна составлять 1:50 000 — 1:100 000.

При проведении геохимических поисковых работ в старых горнорудных районах следует иметь в виду, что вблизи действующих горнорудных предприятий в эксплуатацию могут вовлекаться не только крупные, но также средние и даже мелкие месторождения. Однако в районах, удаленных от действующих горнорудных предприятий на 100 км и более, масштабность месторождений, рентабельных для разработки, будет увеличиваться.

Как указывалось выше, стратегия геохимических поисков эндогенных рудных месторождений в малонаселенных и экономически слабо освоенных районах будет существенно отличаться от стратегии поисков в старых горнорудных районах.

Для этих районов главной стратегической задачей следует считать открытие очень крупных месторождений.

Естественно, что началу поисковых работ в этих районах должен предшествовать геолого-геохимический региональный металлогенический анализ с целью прогноза размещения районов, перспективных для поисков крупномасштабных эндогенных месторождений полезных ископаемых.

При этом анализе на основе данных геологических съемок должны быть оценены масштабы возможных источников рудного вещества (магматический, вадозо-термальные растворы, интрателлурические эманации), вероятные геодинамические обстановки для различных возрастных срезов (континентальные плиты, активные окраины континентов, зоны островных дуг, внутриконтинентальные подвижные зоны, континентальные рифтовые зоны и т. д.), главные тектонические структуры (зоны глубинных разломов различного порядка), геохимические типы развитых в районе магматических ассоциаций, морфологические типы интрузий (абиссальные и мезоабиссальные батолиты, гипабиссальные и субвулканические интрузии), уровень их эрозионного среза, а также дана оценка их потенциальной рудоносности и рудной продуктивности.

Созданные на этой основе прогнозные металлогенические карты позволят выявить районы, в которых наиболее вероятно открытие крупных эндогенных рудных месторождений.

Вслед за этим теоретическим анализом, в экономически слабо освоенных районах должны быть развернуты крупномасштабные геохимические поиски по потокам рассеяния (масштабы 1:200 000 — 1:500 000).



с густотой опробования донных отложений водных потоков и озер 1 проба на 1—2 км<sup>2</sup>.

Этот основной вид крупномасштабных геохимических работ следует дополнить применением различных геохимических аэрометодов (гамма-спектрометрическая съемка, атмогеохимическая съемка), а также широким использованием результатов космической и аэрогеологической съемки.

В случае открытия крупных геохимических аномалий при таких крупномасштабных геохимических поисках следующие этапы изучения таких аномалий должны предусматривать детализационные работы по потокам рассеяния (масштаба 1:25 000 — 1:10 000), поиски с помощью вторичных ореолов рассеяния, гидрогеохимическим методом, а также литогеохимическое опробование коренных пород с целью поисков как крупных металлогенических зон, так и конкретных рудных участков.

Представляется, что в ближайшие годы значительное внимание будет уделяться стадии детальных поисково-оценочных работ. В их основу должен быть положен принцип количественной оценки прогнозных запасов рудных узлов, понимаемых как совокупность рудных месторождений, находящихся в пределах одной геологической структуры, образовавшихся близкоодновременно и за счет единого источника рудоносных растворов.

Эту стадию геологоразведочных работ, по-видимому, целесообразно разделить на два этапа: предварительной оценки прогнозных запасов (категория прогнозных запасов D<sub>2</sub>) и детальной прогнозной оценки (категория прогнозных запасов D<sub>1</sub>).

Предварительная оценка прогнозных запасов должна даваться только на основе опробования обнажающейся поверхности коренных пород и залегающих на них рыхлых отложений.

При детальной прогнозной оценке наряду с этим следует осуществлять опробование керна буровых скважин, пробуренных для прослеживания оруденения на глубину и фланги, а также поверхностных горных выработок (канавы и глубокие шурфы).

Предварительная и детальная прогнозные оценки месторождений, завершающиеся подсчетом прогнозных запасов и технико-экономическим обоснованием целесообразности их предварительной разведки и освоения, позволят создать более полную, чем сейчас, научно обоснованную систему планирования геологоразведочных работ, объективнее подойти к определению первоочередных объектов разведки, а также к оценке размеров рудных узлов и месторождений и проектированию горнорудных предприятий для их разработки.

Естественно, что эти различные виды работ должны иметь разные уровни финансирования.

Если плановую стоимость разведки весовой единицы полезного ископаемого принять за 100%, то наиболее рациональное соотношение стоимостей оценочных и разведочных работ можно представить следующим образом:

Вид работ	Категория запасов	% от общей стоимости разведки
Прогнозная оценка		
предварительная	Прогнозные D <sub>2</sub>	1
детальная	Прогнозные D <sub>1</sub>	4
Разведка		
предварительная	Промышленные C <sub>2</sub> и C <sub>1</sub>	20
детальная	Промышленные A, B и C <sub>1</sub>	75

На стадии детальных поисково-оценочных работ (предварительная и детальная прогнозные оценки) существенную долю должны составлять геохимические и геофизические научно-производственные изыскания.

Путем широкого использования геохимических методов поисков по потокам рассеяния, вторичным и первичным ореолам, а также атмосферического, биогеохимического и гидрогеохимического методов, сопровождаемых минералого-петрографическим и структурно-геологическим изучением поверхности рудоносных участков, уже сейчас вполне можно при чрезвычайно малых затратах давать уверенную предварительную количественную оценку прогнозных запасов, причем в очень короткие сроки.

Эта система предварительной оценки масштабов месторождений по геолого-геохимическим данным особенно эффективна при широком использовании современной вычислительной техники.

Как видно, на стадии детальных поисково-оценочных работ геохимические методы должны иметь очень большой удельный вес, особенно на этапе предварительной прогнозной оценки.

Применение геохимических методов при предварительной и детальной разведке обеспечивает значительное увеличение размеров изученного геологического пространства месторождений и получение более полной информации о минеральном и химическом составе рудного вещества.

Для прослеживания распространения оруденения на глубину и фланги, а также для открытия «слепых» рудных залежей большое значение имеет создание уже на начальных этапах разведки геолого-геохимических моделей месторождений, включающих минералого-геохимические данные о первичных ореолах, гидротермалитах и рудных телах. Стоимость такой ценной геохимической информации, даже при условии систематического геохимического опробования всех горных выработок и керна буровых скважин, обычно не превышает 1% от общей стоимости разведочных работ.

Широкое использование на стадиях прогнозной оценки, предварительной и детальной разведки рудных месторождений методов современной геохимии следует рассматривать как необходимый элемент научно-технического прогресса в практической геологии.

Благодаря близости науки и практики, в геологии должен выдерживаться принцип: практические геологические работы должны выполняться на современном научном уровне. В наши дни это означает широкое использование на всех стадиях геологоразведочных работ методов современной геохимии и геофизики. Только в этом случае практическая геология может рассчитывать на значительный рост эффективности поисково-разведочных работ.

**Н. И. САФРОНОВ, Е. М. КВЯТКОВСКИЙ**

## **РАЦИОНАЛЬНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ И СОЧЕТАНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКОВЫХ И РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ**

*(стратегия геохимических поисков)*

В современном научном мире существует достаточное количество направлений, наук, дисциплин; каждое подразделение — со своими целями, задачами и путями достижения решений. При этом в большинстве случаев целью исследований являются сравнительно узкие вопросы, реже решается проблема на широком уровне и еще реже пытаются решать или на самом деле решают ее в конечной инстанции. Область военных знаний прекрасно иллюстрирует существо мысли. На самом деле, существует

большое количество военных дисциплин, посвященных разнообразным техническим средствам, отдельным родам войск, их тактике, меньшее количество рассматривает тактику проведения боевых операций совокупностью различных воинских соединений, и только одно подразделение, вершина воинских наук — стратегия — разработывает один, но ключевой вопрос, а именно: как выиграть сражение совокупностью всех имеющихся сил и средств и каковы пути достижения этого.

Авторы настоящей статьи считают, что уж коли речь пошла о стратегии, то можно и должно говорить о том, как успешно справиться с конечной целью всяких геологоразведочных работ в широком смысле этого слова, т. е., как с меньшими затратами получить бóльший прирост запасов, используя в этих целях весь арсенал сил и средств геологоразведки. Поэтому ниже речь пойдет о стратегии рудных поисков вообще, а о геохимических методах будет говориться лишь ненамного больше, чем о других приемах, да и то лишь принимая во внимание геохимическую направленность сборника.

### ОБЪЕКТЫ ПОИСКОВ И ИХ ОСОБЕННОСТИ

В мире известно великое множество всякого рода месторождений, в том числе рудных, в общем смысле обладающих каждое своими неповторимыми индивидуальными чертами. Тем не менее геологическая наука накопила материалы, позволяющие классифицировать это множество по ряду очевидных признаков.

В настоящее время в ходу различные классификации рудных месторождений, приспособленные для различных научно-практических целей. Так, для научных целей разработана генетическая классификация, для чисто прикладных — по металлам; однако ни одна из них не пригодна для поисковых целей. На наш взгляд, для этого в наилучшей степени подходит «систематика рудных месторождений для поисковых целей», составленная акад. В. И. Смирновым и впервые опубликованная им в книге «Геологические основы поисков и разведок рудных месторождений» (1954). Согласно этой систематике, рудные месторождения по принципу контроля рудообразования геологическими факторами могут быть отнесены к одной из следующих шести основных групп месторождений: магматических, постмагматических, осадочных, метаморфических, кор выветривания, россыпных. Далее, каждая из этих групп включает в себя ряд детализирующих подразделений, особенно много их в группе постмагматических месторождений. Здесь выделяются следующие классы: пегматитовый, скарновый, грейзеновый, сульфидных тел, колчеданных залежей, телетермальный.

Как нетрудно видеть, по крайней мере шесть первых классификационных подразделений по существу построены по минеральному составу соответствующих руд. Такой подход наиболее правильный в поисковых целях. На самом деле, при прочих равных условиях, основным моментом, определяющим возможности применения различных поисковых приемов, является наличие должного различия в физических и химических свойствах или в характере поведения в приповерхностных условиях (на выходах) рудного материала по сравнению с вмещающими его образованиями. В то же самое время все эти особенности всецело определяются ничем иным, как минеральным составом руд и его отличиями от состава вмещающих пород. Подобный подход позволяет продвинуться в направлении обобщения еще дальше. Так, колчеданные залежи вполне могут быть отнесены в группу сульфидных рудных тел так же, как и телетермальные месторождения той же систематики, поскольку руды этих образований являются сульфидными. Если оставить в стороне месторождения последних трех групп (метаморфические, коры выветривания и россыпные), иг-

рающие свою роль лишь для части определенных металлов, и сосредоточить внимание лишь на магматических, постмагматических и осадочных группах, то операция упрощения, сделанная выше, в части постмагматических месторождений может быть распространена и на классы магматических и осадочных (собственно-осадочных и вулканогенно-осадочных) руд, и в классификационном смысле для поисковых целей не будет сделано каких-либо нарушений. На самом деле, какой бы минерал мы не взяли — магнетит, пирит, халькопирит, касситерит, кварц и т. д. — его свойства и особенности, вне зависимости от генезиса рудного образования, откуда он был извлечен, останутся одинаковыми в пределах, совершенно допустимых для практических целей.

Таким образом, поисковая классификация рудных месторождений, упрощенная по сравнению с исходной, предложенной академиком В. И. Смирновым, будет заключать в себя следующие семь основных классов, имеющих сходные физические, химические и физико-химические характеристики руд: пегматитовые, грейзеновые, кварцеворудные, сульфидные, скарновые, окисные, вкрапленные и рассеянные.

Ниже кратко рассмотрены основные характеристики и поисковые возможности, принципиально представляемые каждым выделенным классом в чистом виде.

**Месторождения пегматитовые.** Наибольшей известностью и практическим значением обладают пегматиты кислых (гранитоидных) пород. С этими пегматитами чаще всего и приходится иметь дело при поисках. Главный минеральный состав этих пегматитов: полевой шпат (ортоклаз), кварц и слюда. Из пегматитов извлекают с промышленными целями полевые шпаты (на керамическое сырье), кварц (для оптической, химической и радиотехнической промышленности), слюду (для электротехнической промышленности). Помимо этого, пегматиты поставляют олово, драгоценные и полудрагоценные поделочные камни, урановое сырье, редкие щелочные металлы (литий, рубидий, цезий), бериллий, редкие земли, тантал, ниобий и др.

Поисковыми особенностями этих месторождений являются:

- 1) обычная приуроченность промышленных пегматитовых месторождений к областям развития кислых гранитоидных и щелочных сиенитовых интрузий;
- 2) определенный минеральный состав, характерные структурные черты и выделяющийся благодаря этому общий облик пегматитов;
- 3) частое сопровождение пегматитовых образований определенными вторичными изменениями вмещающих пород (грейзенизация, альбитизация);
- 4) сравнительно с осадочными толщами, высокое электрическое сопротивление как следствие высокого электросопротивления кварца, слюды, полевошпатов;
- 5) обычно повышенная естественная радиоактивность, обусловленная присутствием в составе минералов или повышенных геохимических примесей радиоактивных элементов;
- 6) повышенный пьезоэффект за счет присутствия пьезоминералов;
- 7) частая сопряженность с полями естественных электрических токов;
- 8) сопровождение пегматитовых тел первичными ореолами, особенно характерны в ореолах литий, рубидий, цезий;
- 9) образование вблизи пегматитов вторичных механических потоков и ореолов рассеяния, несущих устойчивые ценные минералы (касситерит, тантало-ниобаты, редкоземельные минералы и т. п.), легко улавливаемые лотком;
- 10) сопровождение пегматитов, несущих щелочные металлы (литий, рубидий, цезий), бериллий или сульфиды (например, молибденит), солевыми и смешанными вторичными потоками и ореолами рассеяния.

**Месторождения грейзеновые.** Рудным грейзеном называется образование, состоящее из кварца, часто мелкозернистого (до 90 % и более по объему), мелкочешуйчатой слюды (мусковита или лепидолита) и рудных минералов (касситерита, вольфрамита, молибденита, берилла) в объеме до 10 %, в сопровождении топаза, флюорита, пирита, арсенопирита и других сульфидов. По генезису это гидротермальные образования, однако захватывающие пневматолитовую область. Грейзеновые месторождения теснейшим образом связаны с интрузиями аляскитов и кислых гранитов и, как правило, залегают в теле родоначальных интрузивов или в их экзоконтактах. Грейзенизация вмещающих пород, т. е. метасоматическая переработка в кварцево-слюдяное новообразование, служит характерным признаком рассматриваемых месторождений.

Главной формой рудных тел грейзеновых месторождений являются жилы различной, но преимущественно средней величины, часто группирующиеся в зоны и поля. Другой формой проявления являются штокверки, имеющие различные размеры в пределах сотен метров и различную конфигурацию.

Поисковыми особенностями этого класса месторождений являются:

1) обычная приуроченность этих месторождений к областям развития кислых и ультракислых (гранитных и аляскитовых) интрузий;

2) характерный минеральный состав: кварц, слюды (в том числе литиевые), топаз, флюорит, берилл, касситерит, вольфрамит, молибденит, сульфиды;

3) характерные вторичные изменения вмещающих пород (грейзенизация и цвиттеризация, окварцевание);

4) повышенное электрическое сопротивление собственно кварцевых тел и окварцованных участков, сопровождаемое в специфических случаях повышенной естественной радиоактивностью;

5) четко выраженные первичные многокомпонентные ореолы;

6) способность одновременно давать механические (в том числе шлиховые с касситеритом, вольфрамитом и др.) и солевые полиэлементные вторичные ореолы и потоки рассеяния.

**Месторождения кварцеворудные.** Этот класс включает все месторождения, преобладающим минеральным компонентом руд которых является кварц, в отдельных случаях ассоциирующий с полевыми шпатами, турмалином, карбонатами, баритом и обломками боковых пород. При этом безразлично, выполняют ли кварц и его спутники хорошо оформленную жильную трещину или пропитывают и цементируют тектоническую брекчированную зону, а также и то, какие ценные компоненты — минералы и металлы — являются сопровождающими.

Следует подчеркнуть, что характерные ценные минералы рассматриваемых месторождений (самородное золото, касситерит, вольфрамит, шеелит, молибденит, киноварь, антимонит и др.) обычно составляют небольшую по объему примесь (от нескольких десятитысячных долей процента в чисто золоторудных жилах и до 2—3 % в других кварцеворудных образованиях). Правда, почти повсеместно в кварцевых рудах в виде спутников присутствуют обычные сульфиды (пирит, пирротин, галенит, сфалерит, арсенопирит, блеклые руды), однако их количество невелико (в сумме не более 10 % по объему), и распределены они в кварцевом теле небольшими гнездами. Поисковые особенности кварцеворудных месторождений следующие:

1) частая приуроченность кварцеворудных образований к областям развития кислых гранитоидных интрузий и их связь с тектоническими разломами разного характера;

2) специфический облик и минеральный состав руд (кварц и заметные на его фоне рудные минералы);

3) высокая сохранность кварцеворудного материала в приповерхностных условиях;

4) абсолютное и относительно высокое электрическое сопротивление кварцеворудных тел, превышающее таковое для любых геологических образований, как следствие резкого преобладания в составе руд такого прекрасного диэлектрика, как кварц, а также других жильных минералов с диэлектрическими свойствами;

5) абсолютно и относительно высокая пьезоэлектрическая активность кристаллического руднокварцевого материала как следствие пьезоактивности самих кристаллов кварца, а также частых спутников кварца — турмалина и сфалерита;

6) электронная проводимость большинства сульфидных минералов;

7) сопровождение многокомпонентными первичными ореолами;

8) сопровождение чисто механическими потоками и ореолами рассеяния и россыпями кварцеворудных тел, несущих в себе золото, касситерит, шеелит, вольфрамит, киноварь и другие устойчивые первичные рудные минералы, и такими же смешанными потоками и ореолами рудных тел с молибденитом и другими малоустойчивыми минералами.

**Месторождения сульфидные.** К означенному поисковому классу месторождений относятся все те, в рудах которых преобладающими минералами являются сульфиды, сульфосоли и подобные им соединения тяжелых металлов — железа, меди, свинца, цинка, никеля, кобальта, мышьяка — вне зависимости от того, являются ли они моно- или полиминеральными образованиями и представлены ли они сплошными или прожилково-вкрапленными рудами.

Сульфидные месторождения генетически связаны со средними породами типа гранодиоритов, хотя специфические медно-никелевые залежи приурочены к интрузиям более основным — габбро-норитам и перидотитам. Эти месторождения имеют большое промышленное значение, являясь поставщиками основных масс цветных металлов, золота и серебра.

Сульфидные руды обладают целым рядом характерных свойств: имеют высокую электрическую проводимость, окисляются с возникновением на выходах месторождений характерной «железной шляпы», создают аномалии естественных электрических токов и термоаномалии. В первичном состоянии отличаются повышенной плотностью и при наличии в составе руд пирротина или магнетита — повышенной магнитностью. При заметном содержании сфалерита обуславливают четкий пьезоэффект. Характеризуются весьма разнообразным полиэлементным составом. В зоне гипергенеза образуют вторичные солевые ореолы и потоки рассеяния.

Все вышеуказанное определяет наличие у сульфидных месторождений следующих поисковых особенностей:

1) приуроченность определенных типов сульфидных месторождений к определенным родоначальным породам и тектоническим структурам;

2) специфический состав и облик первичных сульфидных руд;

3) специфический состав и облик рудного сырья в приповерхностных условиях (обилие минералов-новообразований, «железная шляпа»);

4) примечательные окolorудные изменения вмещающих пород (пиритизация, серицитизация, окварцевание, осветление и т. п.), обязанные воздействию как рудообразующих гидротермальных растворов, так и свободной серной кислоты и сульфатных растворов, образующихся при окислении сульфидов;

5) высокая абсолютная и относительная электропроводность подавляющего числа руд при электронной ее природе, равно как и повышенная электропроводность (ионной природы) кислых вод зоны вторичных изменений;

6) гравитационная термическая и естественно электрическая аномальность участков залегания руд;

7) в ряде случаев повышенные магнитность, пьезоактивность, естественная радиоактивность;

8) обязательное наличие четко выраженных первичных ореолов предельно многокомпонентного состава;

9) обязательное сопровождение вторичными, как правило, солевыми потоками и ореолами рассеяния рудных и сопутствующих химических элементов.

**Месторождения скарновые.** Под скарнами понимают метасоматические минеральные новообразования, развивающиеся прежде всего в карбонатных, реже в силикатных породах, в том числе — в изверженных.

Скарновыми называются месторождения, пространственно и генетически связанные со скарнами; различают два типа подобных месторождений: а) сопутствующие, в которых процессы рудообразования в пространстве и во времени сочетались с процессами скарнообразования, и б) наложенные, в которых процессы рудообразования по времени оторваны от скарнообразования, а в пространстве совмещены с ними.

К группе скарновых месторождений относится целый ряд рудных формаций, имеющих важное промышленное значение. Главными из них являются скарново-магнетитовая, включающая в себя многие крупные и крупнейшие месторождения железа; скарново-молибденит-шеелитовая, скарново-полиметаллическая. Формации мышьяково-кобальтовая, магнетит-касситеритовая, гельвиновая и боратовая встречаются реже.

Характерными свойствами скарновых руд служат повсеместная, иногда слабая магнитность скарнов, а также наличие всех тех свойств, которые характерны для сульфидных руд вообще.

Поисковые особенности скарновых месторождений следующие:

1) обязательная приуроченность их к областям контактов карбонатных, реже силикатных толщ и более поздних активных интрузий, преимущественно гранодиоритового состава;

2) чрезвычайно характерный минеральный состав руд и вмещающих пород, представленный, помимо рудных, своеобразной ассоциацией скарновых минералов;

3) наличие аномальных магнитных полей, иногда слабых, над всеми участками развития скарнов;

4) сильные магнитные аномалии, сопровождающие залежи скарново-магнетитовых руд;

5) наличие всей совокупности геофизических и геохимических особенностей, свойственных сульфидным месторождениям на участках залегания скарново-полиметаллических сульфидных руд;

6) сопровождение скарновых месторождений первичными ореолами;

7) способность создавать солевые смешанные и вторично-механические потоки и ореолы рассеяния, представленные минералами-новообразованиями меди, цинка, свинца, молибдена и т. п., и типично механические потоки и ореолы при наличии в рудах магнетита, шеелита и касситерита.

**Месторождения окисных руд.** В этот класс объединяются месторождения, в которых преобладают рудные минералы, по химизму относящиеся к окисным соединениям металлов. На практике это различные месторождения железных, марганцевых, хромитовых и алюминиевых руд эндогенного, метаморфического и осадочного генезиса. Очень многие из перечисленных месторождений имеют пластовую или пластообразную форму.

Поисковые особенности месторождений окисных руд в целом могут быть охарактеризованы как определяемые:

1) геологической позицией в сводном разрезе, обликом искоемых руд и устойчивостью их в приповерхностных условиях;

2) магнитностью: сильной — для магнетитов и слабой — для мартитов и некоторых сортов бокситов;

**Поисковые возможности различных методов  
применительно к выделенным классам месторождений**

№ п/п	Поисковые признаки (критерии)	Поисковые классы рудных месторождений						
		пегматито- вые	грейзено- вые	кварцево- рудные	сульфид- ные	скарновые	окисных руд	вкраплен- ных и рас- сеянных руд
<b>I. Геологические</b>								
1	Связь с магматизмом	++	++	+	+	++	+	+
2	Литологические критерии	-	+	-	-	+	-	+
3	Структурные критерии	+	-	+	++	+	+	++
4	Зональность региональная и локальная	-	+	+	+	+	-	-
5	Метасоматические изменения пород	-	++	-	++	+	-	-
6	Зона окисления месторождений	-	-	-	++	+	-	-
7	Крупнообломочные и шлиховые потоки и ореолы рассеяния	+	++	++	-	+	+	-
<b>II. Геохимические</b>								
1	Первичное рассеяние элементов в геологических формациях	-	+	-	+	++	+	+
2	Первичные ареалы месторождений и их зональность	+	++	-	+	+	+	++
3	Первичные ореолы рудных тел и их зональность	-	+	++	++	++	+	+
4	Вторичные механические ореолы и потоки рассеяния (в том числе шлихогеохимические)	+	++	+	-	+	-	-
5	Вторичные солевые литохимические ореолы и потоки рассеяния	+	-	+	++	++	-	++
6	Гидрохимические ореолы и потоки рассеяния	-	+	-	+	+	-	+
7	Биогеохимические ореолы рассеяния	-	+	-	+	+	-	+
8	Атмохимические ореолы рассеяния	-	-	-	+	+	-	+
9	Радиометрические аномалии	+	+	-	+	+	+	-
<b>III. Геофизические аномалии</b>								
1	Электроразведочные							
	а) естественного электрического поля (ЕП)	-	-	-	++	+	-	+
	б) вызванных потенциалов (ВП)	-	-	+	+	+	-	++
	в) сопротивления	+	+	++	++	+	-	-
	г) электромагнитных полей	-	+	+	++	+	-	+
	д) заряда	-	-	-	++	+	-	-
2	Магниторазведочные							
	а) интенсивные (100 гамм)	-	-	-	+	++	+	-
	б) слабые (10 гамм)	-	+	-	++	+	+	+
3	Сейсморазведочные							
	а) структурные	-	+	+	+	-	+	+
	б) акустические	+	+	++	+	-	-	-
	в) пьезоэлектрические	++	+	++	+	-	-	-
4	Гравиразведочные	-	-	-	+	+	++	-
5	Термические	-	-	-	+	-	-	-



3) повышенной плотностью для железных и особенно хромитовых руд;

4) значительной протяженностью и мощностью, позволяющими использовать для прослеживания сейсмические методы;

5) наличием протяженных по напластованию первичных ореолов с ограниченным набором элементов-индикаторов. Развитие в покровных образованиях вторичных солевых, смешанных и механических ореолов и потоков рассеяния.

**Месторождения вкрапленных и рассеянных руд.** К этому классу относим такие типы рудных месторождений, в которых сами рудные минералы представляют собой лишь незначительную примесь. Оруденевшими являются чаще всего известняки и иные осадочные породы, в частности ороговикованные, а затем породы кислой дайковой серии, ультрабазиты и т. п. Рудными минералами являются, как правило, сульфиды, несущие с собой такие ценные металлы, как золото, свинец, цинк, молибден, ртуть, медь и др.

Таким образом, рассматриваемый класс включает свинцово-цинковые вкрапленники в известняках, безминеральные месторождения урана, молибдена и других металлов в кремнисто-глинисто-углистых породах (с сорбированными металлами), вкрапленники медно-никелевых сульфидов в базитах и ультрабазитах, дайки порфиоров с вкрапленниками сульфидов и золота, сульфидизированные роговики с рассеянными металлами, некоторые месторождения коры выветривания.

Поисковые особенности подобного типа месторождений определяются, во-первых, разнотипностью пород, подвергшихся оруденению, во-вторых, особенностями самого оруденения, чаще всего представленного вкрапленностью, и, в-третьих, весьма значительными размерами рудных тел при сравнительно низких содержаниях полезного компонента.

По поисковым особенностям класс месторождений вкрапленных и рассеянных руд занимает нечто среднее между классами сульфидных и скарновых месторождений. Вкрапленный характер оруденения и значительные размеры рудных тел выдвигают метод вызванных потенциалов среди прочих геофизических методов на первое место, а также определяют сравнительно простую морфологию, элементный состав и слабую контрастность вторичных ореолов и потоков рассеяния этого класса месторождений.

#### **РАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ КЛАССОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Специфические особенности выделенных классов месторождений обуславливают выбор комплекса поисковых методов, перечень которых представлен в виде таблицы (влияние природных условий проведения работ, а также их экономическая эффективность не учтены).

К таблице надлежит сделать следующие пояснения.

1. Группа месторождений скарновых и окисных руд включает в себя месторождения различного минерального состава. Поэтому к ним возможно применение многих родственных методов.

2. Подчеркивается, что применение метода сопротивления для поисков рудно-кварцевых и других месторождений с кварцем оказывается малоэффективным в районах развития многолетней мерзлоты. В этих же районах снижаются возможности рудной сейсморазведки.

3. Под методами электромагнитных полей понимаются многочисленные методы, использующие низкочастотные электрические токи и возбуждаемые ими магнитные поля (РВП, МПП, ДЭМП, ПЭМК, индукция и др.).

4. Обращается внимание на то, что при поисках месторождений по их механическим ореолам рассеяния наилучшим способом опробова-

ния рыхлых образований является лотковое (шлиховое) опробование.

Выше были рассмотрены в общем виде поисковые признаки рудных месторождений различных типов, объединенных в семь классов и включающих в себя подавляющее количество рудных образований. Вместе с тем возможности реализации этих признаков в основном зависят от мощности, состава и генезиса перекрывающих рудные месторождения рыхлых образований. С этой точки зрения все территории, на которых производятся поисковые работы, можно разбить на четыре категории.

1. Одноярусного строения с мощностью автохтонного рыхлого покрова до 5—7, реже 10—15 м (элювий — делювий рудовмещающих коренных пород).

2. Одноярусного строения с маломощным аллохтонным рыхлым покровом от 2—3 до 15—20 м, реже до 30—50 м (ледниковые, речные, озерные, реже моренные, эоловые и др.).

3. Одноярусного строения с маломощным (от 2—3 до 15—20 м) покровом аллохтонных рыхлых образований, перекрывающих древнюю кору выветривания подстилающих рудовмещающих пород мощностью до 30—50 м.

4. Двухъярусного строения с глубиной залегания рудовмещающих пород фундамента от 30—50 до 200—300 м, перекрытого породами осадочного чехла.

5. Двухъярусного строения с глубиной залегания фундамента выше 300—500 м.

С поисковой точки зрения площади 1-й категории являются наиболее благоприятными для применения любых поисковых методов в отношении любых месторождений. Они развиты в пределах молодых складчатых областей и щитов с горным расчлененным рельефом и занимают 35% территории Советского Союза.

Площади 2-й категории распространены достаточно широко в различных районах СССР. Они более трудны в поисковом отношении, хотя так же, как и площади 1-й категории, покрыты тонким покровом.

Площади 2-й и 3-й категорий развиты в пределах древних складчатых областей и щитов с низкогорным, холмистым и равнинным слаборасчлененным и плоским рельефом (20% территории СССР). Наличие хотя и маломощного покрова аллохтонных отложений исключает возможность использования наземных геологических методов поисков, существенно затрудняет применение геохимических методов. Наиболее эффективными в этих ландшафтах оказываются все геофизические методы, а из геохимических — методы поисков по солевым наложенным ореолам, а также, в благоприятных случаях, гидро-, атмо- и биогеохимические методы. В случае низкой эффективности перечисленных геохимических методов поисков, особенно на площадях 3-й категории, следует переходить к глубинным литохимическим методам поисков.

Площади 4-й категории развиты в обрамлении щитов, плит, платформ с равнинным плоским, реже холмистым слаборасчлененным рельефом и занимают в общем площадь порядка 15% территории Союза. В этих условиях при исследованиях с поверхности практически все методы в наземных вариантах неэффективны. Правда, есть отдельные данные, показывающие, что в некоторых случаях методами переходных процессов и вызванной поляризации, а также геохимическими методами, опирающимися на изучение форм нахождения рудных элементов в солевых ореолах рассеяния, отмечаются крупные рудные месторождения, залегающие под чехлом осадочных пород мощностью до 150—200 м. Тем не менее, на наш взгляд, наиболее действенным в подобных условиях является использование подходящих геофизических и геохимических методов в скважинном варианте. Исследуемая площадь предва-

9206



рительно разбуривается редкой сетью (1000×250 м) поисково-картировочных скважин с минимальной углубкой в рудовмещающие толщи (до 50 м). Геофизическими и геохимическими методами исследуется межскважинное пространство в расчете на выделение крупных рудных месторождений и их первичных ореолов, вскрытых древней эрозионной поверхностью.

Площади 5-й категории характерны для платформ, предгорных и межгорных впадин и занимают в общей сложности приблизительно 30% территории Союза. С осадочным чехлом в этой обстановке связаны нефтегазовые, угольные и многие другие осадочные месторождения, поиски которых в данной статье не рассматриваются, как и поиски на шельфе и морском дне.

### СТРАТЕГИЯ ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Стратегия — понятие столь же широкое, сколь и определенное, оно требует точного употребления. Поэтому постараемся сформулировать это понятие.

Стратегия, как уже отмечалось, возникла в области военных наук и здесь получила свое определение и развитие. Имеется много толкований понятия «стратегия», и каждое из них чем-то отличается от других, неся отпечаток индивидуальности автора, страны, которую он представляет, времени и т. п. Вместе с тем все авторы едины во мнении, что стратегия является вершиной военных знаний и что ее задачи — это обеспечение сил и средств для ведения операций и нахождения путей к достижению успеха, имея в виду сосредоточение в выбранный момент и в решающем направлении всех сил и средств, имеющихся в распоряжении.

Беря эти основные черты военной стратегии за основу, формулируем главные особенности стратегии рудных поисков. Под стратегией рудных поисков будем понимать завершающую геологоразведочную науку, сущность которой состоит в определении путей достижения окончательного успеха, а именно — обеспечения народного хозяйства необходимыми запасами минерального сырья путем последовательного введения в действие надлежащих поисковых приемов в рациональных сочетаниях и масштабах их применения на наиболее перспективных с геологической и народнохозяйственной точек зрения площадях. Исходя из сказанного, изложим кратко те рекомендации о путях достижения успеха — открытия новых крупных месторождений на неосвоенных площадях — применительно к различным категориям площадей по условиям ведения работ и выведенным семи поисковым типам рудных месторождений, характеризваемым определенными наборами поисковых признаков.

Предварительное знание геологии, а при рудных поисках — разрывной тектоники, особенно глубокого заложения, является одним из факторов, обеспечивающих успех поисковых работ. В то же время оказалось, что многие геологические вопросы решаются и на площадях, перекрытых мощной толщей рыхлых образований, при помощи космогеологических съемок.

Отсюда следует необходимость систематического предварительного обследования намеченных к поискам площадей всех выделенных категорий при помощи искусственных земных спутников. Полученные данные, особенно по глубинной тектонике, контролирующей, как известно, оруденение, должны в значительной мере сократить площадь, подлежащую обследованию.

Далее, также на площадях всех категорий должна быть учтена или предварительно проведена аэромагнитная съемка с протонными магни-

тометрами как с целью структурно-геологического картирования, так и прямых поисков месторождений магнетитовых руд.

Одинаковым образом необходимо на площадях первых трех категорий проводить аэрогеохимическую (гамма-спектральную, радиометрическую) съемку в комплексе со спектральной аэрофотосъемкой с целью структурно-геологического картирования и поисков месторождений многих классов.

Имея таким образом предварительно подготовленные площади для дальнейшей постановки наземных поисковых работ, рассмотрим и рациональное сочетание методов при поисках месторождений различных классов в пределах площадей различных категорий.

Самыми легкодоступными для проведения любых поисковых работ и проверки результатов их разведочными выработками являются площади 1-й категории, где с успехом могут применяться и индивидуально, и в комбинации друг с другом любые из возможных, перечисленных выше поисковых приемов, выбранных в зависимости от конкретных поисковых задач. Вместе с тем, по-видимому, наиболее рациональной будет следующая последовательность работ.

1. Шлиховая и литохимическая съемка масштаба 1:200 000 по потокам рассеяния и выделение перспективных участков. С целью повышения надежности и оперативности поисков целесообразно включать в комплекс методов гидрохимическую и пешеходную гамма-съемку. Оперативное определение сульфат-иона в водах и радиоактивных элементов в породах и рыхлых образованиях позволяет выявлять месторождения различных классов, в том числе наиболее распространенных сульфидных месторождений многих элементов.

Весьма перспективным представляется составление мелко- и средне-масштабных (1:1 000 000 — 1:200 000) полиэлементных геохимических карт на структурно-формационной основе, отражающих закономерности перераспределения рудогенных элементов в процессе развития земной коры. Составление таких карт требует опробования коренных пород на широкий круг элементов с повышенной чувствительностью и точностью анализа, что в настоящее время трудно осуществить для многих элементов. Остается также нерешенным вопрос о способах изображения на такой карте суммарной геохимической информации. Определенные успехи в этом направлении имеются, однако работы не вышли еще из стадии теоретических разработок.

2. На перспективных участках проводятся литохимические (включая радиометрические) поиски масштаба 1:50 000 по вторичным ореолам рассеяния, сопровождаемые гидрохимическим и реже шлихогохимическим опробованием потоков рассеяния с целью более надежной увязки ореолов и потоков рассеяния и более качественной оценки выявленных аномалий.

3. В случае положительной предварительной оценки выявленного рудопроявления (с учетом результатов опробования и геологического изучения обнажений и горных выработок) на участке проводятся детально-поисковые работы масштаба 1:10 000 комплексом методов, включающих литохимическую съемку по вторичным ореолам рассеяния (в случае хорошей обнаженности сопровождаемой съемкой по первичным ореолам) и геофизические методы, выбор которых зависит от поискового класса выявленного рудопроявления.

4. Далее идет этап поисково-разведочных работ, на котором основную роль играют горно-буровые работы, сопровождаемые необходимым комплексом геохимических и геофизических методов исследования первичных ореолов, рудных тел, их структуры и морфологии и т. д.

На всех этапах поисково-разведочных работ в результате проведенных исследований оцениваются прогнозные запасы ожидаемых месторождений. По мере увеличения детальности точность оценки запасов и

конкретная привязка их к объектам (металлогеническим зонам, рудным полям, месторождениям, рудным телам) возрастает. Роль геохимических методов при оценке прогнозных запасов на всех этапах весьма существенна. При оценке прогнозных запасов все большую роль начинают играть геофизические методы, в частности на вкрапленных сульфидных рудах метод ВП, на прожилково-вкрапленных и сплошных сульфидных рудах геоэлектрохимический метод КСПК (контактный способ поляризации кривых).

Приведенная выше последовательность геологопоисковых работ относится к малозученным территориям, в частности к полосе вдоль трассы БАМ, где первоочередной задачей является выявление в кратчайшие сроки крупных месторождений, выходящих на дневную поверхность и пригодных для отработки открытым способом. В промышленно освоенных районах важная задача — поиски глубокозалегающих месторождений и даже отдельных рудных тел вблизи действующих горнорудных предприятий, в том числе на флангах известных месторождений и рудных полей. Для решения этой задачи даже в пределах площадей 1-й категории в комплекс методов при съемке масштаба 1:50 000 включается геофизика с учетом поискового класса месторождений. На всех этапах первостепенное значение приобретает изучение первичных ореолов, по характеру зональности которых решается задача прогнозирования и поисков глубокозалегающих рудных тел и месторождений. Площади 2-й и 3-й категорий в известной мере по условиям поисков имеют сходство с площадями 1-й категории с той лишь разницей, что в них совершенно неприменимы съемки по механическим потокам и ореолам, а съемки по солевым, гидрохимическим и биогеохимическим ореолам применимы без уверенности в полном выявлении всех объектов, ими сопровождаемых. В силу этого рекомендуется все площади, подлежащие обследованию в масштабе 1:50 000 и крупнее, перекрыть комплексом геофизических и геохимических методов, способным выявлять максимум рудных объектов, а затем выявленные аномалии заверить геологически и геохимически, беря пробы не с поверхности, а с глубины, со спаевых горизонтов.

Площади 4-й категории по поисковым возможностям резко отличаются от площадей первых трех категорий. Для этих условий в настоящее время еще не созданы наземные и воздушные уверенные поисковые приемы, которые обладали бы требуемой глубиной — многие десятки, одна-две и более сотен метров, а некоторые имеющиеся предложения (метод частичного извлечения металлов (ЧИМ), бесконтактный метод поляризации кривых (БСПК) и метод органометаллических форм (МПФ), газовые ореолы ртути, гелия, галлоидов и др.) еще недостаточно опробованы для указанных условий. Поэтому основой поисков в районах с двухъярусным строением является использование скважинных приемов, на основе предварительно пробуренной сети редких буровых скважин (от 4 до 9 скважин на 1 км<sup>2</sup>). Следует подчеркнуть, что в арсенале геофизических и геохимических поисковых средств имеются все из перечисленных методов, приспособленных для поисков из скважин. Большого успеха надлежит ожидать от разработки скважинного (равно как и поверхностного) метода, использующего собственное радиоволновое поле Земли. Одним из приемов применения этого метода в поисковых целях представляется вертикальное (снизу вверх) радиоволновое просвечивание.

Выявленные участки, перспективные на нахождение руд, должны быть детализированы соответствующими задачами геофизическими и геохимическими методами, а затем разбурены скважинами.

Что касается площадей 5-й категории, то в их пределах следует вести поиски осадочных рудных месторождений в осадочном чехле. С общих позиций методике поисков таких месторождений можно было бы наметить, однако следует учесть, что опыта работ в этом направлении

пока очень мало. Обращая внимание на специфику поисковых признаков этих месторождений, а также особенности строения осадочного чехла на платформах, близкие к строению шельфа, следовало бы особо рассмотреть стратегию поисков осадочных рудных месторождений в осадочном чехле на платформах, на шельфе и морском дне.

Естественно, что стратегия геохимических методов поисков зависит от многих факторов, в том числе от уровня развития различных методов, включая собственно геохимические.

С этих позиций следует отметить, во-первых, необходимость дальнейшего развития теоретических основ этих методов, в том числе геохимической термодинамики, позволяющей выявлять закономерности рассеянного и концентрированного вида существования химических элементов в земной коре, в частности, закономерности в распределении месторождений по запасам и содержаниям элементов в рудах. Знание этих закономерностей позволит более обоснованно прогнозировать месторождения, а прогноз — основа стратегии поисков.

Во-вторых, главным условием дальнейшего развития геохимических методов поисков и разведки является создание полевых оперативных экспрессных технических средств для определения содержаний широкого круга элементов с необходимой чувствительностью и точностью на месте опробования — на обнажениях, в выработках и скважинах. По аналогии с радиоактивными методами, относящимися по своей сути безусловно к геохимическим, дальнейшее развитие геохимических методов поисков и разведки лежит на пути создания полевых интегральных рентгенорадиометров для определения суммы элементов-индикаторов различных типов рудных месторождений, а также полевых рентгеноспектрометров для раздельного определения элементов-индикаторов с необходимым порогом чувствительности и достаточной точностью. Первые шаги в этом направлении уже сделаны — созданы первые образцы аппаратуры типа БРА-6, «Поиск» и др.

В-третьих, дальнейшее развитие геохимических методов настоятельно требует внедрения в практику широкого единого комплекса программ для обработки геохимической информации на всех этапах и стадиях исследований. В этом отношении уже достигнуты определенные успехи и, надо думать, такая работа будет завершена с переходом ВЦ геологических управлений на ЭВМ единой серии (ЕС).

Внедрение ЭВМ поможет также оценивать экономическую эффективность как отдельных поисковых методов, так и различных вариантов комплексирования методов при решении поисково-разведочных задач. Иначе говоря, выбор стратегии поисков для конкретных условий будет поставлен на количественную основу, чего нет в настоящее время. Первые шаги в этом направлении уже сделаны, однако результаты получены довольно скромные, что объясняется трудностью задачи и отсутствием хорошо разработанной методики оценки экономической эффективности геологоразведочных работ.

**В. В. ПОЛИКАРПОЧКИН**

## **СТРАТЕГИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*(изучение больших площадей  
и локальных перспективных участков)*

Стратегия геохимических поисков рассматривает применение совокупности геохимических методов для выявления и оценки месторождений полезных ископаемых. Имеется в виду, конечно, применение этих методов в комплексе с другими видами геологоразведочных работ.

При определении стратегии в первую очередь должны быть выделены две задачи. Одна из них заключается в геохимическом изучении больших площадей. Она особенно важна для организаций, территория деятельности которых измеряется сотнями тысяч и миллионами квадратных километров. Какими темпами, в какие сроки, путем применения каких методов и средств решается эта задача и ставится ли она вообще — от этого в значительной степени зависит стратегия поисков.

Вторая задача относится к проведению детальных геохимических работ на найденных перспективных участках. Здесь также весьма важно, на какие методы следует ориентировать геохимические работы для того, чтобы добиться максимального эффекта.

### ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ БОЛЬШИХ ПЛОЩАДЕЙ

Постановка этой проблемы связана с тем, что желательно, если только практически возможно, сплошное покрытие площадей геохимическими съемками. Это обусловлено двумя причинами. Во-первых, необходимо иметь в виду несовершенство геологических критериев рудоносности. Часто делаются ошибки даже в предсказании месторождений известного типа. Совершенно невозможно или очень трудно предсказать месторождение неизвестных типов. Во-вторых, геохимическое изучение дает такие сведения, которые нельзя получить иным образом. Прежде всего это данные о концентрациях элементов, носящие объективный и притом количественный характер. Они весьма ценны для обнаружения мест расположения месторождений.

Из площадей, подлежащих геохимическим съемкам, должны исключаться лишь те, где применение их не эффективно — главным образом из-за большой мощности рыхлых отложений или пострудных образований вообще, покрывающих рудовмещающие породы. Но и в этом случае может быть целесообразным применение геохимических съемок для обнаружения месторождений в покровных образованиях.

Геологические и некоторые геохимические критерии, так же как и экономико-хозяйственные соображения (освоенность местностей, близость их к промышленным центрам, необходимость выяснения перспектив развития минеральных ресурсов планируемых территориально-производственных комплексов и т. п.) следует учитывать для определения очередности геохимических съемок. Но нельзя исключать из числа покрываемых геохимическими съемками площади только на том основании, что по геологическим соображениям рудоносность их оценивается отрицательно. Имеется немало примеров обнаружения месторождений, в том числе и весьма крупных, на тех площадях, которым в свое время была дана отрицательная оценка.

Из геохимических критериев, не связанных с проведением сплошных съемок, для определения очередности съемок могут быть применены критерии потенциальной рудоносности магматических комплексов (Таусон, 1977) и осадочно-метаморфических формаций. Но основанием для исключения из геохимических съемок эти критерии также служить не могут.

О каких размерах площадей идет речь? Приведем для примера площади некоторых областей и автономных республик Сибири (в км<sup>2</sup>):

Якутская АССР . . . . .	3,1 млн.
Красноярский край . . . . .	2,4 млн.
Хабаровский край и Амурская область (территория деятельности Дальневосточного геологического управления) . . . . .	1,3 млн.
Магаданская область . . . . .	1,2 млн.
Иркутская область . . . . .	768 тыс.
Читинская область . . . . .	432 тыс.
Бурятская АССР . . . . .	351 тыс.
Приморский край . . . . .	166 тыс.

Все эти площади необходимо покрыть геохимическими съемками. Исключение составляет лишь небольшая их часть, где съемка проведена в предыдущие годы или слишком велика мощность рыхлых отложений.

Некоторые области уже покрыты геохимическими съемками почти полностью (например, Приморский край, Башкирская АССР). Но это не означает, что вопрос о съемках больших площадей здесь может быть снят. Съемки проводились в разные годы, на различном качественном уровне, и значительная часть площадей, особенно тех, которые изучались в начале массового применения геохимических методов поисков, подлежат повторному покрытию съемками.

Следует иметь в виду также специализированные поиски некоторых типов рудных месторождений. На целый ряд химических элементов, имеющих важнейшее народнохозяйственное значение, пробы, отбиравшиеся при геохимических съемках, в большинстве случаев не анализировались. Большую часть площадей нельзя считать геохимически опосредованной на эти элементы. Вследствие этого также возникает необходимость в проведении повторных геохимических съемок или анализа на указанные элементы проб прежних геохимических съемок, если они сохранились.

Наконец, необходимость в проведении геохимических съемок на больших площадях возникает в быстро осваивающихся районах, например в зоне БАМ. Для планирования развития и определения народнохозяйственного профиля таких районов важно раскрыть их минеральные богатства в короткие сроки.

В большинстве случаев указанные задачи успешно решаются путем геохимических съемок по потокам рассеяния. Этот метод дает возможность быстрого покрытия территории съемкой при сравнительно малом количестве проб, небольших затратах и в короткие сроки. Существенно также, что он обладает повышенной глубинностью и позволяет получать положительные результаты в трудных поисковых условиях, например при развитии дефлюкционных отложений, курумов и заболоченности, т. е. там, где применение съемки по вторичным ореолам рассеяния не обеспечивает успеха. Это объясняется тем, что весь материал рыхлого покрова, перемещаясь вниз по склону, попадает в реку и независимо от того, каковы ореолы на склоне, в реке образуются открытые потоки рассеяния. Кроме того, глубинность метода создается за счет поступления рудных веществ с подземными водами.

Опыт съемок по потокам рассеяния показывает, что при методически правильном проведении работ надежность и информативность метода вполне удовлетворительны. Они зависят главным образом от выбора материала для опробования и способа математической обработки получаемых данных. Обычно предпочтительным является опробование мелкого материала (— 1 мм или мельче). Желательно параллельное гидрохимическое опробование. Во многих случаях целесообразно брать также геохимические и шлиховые пробы. Успехи в математической обработке, достигнутые в последние годы, обеспечивают значительное повышение результативности работ. Путем съемки по потокам рассеяния получают следующие результаты:

- 1) выявляется геохимическая и металлогеническая специализация районов, т. е. можно определить, месторождения какого типа и на каких площадях могут быть встречены;

- 2) выделяются аномалии, соответствующие известным месторождениям и рудопроявлениям, что является подтверждением эффективности метода. Кроме того, получают данные по оценке рудопроявлений и уточняется положение наиболее перспективных рудоносных участков;

- 3) выявляются аномалии, соответствующие новым, ранее не известным перспективным участкам;

- 4) устанавливаются закономерности пространственного размещения месторождений на основе связанных с ними аномалий, причем за



счет большого числа аномалий и количественного характера данных эти закономерности выражены очень наглядно. Часто выявляются новые закономерности, которые не были установлены на основе геологических данных.

При детальных поисках плотность опробования по потокам составляет 5—10 проб на 1 км<sup>2</sup>, т. е. пробы отбираются с интервалом 100 м (густота гидросети обычно находится в пределах 0,5—1 км/км<sup>2</sup>). Опробование с такой плотностью целесообразно применять в известных рудных районах, где требуется выявить все рудопроявления, представляющие интерес, в том числе и находящиеся на площадях с неблагоприятными поисковыми условиями (не дающие ореолов, выходящих на дневную поверхность). Но для геохимического изучения больших площадей эта плотность слишком велика. Применение ее привело бы к необходимости отбора в пределах отдельных областей миллионов и десятков миллионов проб.

Большинство специалистов по геохимическим методам поисков в последнее время (Организация и результаты..., 1977) пришли к выводу, что основные поисковые задачи, которые могут быть поставлены перед геохимическими съемками по потокам рассеяния, решаются при плотности опробования 1—2 пробы на 1 км<sup>2</sup> (отбор проб по рекам через 0,5—1 км). Такую плотность приравнивают к масштабу 1:200 000. Однако объемы работ остаются при этом все еще настолько большими, что их нельзя выполнить в короткие сроки. Так, на территории Якутской АССР и Красноярского края потребовалось бы отобрать по 3—5 млн. проб, Магаданской области и Хабаровского края с Амурской областью — по 1—2 млн. проб и т. д.

Но имеющиеся данные показывают, что на первом этапе возможно проведение геохимических съемок с гораздо меньшей плотностью, порядка 1 проба на 5—10 км<sup>2</sup>. В этом случае не гарантируется выявление отдельных месторождений, но рудные районы и крупные рудоносные зоны устанавливаются надежно. При указанной плотности опробования даже для таких больших территорий, как Якутская АССР и Красноярский край, количество проб, которое необходимо отобрать на первом этапе, уменьшается до 200—600 тыс. При надлежащей организации эту работу можно выполнить в течение нескольких лет. Решающей при этом становится организация транспортировки при проведении опробования. В неосвоенных районах могут быть применены вертолеты или, поскольку работа ведется по рекам, водный транспорт с использованием для захода в мелкие реки имеющих неглубокую осадку судов (катеров) и базирующихся на них лодок, вплоть до самых легких (надувных). В обжитых местностях с развитой сетью дорог опробование с малой плотностью может быть выполнено с помощью автомобильного и мотоциклетного транспорта.

Применение очень малой плотности опробования может означать коренное изменение технологии поисковых работ. В этом случае первоначально выделяются рудные районы и определяется свойственная каждому из них металлогеническая специализация. Могут быть также развиты методы, позволяющие оценивать прогнозные запасы рудных районов по этим первоначальным данным, еще до обнаружения конкретных месторождений или при выявлении лишь некоторых из них. На этой основе, в зависимости от потребности народного хозяйства в том или ином виде минерального сырья, освоенности перспективных площадей, положения их по отношению к транспортным путям, вероятной стоимости продукции будущих горнорудных предприятий и других соображений решается вопрос о проведении в дальнейшем более детальных работ в пределах выделенных рудных районов и очередности их вовлечения в эти работы. Эти возможности и определяют целесообразность проведения геохимического изучения больших площадей в короткие сроки.

Кроме новых, целесообразно использовать для той же цели материалы старых геохимических съемок. Из них выбираются данные, соответствующие указанной плотности опробования. На этой основе могут быть составлены прогнозно-геохимические карты больших площадей в масштабе 1:500 000. Следует полагать, что на таких картах в расположении геохимических аномалий должны отразиться главнейшие структуры, контролирующие размещение месторождений, что имеет большое значение для планирования поисковых работ, особенно в тех случаях, когда перспективность тех или иных территорий оценивается достаточно высоко, но закономерности размещения месторождений в их пределах пока не ясны.

### ГЕОХИМИЧЕСКИЕ РАБОТЫ НА ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКАХ

Виды геохимических работ на перспективных участках, выделяемых по потокам рассеяния, различным геологическим, геофизическим и геохимическим признакам, а также на том основании, что в их пределах или вблизи них уже известны рудопоявления, зависят от геологических особенностей и ландшафтно-геохимических условий этих участков.

Большая часть поисковых работ ведется на площадях, где коренные горные породы покрыты рыхлыми отложениями, имеющими небольшую мощность и сложенными продуктами выветривания местных горных пород. Таковы обычные условия горных районов, в которых мощность рыхлых отложений на склонах не превышает 2—3, реже 4—5 м и лишь у подножия склонов увеличивается до 5—7 м и более.

На таких площадях из геохимических работ наиболее широко применяется литохимическая съемка с отбором проб из рыхлых отложений на небольшой (до 20—30 см) глубине. Однако в последние годы стало ясно, что даже при малой мощности рыхлого покрова и образовании его за счет местных пород эта съемка далеко не всегда дает удовлетворительные результаты. При определении стратегии геохимических поисков требуется тщательный анализ поисковых условий и рассмотрение всего арсенала геохимических методов и средств для обеспечения надлежащей эффективности работ.

Выделяются два типа ландшафтов, различающиеся по результативности поверхностной (с неглубоким пробоотбором) литохимической съемки: степные, с характерными для них открытыми ореолами рассеяния, и лесные (таежные), где широко развиты закрытые и полузакрытые ореолы. Это различие объясняется особенностями склоновых процессов (Поликарпочкин, 1976). В степных ландшафтах действует водная и ветровая плоскостная эрозия, обеспечивающая выход ореолов на дневную поверхность. В лесных ландшафтах эрозия не играет существенной роли, наибольшее значение имеют массовые движения грунтов (типа дефлюкции и т. п.), вследствие чего ореолы рудных тел, залегающих в средней и нижней частях склонов, перекрываются продуктами выветривания, движущимися с вышележащих участков. Однако и в лесных ландшафтах встречаются площади, где плоскостная эрозия действует достаточно интенсивно и поэтому образуются открытые ореолы, а с другой стороны, в степных ландшафтах, на участках с густой растительностью, ограничивающей действие эрозии, ореолы могут быть закрытыми.

Закрытость ореолов, недоступность их обнаружению при отборе проб с небольшой глубины может быть обусловлена также выщелачиванием рудных веществ, которое начинается еще в коренном залегании рудных тел и продолжается в ореолах, образуемых ими в рыхлом покрове. Выщелачивание может привести к резкому ослаблению ореолов в рыхлом покрове, иногда — к их уничтожению.

Закрытость или открытость ореолов весьма важны для разработки правильной стратегии. Если имеющихся данных недостаточно, необходимо организовать исследовательские и методические работы, а до получения дополнительных материалов ограничиться применением временных решений.

Следует иметь в виду, что очень часто вопрос о закрытости ореолов и эффективности поверхностной литохимической съемки решается неправильно. Основываясь на том, что на части площадей при такой съемке обнаруживаются ореолы, соответствующие рудным телам, считают, что она эффективна и на остальных площадях, если мощность рыхлых отложений невелика — 2—3, иногда 5 м и более. Для степных районов это большей частью справедливо. Совершенно по-иному обстоит дело в лесных районах.

Анализ данных по лесостепной и таежной зонам Сибири показывает, что в преобладающем большинстве случаев месторождения, открываемые с помощью поверхностной литохимической съемки, располагаются либо на степных склонах, либо на водоразделах и в верхней части залесенных склонов. Положение очень мало изменилось по сравнению с тем, которое в свое время отмечал С. С. Смирнов, указывая на трудности поисковых работ на залесенных склонах. Эффективность литохимических поисков на этих склонах почти так же мала, как и поисков путем исхаживания с визуальными наблюдениями. Это объясняется закрытостью ореолов.

Для повышения эффективности геохимических поисков в лесных (таежных) районах необходимо ясное понимание указанной ситуации. Не всегда ореолы рудных тел, залегающих в нижних и средних частях склонов, являются полностью закрытыми. Они могут выходить на дневную поверхность, но имеют на этом уровне сравнительно низкие содержания элементов, а более высокие содержания располагаются на глубине — тем большей, чем ниже по склону залегают рудные тела (полузакрытые ореолы). Учет этого обстоятельства при интерпретации данных литохимических съемок может помочь делу. Слабым геохимическим аномалиям в средней и нижней частях склона следует придавать большее значение, чем аномалиям равной или даже большей интенсивности в верхней части. Однако кардинальное решение вопроса о повышении эффективности поисковых работ в лесных районах требует применения более глубинных методов, чем литохимическая съемка.

Наиболее перспективны в этом отношении биогеохимические методы поисков. Глубинность их достаточна для проведения поисковых работ на горных склонах с мощностью рыхлых отложений до 2—5 м. Указанной глубины достигают корни многих растений. Кроме того, может происходить поступление питательных веществ к корневым системам растений с больших глубин путем диффузии растворенных веществ и капиллярного подъема влаги. Поэтому можно полагать, что глубинность биогеохимического метода поисков часто достигает 10—15 м.

Для проведения поисков представляют интерес два биогеохимических метода — с опробованием живых растений и гумусовых горизонтов почв, особенно лесной подстилки (горизонт  $A_0$ ). В живых растениях обычно фиксируются достаточно контрастные и хорошо выраженные ореолы рассеяния. Нужен лишь правильный выбор видов и органов растений, а также учет при опробовании и интерпретации полученных данных других факторов, влияющих на содержание элементов в растениях (например, изменения содержания элементов во времени, влияния ландшафтных условий и т. п.). Опробование гумусовых горизонтов (лесной подстилки) представляет интерес в том отношении, что в них часто накапливаются очень высокие содержания элементов, но этот метод пока менее разработан.

Таким образом, для повышения глубинности поисков необходим переход к биогеохимическим методам. Прежде всего это касается лесных районов. Леса занимают в нашей стране огромные площади, особенно в Сибири. Поэтому речь идет о применении биогеохимических методов в больших масштабах, в каких они раньше никогда не применялись. Методически биогеохимические поиски в варианте опробования живых растений можно считать подготовленными для применения. Но опыта производственных биогеохимических поисков почти нет, поэтому массовое применение их необходимо предварять работами в экспериментальном порядке.

По-видимому, целесообразным окажется совместное проведение лито- и биогеохимических съемок — первые организуются на участках с открытыми и неглубоко залегающими, а вторые — с закрытыми ореолами рассеяния. Возрастает на площадях с закрытыми ореолами роль геофизических методов, позволяющих уточнять положение рудных тел и зон, элементная нагрузка которых выясняется из геохимических данных. Целесообразно в этих условиях также применение атмохимических методов поисков. Интересная информация может быть получена из гидрохимических данных. Применение гидрохимического метода при детальных работах ограничивается малым числом водных источников, но в некоторых случаях, например на заболоченных площадях и при частом чередовании проницаемых и водоупорных горизонтов горных пород, что вызывает увеличение количества водных источников, этот метод вполне конкурентоспособен.

Проведение поисковых работ на площадях с закрытыми ореолами и затрудненными поисковыми условиями, конечно, требует дополнительных затрат. Но они окупятся дополнительным выявлением месторождений. Есть основания полагать, что резерв минерального сырья в месторождениях, выходящих на уровень денудационного среза, но характеризующихся закрытыми ореолами в рыхлом покрове, весьма значителен, и это должно быть учтено в стратегии поисковых работ.

На основе результатов геохимических съемок по вторичным ореолам рассеяния, геофизических и других данных производится вскрытие рудных тел в коренном залегании. На этом этапе и при последующем изучении месторождений от геохимических методов переходят к работам по первичным ореолам с опробованием коренных пород. Этот вид работ позволяет устанавливать положение рудных тел, проводить их разбраковку и трассировать их по простиранию. Большое значение имеет прогнозирование оруденения на глубину на основе геохимической зональности.

На площадях с большой мощностью рыхлых отложений применяют глубинные геохимические поиски с опробованием из буровых скважин в комплексе с геолого-геофизическим изучением. Это дорогостоящий вид работ и поэтому он применяется выборочно, главным образом в рудных районах, на площадях, перспективность которых предварительно определена с привлечением различных данных.

Кроме охарактеризованных принципов, определяющих подход к применению геохимических методов для выявления и оценки месторождений, большое значение в их стратегии имеет решение вопросов организационно-технического обеспечения работ. Важнейший вопрос — такая организация работ, которая предусматривает доведение их до конечного результата, вскрытия и оценки рудопроявлений в коренном залегании. В значительной степени это связано с разбраковкой и проверкой накопившегося фонда геохимических аномалий, должны быть также приняты меры недопущения накопления непроверенных аномалий в будущем. Весьма важно обеспечение современного уровня аналитических работ и математической обработки геохимических данных. Должны быть предусмотрены оперативность аналитических работ, применение новых, имею-

щих более высокие технические показатели, методов анализа и современной аппаратуры. В обработке геохимических данных важнейшее значение имеет применение автоматизированных систем и ЭВМ\*.

А. И. ПЕРЕЛЬМАН

## ЗАКОНЫ ГИПЕРГЕННОЙ МИГРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ КАК ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ

Геохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния являются, как известно, одним из наиболее эффективных методов обнаружения рудных месторождений. Прогресс аналитической техники, особенно спектрального анализа, позволил проводить в СССР эти работы в большом объеме. Так, например, только в Казахстане литохимическими поисками в масштабе 1:50 000 охвачено свыше 600 000 км<sup>2</sup>, получена грандиозная геохимическая информация (миллиарды данных), выявлены многие десятки тысяч геохимических аномалий. Часть из них, несомненно, не представляет практического интереса (рудопроявления, безрудные аномалии), но некоторые соответствуют промышленным месторождениям. Поэтому оценка геохимических аномалий является одной из наиболее сложных задач геохимических поисков. Число не оцененных или не полностью оцененных аномалий все еще велико. При этом нередко крупная и интенсивная аномалия не представляет практического интереса, а слабая и не контрастная связана с промышленным месторождением.

Оценка геохимических аномалий возможна только при знании законов миграции элементов в зоне гипергенеза, т. е. при изучении путей перемещения рудных элементов из горных пород и руд в кору выветривания, континентальные отложения, почву, воды, растения и т. д. Поэтому одной из теоретических основ геохимических методов поисков является геохимия гипергенных процессов, основы которой были заложены в классических трудах В. И. Вернадского, А. Е. Ферсмана, В. М. Гольдшмидта, Б. Б. Польшова и развиты в дальнейшем их многочисленными учениками и последователями. Результаты этих исследований неоднократно публиковались. В настоящей статье мы остановимся преимущественно на вопросах геохимии ландшафта и геохимии эпигенетических процессов зоны гипергенеза в их приложении к теории геохимических поисков.

Два важнейших принципа лежат в основе использования геохимии гипергенных процессов при поисках месторождений. Первый из них — принцип дифференциации заключается в признании неоднородности территории рудных провинций по условиям ведения геохимических поисков. Это в первую очередь зависит от климатической неоднородности территории и связанной с ней зональности ландшафтов. Условия миграции рудных элементов, а следовательно, и условия образования вторичных ореолов и их оценка в тайге, лесостепи, сухих степях, пустынях и прочих ландшафтах неодинаковы.

Но и в пределах климатически однородной территории, в пределах одной ландшафтной зоны и подзоны условия образования ореолов неодинаковы в зависимости от геологического строения и рельефа. Участки, однородные в климатическом, геологическом и геоморфологическом

\* Подробнее см. статью В. В. Поликарпочкина и В. Н. Евдокимовой в наст. сборнике.

отношениях, были названы Б. П. Польшовым элементарными ландшафтами. Их примерами могут служить склон в таежном мелкосопочнике, сложенный диабазами, березовый колок, такыр в пустыне и т. д. Элементарные ландшафты являются основными единицами исследования в геохимии ландшафта, их площадь обычно невелика и может быть отображена лишь на карте масштаба 1:10 000 и крупнее. Парагенетическая ассоциация элементарных ландшафтов, приуроченных к одному типу рельефа, называется геохимическим ландшафтом (таежное низкогорье, сложенное породами зеленокаменной формации, пустынный пенеплен, фиксированный древней корой выветривания гранитоидов и т. д.).

Формирование ореолов, доступных в настоящее время нашему исследованию, во многих геохимических ландшафтах СССР началось еще в мезозое и даже ранее, причем за прошедшее с тех пор время неоднократно менялись климатические и тектонические условия. В древних корях выветривания и других зонах выщелачивания интенсивность ореолов уменьшалась, а на многочисленных геохимических барьерах вне участков месторождений и рудопроявлений возникали безрудные геохимические аномалии.

Следовательно, оценка геохимических аномалий должна быть основана не только на анализе современных ландшафтных условий, но и на понимании истории их развития. Необходимо изучать историю формирования аномалии. Поэтому историзм — второй важнейший принцип геохимических работ, направленных на повышение эффективности геохимических поисков. Исторический подход к природным процессам традиционен в геохимии. Ему много внимания уделяли еще основоположники науки В. И. Вернадский и А. Е. Ферсман. К числу фундаментальных построений в данной области относятся понятия о геохимических эпохах, необратимой эволюции условий миграции на Земле, периодичности миграции и многие другие. В 1961 г. А. А. Сауков предложил понятие об исторической геохимии как об особом разделе науки, трактующем вопросы развития процессов миграции в ходе геологической истории. Историко-геохимические исследования имеют большое значение для повышения эффективности геохимических поисков рудных месторождений, так как они позволяют восстановить историю развития аномалий и на этой основе подойти к их оценке.

Своеобразные сочетания химических элементов, сформировавшиеся в предшествующую стадию развития ландшафта, называются геохимическими реликтами. Они наблюдаются в почвах, коре выветривания, континентальных отложениях, растительном покрове, животном мире. К геохимическим реликтам относятся аккумуляции углерода, азота, водорода (ископаемые гумусовые горизонты), серы, кальция, натрия, хлора, магния (реликтовые гипсовые, кальцитовые и солевые горизонты в почвах степей и пустынь), железа, марганца, фосфора (реликтовые железо-марганцевые аккумуляции в почвах, корях выветривания и континентальных отложениях) и т. д. Известны реликтовые аккумуляции стронция в гипсовых горизонтах, бария и кобальта в марганцевых конкрециях и т. д.

С историко-геохимических позиций ландшафты можно разделить на две большие группы: ландшафты, находящиеся в соответствии с современными физико-географическими условиями и не содержащие геохимических реликтов (например, поймы рек, приморские низменности, недавно освободившиеся от затопления и т. д.), и ландшафты, находящиеся не в полном соответствии с современными физико-географическими условиями и содержащие геохимические реликты.

Подавляющая часть рудных провинций содержит геохимические реликты. Многие из них представляют собой бывшие геохимические барьеры (например, гипсовые горизонты), другие — зоны выщелачивания (каоли-

новые горизонты древней коры выветривания и др.). Для правильной интерпретации аномалий необходимо знать историю геохимического развития ландшафтов и характерные для них геохимические реликты.

Многие рудные месторождения сформировались в палеозойскую эру и даже в докембрии. В фанерозое они были вскрыты эрозией и прошли чрезвычайно сложную историю: подвергались окислению и сильному выщелачиванию в эпоху формирования кислой коры выветривания, частично эродировались в последующие эпохи, подвергались засолению и огипсованию в аридные эпохи, перекрывались континентальными отложениями и вновь вскрывались эрозией. Все это определило чрезвычайно сложную историю развития вторичных ореолов. Некоторые из них, хотя и производят впечатление остаточных ореолов, в действительности представляют собой сильно деформированные образования. Оценка таких ореолов затруднена и должна быть основана на историко-геохимическом анализе.

Особенности исторической геохимии современных ландшафтов изображаются на особых историко-геохимических ландшафтных картах. Они составляются как для крупных регионов, так и для отдельных рудных полей и месторождений.

Примером региона со сложной историей развития зоны гипергенеза может служить грандиозная Среднесибирская возвышенность. Еще в палеозойскую эру здесь установились континентальные условия, стали формироваться гумидные ландшафты. В дальнейшем они неоднократно менялись, но некоторые общие черты оставались неизменными — теплый влажный климат, лесная растительность, болота, аккумуляция в почвах органического вещества, железа, марганца. В четвертичном периоде земная кора здесь была заморожена на сотни метров, сформировались таежномерзлотные ландшафты, которые господствуют и в настоящее время. В этих ландшафтах местами сохранились геохимические реликты доледникового периода, характерны реликты и ледниковой эпохи в форме различных ископаемых льдов.

Еще сложнее история таких районов СССР, где на протяжении десятков и сотен миллионов лет чередовались аридные и гумидные условия, одни типы геохимических реликтов накладывались на другие. Подобная история характерна для многих районов Среднего и Южного Урала, Казахстана.

Существенно, что различная геохимическая история ландшафтов характерна даже для территории отдельных рудных полей. Поэтому историко-геохимические ландшафтные карты рационально составлять и в крупных масштабах, вплоть до 1:5 000 — 1:10 000.

Различия в современной геохимической обстановке, а также различная история развития ландшафтов определили чрезвычайно пестроту ландшафтно-геохимических условий в большинстве рудных провинций СССР. Даже в пределах одной природной зоны, например в тайге, вторичные ореолы в мелкосопочнике и на пенепленах с древней корой выветривания образуются по-разному, в связи с чем методика поисков должна быть дифференцирована применительно к отдельным элементам и геохимическим ландшафтам.

Каждый элементарный ландшафт характеризуется вполне определенным фоновым содержанием элементов. Поэтому, используя дифференцированный фон, можно отбраковывать многие аномалии, выявленные литохимической съемкой: они оказываются фоном для элементарных ландшафтов. Подобные аномалии относятся к категории «ландшафтных».

**Геохимическая систематика вод.** Образование вторичных ореолов во многих ландшафтах связано с водной миграцией химических элементов, в связи с чем геохимическая классификация вод представляет большое практическое значение.

Среди физико-химических параметров, определяющих своеобразие вод, наибольшее значение имеют окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия.

В ландшафтах и в зоне гипергенеза в целом выделяются три типа окислительно-восстановительных условий: окислительные, восстановительные глеевые и восстановительные сероводородные. Все они широко распространены в ландшафтах, сменяя друг друга в пределах одной и той же биокосной системы — почвы, ила, коры выветривания, формируя окислительно-восстановительную зональность.

Следует отметить, что, хотя глеевая и сероводородная обстановки не содержат свободного кислорода и являются восстановительными, в геохимическом отношении они противоположны друг другу — глеевая среда благоприятна для миграции многих металлов, а сероводородная неблагоприятна (в связи с образованием нерастворимых сульфидов). Величины  $Eh$  при этом могут быть одинаковыми. Глеевые воды обычно содержат  $CO_2$  и растворимые органические соединения. Железо и марганец в этих условиях находятся в восстановленном состоянии ( $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ) и ведут себя как другие двухвалентные металлы.

Условия миграции большинства химических элементов зависят также от активной реакции природных вод. Многие химические элементы, образующие катионы (катионогенные), легко мигрируют в кислых водах и слабее в щелочных. К этой группе относятся преимущественно металлы — железо, медь, никель, кобальт и др. Химические элементы, образующие анионы (анионогенные), напротив, лучше мигрируют в щелочных водах, чем в кислых. Это неметаллы и часть металлов. Некоторые элементы в зависимости от степени окисления и рН могут быть в катионной и анионной форме (цинк, алюминий, уран, молибден и т. д.). Наконец, миграция части элементов практически не зависит от рН, так как они образуют очень легко растворимые соединения, подвижные в водах любого состава (натрий, хлор и др.).

По кислотности-щелочности условия воды можно разделить на 4 основные группы: сильнокислые; кислые и слабокислые; нейтральные и слабощелочные; сильнощелочные. К сильнокислым относятся воды с  $pH < 3$ . Такая кислотность обычно обязана окислению пирита и других дисульфидов, элементарной серы, приводящему к образованию свободной серной кислоты. В сернокислых водах легко мигрирует большинство металлов, в том числе железо, алюминий, медь, цинк и т. д. Сильнокислые воды встречаются довольно часто, но на сравнительно небольшом пространстве. Особенно они характерны для окисляющихся сульфидных месторождений, зон окисления пиритонесных глин и сланцев.

Кислыми и слабокислыми являются воды с рН от 3 до 6,5, их кислотность обусловлена процессами разложения органических веществ и поступлением в воды угольной кислоты, фульвокислот и других органических кислот. Если в почвах или горных породах мало катионов, то кислотность не может быть полностью нейтрализована, и в системе господствует кислая среда. В таких водах легко мигрируют металлы в форме бикарбонатов и комплексных соединений с органическими кислотами. Кислые и слабокислые воды широко распространены в лесных и тундровых ландшафтах.

Нейтральные и слабощелочные воды имеют рН 6,5—8,5, их реакция чаще всего определяется отношением бикарбоната кальция к его карбонату или же бикарбоната к  $CO_2$ . Эта обстановка менее благоприятна для миграции большинства металлов, которые здесь осаждаются в форме нерастворимых гидроокислов, карбонатов и кислых солей. Анионогенные элементы, напротив, мигрируют сравнительно легко (кремний, германий, мышьяк, ванадий, уран, молибден и некоторые другие). Такие воды особенно характерны для лесостепи, степей и пустынь, а также для подземных вод известняков и изверженных пород.



При разложении органических веществ здесь тоже образуются угольная и органические кислоты, но они полностью нейтрализуются и другими минералами кальция, а также магния, натрия, калия.

Нейтральные и слабощелочные воды, как среда миграции, могут быть подразделены на два основных типа в зависимости от степени минерализации. Мы выделяем слабоминерализованные воды, преимущественно «кальциевого состава» (гидрокарбонатные, сульфатные) и сильноминерализованные соленоватые и соленые «натриевые» (реже магниевые) хлоридно-сульфатные воды.

Сильнощелочные воды с  $pH > 8,5$  обычно обязаны своей реакцией присутствию соды ( $NaHCO_3$ , реже  $Na_2CO_3$ ). Они характерны для некоторых лесостепных ландшафтов, известны также в глубоких горизонтах артезианских бассейнов. Многие металлы в этих условиях почти не мигрируют, как например, кальций, стронций, барий, железо. Напротив, кремний, молибден, германий, селен и другие анионогенные элементы мигрируют интенсивно. Замечательная особенность содовых вод состоит в том, что некоторые металлы в них ведут себя как анионогенные элементы, входя в состав различных подвижных анионов. Медь, например, входит в состав аниона  $[Cu(CO_3)_2]^{2-}$ , алюминий —  $AlO_2^-$  и т. д.

Скандий, иттрий, цирконий и некоторые другие элементы, малоподвижные в слабокислых и слабощелочных водах, образуют здесь растворимые карбонатные комплексы.

Каждая биокосная система ландшафта, каждая среда водной миграции характеризуется определенным сочетанием окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условий, как это показано в табл. 1. Это также основные геохимические типы эпигенетических процессов зоны гипергенеза.

Таблица 1

Основные геохимические классы вод

Щелочно-кислотные условия вод	Окислительно-восстановительные условия вод		
	кислородные	глеевые	сероводородные
Сильнокислые ( $pH < 3$ )	Сильнокислый	Сильнокислый глеевый	Сильнокислый сероводородный
Кислые и слабокислые ( $pH = 3-6,5$ )	Кислый	Кислый глеевый	Кислый сероводородный
Нейтральные и щелочные маломинерализованные ( $pH = 6,5-8,5$ )	Нейтральный и щелочной карбонатный	Нейтральный и щелочной глеевый	Нейтральный и щелочной сероводородный
Нейтральные и щелочные сильноминерализованные ( $pH = 7-8,5$ )	Соленосный	Соленосный глеевый	Соленосный сульфидный
Сильнощелочные (содовые) ( $pH > 8,5$ )	Содовый	Содовый глеевый	Содовый сероводородный

Приведенная классификация не исчерпывает всего разнообразия природных вод. Однако указанные типы, несомненно, охватывают наиболее распространенные явления. Для каждого типа характерна, с одной стороны, определенная ассоциация элементов, а с другой — «запрещенная» ассоциация элементов, малоподвижная в данных условиях. Так, например, в содовом кислородном классе легко мигрируют натрий, литий, фтор, молибден, уран, ванадий, иттрий, бериллий, бор и другие элементы, но эти воды «запрещены» для железа, кальция, бария, стронция.

**Зоны выщелачивания.** Важная геохимическая особенность зоны гипергенеза состоит в формировании зон выщелачивания в результате дей-

ствия вод разного состава на горные породы и почвы. Зоны выщелачивания наблюдаются во всех биокосных системах, но особенно они характерны для почв, кор выветривания и водоносных горизонтов. Интенсивность и размеры зон выщелачивания колеблются очень сильно и если, например, в почвах мощность этих зон измеряется десятками сантиметров, то в коре выветривания уже многими метрами, а в водоносных горизонтах сотнями метров и километрами. Однако геохимическая сущность процессов в разных природных системах нередко остается неизменной или же близкой.

Изучение зон выщелачивания представляет большой интерес при геохимических поисках рудных месторождений, так как с этими зонами связано ослабление или даже полное исчезновение вторичных ореолов рассеяния месторождений. Для формирования зон выщелачивания ведущее значение имеют окислительно-восстановительные условия вод, в связи с чем мы выделяем три основных типа зон выщелачивания: 1) зона окислительного выщелачивания; 2) зона глеевого выщелачивания; 3) зона сероводородного выщелачивания.

В каждом типе выделяется зона сильнокислого, кислого и слабокислого, нейтрального и слабощелочного и, наконец, содового выщелачивания. С учетом минерализации вод получаем разновидности зон, соответствующие основным геохимическим классам вод, показанным в табл. 1.

В геохимии хорошо изучены зоны сернокислого выщелачивания, формирующиеся при окислении сульфидных руд. Они подробно описаны в известном руководстве С. С. Смирнова (1955). В геохимии и почвоведении хорошо изучены также явления кислого выщелачивания, например, в подзолистых почвах или древней коре выветривания.

Менее изучены процессы глеевого выщелачивания и вообще само явление оглеения пород. Вместе с тем эти процессы широко распространены и их особенности важно учитывать при глубинных геохимических поисках. Весьма важны и разнообразные зоны содового выщелачивания (кислородные, глеевые, сероводородные).

**Геохимические барьеры.** Помимо изучения геохимических классов вод и связанных с ними зон выщелачивания, необходимо также изучать границы между обстановками, т. е. те участки, где одна обстановка сменяется другой. Нередко к подобным границам приурочены концентрации химических элементов. Это геохимические барьеры, понятие о которых было предложено нами в 1961 г. Их можно определить как участки земной коры, где на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов, и как следствие — их концентрация

В зоне гипергенеза барьеры образуются почти повсеместно — в речных долинах, на дне озер, в коре выветривания, в почвах, болотах, на дне океанов и морей, в глубоких горизонтах подземных вод, зонах разломов и т. д. Поэтому геологические условия формирования барьеров очень разнообразны, но их геохимическая сущность в самых различных частях земной коры нередко одинакова.

Исходя из представлений о формах движения материи, можно выделить четыре основных типа барьеров — механические, физико-химические, биогеохимические (накопление элементов организмами) и техногенные. К последним относятся концентрации элементов, связанные с хозяйственной деятельностью человечества, например, вблизи действующих горных предприятий.

Лучше других изучены и практически очень важны физико-химические барьеры. Они, в свою очередь, могут быть разделены на ряд классов (табл. 2). Так, в местах, где восстановительная обстановка, глеевая или сероводородная, сменяется на окислительную, формируется кислородный барьер (А). При смене окислительной обстановки на восстановительную — сероводородный (В) или глеевый (С). При резком увели-

Типы концентраций химических элементов

Окислительно-восстановительные условия	Состав вод, поступающих			
	кислородные			
	щелочно-кислотные условия	слабокислые	нейтральные и слабощелочные	щелочные
Границы pH в зоне гипергенеза	<3	3-6.5	6.5-8.5	>8.5
	1	2	3	4
Элементы, подвижные в водах любого состава	←			
Парагенная ассоциация	Li, Tl, F, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Ag, Au, Be, Al, Ga, Jn, Sc, Y, TR, Si, Ge, Sn, Ti, Zr, Th, Cr, Mo, W, U, P, As, V, Nb, Ta	Li, Tl, Mg, Ca, Sr, Zn, Se, Cr, Mo, W, U, Re	Li, F, B, Zn, Cu, Ag, Be, Al, Sc, Y, Si, Ge, Sn, Ti, Zr, Th, Cr, Mo, W, U, Re, V	
Запрещенная ассоциация			Ba, Fe, Co, Ni, Ni, Pb	Mg, Ca, Sr, Ba, Mn, Fe, Co, Ni, Pb
Кислородный A	A1 Fe	A2 Fe, Mn, Co	A3 Mn	A4 —
Сульфидный (сероводородный и др.) B	B1 Tl, Cu, Hg, Pb, Cd, Bi, Sn, As, Sb, Mo, W, U,	B2 Tl, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Sn, Cr, Mo, U	B3 Tl, Cr, Mo, U, Se, Re, V	B4 Cu, Ag, Zn, Cr, Mo, U, V, As
Глеевый C	C1 Cu, U, Mo	C2 Cu, U, Mo	C3 Cu, Cr, U, Mo, Re, Se, V	C4 Cu, Ag, Cr, Mo, U, Re, Se, V, As
Щелочной D	D1 Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Be, Al, Go, Y, TR, Cr, P, As, U	D2 Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Be (U)	D3 —	—
Кислый E	—	E2 —	E3 Si, Mo	E4 (Cu), (Zn), Ag, Be, Al, Ga, Sc, Y, TR, Si, (Ge), Zr, (Ti), Mo, Cr, V
Испарительный F	F1 Na, K, Rb, Tl, Cl, Mg, Ca, Sr, S, Mn, Fe, Cd, Ni, Cu, Zn, Pb, Co, Al, Mo, U	F2 —	F3 Li, Na, K, Rb, Tl, N, B, F, Cl, Br, I, Mg, Ca, Sr, S, Zn, Mo, U, V, Se	F4 Li, Na, K, Rb, Tl, N, B, F, Cl, Br, I, Cu, Zn, Mo, U, Se, V
Сорбционный G	G1 Al, Sc, Ga, Si, Ge, P, V, As	G2 Si, Ba, Zn, Cd, Ni, Co, Pb, Cu, Cl, Br, I, F, S, P, V, Mo, As	G3 Li, Na, K, Rb, Cs, Tl, Zn, (Cl, Br, I, F, B, S, P, V, Mo, As)	G4 Li, Na, K, Rb, Cs, Tl, (Cl, Br, I, B, F, S, P, V, Mo, As)
Термодинамический H	H1 —	H2 Mg, Ca, Sr, Ba, Mn, Zn, Pb, Co, Ni	H3 (Li), Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Pb	H4 Zn, (Cu), (U)

Таблица 2

на геохимических барьерах зоны гипергенеза

к геохимическому барьеру			
глеевые			
сильнокислые	слабокислые	нейтральные и слабощелочные	сильнощелочные
<3	3-6.5	6.5-8.5	>8.5
5	6	7	8
Na, K, Rb, Cs, N, Cl, Br, I			
Li, Tl, F, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Ag, Au, Be, Al, Ga, In, Sc, Y, Si, Ge, Sn, Ti, Zr, Th, Cr, Mo, W, U, P, V, Nb, Ta	Li, Tl, Mg, Ca, Sr, Ba, Mn, Fe, Co, Ni, Hg, Mo, W, U	Li, Tl, F, B, Mn, Cu, Zn, Cd, Hg, Be, Al, Sc, Ga, Y, Si, Ti, Ge, Zr, Sn, Mo, W, U	
		Ba, Fe, Co, Ni, Pb, Ag	Mg, Ca, Sr, Ba, Fe, Co, Ni, Pb
A5 Fe	A6 Fe, Mn, Co	A7 (Fe), Mn, Co	A8 (Mn)
B5 Tl, Pb, Cd, Bi, Sn	B6 Tl, Fe, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Cd, Hg, U	B7 Tl, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, (Mo), (U)	B8 Tl, Cu, Zn, Cd, Hg, Mn, (Fe, Co, Ni, U)
C5 Cu, U, Mo	C6 Cu, U, Mo,	C7 Mo, U	C8 Mo, U
	D5 Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ra, Cu, Zn, Pb, Ni, Be, Al, Ga, Cd, Hg, TR, Cr, Y, P, As, (U)	D7 Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Cd, Mn, Co, Ni	—
—	E6 —	E7 Si, Mo	E8 (Cu), (Zn), Be, Al, Ga, Sc, Y, TR, Si, Zr, (Ti), Mo
F5 Na, K, Rb, Tl, Cl, Mg, Ca, Sr, S, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Al, Mo, U	F6 —	F7 Li, Na, K, Rb, Tl, N, B, Cl, Br, I, Mg, Ca, Sr, S, Zn	F8 Li, Na, K, Rb, Tl, N, B, F, Cl, Br, J, Zn
G5 Al, Sc, Ga, Si, Ge, P, V, As	G6 Si, Ba, Zn, Cd, Ni, Co, Pb, Cu, U, Cl, Br, I, F, S, P, Fe, Mn	G7 Li, Na, K, Rb, Cs, Tl, Zn, (Cl, Br, I, F, B, S, P)	G8 Li, Na, K, Rb, Cs, Tl, (Cl, Br, I, B, F, S, P)
H5 —	H6 Mg, Ca, Sr, Ba, Mn, Zn, Pb, Co, Ni, Fe	H7 (Li), Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Pb, Mn	H8 Zn, (Cu), (U)

Окислительно-восстановительные условия	Состав вод, поступающих к геохимическому барьеру			
	сероводородные			
Щелочно-кислотные условия	сильнокислые	слабокислые	нейтральные и слабощелочные	сильнощелочные
Границы pH в зоне гипергенеза	<3	3-6,5	6,5-8,5	>8,5
	9	10	11	12
Элементы, подвижные в водах любого состава	→			
Парагенная ассоциация	Li, Tl, F, Mg, Ca, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Cd, Hg, Be, Al, Ga, Sc, Y, TR, Ge, Sn, Zr, Th, Cr, P, As	Li, F, Tl, Mg, Ca, Sr, Ba	S, Se	Li, F, Be, B, Al, Sc, Y, TR, Zr
Запрещенная ассоциация	Cu, Hg, Pb, Bi, Sn, As, Sb		Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Ag	Mg, Ca, Sr, Ba, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Ag
Кислородный А	A9 S, Se, (Fe)	A10 S, Se	A11 S, Se	A12 S, Se
Сульфидный (сероводородный и др.) В	—	—	—	—
Глеевый С	C9 —	C10 —	C11 —	C12 —
Щелочной Д	D9 Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Pb, Cd, Be, Al, Ga, Y, TR, Cr, P, As	D10 Mg, Ca, Sr, Ba	D11 —	—
Кислый Е	—	E10 —	E11 Si, Ge	E12 Be, Al, Ga, Sc, Y, TR, Si, Ge, Zr, (Ti)
Испарительный F	F9 Li, Na, K, Rb, F, Cl, Br, I, Mg, Ca, Sr, S	F10 —	F11 Li, Na, K, Rb, F, Si, Br, I, Mg, Ca, Sr, S	F12 Li, Na, K, Rb, N, B, F, Cl, Br, I
Сорбционный G	G9 Al, Sc, Ga, Si, Ge, P, V, As	G10 Sr, Ba, (Cl, Br, I, F, B, S, P)	G11 Li, Na, K, Rb, Cs, (Cl, Br, I, F, B, S, P)	G12 Li, Na, K, Rb, Cs (Cl, Br, I, F, B, P)
Термодинамический H	H9 —	H10 Mg, Ca, Sr, Ba	H11 Mg, Ca, Cr, Ba	H12

чении рН возникают щелочные барьеры (Д), при уменьшении — кислые (Е). Барьеры, таким образом, классифицируются по агенту, приводящему к концентрации элементов (окисление, восстановление и т. д.). С этих позиций могут быть выделены также испарительные (F), сорбционные (G), термодинамические (H) и прочие барьеры.

Концентрация элементов на физико-химических барьерах зависит, с одной стороны, от класса барьера, а с другой — от состава вод, поступающих к барьеру. На сочетании этих двух факторов и построена систематика типов концентрации элементов, показанная в табл. 2. Каждый тип концентрации обозначается индексом, включающим символ барьера и класс вод, поступающих к барьеру (например, А5, Е1).

Некоторые сочетания в природе не встречаются, например Е1, Е5 (при встрече сильнокислых вод с кислым барьером элементы не концентрируются).

Предлагаемая систематика построена по матричному принципу, который позволяет прогнозировать новые типы концентраций, еще не установленные в природе. В табл. 2 выделено 86 типов концентраций, однако не все они известны в природе: некоторые, как, например, С4, В6, Е7 и другие, пока не установлены. Пользуясь данными табл. 2, можно наметить условия их образования и районы распространения.

Понятие о геохимических барьерах является одной из методологических основ изучения процессов образования геохимических аномалий, а следовательно, оно важно для разработки методики поисков месторождений.

В природных условиях происходит неоднократное совмещение и комплексирование различных геохимических процессов как в пространстве, так и во времени. В связи с этим выделяются комплексные барьеры, когда барьер образуется в результате наложения двух или нескольких взаимосвязанных геохимических процессов. Например, выпадение гелей гидроокислов железа и марганца и затем сорбция ими химических элементов с возникновением комплексного кислородно-сорбционного барьера (А—G).

Особым классом геохимических барьеров являются двухсторонние барьеры, которые формируются при движении вод различного геохимического состава к барьеру с разных сторон. В результате на двухстороннем барьере происходит осаждение разнородной ассоциации химических элементов, например двухсторонний кислый и щелочной барьеры Е3—Д2 в почвах березовых колков Северного Казахстана.

Предлагается различать латеральные барьеры, образующиеся при движении вод в субгоризонтальном направлении, например, на границе сопряженных элементарных ландшафтов, и радиальные (вертикальные) барьеры, формирующиеся при вертикальной (снизу вверх или сверху вниз) миграции растворов в пределах почв, континентальных отложений и кор выветривания. Естественно, что в конкретных природных условиях происходит иногда совмещение и этих морфологических типов барьеров.

Почти в каждой рудной провинции могут в той или иной степени проявляться все типы физико-химических барьеров. Однако в разных ландшафтах их распространение неодинаково. Так, для степей и пустынь характерны испарительные барьеры (F), которые почти не встречаются в гумидных ландшафтах. Для последних наиболее характерны кислородные (А) и глеевые (С) барьеры, менее распространенные в степях и пустынях.

**Кислородные барьеры (А).** Эти барьеры возникают при встрече глеевых или сероводородных вод с кислородной обстановкой. Возможны и такие комбинации, когда слабоокислительные, сравнительно бедные кислородом воды встречают резкоокислительную среду.

Для большинства кислородных барьеров характерно ожелезнение, для многих — ожелезнение и омарганцевание. Реже встречается только омарганцевание и еще реже накопление элементарной серы. Все это позволяет различать среди кислородных барьеров четыре геохимических формы-барьера: железный, железо-марганцевый, марганцевый и серный.

В природе возможно осаждение на кислородном барьере только железа (железный барьер, марганец остается в растворе), железа и марганца (железо-марганцевый барьер), только марганца (марганцевый барьер, железо в водах не мигрировало).

Гидроокислы марганца и железа являются хорошими сорбентами. В зависимости от рН гидроокись железа может приобретать как положительный, так и отрицательный заряды. Гидроокись марганца несет преимущественно отрицательный заряд.

Наиболее активные адсорбенты — гидроокислы марганца, особенно виды, которые легко поглощают из раствора барий, кобальт, медь, никель, серебро, цинк, свинец, ртуть и другие катионы. Наиболее энергично поглощаются многовалентные катионы. Положительно заряженные гидроокислы железа сорбируют фосфор, ванадий, мышьяк, молибден и прочие анионогенные элементы. Таким образом, для поглощенных металлов гидроокислы марганца и железа будут являться сорбционным барьером (G), и в данном месте произойдет совмещение двух геохимических барьеров — кислородного (A) для марганца и железа и сорбционного для кобальта, бария, меди и других металлов. Так образуется комплексная аномалия, например A6—G6.

Физико-географические и геологические условия формирования кислородных барьеров весьма разнообразны. Например, они характерны для зон разломов: глубинные глеевые воды, поднимаясь по разлому в местах контакта с кислородными водами, встречают кислородный барьер, на котором осаждаются железо и марганец. В результате в зонах разломов наблюдается покраснение, которое нередко используется для их диагностики. Этот вопрос заслуживает специального внимания, так как покраснение может иметь различное происхождение и, следовательно, интерпретироваться по-разному.

Первый и хорошо изученный тип — гидротермальная гематитизация. Второй — ожелезнение, образующееся в результате окисления эндогенного пирита и халькопирита. Эти образования типа «железных шляп» также хорошо изучены и используются в качестве поискового признака на гидротермальные руды.

Третий тип установлен нами — это продукт окисления глеевых вод на кислородном барьере. Таким путем могут возникать образования типа «ложных железных шляп», т. е. бурые железняки в зонах разломов. Нередко это просто пленочное ожелезнение в зонах трещиноватости. В обоих случаях необходимо отличать данное образование от первых двух типов, так как третий тип не является прямым указателем на сульфидное оруденение. Следовательно, ожелезнение в зонах разломов полигенетично. Ряд признаков позволяет отличить барьерное ожелезнение от зоны окисления сульфидов (парагенная ассоциация элементов в гидроокислах, реликтовые текстуры окисления сульфидов и т. д.).

В зоне гипергенеза наиболее распространены аномалии вида A5—A8, причем A5—A6 преобладают в гумидных ландшафтах, а A7—A8 в аридных. Все они формируются при встрече глеевых вод с кислородным барьером. Наиболее широко распространен тип A6, который очень характерен для ландшафтов с влажным климатом и слаборасчлененным рельефом — равнин тундры, тайги, влажных тропиков. Аномалии A6 широко распространены и в геологическом прошлом, например во влажных тропиках мезозоя и палеозоя.

Большое количество органических веществ, разлагающихся в гумидных ландшафтах, приводит к широкому распространению оглеения в

почвах, илах, грунтовых водах. Кислые глеевые воды обогащаются  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ , органическими кислотами. Если такие воды выходят на дневную поверхность, например, у основания склона, то в этом месте возникает кислородный барьер, осаждаются гидроокислы железа и марганца в виде конкреций и пластов бурых железняков. Глеевые грунтовые воды нередко разгружаются на дне рек и озер, где также возникает кислородный барьер с железисто-марганцевыми аккумуляциями.

В Бурятии вблизи рудных месторождений гидроокислы железа на болотах нередко обогащены металлами. Гидроокислы характеризуются парагенетической ассоциацией микроэлементов, типичной для руд и первичных ореолов. Это позволило Т. Т. Тайсаеву (1974) разработать метод поисков на болотах на основе опробования железистых осадков.

Метод основан на отборе, озолении и анализе современных железистых осадков, по концентрации рудных элементов в которых судят о типе минерализации в исследуемом районе. Аномально высокие концентрации As, Mo, Cu, Pb, Ni и других металлов в железистых осадках представляют важные и прямые надежные поисковые признаки оруденения. Способ геохимических поисков с опробованием железистых осадков значительно облегчает опробование болот, где проведение обычных литохимических поисков неэффективно, а зачастую и невозможно.

Поиски по железистым осадкам и торфам, проведенные на заболоченных флангах Харасунского и Холоднинского рудных полей, позволили выделить новые аномалии As, Zn, Pb, Cd. На солифлюкционных склонах Харасунского рудного поля выявлены два закрытых ореола обломочных лимонитов зоны окисления с высокими концентрациями Au, Ag, As, Sb, Bi и Cu (Тайсаев, 1974).

Проявления кислородного барьера в районах развития медноколчеданного и полиметаллического оруденения обнаружил В. В. Домчак (1975) на Полярном и Северном Урале. Аномалии, изученные В. В. Домчаком, также относятся к типу А6—G6, хотя генезис их и недостаточно ясен.

Нейтральные и щелочные глеевые воды характерны для районов распространения пород и почв, содержащих карбонат кальция, например, для луговых и болотных почв лесостепей и степей. Здесь железо менее подвижно, чем в лесной зоне, а марганец мигрирует. Таким образом, возможна глеевая среда, в которой железо будет малоподвижно, осаждаясь в форме гидрата закиси (минерал феррогидрит) или сидерита, а марганец будет находиться в растворе в форме  $Mn^{2+}$ . В таких условиях на кислородном барьере концентрируются преимущественно гидроокислы марганца, содержащие примесь железа, или, во всяком случае, роль марганца резко возрастает. В солончаках, в болотных и луговых почвах аридной зоны нередко в разрезах наблюдаются примазки гидроокислов марганца, черные омарганцованные горизонты. В этих условиях омарганцевание часто не сопровождается ожелезнением (А7).

Аналогичные условия создаются и в гумидных ландшафтах на участках развития карбонатных пород — известняков, доломитов, карбонатной морены, красноцветов, т. е. в ландшафтах кальциевого класса.

Нейтральная и щелочная глеевая среда характерна также для многих трещинных вод в изверженных породах, водоносных горизонтов в осадочных породах, для зон разломов.

Аномалии А7—G7 широко распространены в осадочных породах — в водоносных горизонтах и на их контактах с водоупорами.

**Сероводородные (сульфидные) барьеры (В)** возникают в местах, где кислородные или глеевые воды встречают на пути своего движения сероводородную обстановку или сульфиды. Образование сероводорода в основном связано с деятельностью бактерий, реже при этом имеют место чисто химические реакции.

Сульфидные барьеры имеют большое практическое значение, так как на них образуются рудные тела некоторых месторождений меди, урана, селена и других элементов. Известны и геохимические аномалии, содержащие нерастворимые сульфиды Fe, Cu, Zn, Pb, Co, Ni и т. д.

Концентрации типа В1 хорошо известны в зоне гипергенеза сульфидных месторождений. Серноокислые растворы, просачиваясь из зоны окисления, реагируют с первичными сульфидами:  $\text{MeS} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MeSO}_4 + \text{H}_2\text{S}$ .

Так, в нижней части зоны окисления возникает сероводородный барьер, на котором осаждаются металлы, вынесенные из зоны окисления. Образующиеся вторичные богатые сульфидные руды, как известно, местами представляют главную ценность месторождения. В ряде случаев осаждение происходит и без участия сероводорода, в результате других процессов, но с обязательным участием сульфидов. Поэтому можно говорить о сульфидном барьере, частным случаем которого является и сероводородный барьер. Большое значение при этом приобретают различные микрогальванические пары, т. е. электрохимические явления, подробно изученные Г. Б. Свешниковым, Л. К. Яхонтовой и другими (1967).

Интересный случай образования аномалии типа В1 (возможно В2) был изучен Н. Ф. Майоровым на медно-никелевых месторождениях Кольского полуострова (Квятковский и др., 1972). Если на возвышенности располагаются рудные тела, содержащие сульфиды никеля, кобальта, меди и т. д., то окисление этих руд приводит к образованию серноокислых грунтовых вод, обогащенных металлами. Двигаясь в сторону депрессий рельефа, такие воды могут встречать торфяное болото с глеевой средой. Это создает условия для бактериального восстановления  $\text{SO}_4^{2-}$  с образованием  $\text{H}_2\text{S}$ . В результате в краевой зоне болота возникает сероводородный барьер, на котором концентрируются принесенные металлы. Так образуется геохимическая аномалия, оторванная от оруденения, которая служит важным поисковым признаком месторождений.

Аналогичное явление обнаружила Г. Н. Колосова (1975) на Северо-Востоке СССР. Она изучала плиоцен-плейстоценовые осадки во впадинах бассейна верхнего течения рек Колымы и Неры. Оказалось, что в аллювиальных, озерных и болотных осадках местами встречается марказит, причем именно на тех участках, которые сопрягаются с областью сноса, несущей сульфидное оруденение. Генезис, вероятно, тот же, что и на Кольском полуострове.

Следовательно, накопление сульфидов в болотах, озерных и речных отложениях гумидного климата должно привлекать специальное внимание при геологических исследованиях, так как оно может быть обязательно окислению сульфидного оруденения в области сноса (оторванные аномалии).

**Глеевые барьеры (С)** возникают на участках резкой смены окислительной обстановки глеевой или же на контакте слабоглеевой и сильно-глеевой сред. На глеевом барьере возможно осаждение меди, серебра, молибдена, урана, селена и других элементов.

Примером глеевого барьера служат краевые зоны болот — участки контактов богатых кислородом поверхностных и грунтовых вод с глеевой средой болотных почв. Глеевый барьер возникает при инфильтрации вод в почвах и коре выветривания в результате потери ими свободного кислорода. В водоносных горизонтах глеевый барьер образуется на границе кислородной и бескислородной обстановки.

В геологическом разрезе признаками эпигенетического оглеения служат линейно-вытянутые горизонты сизых, серых и пестрых пород, в которых сизые участки чередуются с охристыми. Сизая или зеленова-



тая окраска глеевых горизонтов обусловлена соединениями двухвалентного железа. Оглеенные горизонты местами имеют снежно-белую окраску за счет полного выноса подвижного железа.

Источником восстановительной среды часто служит органическое вещество. Но иногда глеевая обстановка создается элементарным водородом. Известны различные пути образования этого газа — микробиологические процессы («водородное брожение клетчатки»), поступление водорода по разломам и другие. Не исключено, что водородный барьер является наиболее распространенной разновидностью глеевых барьеров.

В зависимости от щелочно-кислотных условий в ландшафтах на глеевых барьерах формируются различные виды аномалий, преимущественно С2 — С8.

Аномалии С2 формируются при встрече кислых и слабокислых кислородных вод с глеевым барьером. Эти аномалии особенно характерны для ландшафтов гумидного климата. На участке барьера развивается кислое оглеение. Примером могут служить современные болота лесной зоны. В их краевых зонах на контакте с окислительной средой и возникают аномалии С2.

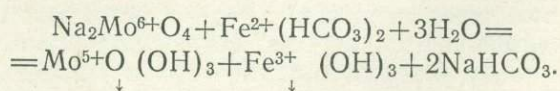
На глеевом барьере в кислых болотах лесной зоны возможно восстановление и осаждение урана ( $U^{6+} \rightarrow U^{4+}$ ), молибдена ( $Mo^{6+} \rightarrow Mo^{5+}$ ). Это приводит к усилению вторичных ореолов на соответствующих месторождениях и к образованию ландшафтных аномалий в безрудных районах.

Аномалии С3 возникают при встрече нейтральных и щелочных кислородных вод с глеевым барьером. На участке барьера чаще всего развивается карбонатное (нейтральное и слабощелочное) оглеение. Этот тип аномалий формируется в гумидных ландшафтах на участках распространения карбонатных пород и почв. Очень характерны аномалии С3 для семигумидных и семиаридных ландшафтов — лесостепей, северных черноземных степей. Встречаются они и в аридной зоне, вплоть до пустынь.

Примером безрудных концентраций молибдена на глеевом барьере служат аномалии, изученные С. И. Сотниковой (1970) в Мугоджарах. Повышенные содержания этого металла связаны с глеевыми горизонтами луговых дерново-глеевых почв, солонцев и солодей в березовых колках. Содержания молибдена достигают аномальных величин —  $(3-8) \times 10^{-3}\%$  против  $5 \times 10^{-5}\%$  фона.

Аномалии наблюдались в почвах, формирующихся на различных породах: перлювии диабазов, красноцветных неоген-четвертичных глинах, четвертичных аллювиальных суглинках. Таким образом, это не породные, а ландшафтные аномалии, связанные с глеевой восстановительной средой.

Накопление молибдена, возможно, происходит за счет взаимного соосаждения его с железом. В глеевой слабощелочной среде присутствие в растворе двухвалентного железа вызывает восстановление шестивалентного молибдена до пятивалентного с одновременным окислением железа. В результате происходит соосаждение гидроокислов пятивалентного молибдена и трехвалентного железа по следующему примерному уравнению:



Вначале это тонкая механическая смесь гидроокислов железа и молибдена, но по мере старения свежесажженных гидроокислов и их кристаллизации молибден вступает в прочное соединение с железом. Этот процесс приводит к высоким концентрациям молибдена в глеевых горизонтах вплоть до образования безрудных аномалий.

Двухсторонние окислительно-восстановительные (А—С) барьеры описаны Г. С. Макуниной (1974) на Среднем Урале. Здесь А—С барьер формируется в древней коре выветривания на границе болот с нижними частями склонов холмов и сопок. Он характеризуется скачком концентраций меди и кобальта, которые в 3—5 раз превышают их фоновые содержания в древней коре выветривания вне влияния глеевой обстановки болот. В данном случае совместное осаждение меди и кобальта обусловлено особенностями их миграции в разных геохимических условиях. Медь, мигрируя в окислительной среде элювиально-аккумулятивных ландшафтов в сторону болот, осаждается на глеевом барьере С. Кобальт, напротив, более подвижен в восстановительной среде. На границе глеевой и окислительной обстановок он накапливается на кислородном барьере А. Следовательно, барьер краевой зоны болот для одних элементов является глеевым, для других — кислородным. Такие двухсторонние А—С барьеры, вероятно, распространены очень широко, но изучены еще слабо.

**Щелочной барьер (Д)** возникает на участках, где на коротком расстоянии кислая среда сменяется щелочной. На нем преимущественно концентрируются катионогенные элементы, хорошо мигрирующие в кислых и слабокислых водах — железо, кальций, магний, барий, стронций, цинк, медь, никель, кобальт, свинец и другие металлы. Щелочной барьер может проявляться и в кислых условиях при смене сильнокислой реакции на слабокислую, и в щелочных при смене слабощелочной среды на сильнощелочную.

Аномалии Д1 формируются при поступлении к щелочному барьеру сильнокислых вод с реакцией среды меньше 3—4. Такие условия характерны для зоны окисления сульфидных руд в известняках. Сернокислые растворы — продукты окисления пирита и других дисульфидов — несут Fe, Cu, Zn, Co и другие металлы. В местах взаимодействия этих растворов с известняками возникает щелочной барьер Д, на котором осаждаются гидроокислы и карбонаты металлов, т. е. образуется аномалия Д1.

Среди карбонатов особенно выделяются зеленый и синий карбонаты меди — малахит и азурит. В аридных ландшафтах аномалии Д1 встречаются по периферии многих зон окисления сульфидных месторождений. Сернокислые растворы, образующиеся при окислении сульфидов (пирита, халькопирита и др.), нейтрализуются здесь не только известняками, но и щелочной средой степных почв или карбонатами рыхлых отложений. В результате на щелочном барьере выпадает железо (участки барьера часто индицируются ожелезненными почвами), осаждаются малахит, азурит, смитсонит и другие карбонаты меди и цинка.

Аномалии Д2 формируются, когда к щелочному барьеру поступают кислые и слабокислые растворы, имеющие рН 3—6,5. В гумидных ландшафтах аномалии Д2 характерны для контактов силикатных и карбонатных пород. Подобные аномалии, например, образуются на контакте ультраосновных пород с известняками. Разложение органических остатков в почвах приводит здесь к образованию кислых вод, в которых легко растворяются Mg, Ni и Co ультраосновных пород (Ni и Co образуют органические комплексы с органическими кислотами). На контакте с известняками возникает щелочной барьер и металлы осаждаются.

В таежных ландшафтах нередко встречаются двучленные поверхностные отложения, у которых верхний горизонт выщелочен от карбонатов, а нижний содержит эти минералы (например, маломощные флювиогляциальные пески, подстилаемые карбонатной мореной). В этом случае на контакте с карбонатными породами возникает аномалия Д2.

При формировании гумидных ландшафтов на известняках, лессах и других породах с щелочной средой происходит выщелачивание оснований и развитие кислой среды сначала в верхней части почвы, потом в

нижней и, наконец, в коре выветривания. На границе кислых горизонтов, т. е. на контакте с щелочной обстановкой также возникает аномалия Д<sub>2</sub>, для которой особенно характерно накопление СаСО<sub>3</sub>.

**Кислый геохимический барьер (Е)** возникает при смене нейтральных и щелочных условий на слабокислые и кислые. При этом происходит уменьшение интенсивности миграции анионогенных элементов и элементов-комплексообразователей, для которых характерны растворимые соединения в нейтральной и щелочной среде — кремния, германия, иттрия, скандия, бериллия, циркония, молибдена и других. Так как при подкислении облегчаются восстановительные реакции, то кислый барьер для некоторых элементов может быть и восстановительным, в связи с чем на нем осаждаются в отдельных случаях уран, селен, ванадий, хром, мигрирующие в окислительной обстановке и выпадающие в осадок в восстановительной (аномалии Е — С и др.).

Кислый барьер может формироваться и в «щелочном плече» — при смене сильнощелочных условий слабощелочными и в «кислом плече» — при изменении слабокислой среды на сильнокислую. В ландшафтах кислые барьеры изучены значительно слабее, чем щелочные, они также, вероятно, менее распространены.

Аномалии типа Е<sub>1</sub> невозможны, а Е<sub>2</sub> малохарактерны. Наиболее распространены аномалии Е<sub>3</sub> — Е<sub>4</sub> и Е<sub>7</sub> — Е<sub>8</sub>; Е<sub>11</sub> — Е<sub>12</sub> не изучены.

Аномалии типа Е<sub>3</sub> формируются при резком подкислении слабощелочных и нейтральных вод, а Е<sub>4</sub> при подкислении сильнощелочных вод с рН более 8,5. Такие воды встречаются в некоторых солонцовых ландшафтах лесостепи и черноземной степи. В верхних горизонтах солонцов высокое содержание соды приводит обычно к возрастанию рН до 10—11. При периодической миграции содовых растворов вглубь они встречают менее щелочную обстановку (рН=7,0—7,5) в нижних горизонтах почвенного профиля, где возникает «кислый барьер в щелочном плече», на котором возможна концентрация анионогенных элементов, подвижных в содовых растворах и выпадающих в осадок в нейтральной и кислой обстановке. Такие аномалии являются в большинстве случаев безрудными.

К аномалиям типа Е<sub>3</sub> — Е<sub>4</sub> (возможно Е<sub>7</sub> — Е<sub>8</sub>) мы относим и окремненные стволы деревьев в аллювиальных песках. Предполагается, что стволы деревьев, захороненные в песках, омывались щелочными водами, обогащенными кремнеземом. Это могло происходить как в ландшафтах, т. е. в экзодиагенезе, так и позднее, когда пески стали вмещающим пластом вод, т. е. в катагенезе. Микробиологическое разложение древесины приводило к выделению СО<sub>2</sub> и локальному подкислению среды, образованию аномалии Е<sub>3</sub> или Е<sub>4</sub> (возможно и Е<sub>7</sub> или Е<sub>8</sub>).

Двухсторонние кислотно-щелочные барьеры (Е — Д) образуются при миграции веществ к барьеру с противоположных сторон. Для одного потока барьер в этом случае кислый, а для другого (встречного) — щелочной. Особенностью двухсторонних барьеров является аккумуляция химических элементов, характерных для различных геохимических обстановок. Например, молибден, ванадий, иттрий, скандий, цирконий, бериллий осаждаются на кислых барьерах, а кобальт, железо, марганец, стронций — на щелочных. Это затрудняет оценку формирующихся на двухсторонних барьерах геохимических аномалий, которые могут быть правильно интерпретированы только на основе представлений о встречной миграции химических элементов.

Весьма характерны двухсторонние Е — Д барьеры для зон окисления сульфидных руд в известняках. Слабощелочные воды, заключенные в известняках, контактируют здесь с кислой средой, обязанной окислению сульфидов. Слабощелочные гидрокарбонатные воды часто содержат повышенные количества кремнезема, который осаждается на

кислом барьере. В результате происходит формирование аномалий E3 — окремнение известняков, характерное для многих зон окисления сульфидных руд. В этом случае геохимический барьер также «работает на два фронта»: в сторону от руд это щелочной барьер (D1), а по направлению к рудам — кислый (E3).

**Испарительные барьеры (F)** наиболее характерны для пустынь, сухих степей и сухих саванн, но они распространены также в черноземных степях и в лесостепных ландшафтах. Те или иные эффекты испарительной концентрации эпизодически возможны и в гумидных ландшафтах, в частности в тайге и тундре (в сухие периоды). Признаками этих барьеров в ландшафтах служат солевые корки солончаков, гипс, выцветы легкорастворимых солей на стенках горных выработок и другие солевые аккумуляции, особая флора «солянок».

До недавнего времени процессы испарения в ландшафтах изучались главным образом почвоведомы в связи с запросами сельского хозяйства («мелиоративное почвоведение») и геологами, изучающими месторождения солей.

В последние десятилетия соленакопление стали изучать в связи с геохимическими поисками рудных месторождений. Этот новый аспект выявил и новые стороны самого процесса испарения. В частности, создано представление об окислительно-восстановительных условиях соленакопления. Различают окислительное засоление, когда по всему профилю нет признаков оглеения; восстановительное глеевое, если в почве есть оглеенный горизонт, и восстановительное сероводородное, для которого характерен черный гидротроилитовый горизонт ( $\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) с запахом сероводорода.

При испарении кислородных вод образуются аномалии типа F1—F4, при испарении глеевых — F5—F8 и при испарении сероводородных — F9—F12. Однако на окислительно-восстановительную зональность в солончаках нами обращено внимание лишь в последнее время, в связи с чем при анализе материалов прошлых лет невозможно установить тип аномалии, т. е. например, отличить F3 от F7. В дальнейшем мы условно будем говорить об аномалиях F1—F4, имея в виду, что F3 может быть и F7 и F11, а F4—F8 и F12.

Ландшафтно-геохимические работы в Казахстане установили новую разновидность аномалий на испарительных барьерах — аномалии на нижнем испарительном барьере, который формируется на уровне грунтовых вод в результате начавшегося испарения. В связи с общей тенденцией к поднятиям в разрезе нередко отмечаются следы нескольких нижних испарительных барьеров, фиксирующих бывшие уровни стояния грунтовых вод. Для нижнего испарительного барьера характерна концентрация Mo, Zn, Pb, Cu, Co и других элементов. Это иногда может быть причиной появления безрудной аномалии или усиления рудной.

При стабильном положении уровня грунтовых вод для солончаков характерно несколько уровней испарительной концентрации элементов. На наибольшей глубине выпадают наименее растворимые соли — карбонаты, выше осаждаются гипс, у самой поверхности аккумулируются легкорастворимые соли — хлориды и сульфаты. Таким образом, в почвенном профиле солончаков формируется солевая зональность (снизу вверх): карбонатный, сульфатный (гипсовый) и хлоридно-сульфатный испарительные барьеры с характерной для каждого барьера ассоциацией осаждающихся элементов.

На карбонатном испарительном барьере выпадают элементы, образующие труднорастворимые карбонаты, слабомигрирующие в нейтральной и щелочной среде. Это свинец, марганец, бериллий, никель, медь, серебро. Сюда же частично относятся цинк и молибден. Карбонатный испарительный барьер располагается обычно на глубине 100—120 см.

На гипсовом барьере осаждаются стронций и молибден.

На верхнем (хлоридно-сульфатном) барьере у дневной поверхности концентрируются Mo, Cu, Zn и ряд других элементов.

Испарительные барьеры в солончаках представляют интерес в основном для поверхностных литохимических поисков. При глубинных поисках предметом опробования могут быть погребенные солевые горизонты.

В аридных ландшафтах широко распространено засоление в зонах разломов, где разгружаются глубинные воды. Если по разлому разгружаются большие массы воды, то в таких местах возникают болота, реки, озера. Если же разгрузка вод происходит медленно и воды успевают испариться, то на поверхности разлом представлен засоленным ландшафтом, почвы его относятся к солончаковому типу. Основным признаком разломных солончаков является их линейное простираие в виде узких засоленных полос. Обнаружение солончаков на водоразделах и склонах мелкосопочника также указывает на их разломное происхождение так как при глубоком уровне грунтовых вод засоление почвы произойти не может. Намечаются геохимические критерии, позволяющие отделить рудные аномалии от безрудных в таких зонах. Если в зоне разлома на глубине имеет место сульфидное оруденение, то воды становятся сульфатными и образующиеся солончаки содержат много сульфат-иона, в том числе гипса. При энергичном развитии процесса воды могут иметь низкий pH и не содержать бикарбонат иона. В результате в солончаках концентрируются гипс, сульфаты тяжелых металлов, они имеют кислую реакцию и не вскипают от соляной кислоты (F1). На участках разломных солончаков гипсовые горизонты, лишенные карбонатов, служат указателем распространения сульфидов на глубине.

В зонах разломов также часто встречаются солонцы («разломные солонцы»). Они образуются из разломных солончаков, которые в ходе неотектонических поднятий «отрываются» от трещинно-грунтовых вод. В результате соли частично выщелачиваются. На участках сульфидного оруденения нередко распространены солонцы с гипсовым бескарбонатным горизонтом — бывшие аномалии F1, оторвавшиеся от трещинно-грунтовых вод.

Зоны разломов в Казахстане часто фиксируются линейной корой выветривания мощностью от 30 до 100 м. В ландшафтах, сформировавшихся на участках таких разломов, установлено накопление редких элементов на испарительных геохимических барьерах.

Аномалии типа F1 (F5, F9) образуются при испарении сернокислых вод вблизи окисления сульфидных месторождений. Впервые такие рудные аномалии были изучены М. А. Глазовской с сотрудниками на Южном Урале (1961). Воды зоны окисления медноколчеданных руд здесь имеют pH до 2,2. Они содержат до 0,5 г/л Fe и 0,25 г/л Al, их минерализация достигает 40 г/л. В результате в долине ручья, питающегося подобными купоросными водами, образуются сульфатные солончаки с pH от 2,0 до 5,0 с железными и алюминиевыми квасцами, сульфатами меди, свинца, цинка и серебра. В почвах много гипса, есть и гидроокислы железа — продукт гидролиза сульфатов железа. Кальцит отсутствует.

Аномалии типа F2, F6, F10 нехарактерны для ландшафтов, так как кислые и слабокислые воды распространены преимущественно в гумидном климате, где отсутствует испарительная концентрация.

Аномалии типа F3, F7 и F8, напротив, наиболее распространены в степях и пустынях. Это хлоридно-сульфатное засоление. В испарительной концентрации участвуют молибден, стронций, цинк, уран и другие микроэлементы.

Для сульфатного засоления (с гипсовыми горизонтами) особенно характерны значительные концентрации стронция, достигающие часто аномальных значений. Распределение стронция, как правило, совпадает

с молибденом, что позволяет считать многие молибденовые аномалии безрудными, сформировавшимися на испарительном барьере.

Аномалии типа F4 (F8, F12) формируются под воздействием щелочных вод с  $pH > 8,5$ . На аномалиях F4 возможно накопление элементов «содовой миграции» — цинка, иттрия, скандия, циркония и других. Особенно интенсивно накапливаются при содовом засолении цинк и иттрий.

**Сорбционные барьеры (G)** очень характерны для ландшафтов, некоторые их представители описаны выше в качестве членов совмещенных барьеров (A6—G6). Наиболее распространенные сорбенты — органические вещества, глинистые минералы, гидроокислы марганца — имеют отрицательный заряд, в связи с чем на сорбционных барьерах концентрируются преимущественно катионогенные элементы, главным образом металлы. Гидроокислы железа и алюминия заряжены положительно, в связи с чем могут сорбировать анионогенные элементы, как, например, Cl, S, V, P, As. Нередко гидроокислы железа содержат примесь органических веществ и кремнезема, что определяет возможность сорбции ими также и катионогенных элементов.

Преобладание в ландшафтах отрицательно заряженных сорбентов определяет большую роль кислых вод, обогащенных катионогенными элементами в образовании сорбционных аномалий. Поэтому тип G2 более распространен, чем G3 и G4, а тип G6 — чем G7 и G8. Сорбционные процессы играют важную роль в формировании геохимических аномалий.

Аномалии типа G1 характерны для зон окисления сульфидных месторождений, их ореолов и потоков рассеяния. Обычно сорбционные аномалии являются членом комплексной аномалии на совмещенном барьере (щелочном и др.). Известны также случаи, когда в глинах накапливается до 1% меди.

Аномалии G2 особенно характерны для таежных ландшафтов и влажных тропиков с их кислыми водами, а G3 и G4 — для степей и пустынь. На дне морей и океанов преобладают G3, но встречаются и G11 (например, в глубоких зонах Черного моря, где вода заражена сероводородом). В илах содовых озер и в содовых водоносных горизонтах развиты аномалии G4.

Для каждого типа аномалии характерна определенная парагенная ассоциация элементов.

В последние годы обнаружена чрезвычайно интересная разновидность сорбционного барьера в рыхлых отложениях, перекрывающих рудные тела. С. П. Албул (1969), Л. В. Антропова (1975), Г. Ф. Ларионов (1972), Ю. Е. Саг (1976) и другие геохимики доказали, что во многих рудных провинциях СССР в почвах над перекрытыми месторождениями существуют геохимические аномалии меди, свинца, никеля и других рудных элементов. Эти аномалии обнаруживаются преимущественно с помощью различных вытяжек (уксуснокислых, содовых и других), интенсивность их очень невелика, однако контрастность достаточна для выделения. Механизм образования подобных аномалий еще полностью не выяснен, возможно, здесь имеет место восходящая миграция металлов с пленочными водами. Наложенные вторичные ореолы рассеяния формируются даже при перекрывающих отложениях мощностью 120—150 м. Помимо сорбированных элементов в гумусе, гидроокислах железа и марганца, глинистых минералах, важнейшими формами нахождения рудных элементов в этих ореолах являются воднорастворимые соединения (хлориды, сульфаты), органоминеральные соединения, карбонаты. Таким образом, возможно, что здесь имеет место совмещение нескольких барьеров, например, аномалий F3—G3 и т. д.

**K термодинамическим (H)** нами относятся барьеры, формирующиеся на участках изменения температуры или давления. Наиболее изучены явления понижения давления в водах, богатых углекислым газом.

Углекислые подземные воды широко распространены в земной коре, в них легко растворяются многие металлы, образующие бикарбонаты:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Pb}(\text{HCO}_3)_2$  и т. д. Точнее, в воде находятся ионы металлов и  $\text{HCO}_3^-$ . При выходе таких вод на поверхность давление  $\text{CO}_2$  понижается и бикарбонаты переходят в труднорастворимые карбонаты (аномалии типа НЗ, Н7 и Н11).

Примером аномалии НЗ служат аккумуляции церуссита и гидроксидов марганца, изученные Л. Д. Кудериной (1973) в палеогеновых глинах месторождения Жайрем. Pb—Mn аномалия приурочена здесь к зоне новейшего тектонического разлома. По представлениям этого автора, на глубине в девонских рудоносных известняках происходит окисление сульфидных руд с генерацией  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , взаимодействие которой с известняками приводит к значительному поступлению  $\text{CO}_2$  в подземные воды. В результате становится возможной миграция свинца и марганца в форме  $\text{Pb}(\text{HCO}_3)_2$  и  $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$ . Двигаясь вверх по разлому, воды, обогащенные этими металлами, попадают в приповерхностные участки с пониженным давлением  $\text{CO}_2$ , где и возникает термодинамический барьер. На нем осаждаются свинец и марганец:  $\text{Pb}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{PbCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ ,  $2\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2 + \text{O}_2 + n\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} + 4\text{CO}_2$ .

Не все теоретические проблемы поисков по вторичным ореолам получили в настоящее время удовлетворительное решение. Многие еще предстоит сделать. Но несомненно, что работа нескольких поколений ученых в области геохимии гипергенных процессов заложила прочные теоретические основы поисков рудных месторождений по вторичным ореолам. Рамки настоящей статьи позволили осветить лишь некоторые результаты исследований последних лет. Важное значение мы придаем внедрению этих и более ранних разработок в практику поисков. К сожалению, особенности развития геохимических поисков создают здесь определенные трудности (отсутствие в вузах специальности по геохимическим поискам и связанное с этим недостаточное знакомство поисковиков с основами геохимии гипергенных процессов и т. д.). Остается пожелать, чтобы назревшие вопросы организации геохимических поисков были решены в самое ближайшее время.

П. А. УДОДОВ, Н. М. РАССКАЗОВ, С. Л. ШВАРЦЕВ

## ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ЗАДАЧИ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

За многолетний период применения гидрогеохимического метода в Сибири и других регионах Советского Союза изучен макро- и микрокомпонентный состав вод основных ландшафтных зон, а также практически всех важных типов рудных месторождений и потоков их рассеяния, для которых установлены главные параметры: протяженность, контрастность и зональность.

В начальный период (первая гидрогеохимическая поисковая партия в Сибири начала работы под руководством П. А. Удодова 25 лет назад в южной части Красноярского края) гидрогеохимические поиски рассматривались как самостоятельный вид исследований. Основные результаты опробования вод и пород получались непосредственно при проведении полевых работ, что позволяло иметь оперативные данные для постановки детальных работ, в том числе и разведочных, на выявляемых гидрогеохимических аномалиях. Такая оперативность полностью себя оправдала и дала положительные производственные результаты.

Микрокомпонентный состав грунтовых вод различных горных пород некоторых районов Южной Сибири

Интервалы содержания элементов в воде, мкг/л	Количество проб в интервалах						интервалы содержания элементов в воде, мкг/л	Количество проб в интервалах					
	Pb	Cu	Zn	Ni	V	Cr		Pb	Cu	Zn	Ni	V	Cr
<i>Крольско-Бюзинский район (Восточный Саян)</i>							<i>Воды карбонатных пород</i>						
<i>Воды песчано-сланцевых пород</i>							1,6 — 4,0	11	18	13	—	7	8
0,04—0,1	—	—	—	1	—	—	4,0 — 10,0	21	12	8	—	3	1
0,1 — 0,25	—	—	—	1	2	1	10,0 — 25,0	2	1	—	—	—	—
0,25—0,63	—	—	5	5	—	—	<i>Воды гранитоидных пород</i>						
0,63—1,6	3	8	1	7	4	2	0,04—0,1	—	—	—	7	—	—
1,6 — 4,0	4	7	9	—	7	9	0,1 — 0,25	13	3	—	12	10	3
4,0 — 10,0	18	11	12	—	—	2	0,25—0,63	—	2	9	—	7	13
10,0 — 25,0	2	1	—	—	1	—	0,63—1,6	—	7	—	—	1	1
<i>Воды эффузивно-осадочных и эффузивных пород</i>							1,6 — 4,0	3	5	7	—	1	2
0,04—0,1	2	—	—	20	—	—	4,0 — 10,0	3	2	3	—	—	—
0,1 — 0,25	15	6	—	8	12	2	<i>Бассейн верхнего течения р. Томи (Кузнецкий Алатау)</i>						
0,25—0,63	1	2	46	27	8	10	<i>Сводные данные по водам различных горных пород</i>						
0,63—1,6	16	49	20	22	22	24	0,04—0,1	26	24	—	132	—	—
1,6 — 4,0	35	43	43	4	17	23	0,1 — 0,25	—	1	—	—	—	—
4,0 — 10,0	72	48	40	—	19	22	0,25—0,63	24	27	134	1	—	—
10,0 — 25,0	10	3	2	—	3	—	0,63—1,6	50	45	1	4	—	—
<i>Воды карбонатных пород</i>							1,6 — 4,0	28	26	1	3	—	—
0,04—0,1	1	—	—	5	—	—	4,0 — 10,0	12	17	2	—	—	—
0,1 — 0,25	6	3	—	10	11	6	10,0 — 25,0	—	—	—	—	—	—
0,25—0,63	1	1	13	11	3	6	25,0 — 63,0	—	—	2	—	—	—
0,63—1,6	2	9	10	3	5	8							

Примечание. Здесь и далее прочерк обозначает, что элемент не обнаружен.

Дальнейшие исследования позволили выявить фоновые концентрации элементов в водах различных горных пород (вне рудных месторождений), характерные для гумидных районов (табл. 1), и обосновать необходимость применения в процессе гидрогеохимических поисков весьма высокочувствительных методов определения микрокомпонентов, позволяющих дифференцировать фоновые концентрации элементов в водах. При этом появляется возможность обнаружения не только сульфидных и сульфоарсенидных месторождений (табл. 2, Хоцу-Аксинское месторождение), но также силикатной и окисной минерализации, что подтверждается, в частности, гидрогеохимическими исследованиями на фосфорных и никелевых силикатных месторождениях в юго-восточной части Западной Сибири (табл. 3, 4, Телекское и Шалапское месторождения).

К настоящему времени в основном разработана методика проведения полевых работ, интерпретации результатов и построения гидрогеохимических карт различного масштаба. Эффективность метода подтверждена открытием ряда месторождений и рудопоявлений, среди которых есть весьма крупные. Производственными организациями выявлено на территории Сибири также несколько тысяч гидрогеохимических аномалий, в подавляющем большинстве своем не проверенных более детальными работами. Они представляют значительный резерв для обнаружения новых зон минерализации и месторождений. Наряду с этим необходимо отметить, что оценка природы таких аномалий (что делается весьма редко) производится в настоящее время в основном по результа-



Микрокомпонентный состав подземных вод Хоцу-Аксинского никель-кобальтового сульфо-арсенидного месторождения (Тува)

Интервалы содержания элементов в воде, мкг/л	Количество проб в интервалах											
	Pb	Cu	Zn	Ni	Co	Aq	As	Ba	Sr	Cr	Ti	Mn
0,04—0,1	20	1	—	12	16	—	—	—	—	—	13	—
0,1—0,25	2	3	—	—	1	21	—	18	—	14	2	—
0,25—0,63	1	4	11	5	1	3	18	—	11	5	5	—
0,63—1,58	1	5	1	3	—	1	3	—	—	2	4	—
1,58—4,0	2	6	2	3	5	1	—	—	—	5	1	1
4,0—10,0	—	3	5	2	2	—	—	3	1	—	1	10
10,0—25,0	—	4	5	—	—	—	1	2	2	—	—	3
25,0—63,0	—	—	1	—	—	—	—	3	5	—	—	4
63,0—158	—	—	1	1	1	—	—	—	5	—	—	5
158—400	—	—	—	—	—	—	3	—	2	—	—	2
400—1000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
1000—2500	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—

там детального изучения геологического строения площадей их распространения. Пока нет еще общепринятых гидрогеохимических показателей, позволяющих без широкого использования других геологических методов оценивать промышленную значимость характеризуемых аномалий. Это объясняется целым рядом причин, в первую очередь методического и организационного порядка, частично рассматриваемых в данной статье.

Имеющиеся в настоящее время материалы позволяют прежде всего подтвердить вывод о том, что использование гидрогеохимического метода в гумидных районах оказывается эффективным при всех масштабах работ на рудные месторождения. В этой зоне обнаружено наибольшее количество перспективных гидрогеохимических аномалий, на основе их изучения вскрыты зоны минерализации и рудные тела.

В аридных областях применение рассматриваемого метода целесообразнее осуществлять на основе индивидуального анализа природных условий конкретных районов.

По данным гидрогеохимических поисков масштаба 1:200 000 и мельче обнаружены значительные по размерам перспективные площади, о чем свидетельствуют результаты работ Красноярского ГУ и других организаций в Средней и Восточной Сибири (публикации Н. Г. Шубенина, А. П. Лопаткиной и др.), по ряду районов Сибири (данные И. Н. Ильина, Г. М. Комарницкого, В. Г. Спирина) и Колывань-Томской зоне (работы П. А. Удодова и др.). Например, в пределах последней, в районе среднего течения притоков р. Яи (реки Осиновая, Березовая, Киргисла, Ташма), при мелкомасштабных гидрогеохимических поисках была выявлена зона меридионального направления, протягивающаяся от дер. Новорождественская до с. Турунтаево. Более детальное гидрогеохимическое опробование скважин, пройденных здесь ранее для целей водоснабжения, позволило выявить аномалию в с. Турунтаево (в воде фонтанирующей скважины было обнаружено повышенное содержание ряда металлов, в мкг/л: Zn — 100, Sb — 30, Hg — 10). В дальнейшем при проведении геологопоисковых работ Томской комплексной геологической экспедицией на этой площади скважинами было вскрыто на глубине цинковое оруденение. Эти данные еще раз подтверждают глубинность гидрогеохимического метода поисков.

Гидрогеохимические поиски мелких масштабов, как показал опыт, целесообразно проводить в комплексе с другими поисковыми работами,

Микрокомпонентный состав подземных вод  
(Восточный)

Интервалы со- держаний эле- ментов в воде, мкг/л	Количество проб							
	Pb	Cu	Zn	Ni	Co	Aq	Sn	Mn
0,04—0,1	58	—	—	100	121	53	77	121
0,1—0,25	28	36	—	17	6	64	19	14
0,25—0,63	26	73	41	14	5	13	26	3
0,63—1,58	23	28	2	8	7	7	12	1
1,58—4,0	4	2	19	—	—	1	4	—
4,0—10,0	—	—	16	—	—	1	1	—
10,0—25,0	—	—	20	—	—	—	—	—
25,0—63,0	—	—	27	—	—	—	—	—
63,0—158	—	—	12	—	—	—	—	—
158—400	—	—	2	—	—	—	—	—

выполняя их как самостоятельные исследования, опережающие по отношению к другим поисковым методам.

Наиболее распространенными и эффективными являются в настоящее время гидрогеохимические поиски масштаба 1:50 000. Они позволяют выявлять как рудные поля, так и отдельные зоны минерализации и месторождения, в том числе и скрытые. С их помощью обнаружены новые зоны медно-кобальтовой минерализации в Западном Саяне, кобальтовой в Туве, оловорудной в Приморье, крупное медно-никелевое месторождение и ряд новых аномалий в районе Норильска и на Кольском полуострове, ртутные зоны в Якутии, на Салаире и в других районах юга Западной Сибири, Средней Азии и других районах, полиметаллические — на Алтае, в Колывань-Томской зоне, на Енисейском кряже, на Кавказе, Урале, в Казахстане. Обнаружены в процессе гидрогеохимических работ этого масштаба редкометальные зоны минерализации и месторождения в Сибири, Средней Азии, Казахстане, на Украине.

Положительные данные получены также при крупномасштабных и детальных гидрогеохимических работах на Южном Урале, юго-востоке Западной Сибири, в Норильском районе, в Забайкалье и некоторых других регионах. Они позволили обнаружить ряд рудных тел, в том числе

Таблица 4

Микрокомпонентный состав подземных вод Шалапского медно-никелевого силикатного месторождения (Предалтайская равнина)

Интервалы со- держаний эле- ментов в воде, мкг/л	Количество проб в интервалах											
	Pb	Cu	Zn	Ni	Co	Aq	Ba	Sr	V	Cr	Ti	Mn
0,04—0,1	75	1	—	45	69	6	—	—	—	—	32	1
0,1—0,25	1	8	—	—	—	28	63	—	70	19	3	—
0,25—0,63	—	22	57	—	1	30	—	32	1	22	10	—
0,63—0,58	—	31	2	8	3	11	—	—	2	12	14	1
1,58—4,0	1	12	4	14	2	1	—	1	2	12	12	1
4,0—10,0	—	2	12	6	—	1	1	9	2	8	4	17
10,0—25	—	1	1	3	—	—	4	5	—	4	2	13
25,0—63	—	—	—	1	1	—	4	10	—	—	—	16
63,0—158	—	—	1	—	1	—	4	11	—	—	—	11
158—400	—	—	—	—	—	—	1	9	—	—	—	5
400—1000	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7

Таблица 3

Телекского фосфорного месторождения  
(Саян)

в интервалах											
Cd	P	Hg	Sb	As	Ba	Sr	Be	V	Sr	Ti	Mn
119	—	—	—	—	—	—	131	—	—	2	—
—	—	—	—	—	41	70	2	107	47	3	7
3	51	49	133	133	7	—	4	22	28	9	8
17	—	3	1	—	22	1	2	6	17	30	13
—	—	3	2	5	35	1	—	3	24	49	14
—	1	18	2	1	20	7	—	1	16	28	13
—	4	29	1	—	7	28	—	—	6	11	23
—	46	31	—	—	6	22	—	—	1	6	38
—	17	5	—	—	1	7	—	—	—	1	13
—	20	1	—	—	—	3	—	—	—	—	10

и «слепых». Многолетние крупномасштабные гидрогеохимические исследования были проведены, например, сотрудниками проблемной гидрогеохимической лаборатории Томского политехнического института в содружестве с Новосибирским и Западно-Сибирским ГУ в области сочленения Кузбасса и Кузнецкого Алатау, в Горном Алтае и в северо-западной части Салаира (Ю. Г. Копылова, З. В. Тупчий и др.). Выявленные в последнем из перечисленных районов гидрогеохимические аномалии либо совпадают с ранее известными зонами минерализации (рудопоявления в бассейнах рек Долганки и Стрелюшки, Крохалевское, Мавринское и др.), либо соответствуют новым минерализованным зонам и подтверждены последующими геохимическими и другими исследованиями (бассейны рек Отчихи, Татарки, Зотихи, Каменки и др.). Положительные результаты гидрогеохимических поисков явились основанием для постановки поисково-разведочных работ, в результате которых была вскрыта киноварная минерализация (Большаков, 1975). В пределах гидрогеохимической аномалии по р. Каменке, с повышенными содержаниями Cu, Hg, Ba, Pb, буровыми работами Владимировской партии НГПЭ НТГУ вскрыта вкрапленная медная минерализация.

По правому притоку р. Отчихи водные потоки рассеяния ртути с наличием сурьмы и других элементов подтверждены результатами последующих работ, в частности данными литогеохимических поисков по потокам рассеяния.

Аналогичные данные получены при проверке гидрогеохимической аномалии по рекам Татарке, Зотихе и др.

По результатам гидрогеохимического опробования района сочленения Кузбасса и Кузнецкого Алатау выявлена аномальная зона в северо-западной части Крапивинского купола. Данные многократного гидрогеохимического опробования подтверждены результатами литогеохимических поисков и геофизических работ. По геологическим условиям эта зона является аналогом Белоосиповской ртутносной площади и представляет в настоящее время наибольший интерес для поисков месторождений ртути в Кузбассе.

Примеры эффективного применения гидрогеохимического метода при поисках различного масштаба приведены в книгах «Применение гидрогеохимического метода при поисках рудных месторождений» (1974), «Вопросы геохимии подземных вод в связи с поисками рудных полезных ископаемых» (1974), работах Г. А. Голевой (1968, 1977), П. А. Удодова и др. (1973) и т. д.

Особого рассмотрения заслуживает вопрос о методиках составления гидрогеохимических карт. Так, в связи с необходимостью обобщения большого количества данных, полученных в результате проведения гидрогеохимических поисков на территории юго-восточной части Западной Сибири, сотрудниками Томского политехнического института составлена комплексная гидрогеохимическая карта этой территории масштаба 1:1 500 000. Карта выполнена по разработанной авторами методике и состоит из трех дополняющих друг друга карт.

На первой карте выделены районы распространения основных геохимических типов подземных вод с учетом главных форм водной миграции микрокомпонентов. Для каждого из этих районов с использованием методов математической статистики рассчитаны фоновые концентрации ведущих поисковых элементов. На второй карте нашли отражение выявленные в зоне интенсивного водообмена региона гидрогеохимические аномалии, показаны их состав и значимость. На этой основе оценена перспективность отдельных районов на полезные ископаемые по гидрогеохимическим данным. На третьей карте отображены гидрогеохимические особенности более глубоких зон с замедленным водообменом. Методика построения этих карт разработана исходя прежде всего из закономерностей распространения вод различного химического состава.

В пределах конкретных гидрогеологических структур и в областях их сочленения выделяются подземные воды различного химического состава. Поэтому есть необходимость рассмотреть вопрос о развитых в данном регионе гидрогеологических структурах по представлениям авторов.

Основываясь на идеях Н. К. Игнатовича о степени закрытости территорий и их промытости, а также Ф. П. Саваренского, Г. Н. Каменского, А. М. Овчинникова о типах гидрогеологических структур и О. К. Куделина, О. К. Ланге, Н. А. Маринова о типах бассейнов стока, в частности для грунтовых вод, а также учитывая гидрогеологические классификации структур Н. И. Толстихина, И. К. Зайцева и В. М. Степанова, авторы за основу гидрогеологического районирования взяли бассейны артезианских и грунтовых вод и зоны разрывных нарушений различного порядка.

В пределах каждой из выделенных гидрогеологических структур развиты свои разновидности подземных вод. Так, например, в бассейнах грунтовых вод поднятий имеют место воды с очень низким содержанием органических соединений, в то время как в бассейнах грунтовых вод впадин развиты обширные районы, где в составе подземных вод преобладают органические вещества. Гидрогеохимическая специализация характерна и для артезианских бассейнов. Своеобразные типы подземных вод выявлены также и среди подземных вод поднятий в данном регионе. В частности, на основе гидрогеохимических данных установлено, что они приурочены не только к выявленным рудным месторождениям, но и к участкам их предполагаемого нахождения. На этой основе дана оценка перспектив территории на рудные полезные ископаемые по гидрогеохимическим показателям.

Наряду с характеристикой гидрогеохимической роли крупных структур, необходимо оценивать гидрогеохимические особенности более мелких элементов на основе морфоструктурного анализа. Такая работа проведена по Колывань-Томской зоне сотрудником Томского политехнического института А. А. Лукиным. С этой целью, согласно методике И. А. Одесского (1972) и В. П. Философова (1960), им выделяются по гидросети базисные поверхности различного порядка. Для каждой из них намечаются четыре типа областей, различных в гидрогеологическом и гидрогеохимическом отношении. Их выделение производится с учетом осей опускания и осей поднятия геоморфологических элементов, проводимых по экстремальным точкам изобазит отдельных базисных поверх-

ностей. Границы областей опускания и поднятия проведены по точкам перегиба базисных поверхностей.

В областях поднятий (воздыманий) увеличение уклонов базисных поверхностей по направлению к приграничным участкам способствует нисходящему движению подземных вод, что при обеспеченном инфильтрационном питании приводит к промыванию пород и выносу элементов за пределы участков. Орографические условия здесь неблагоприятны для разгрузки подземных вод, которая возможна лишь для самых верхних уровней подземного стока. В подземных водах формируется окислительная геохимическая обстановка.

Области преобладания поднятий характеризуются возможностью разгрузки подземных вод верхних уровней стока. Более глубокий сток в их пределах имеет нисходящее движение. В этих областях есть условия для накопления в водах или выпадения из них тех или иных элементов, а также для вторичного минералообразования в водоносных горизонтах. По сравнению с предыдущим типом областей, геохимическая обстановка в водах более восстановительная, что приводит к лучшей миграции ряда элементов с переменной валентностью (Fe, Mn, Mo и др.).

В областях преобладания опусканий характер поверхности изобазит способствует местному инфильтрационному питанию подземных вод и их нисходящему движению. Однако более глубокие уровни стока могут иметь восходящее движение, что в целом способствует высокому стоянию уровней подземных вод. Разгрузка подземных вод как местного питания, так и регионального стока осуществляется в пределах долин. При обеспеченном инфильтрационном питании здесь, как и в первом типе областей, преобладает вынос элементов и окислительная обстановка. Наряду с этим может наблюдаться разгрузка вод отдаленных областей питания, характеризующихся более восстановительной средой. В этих случаях создается наиболее благоприятная природная ситуация для формирования геохимических барьеров.

Для четвертого типа — областей опусканий, характерна разгрузка подземных вод разных уровней стока вплоть до самых низких для базисов дренирования данного района. Здесь наибольшая вероятность источников с восстановительной геохимической обстановкой, содержащих повышенные концентрации железа и марганца.

Таким образом, использование морфоструктурного анализа в гидрогеологии способствует развитию идей Б. Л. Личкова, Ф. А. Макаренко и принципов гидрогеологического районирования Б. И. Куделина о геохимической роли подземного стока. Результаты этого анализа позволят более полно и продуктивно интерпретировать данные поисковых гидрогеохимических работ.

Методика составления рассматриваемых гидрогеохимических карт юго-восточной части Западной Сибири заключалась в следующем.

При построении гидрогеохимической карты районирования на топооснову масштаба 1:1 500 000 наносятся в том же масштабе литолого-фациальные комплексы горных пород, с указанием их возраста, и основные тектонические нарушения. Затем показываются границы основных ландшафтных зон и формулы для каждой из них по А. И. Перельману. С учетом распространения типов ландшафтов по величине общей минерализации, значениям рН и Eh, содержанию органического вещества, минеральных веществ и газов выделяются площади распространения геохимических типов подземных вод (например, воды слабоминерализованные, кислородно-азотные с высоким значением Eh и рН, близким к 7,0, характерны для верхней зоны горных обводненных ландшафтов). Специфические геохимические типы вод выделяются в верховых, низинных болотах, лесной равнинной зоне, в степных ландшафтах и т. д. Для учета степени водообильности ландшафтных зон на карту наносятся линии модулей грунтового стока.

Для каждого из основных геохимических типов грунтовых вод указываются возможные преобладающие формы миграции микрокомпонентов (металлов), а также их фоновые содержания, рассчитанные на основе формул математической статистики. В результате получаем карту, используя которую можно выделять площади с аномальным содержанием металлов в грунтовых водах.

Вторая карта носит название гидрогеохимической и выполнена с целью регионального отображения результатов гидрогеохимических поисков рудных месторождений. На ней показывается перспективность отдельных участков данной территории на рудные полезные ископаемые по гидрогеохимическим признакам. При выделении перспективных площадей используются данные, характеризующие особенности выявленных здесь гидрогеохимических аномалий (их состав, контрастность, металлогеническую приуроченность и т. д.). Изображаются эти аномалии различными немасштабными знаками. Каждый из них соответствует определенному типу рудной минерализации, например, медной, цинковой и т. д., формирующей водные потоки рассеяния (аномалии). Размер знака соответствует степени перспективности потока рассеяния. На топографическую основу наносятся границы металлогенических зон с указанием их специализации — медно-никелевые и т. д. В пределах зон показываются гидрогеохимические аномалии охарактеризованным выше способом. С учетом последних, различной расцветкой выделяются перспективные на оруденение площади, как вновь выявленные по гидрогеохимическим данным, так и ранее известные, но подтвержденные гидрогеохимическими поисками. В особую группу объединены площади, где эти поиски практически не проводились. Таким образом, приведенные на этой карте данные позволяют не только делать выводы о перспективности отдельных площадей региона, но и оценивать степень его изученности в гидрогеохимическом отношении.

В зону повышенного водообмена поступают также газы из имеющих в районе месторождений нефти и газа. Эти газы часто встречаются в количествах выше фоновых в водоносных горизонтах, залегающих сравнительно неглубоко от дневной поверхности (50—70 м). Особый интерес представляет скопление здесь тяжелых углеводородных газов и окисляющих углеводороды микроорганизмов. В результате этого образуются своеобразные по составу гидрогеохимические аномалии, являющиеся поисковыми признаками нефтяных и газовых месторождений. Площади, занятые этими аномалиями, показываются на картах рассматриваемого типа. В зависимости от количества и размеров площадей, занятых этими аномалиями, а также степени отличия от окружающего фона на картируемой территории выделяются районы, в различной степени перспективные на нефть и газ по результатам гидрогеохимического изучения зоны активного водообмена.

Большой интерес представляют результаты гидрогеохимических исследований не только в зоне активного водообмена, но также и в более глубоких частях геологического разреза, где залегают месторождения нефти, газа и других полезных ископаемых. С целью картирования глубоких горизонтов составляются соответствующие карты. Методику их построения рассмотрим на примере гидрогеохимической карты зоны замедленного водообмена юго-восточной части Западной Сибири масштаба 1:1 500 000. На карте показан химический и газовый состав вод этой зоны, а также перспективы ее нефтегазосности по гидрогеохимическим показателям. Она отражает также распределение минеральных вод в пределах характеризуемой зоны и расположение наиболее характерных выходов их на поверхность. Основной особенностью методики построения данной карты, выполненной коллективом в составе А. Д. Назарова, Н. М. Рассказова, А. Д. Фатеева, П. А. Удодова, является изображение химического состава подземных вод для каждого из водоносных комплек-

сов основных артезианских бассейнов. Для этой цели используется система горизонтальных линий различного цвета и конфигурации, количество которых соответствует числу водоносных комплексов.

Успешность применения гидрогеохимических поисков во многом зависит от совершенства методики интерпретации гидрогеохимических данных. Последняя осуществляется в настоящее время с использованием разнообразных приемов.

Для выделения аномалий определяется верхний предел значений фоновых концентраций компонентов, который может устанавливаться несколькими способами, основанными на законе распределения химических элементов в подземных водах.

Информация, получаемая при гидрогеохимических исследованиях, систематизируется путем разделения по однородным гидрогеохимическим совокупностям. Характер выборок контролируется однородностью геологических, геохимических и гидрогеологических особенностей. Выборки составляются отдельно для каждой ландшафтно-геохимической зоны, по типам вод с учетом литологических особенностей водовмещающих пород и гидрогеохимической обстановки с целью удобства разделения данных на выборки, для последующей обработки материалов. Результаты гидрогеохимических исследований наносятся на перфокарты. На основании полученных параметров выделяются водные потоки рассеяния зон минерализации, производится гидрогеохимическое районирование и строятся соответствующие карты по отдельным элементам и сводные карты.

В последнее время при составлении гидрогеохимических карт используются методы математической обработки материалов (анализ тренда и др.), позволяющие более точно отбивать границы перспективных участков. Построенная, например, с использованием математических методов карта для Мавринско-Матвеевской зоны на юго-востоке Западной Сибири, существенно не отличаясь от карты, построенной по методике выделения гидрогеохимических аномалий, в то же время позволяет получить ряд очень ценных дополнительных сведений по оконтуриванию зон минерализации (материалы Ю. Г. Копыловой, З. В. Тупчий и др.).

При интерпретации результатов полевых исследований выявляется комплекс основных элементов-индикаторов рудных месторождений и устанавливается характер связи между всеми остальными химическими элементами в природных водах.

При оценке практической значимости гидрогеохимических аномалий используется метод аналогий. Однако до сих пор фактический материал в данном направлении надлежащим образом не проработан и не доведен до уровня создания гидрогеохимических моделей-аналогов. Последние могли бы использоваться в качестве своеобразных эталонов для количественной интерпретации результатов поисковых гидрогеохимических работ. При создании типизированных схем-аналогов наибольший интерес представляют данные по тем аномалиям, которые уже оценены разведочными работами. Разработка методики построения и создание самих эталонов требует проведения термодинамических, статистических и других расчетов, а также моделирования природных условий, что, несомненно, даст дополнительный толчок для дальнейшего развития теоретических основ гидрогеохимического метода поисков.

Недостаточно применяются при интерпретации гидрогеохимических данных методы и закономерности, использующиеся в геохимии для изучения процессов в системе вода—горная порода—живые организмы—органическое вещество—газы, в том числе с учетом состава поровых растворов и микрофлоры. Поэтому большее внимание при гидрогеохимических поисках следует уделять микробиологическим исследованиям.

В практике гидрогеохимических поисков нами с 1964 г. в комплекс гидрогеохимических исследований было включено и микробиологическое изучение природных вод с целью выявления зон активного развития бактерий, способных влиять на геохимические процессы. Кроме того, они позволяют устанавливать зависимость между отдельными физиологическими группами микроорганизмов и макро- и микрокомпонентным составом природных вод.

Начальным этапом микробиологических исследований явилось опробование вод свободного обмена некоторых участков Кольвань-Томской складчатой зоны: Турунтаевского, Барановского, Огнево-Заимского и Лагерносадского.

В результате этих исследований были обнаружены в водах с пониженным значением рН тионовые бактерии *Thiobacillus thioaragus*, *Th. denitrificans*, сульфатовосстанавливающие и кислотоустойчивые тионовые бактерии *Th. thiooxidans* и *Th. ferrooxidans*, которые свидетельствуют о влиянии их на формирование специфического химического состава подземных вод.

Однако, анализируя свободные воды, нельзя еще решить и объяснить все процессы, проходящие в системе горная порода — вода. Для этого необходимо также изучение поровых растворов горных пород с определением в них макро- и микрохимического состава, а также микроорганизмов, открытых нами в этих растворах в 1971 г. Для изучения микрофлоры поровых растворов был впервые применен метод отпрессовывания. При этом определяли гетеротрофные микроорганизмы, растущие на МПА и КАА, и литотрофную микрофлору, участвующую в превращении соединений серы, азота, железа. Последняя группа микроорганизмов, окисляющих различные неорганические вещества, является одним из важных геохимических агентов. С их деятельностью в некоторых случаях связано формирование и разрушение полезных ископаемых, осуществление круговорота элементов. Поэтому к данной группе микроорганизмов в настоящее время проявляют повышенный интерес не только микробиологи, но и геологи.

Не останавливаясь на рассмотрении всех районов, где изучалась микрофлора, приведем некоторые данные по Лагерносадскому участку (г. Томск). В поровых растворах палеозойской коры выветривания, представляющей темно-серыми глинами, обнаружены тионовые бактерии, выщелачивающие сульфиды, в частности пириты разной генерации; обнаружено большое количество микрокомпонентов и высокое их содержание. В самих же глинах содержание данных компонентов находится в пределах кларковых, за исключением титана.

Комплекс микрокомпонентов в поровых растворах темно-серых глинистых образований коры выветривания связан с их высвобождением из пиритов, концентрирующих эти элементы, при окислении пиритов тионовыми бактериями.

С деятельностью же сульфатовосстанавливающих бактерий здесь связано появление выделений самородной серы, которая в изобилии отмечается в виде натечных форм в глинистых образованиях коры выветривания. Приурочена она главным образом к граничной зоне между темно-серыми и серовато-белыми, выщелоченными глинистыми образованиями. Появление самородной серы именно в этой зоне связано, вероятно, с миграцией поровых растворов в нижние зоны отбеленных каолиновых глин, где происходит редукция сульфатов соответствующими бактериями и выделение самородной серы.

Состав подземных вод является гетерогенным, т. е. часть его соединений заимствована из атмосферы, другая — из органических веществ, третья — из горных пород. При этом катионный состав вод, включая микрокомпоненты, определяется прежде всего составом водовмещающих пород, роль которых неуклонно возрастает по мере увеличения времени

взаимодействия воды с горными породами (Шварцев, 1975). Все горные породы по характеру взаимодействия с подземными водами можно разделить на две большие группы: породы с конгруэнтным (карбонаты, сульфаты, хлориды) и инконгруэнтным растворением (алюмосиликаты). Конгруэнтное растворение приводит к полному разрушению кристаллической решетки и переводу в раствор всех содержащихся в ней химических элементов. Поэтому в водах, например, при растворении карбонатов обычно наблюдаются соотношения между элементами, близкие к тем, которые характерны для исходных пород. Количество же элементов в растворе пропорционально объему разрушенных пород. Ситуация резко изменяется, если имеются какие-либо геохимические барьеры.

Значительно сложнее картина при инконгруэнтном растворении алюмосиликатов, которое сопровождается выщелачиванием подвижных катионов из породы и образованием глинистых продуктов. В этих случаях все микрокомпоненты, содержащиеся в исходной породе, либо переходят в раствор аналогично кальцию, натрию и другим подвижным катионам, либо связываются продуктами выветривания подобно кремнию, алюминию, железу. Чаще всего наблюдается и то и другое, т. е. одна часть рассеянного элемента оказывается в растворе, другая — в продуктах выветривания. Поэтому в данном случае нарушается пропорция между содержанием элементов в исходной породе и формирующемся растворе, между различными элементами раствора, между общей минерализацией воды и содержанием в ней микрокомпонентов. Последнее, в частности, было подтверждено специальными исследованиями (Методическое руководство..., 1973).

Степень концентрирования отдельно взятого химического элемента в растворе определяется его внутренними свойствами, характером геохимической среды, составом вторичных продуктов и т. д. Но в любом случае она представляет собой разность между составом разрушаемых пород и продуктов их выветривания (Шварцев, 1975.) Это последнее обстоятельство позволяет, несмотря на сложность природных систем, находить соотношение между составом разрушаемых пород и составом формирующихся подземных вод, если известен характер вторичных продуктов.

Определение состава вторичных минералов — задача также не простая, так как необходимо знать, какие из них ассоциируют с исследуемым раствором, а какие образовались раньше в другой геохимической обстановке. Однако в каждом конкретном случае и эта задача может быть решена путем изучения современных минеральных новообразований, установления степени равновесности воды с продуктами выветривания термодинамическими методами (Гаррелс, Крайст, 1968), а также изучения характера геохимической среды. Выяснив таким путем состав вторичных образований, которые ассоциируют с исследуемым раствором, можно рассчитать теоретический состав последнего и сравнить его с фактически наблюдаемым. Если рассчитанное значение окажется выше наблюдаемого, то это говорит о дополнительных источниках обогащения воды химическими элементами, среди которых в первую очередь возможно влияние рудных тел. Наоборот, если теоретическое значение окажется ниже фактического, то имеются неучтенные процессы, высаживающие элемент из раствора на геохимических барьерах.

Следовательно, предлагаемый путь интерпретации гидрогеохимических данных базируется не на сравнительном анализе содержаний элементов в водах исковой точки относительно какого-то местного фона, устанавливаемого статистическими методами, а на выделении «избыточных» количеств элемента в растворе относительно разрушаемого водой объема пород, рассчитываемого на основе законов формирования их химического состава. Основное преимущество такого подхода состоит в том, что в этом случае можно определить аномальность воды каждого



отдельно взятого родника, ручья или скважины независимо от того, имеются ли анализы вод других аналогичных родников или они отсутствуют. Это особенно важно, когда в районе исследований имеются отдельные родники глубоких вод или скважины.

Применение предлагаемого генетического метода интерпретации данных гидрогеохимических поисков возможно, если известно, в каких породах происходит формирование микрокомпонентного состава воды, содержание в них рассеянных элементов, направленность разрушения породы водой, соотношение элементов в твердой и жидкой фазах. Такие данные могут быть получены при детальном исследовании, при которых наиболее целесообразно и применять метод «избыточных» элементов.

Предлагаемый метод ни в коем случае не исключает традиционных приемов интерпретации результатов гидрогеохимических поисков, а является их дополнением и логическим развитием теории формирования водных потоков рассеяния. Этот метод целесообразно применять там, где традиционные приемы по тем или иным причинам не могут быть использованы, не дают положительных результатов, или в случае необходимости выяснения природы гидрогеохимической аномалии, выделенной традиционными методами.

Таким образом, арсенал возможных приемов интерпретации результатов гидрогеохимических исследований далеко не исчерпан и в этом направлении требуется продолжение научно-исследовательских работ, целью которых должно быть усовершенствование методики интерпретации результатов полевых исследований, что в конечном итоге должно резко сократить число выделяемых аномальных участков.

Основными первоочередными задачами, стоящими перед гидрогеохимическими поисками, по нашему мнению, являются следующие.

Прежде всего необходима более углубленная разработка теории формирования водных потоков рассеяния зон минерализации с учетом законов взаимодействия в системе вода — горная порода, влияния органического вещества, микрофлоры и газов. Эта разработка должна осуществляться на основе использования общих закономерностей образования и существования основных геохимических разновидностей подземных вод. Последние могут быть выделены с использованием данных по величинам Eh, pH, общей минерализации, общего химического состава, органического вещества, газов. Весьма интересно при выделении этих типов использовать микрофлору как комплексного показателя. Не исключено, что удастся выделять геохимические разновидности подземных вод по наличию и количественному соотношению основных групп микроорганизмов.

Одной из важных задач является дальнейшая разработка методики интерпретации результатов геохимических поисков с использованием математических и физико-химических методов, особенно с целью прогнозирования средних и крупных по запасам месторождений. С этой целью целесообразно практиковать моделирование гидрогеохимической зональности водных потоков рассеяния, используя при этом как данные по составу воды, так и гидродинамические характеристики.

Гидрогеохимическое моделирование должно проводиться таким образом, чтобы изучить взаимодействие воды с горными породами на всем протяжении формирования водного потока рассеяния, а не только в той части, где имеется рудная минерализация. При этом важно учитывать особенности растворения и выщелачивания каждого типа горных пород в условиях конкретного характера геохимической обстановки.

Назревшей, весьма необходимой является работа по проведению среднемасштабного гидрогеохимического районирования территорий, перспективных на рудные месторождения. Это позволит более дифференцированно подойти к выбору первоочередных площадей гидрогеохимических поисков, что безусловно повысит их эффективность.

Применительно к конкретным районам необходимо разработать рекомендации по комплексированию гидрогеохимического метода с другими поисковыми геохимическими методами для средних и крупных масштабов.

В данный период особенно наглядно выступает необходимость, подтвержденная многолетней практикой, считать гидрогеохимические поиски самостоятельным видом работ, а не попутным опробованием. Попутное опробование ведется, как правило, исполнителями невысокой квалификации, что приводит к выделению массы аномалий, практическую значимость которых эти исполнители оценить чаще всего не в состоянии. Для предварительной оценки и промышленной ценности этих аномалий необходимо создавать специализированные гидрогеохимические отряды. Будучи укомплектованными квалифицированными специалистами, они могли бы также совершенствовать методику рассматриваемых поисков и интерпретации результатов. Подготовка специалистов-гидрогеохимиков с поисковым уклоном может осуществляться в ряде вузов страны, в том числе кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии Томского политехнического института. Нужна система по повышению квалификации кадров гидрогеохимиков и геохимиков по гидрогеохимии.

С целью более широкого внедрения гидрогеохимических поисков в практику геологических работ следует наряду с дальнейшей разработкой их теоретических основ и решением вопроса с подготовкой специалистов создавать специализированные методические руководства и инструкции конкретно для территории работ основных геологических управлений с учетом геологоструктурных ландшафтных особенностей.

Неоходимо подчеркнуть, что, по нашему мнению, опытный характер применения гидрогеохимического метода поисков должен быть закончен и метод должен использоваться при всех геологопоисковых работах и опираться при этом на комплекс наиболее подвижных химических элементов применительно к конкретным природным условиям. Стратегическим направлением является использование гидрогеохимического метода при мелко- и среднемасштабных поисках с уточнением комплексирования их с другими поисковыми методами.

Гидрогеохимический метод поисков должен получить широкое внедрение в настоящее время потому, что иссякают так называемые «легко открываемые» месторождения, залегающие на небольшой глубине. Как известно, этот метод позволяет выявлять «слепые» месторождения полезных ископаемых и перекрытые мощной толщей рыхлых образований. Изучая подземные воды, представляется возможность выявлять месторождения полезных ископаемых на значительной глубине.

С. Г. ПЕТРОВСКАЯ, Б. П. САНИН, А. М. СПИРИДОНОВ, Н. А. ЩЕРБАК

### **ЗНАЧЕНИЕ И МЕСТО ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В КОМПЛЕКСЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ В РАЙОНАХ ДЕЙСТВУЮЩИХ РУДНИКОВ**

*(на примере Джидинского рудного района)*

На территории с длительной историей проведения эксплуатационных и разведочных работ, как правило, основные закономерности размещения оруденения определены. В этой связи эффективность дальнейших поисково-разведочных работ, по нашему мнению, во многом зависит от применения комплекса геохимических методов. Работами на рудных полях эксплуатируемых месторождений разных генетических типов (скар-

ново-галенит-сфалеритового, золото-серебряного, золото-галенит-сфалеритового, кварц-молибденитового и др.) установлено, что геохимические методы поисков являются одними из наиболее эффективных и прогрессивных средств выявления промышленного оруденения. Применение их в комплексе с другими геологическими и геофизическими методами позволяет обнаруживать оруденение при меньших объемах горных и буровых работ.

Следует отметить, что в свое время создано неправильное представление о якобы малой эффективности геохимических методов поисков на площадях с детальной геологической изученностью. Это было связано, вероятно, с тем, что эти методы в указанных регионах применялись на ранних этапах их внедрения. Увеличение результативности геохимических исследований в дальнейшем изменило существовавшие представления.

Наращивание балансовых запасов редкометалльных руд для действующих горнорудных предприятий находится в зависимости от правильности применения геохимических исследований при геологическом доизучении территории старых горнорудных районов. На всех стадиях работ большое значение имеют также геофизические работы. Необходимое сочетание геохимических и геофизических методов при поисково-оценочных работах позволяет объемно представлять изучаемые объекты и по-новому оценивать их перспективность.

Рассматриваемая площадь находится в юго-западной части Джидинского рудного района (Западное Забайкалье) и характеризуется широким развитием геосинклинальных вулканогенных, осадочных и интрузивных формаций палеозойского возраста при подчиненной роли более молодых образований. Последние представлены мезозойскими вулканогенными отложениями кислого, реже щелочного и основного составов, малыми интрузиями субщелочных гранитоидов и дайками разнообразного петрографического состава. Джидинский рудный район характеризуется широким развитием разнотипной молибден-вольфрамовой минерализации, образование которой обусловливается процессами мезозойской активизации (Щеглов, 1966, 1968). Здесь практически все известные месторождения и рудопоявления молибдена и вольфрама, среди которых промышленное значение имеют грейзеново-гидротермальный и гидротермальный типы, связываются с формированием гранитоидных интрузий гуджирского комплекса (Игнатович, 1965; Смолянский, 1973; Онтюев, 1974).

В тектоническом отношении рассматриваемая площадь является частью сложно построенной палеозойской структуры Джидинского синклинория (Смолянский, 1963, 1973). Геосинклинальная фаза развития этой структуры завершена в процессе каледонского тектогенеза, но в ходе всей последующей геологической истории, вплоть до позднего мезозоя — начала кайнозоя, она неоднократно испытывала достаточно мощные всплески активизации тектоно-магматических процессов.

Складчатая структура синклинория характеризуется общим северо-западным простиранием с крутыми углами падения и нередко заметным опрокинутым на северо-восток залеганием вулканогенных и осадочных отложений кембрия. Северо-западное простирание преобладает также для зон разрывных нарушений, сформированных в процессе каледонского тектогенеза, и среди них — зон глубинных разломов, которые контролируют пространственное положение поясов развития ультраосновных пород, ряда интрузивных гранитоидных палеозойских массивов, цепочек мезозойских интрузий.

Широко развиты на площади разломы субширотного и северо-восточного направлений, которые сформировались на этапах посторогенной активизации (Батурина, 1970). Они отчетливо секут складчатые и разрывные структуры геосинклинальной фазы развития и сопровождаются

значительными смещениями последних как в плане, так и по вертикали, определяя сложный блоковый характер строения Джидинского синклинория. Пространственная приуроченность к ним различных по возрасту геологических образований, а также соответствие им ориентировки элементов современного рельефа свидетельствуют о неоднократном возобновлении тектонической активности разломов на различных этапах активизации.

Джидинский район довольно хорошо изучен. Здесь разведан ряд молибденовых, вольфрамовых и других месторождений и рудопроявлений. Некоторые из них частично или полностью отработаны. Вся территория покрыта среднемасштабной геологической съемкой, а рудные поля — съемкой крупных масштабов. Проводились геофизические и геологопоисковые работы с применением различных методов, в том числе шлиховой съемки. Из геохимических работ почти на всей площади выполнены литохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния.

Однако нельзя утверждать, что рудные перспективы района ограничиваются известными месторождениями. Вероятно, имеются скрытые месторождения и по крайней мере на части площади (преимущественно залесенной) возможно нахождение новых, выходящих на современный уровень эрозионного среза.

Исходя из сказанного, следует сделать вывод, что для оценки рудоносности и выделения перспективных площадей необходимо использовать критерии, которые выработаны или вырабатываются комплексом методов на разных стадиях поисково-разведочных работ.

На стадии мелкомасштабных исследований при обобщении материалов гравиметрических съемок масштаба 1:200 000, выполненных в Джидинском рудном районе Бурятским ГУ, и геологической интерпретации результатов этих съемок были выделены зоны поднятий и прогибов, образующих систему блоков (рис. 1). Их площадь составляет от сотен

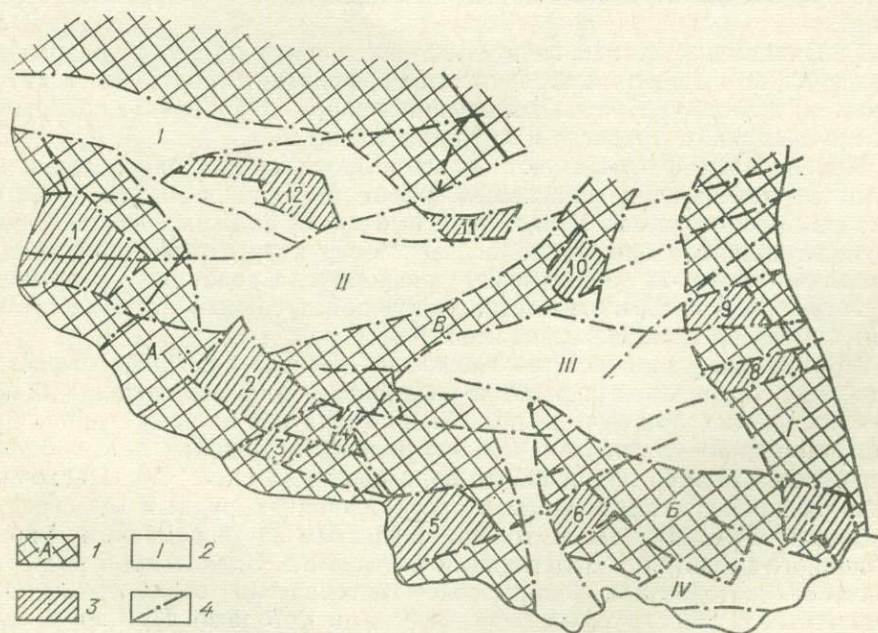


Рис. 1. Схема блокового строения района.

1, 2 — блоковые структуры второго порядка (1 — поднятия: А — Хангайское, Б — Уленга-Буруктайское, В — Дархинтуйское, Г — Буруктай-Улегчинское; 2 — прогибы: 1 — Верхнеджидинский, II — Северо-Западный, III — Центральный, IV — Юго-Восточный). 3 — блоковые структуры третьего порядка (поднятия: 1 — Нашитуйское, 2 — Кударинское, 3 — Айнекское, 4 — Унтатское, 5 — Модонкульское, 6 — Уленгинское, 7 — Буруктайское, 8 — Среднеулейгинское, 9 — Верхнеулейгинское, 10 — Хамнейское, 11 — Мылинское, 12 — Хурлийское). 4 — разломы.

до нескольких тысяч квадратных километров. Внутри них выделяются блоки более высоких порядков площадью от сотен до десятков квадратных километров, которые в свою очередь достаточно надежно выявляются по данным магнитометрических и гравиметрических съемок на стадиях мелко- и среднемасштабных исследований. При дальнейшей детализации комплексом геофизических методов выделяются рудолокализирующие структуры. В частности, по данным гравиметрической съемки, все известные в Джидинском районе проявления редкометального оруденения пространственно приурочены к зонам пониженных значений силы тяжести, которые интерпретируются как участки глыбовых поднятий. При этом большая часть рудных объектов локализуется вдоль краевых частей поднятых блоков. Применение геофизических методов на площади 600 км<sup>2</sup> позволило установить, что размещение редкометальных рудопроявлений, малых интрузий гуджирского комплекса контролируется зонами субширотного простираения, а локализация их определяется узлами пересечения этих разломов зонами трещиноватости субмеридионального направления и нередко приурочивается к зонам экзоконтактов крупных массивов палеозойских гранитоидов. Данные гравиметрии и магниторазведки, наряду с картированием зон нарушений, направления и амплитуды смещений блоков, дают представление о характере контактов и морфологии скрытых продолжений крупных массивов гранитоидов под толщей вмещающих пород.

Характерная для всего Джидинского рудного района пространственная приуроченность интрузий гуджирского комплекса и рудных редкометальных объектов к краевым частям блоковых структур поднятий, а также к зонам экзо- и эндоконтактов палеозойских интрузивных массивов выдвинула вопрос о систематизации не только мезозойских, но и палеозойских интрузий по происхождению, условиям формирования и морфологии массивов, что имеет для данного района немаловажное значение при оценке перспективности площадей на редкометальное оруденение.

Геофизические методы позволяют фиксировать не только разрывные нарушения, но и выделять особенности морфологии скрытой части интрузивных массивов, что очень важно при выборе направления поисково-разведочных работ среднего и крупного масштабов.

Приведенные факты имеют большое значение для определения направления дальнейших поисковых работ и прежде всего — выбора площадей исследований. Ими в первую очередь должны являться краевые части поднятых блоков геологической структуры, характеризующиеся наличием узлов пересечения разноориентированных разрывных структур, среди которых представляется обязательным наличие субширотных и северо-западных разломов.

Применение комплекса геохимических методов повышает эффективность геологоразведочных работ и увеличивает информативность геофизических данных. Эти методы должны применяться на всех стадиях изучения площадей — от первоначальных поисков, имеющих целью оценку рудоносности блоков поднятий, до поисково-оценочных и разведочных работ, связанных с выявлением и прослеживанием рудных тел с редкометальным оруденением, не только вскрытым на современном уровне эрозионного среза, но и залегающим на глубине. Значительна роль геохимических методов при разбраковке тектонически ослабленных зон, выявляемых и трассируемых геофизическими методами. При среднемасштабном структурном районировании территории геохимические методы позволяют выделять рудоносные зоны, характеризовать потенциальную рудоносность магматических комплексов, выделять разнотипную минерализацию. С помощью геохимических методов в пределах рудоносных зон устанавливаются критерии распознавания наиболее перспективных участков на редкометальное оруденение.

Элементный состав потоков рассеяния

Тип оруденения	Среднее содержание элементов (%; Au и Ag — г/т)										
	Mo	W	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Ni	Bi	B	
Кварц-молибденитовый (штокверковый)	0,0023	0,00020	0,0060	0,08	0,0014	0,0078	0,0036	0,0032	0,00015	0,0012	
Грейзеново-молибденитовый	0,0011	—	0,0020	0,03	0,0022	0,0050	0,0026	0,0010	—	0,0008	
Скарново-молибденитовый	0,0006	0,00005	0,0008	0,04	0,0020	0,0075	0,0024	0,0036	—	0,0012	
Кварц-сульфидный (с золотом)	0,0001	—	0,053	0,02	0,0010	0,0030	0,0033	0,0350	—	0,0015	
Кварцевый (с золотом)	0,0001	0,00001	0,008	—	0,0010	0,0033	0,0020	0,0026	—	0,0017	

Примечание. Прочерки — содержание ниже чувствительности анализа.

На стадии общих поисков, когда на выделенных по результатам гравиметрических и магнитометрических съемок (масштаба 1:100 000 — 1:50 000) площадях блоков поднятий производится оценка их рудоносности, целесообразно проводить геохимические поиски по потокам рассеяния. Опыт проведения подобных поисков на площади Джидинского рудного поля показывает возможности выявления перспективных площадей даже в рудном районе с известными рудопроявлениями и месторождениями.

Поиски по потокам рассеяния, проведенные на площади 400 км<sup>2</sup>, преследовали цели: а) показать, насколько потоки рассеяния отражают картину распределения известных месторождений и рудопроявлений; б) продемонстрировать дополнительные возможности обнаружения новых перспективных участков путем применения данного метода. На рассматриваемой площади расположены известные молибденовые и золотые месторождения и рудопроявления. Для различных типов молибденового оруденения характерен близкий комплекс элементов: Mo, W, Cu, Ag, Pb, Bi, F, Zn и др. Различаются они преимущественно по уровню концентраций перечисленных элементов. В оруденении скарнового типа относительно грейзенового увеличивается иногда роль Ag, B, Zn. Золотые руды отличаются заметно повышенными концентрациями B, Au, Ni. В кварц-сульфидном типе относительно кварцевого увеличено содержание двух последних элементов. Потоки рассеяния по элементному составу близки к обусловившему их типу оруденения (табл. 1). В соответствии с последним наблюдается заметное повышение концентраций основных промышленно ценных рудных компонентов (в данном случае молибдена и золота). Характерной чертой потоков рассеяния молибденового оруденения является относительно повышенное содержание молибдена и наличие вольфрама и висмута, а особенно потоков рассеяния золотого оруденения — аномальных концентраций золота, никеля, бора.

В табл. 2 приведены геохимические характеристики выявленных аномалий. Как видно, по элементному составу и уровням концентраций среди

Коэффициенты контрастности и ассоциации элементов в аномалиях золота и молибдена

Аномалия	Коэффициент контрастности										Ассоциации элементов	
	Au	Ag	Pb	Ni	Bi	Mo	B	W	Cu	Zn		
Золото	1	53	2	1,3	13,2	(—)*	0,6	1,0	(—)	1	05	Au[Ni] (Ag)**
	2	10	(—)	0,8	0,8	(—)	0,4	0,7	(—)	1	06	Au(Cu—Ni—Pb)
	3	22	2	1,3	1,7	(—)	1,2	2,1	1,0	1,5	1,4	Au[B—Ag—Ni] (Pb)
	4	13	7	1,6	1,2	30	6,0	1,0	2,5	1,5	1	Bi—Au[Ag—Mo] (W)
	5	10	5	2,1	3,0	(—)	4,4	2,2	1,0	1,9	2,5	Au—Ag[Mo—Ni] (B—Pb)
Молибден	1	6	8	1,5	1,2	15	9,0	0,8	2,1	1,6	1,3	Bi—Mo[Ag—Au—W] (Cu—Pb)
	2—3	2	3	2,4	0,4	(—)	4,4	0,5	(—)	1,2	0,9	Mo—Ag[Pb] (Au)
	4	1	4	2,2	1,4	(—)	2,5	0,8	0,5	1,2	1,3	Ag—Mo[Pb]
	5	3	3	1,7	1,9	(—)	3,2	1,5	1,0	2,2	1,7	Mo—Au—Ag[Ni—Pb]

\* Содержание элементов ниже чувствительности анализа.

\*\* Au—Mo—главные элементы, [Ni—Ag]—второстепенные элементы, (Pb)—элементы-примеси.

них выделяются две группы: первая соответствует источникам с молибденовой минерализацией, а вторая — с золотой. В пределах каждой группы в свою очередь выделяются аномалии, которые, возможно, обязаны своим появлением комплексному типу оруденения (например, аномалии Mo № 5, Au № 5 с повышенными содержаниями Zn, Cu, В). Кроме того, в ряде аномалий появляются несвойственные данному типу оруденения элементы (например, Вi в аномалии Au № 4). Появление последнего здесь можно объяснить пространственной близостью рудопроявления молибдена, для которого характерен Вi.

Проведенные исследования свидетельствуют о высокой эффективности применения метода поисков по потокам рассеяния для выделения перспективных участков на редкометальное и золотое оруденение (даже на территории, покрытой геологической съемкой 1:50 000—1:10 000 масштабов). Полученные результаты позволили сделать следующие выводы.

1. Потоки рассеяния содержат существенную информацию о характере оруденения.

2. Концентрации рудных элементов в потоках рассеяния в 5—10 и более раз ниже, чем в соответствующих коренных источниках. Поэтому фиксирование рудных элементов в аллювиальных отложениях даже в небольших количествах является положительным признаком.

3. Элементный состав потоков в общих чертах отражает изменения в составе руд и позволяет в отдельных случаях судить о рудной зональности.

4. Пространственному разобщению молибденового и золотого оруденения соответствует и разделение Mo и Au в потоках рассеяния.

5. Значительные рудопроявления и месторождения нередко фиксируются более крупными и контрастными потоками рассеяния.

Большие возможности для увеличения информативности получаемых результатов открывает применение современных методик обработки материала. В полной мере к ним относится метод построения и анализа получаемых с помощью ЭВМ полиэлементных геохимических карт (Евдокимова, Китаев, 1973), который был использован при изучении потоков на данной территории.

Выделенные аномалии характеризуются не только набором главных рудообразующих элементов, закономерности распределения которых в потоках рассмотрены выше, но также комплексом второстепенных. По количеству выделенных классов аномальных концентраций элементов можно судить о сложности природы аномалий. Расшифровка всех ассоциаций в дальнейшем, вероятно, позволит более достоверно различать потоки рассеяния разных типов минерализации.

Практика геохимических съемок по вторичным ореолам, которые применяются на стадиях первоначальных и детальных поисков в масштабах 1:25 000 и 1:10 000, показала, что в условиях Джидинского рудного района практически все проявления редкометального оруденения фиксируются литохимическими ореолами рассеяния молибдена, фтора, меди, местами также вольфрама, олова и бериллия. При этом на водораздельных участках и на склонах южной и юго-западной экспозиций отмечаются обычно открытые, а на склонах северной и северо-восточной экспозиций, а также в низах склонов — закрытые и полузакрытые ореолы. Строение вторичных ореолов на северо-восточном склоне приводораздельной части иллюстрирует рис. 2. Как видно, по уровням концентраций ореолы основных элементов (Mo, W, Cu) разделяются на несколько обогащенных зон (5 — для Mo, 3 — для W и 4 — для Cu). Интенсивно обогащенная зона начинается у рудных тел и вытягивается вниз по склону от них на расстояние 5—8 м. Мощность ее при этом составляет 0,1—0,2 м. Несмотря на близкое расположение рудных тел друг от друга, каждое из них фиксируется самостоятельно обогащенной зоной вторичного ореола молибдена. Вольфрам и медь образуют



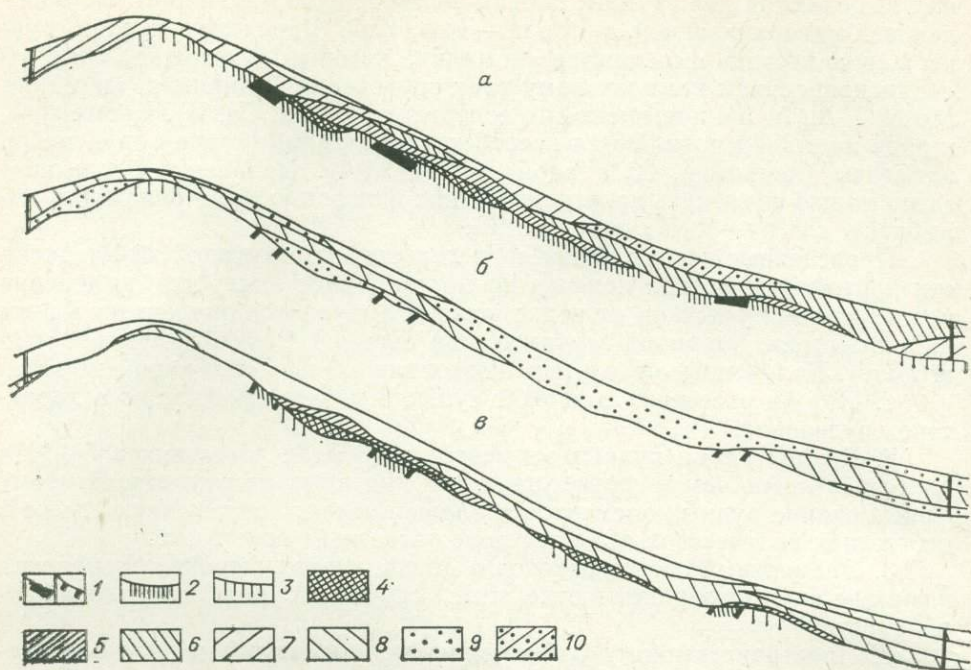


Рис. 2. Распределение молибдена (а), вольфрама (б) и меди (в) в рыхлом покрове.  
 1 — молибденовые рудные тела. 2, 3 — первичные ореолы с содержанием элементов  $n \times 10^{-3}\%$ : 2 — Mo — (6—10), Cu — (20—30); 3 — Mo — (4), W (1—5), Cu — (10). 4—10 — вторичные ореолы с содержанием элементов  $n \times 10^{-3}\%$ : 4 — Mo — (40—100), W — (10—30), Cu — (10—40); 5 — Mo — (20—30), Cu — (6—8); 6 — Mo — (6—10); 7 — Mo — (4); 8 — W — (1—8), Cu — (3—4); 9 — W — (0,3); 10 — Mo — (3).

суммарный ореол. Такие же суммарные ореолы характерны для молибдена, вольфрама, меди и в верхних горизонтах (ближе к дневной поверхности). Рудные тела, расположенные сверху склона, отмечаются в нижней его части ореолом с несколько повышенными содержаниями молибдена. В целом вторичный ореол молибдена на поверхности фиксирует зону рудных тел и их первичных ореолов. Ореолы вольфрама и меди в верхних горизонтах значительно ослаблены и являются полузакрытыми.

Дефлюкционный характер ореолов определяет необходимость изменения глубины пробоотбора для различных участков склонов (от 0,25 до 0,5—0,6 м и более).

Весьма важной является проблема взаимозависимости выявленных геохимической съемкой вторичных ореолов с первичными и непосредственно с оруденением. В этой связи немаловажную информацию дают математические методы, в том числе примененный кластер-анализ. На рис. 3 можно видеть, как при переходе от фракции к фракции изменяются величины корреляционной связи рудных элементов. При этом относительно тесные их взаимосвязи, существовавшие в коренном источнике, в ряде случаев сохраняются и во вторичных ореолах (например, Pb — Ag — Bi; Mo — Cu).

При крупномасштабных поисково-разведочных работах определяющими являются литохимические поиски по первичным ореолам, преследующие две главные цели:

1. Установление первичных ореолов рудных полей, месторождений и рудных тел. Опыт исследований по данному направлению (Таусон и др., 1968; Петровская, 1970; Санин, 1973; Таусон, Гундобин, 1976; и др.) свидетельствует о существовании полигенных ореолов, различающихся не только размерами, но, как правило, и генезисом.

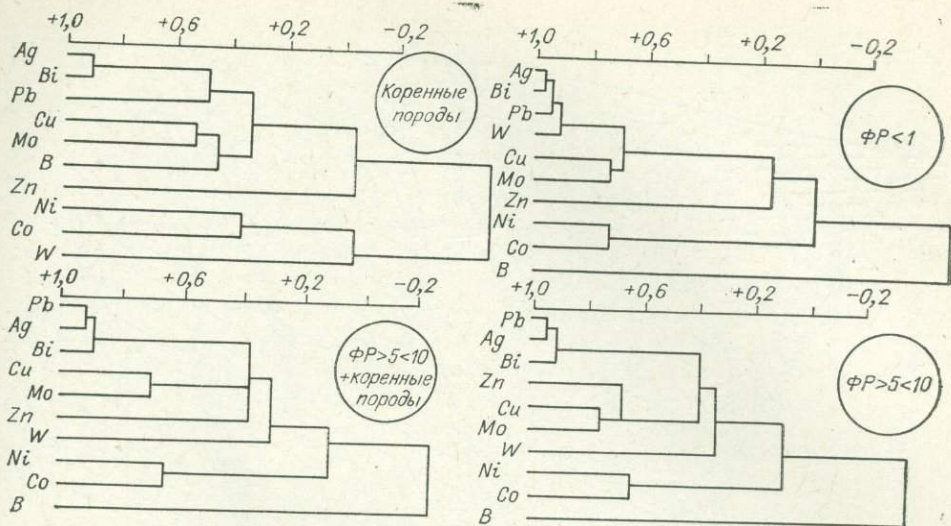


Рис. 3. Степень корреляционной связи (метод кластер-анализа  $R$ -типа) между переменными в коренных породах и разных фракциях рыхлых отложений (верхняя линия — шкала коэффициентов корреляции между переменными).

2. Выявление геохимической зональности рудных тел и месторождений как основа обнаружения скрытого оруденения и оценки его качества.

Исследования в Джидинском районе показывают наличие двух промышленных типов молибденовых месторождений: пневматолито-гидротермального и гидротермального. Для первого типа характерно наличие в ореолах Mo, W, Be, Bi; для второго — Mo, W, Cu, B, Ag. F свойствен обоим типам (несколько больше первому). Были выявлены геохимические особенности месторождений, расположенных в разных структурно-металлогенических зонах. Для гранитов и ореолов месторождений Джидинской зоны в первую очередь характерны W, Be, Bi; для Джидотской зоны — Cu, B; для Чемуртаевской — Cu (восточная часть площади). В то же время в целом состав типоморфных элементов-индикаторов молибденового оруденения района близок между собой и выражается ассоциацией элементов Mo — W — Cu — Ag — F. При разбраковке аномалий не следует забывать о существовании разных типов месторождений.

Эффективность геохимических поисков резко возрастает, если обработка аналитических данных выполняется своевременно и с применением ЭВМ. На рис. 4 и в табл. 3 показан пример машинной обработки геохимических данных с получением изображений геохимических полей в виде полиэлементных карт (карт классов или ассоциаций химических элементов).

Как видно, в данном вертикальном срезе рудоносного штокверка выделяются три зоны.

Центральная представляет собой зону максимального развития молибденового оруденения и наиболее мощных ореолов молибдена. Она характеризуется, с одной стороны, ассоциацией элементов (Mo, W, Cu, Pb, Ag, Li, Sn), в которой главную роль играет молибден с наиболее высоким (100) коэффициентом контрастности из всех представленных на данном разрезе его классов и, с другой стороны, появлением таких классов, в которых довольно устойчиво сохраняется ранговый порядок коэффициентов контрастности главных рудных элементов (Mo — W — Cu — Pb, Ag). Контрастность молибдена намного превышает контрастность остальных элементов. Указанная группа классов характеризует главную,

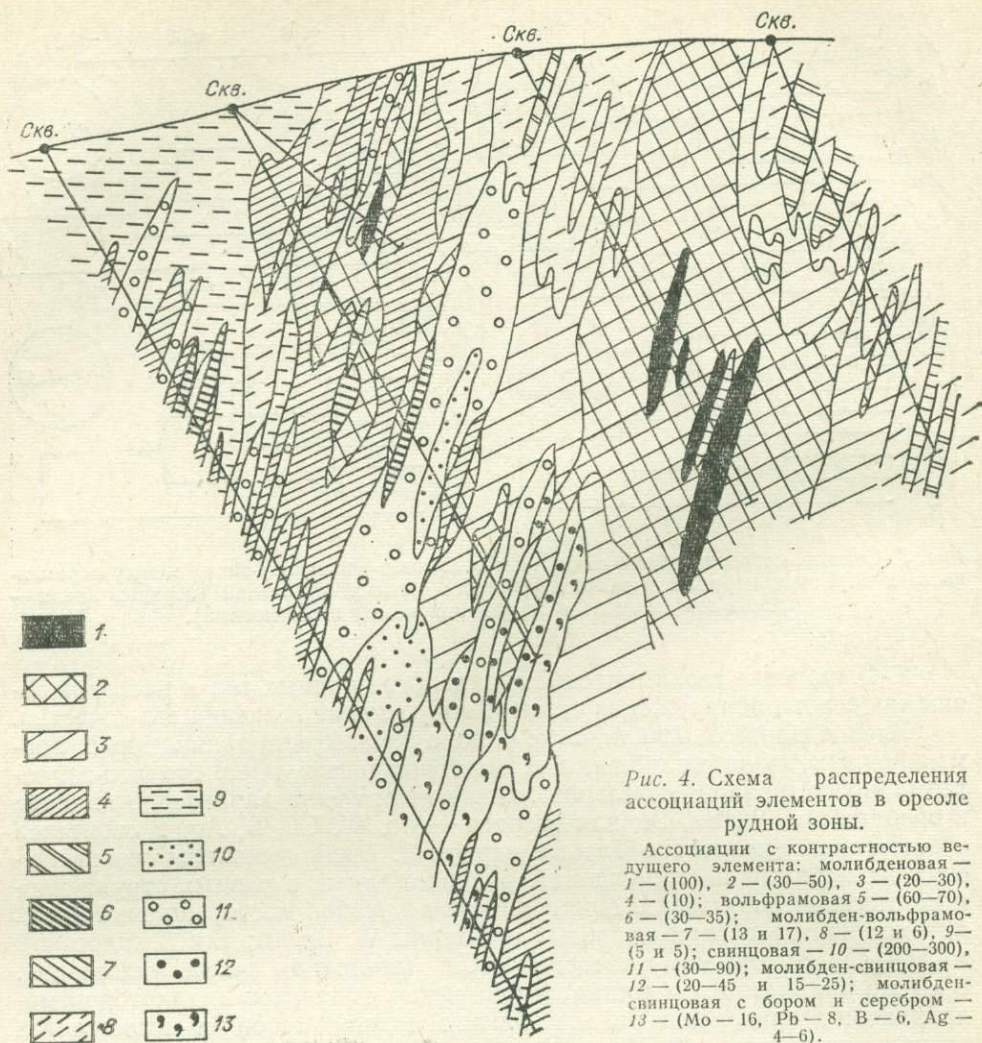


Рис. 4. Схема распределения ассоциаций элементов в ореоле рудной зоны.

Ассоциации с контрастностью ведущего элемента: молибденовая — 1 — (100), 2 — (30—50), 3 — (20—30), 4 — (10); вольфрамовая 5 — (60—70), 6 — (30—35); молибден-вольфрамовая — 7 — (13 и 17), 8 — (12 и 6), 9 — (5 и 5); свинцовая — 10 — (200—300), 11 — (30—90); молибден-свинцовая — 12 — (20—45 и 15—25); молибден-свинцовая с бором и серебром — 13 — (Mo — 16, Pb — 8, В — 6, Ag — 4—6).

кварц-молибденитовую стадию гидротермального процесса на месторождении (см. рис. 4, позиции 1, 2, 3 и частично 4). Группы классов постепенно сменяют друг друга в вертикальном направлении при движении от уровня оруденения вверх: от 1 к 2—3 (см. табл. 3) уменьшается роль Mo и W, а увеличивается значение Cu и Ag.

Для верхней зоны характерно появление классов элементов, где преобладает W, понижается роль Mo, возрастает доля Cu, Ag, Zn, частично Co, иногда появляется Be. Эта группа классов характеризует преимущественно вторую стадию рудного процесса — кварц-шеелитовую (см. рис. 4, позиции 5, 6).

Третья зона, выделяемая в центре разреза, имеет тенденцию расширяться в низах разреза. Она представлена ассоциациями, в которых наибольшей контрастностью обладают Pb и Mo (см. рис. 4, позиции 10, 11). В этой же зоне появляются классы, в которых значительное место принадлежит В, частичное — Ag и Zn.

Ассоциация элементов, где по контрастности резко превалирует Pb и в отдельных участках появляются В, As, Bi (см. рис. 4, позиции 10, 11), характеризует полиметаллическую стадию. Кроме того, выделяется ассоциация, тяготеющая в рассматриваемом случае к низам разреза; она

## Ассоциации элементов в разрезе рудного штокерка

Номера ассоциаций, соответствующие рис. 4	Элементы и контрастности их содержаний										
1	Mo 100	W 6,6	Cu 4,6	Pb 2,6	Ag 2,3	Li 2,5	Sn 2,0				
2	Mo 30—50	W 4,5—6,9	Cu 3,1—4,4	Pb 2,5—3,8	Ag 2,7—3,0	/Li 2,7—3,0	Be/* 2—1				
3	Mo 20—30	W 6	Cu 5,5	Ag 4,8	Pb 3,8	/Co/ 2,5	B 2,0				
4	Mo 9,5	W 3,6	Cu 3,1	Ag 2,8	/Li/ 2,0						
5	W 60—70	Mo 12	Cu 11	Ag 5,9	/Co/ 2,3	Zn 2,1					
6	W 30—35	Mo 11	Cu 8—11	Ag 4,1—6,7	/Co/ 2,7—3,0	Zn (—)—2,8	/Be 2,8	Li 2,1	Mn/ 2,3		
7	Mo 43	W 17	Cu 5	Pb 3,5	/Sn/ 2,4	Ag 2					
8	Mo 12	W 6	Cu 6	Ag 4,5	/Co 2,2	Ni/ 2,5					
9	Mo 5	W 5	Cu 3	Ag 3,0	Pb 2,6	/Co 2,2	Ni/ 2,1	Zn 2			
10	Pb 200—300	Mo 22—37	W 5—7	Cu 6—7	/Bi/ (—)—5	Ag (—)—4,8	B (—)—3,3				
11	Pb 30—90	Mo 14—23	Ag 5—27	Zn 2,3—5,0	W 4—5	B (—)—3,4	Cu 2,8—3	/Li (—)—2	As (—)—3	Sn/ (—)—2	
11 <sup>a</sup>	Pb 37	Ag 27	Mo 23	W 5	Zn 5	Cu 3	As 3	Li 2	Sn 2		
12	Mo 19—45	Pb 14—23	Ag 6—10	W 8	Li 7	Cu 4—5	/As/ 6	B 5	/Li 3	Co 2	Bi/ 2
13	Mo 13—18	Pb 3—8	B 4—7	Ag 3—6	W 2,7—5	Zn 2,2—3					

Примечание. В квадратных скобках — элемент присутствует непостоянно, в круглых — значение содержаний ниже предела чувствительности анализа.

характеризует минерализацию, которая развивается в грейзенизированных гранитах (см. рис. 4, позиция 13).

Таким образом, вверх от уровня максимального оруденения постепенно меняется относительное количество элементов, происходит последовательная их смена в ассоциациях. В сторону надрудных интервалов прослеживается последовательный ряд основных элементов  $Mo - W - Cu - Ag$ . Из этого ряда зональности исключаются элементы, характеризующие третью зону ( $Pb, Zn, V$ ), которая в иллюстрируемом разрезе располагается на нижних уровнях. В то же время на месторождении имеются данные, свидетельствующие о том, что указанная зона появляется в центре и верхних частях разреза. Это является показателем того, что структурное положение образований карбонатно-полиметаллической стадии, характеризуемой  $Pb, Zn, V$ , бывает различным. Поэтому данные элементы в ряду зональности для прогнозно-поисковых целей использовать нужно очень осторожно, учитывая и другие факторы. Наиболее надежными являются элементы, типоморфные для молибденового оруденения и характеризующие кварц-молибденитовую стадию или наиболее близкую к ней по времени формирования кварц-шеелитовую.

При анализе распределения элементов следует еще подчеркнуть следующее. Каждый из рассмотренных главных рудных элементов является проходящим в ассоциациях. На схеме ассоциаций видно, что в целом выделяются зоны, закономерно сменяющие друг друга в вертикальном направлении. Однако при рассмотрении деталей структуры ореолов можно увидеть некоторые противоречия в распределении классов элементов. Так, в левой части разреза класс 6 ( $W$ ) располагается на более низкой гипсометрической отметке, чем 1 ( $Mo$ ), или класс 11 ( $Pb$ ) оказывается на одном уровне с 1 ( $Mo$ ); площади разных классов перекрывают друг друга, среди ассоциаций появляются такие, в которых нарушается порядок убывания коэффициентов (см. рис. 4, позиция 13) и т. д. Вероятно, эти участки характеризуют пространственное совмещение разностадийной минерализации (явление телескопирования). Появление ореолов таких элементов, как  $Co$  и  $Ni$ , несколько несвойственных молибденовому и вольфрамовому оруденению (причем преимущественно в верхних частях разреза), также нарушает общие закономерности и усложняет картину зональности.

Таким образом, анализ фактического материала по распределению элементов и их ассоциаций в рудной зоне свидетельствует о весьма значительной сложности расшифровки структуры ореолов. Для прогноза оруденения оказался важным учет всех возможных факторов, регулирующих распределение элементов. На месторождении прежде всего был применен комплекс исследований по первичным ореолам: выявлены ореолы месторождения, рудной зоны, отдельных рудных тел, установлена вертикальная зональность, выявлена горизонтальная зональность, которая является отражением вертикальной. Проведены исследования по изучению распределения различного состава прожилков, а также метасоматитов, ассоциирующих с образованиями разных стадий. В результате была выявлена тесная связь ореолов, прожилковых образований и соответствующих метасоматитов, а также зональная структура каждой из этих систем (Петровская и др., 1974, 1977).

Применение геохимических методов в совокупности с геологическими и минералогическими исследованиями на стадии поисково-оценочных и предварительных геологоразведочных работ позволяет весьма надежно оценивать перспективы флангов и глубоких горизонтов месторождения.

В настоящее время опыт работы на месторождении используется на других участках. Примером могут служить исследования, проведенные в пределах Джидотской зоны. Здесь, на площади молибденового рудо-

проявления, была поставлена съемка по первичным ореолам. В результате были выявлены широкие, комплексные по составу ореолы, которые характеризуются следующими элементами: Mo, W, Pb, Ag, Zn, As, В, Hg, F. Размеры ореолов известных рудопроявлений значительно превышают размеры самих рудопроявлений. Анализ геохимических полей, выявленных в процессе изысканий на данной площади, позволяет расширить ее перспективы в западном и восточном направлениях.

### ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. В комплексе работ по выявлению рудоносных площадей на молибден и вольфрам в условиях Джидинского рудного района на территориях действующих рудников геохимические методы являются одним из важнейших элементов на всех стадиях геологоразведочного процесса.

2. В зависимости от задач каждой стадии виды геохимических съемок и их методику рекомендуется применять по приведенной ниже схеме.

а. Первоначальные поиски, направленные на оценку рудоносности блоков поднятий, выделенных по результатам гравиметрических и магнитометрических съемок масштаба 1:50 000. Здесь производится геохимическая съемка по потокам рассеяния с шагом 100 м. На участках развития интрузий гуджирского комплекса, в узлах пересечения различных ориентированных систем разломов проводится более детальное опробование водотоков; на втором этапе работ ставится металлометрическая съемка по вторичным ореолам в масштабе 1:25 000.

б. Детальные поиски, направленные на обнаружение проявлений рудной минерализации на участках, выделенных при первоначальных поисках. Проводится литохимическая съемка по вторичным ореолам рассеяния в масштабе 1:10 000 и геохимическое опробование коренных пород в пределах разрезов, вскрытых поисковыми канавами и скважинами, с целью выявления рудомещающих структур и оконтуривания участков локализации оруденения.

в. Поисково-оценочные работы, направленные на оценку перспективности выявленных рудных объектов с целью выбора среди них заслуживающих проведения предварительной разведки: здесь проводится геохимическое опробование коренных пород в горных выработках и по керну скважин для изучения состава и зональности эндогенных ореолов в целях определения уровня эрозионного среза и оценки масштабов оруденения.

г. Предварительная и детальная разведка. В этот этап проводится съемка по первичным ореолам с целью оценки флангов и глубоких горизонтов, выявления скрытого оруденения и изучения сопутствующих компонентов руд.

**В. В. ПОЛИКАРПОЧКИН, В. Н. ЕВДОКИМОВА**

### ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Первостепенное значение для стратегии геохимических поисков имеет организация математической обработки полученных данных. От того, насколько удастся обеспечить математическую обработку на современном уровне, в значительной степени зависит эффективность геохимических поисков. Основным видом применяемых на практике геохимических работ являются различного рода геохимические съемки и

поэтому в первую очередь наиболее важна математическая обработка данных этих съемок.

Геохимические съемки выполняются с целью поисков и разведки месторождений полезных ископаемых или с какой-либо иной целью (районирование микроэлементных удобрений, выявление очагов эндемических заболеваний, обусловленных недостаточностью или избыточностью химических элементов, изучение загрязнения окружающей среды и т. п.), требующей изучения пространственного распределения химических элементов.

Объектами опробования могут быть различные среды и материалы: коренные горные породы, рыхлые продукты их выветривания, почвы, воды, растения и их останки, газы горных пород и надземная атмосфера. Как правило, опробование производится в большом множестве точек — сотни, тысячи и десятки тысяч, причем в каждой точке определяется значительное число химических элементов. Таким образом, при геохимических поисках приходится иметь дело с обработкой больших объемов информации.

Пространственное изучение делает необходимым изображение данных геохимических съемок в виде карт, разрезов и объемных моделей. Принципы, на которых следует основывать математическую обработку данных и получение карт, заключаются в следующем:

- 1) автоматизированное построение карт;
- 2) полное использование геохимической информации;
- 3) отсутствие необходимости в предварительных и промежуточных гипотезах (или минимальное их число);
- 4) возможность учета, наряду с геохимическими, других данных — геологических, геофизических, ландшафтных и т. д.;
- 5) получение результатов, позволяющих давать прогнозную оценку оруденения;
- 6) компактность конечных документов обработки.

*Автоматизированное построение карт и разрезов* обуславливается большим объемом информации и сложностью ее обработки. Полноценная обработка этой информации вручную невозможна, требуется привлечение ЭВМ. Необходимы ЭВМ, обладающие большой памятью и быстрым действием, так как обрабатываемые массивы информации часто содержат очень много данных, а разрывать их нежелательно, и решение сложных задач связано с множеством трудоемких операций.

Весьма важна правильная постановка подготовки данных к обработке на ЭВМ. Специальная переписка исходных данных должна быть исключена, она отнимает слишком много времени. Оправдывает себя такая организация работы, при которой приведение материалов в систему, приспособленную для обработки на ЭВМ, предусматривается уже в процессе их сбора. Экономию дает использование обыкновенных матриц, но таким образом, что геохимик или геолог, проводящий опробование и полевые наблюдения, представляет в матрицу лишь номера и координаты проб (если требуется программой, то и различные сведения, полученные в маршруте), затем матрица вместе с пробами поступает в аналитическую лабораторию, где после проведения анализов представляются содержания элементов, и в таком виде она передается для обработки на ЭВМ. Специальные лабораторные журналы при этом не заводятся, в лаборатории остаются для контроля вторые экземпляры матриц. Может быть организовано хранение исходной информации, как и конечных данных обработки, на машинных носителях информации (магнитные ленты, диски и др.). Это имеет преимущество в том, что при повторной или видоизмененной обработке материалов, если в ней возникнет необходимость, отпадает повторение операций ввода данных в машину. Для долговременного хранения в ЭВМ необходимо выбирать экономные виды записи информации.

В перспективе следует иметь в виду полностью автоматизированную работу, при которой технологическая цепочка, ведущая к изготовлению геохимической карты, вообще не разрывается. Данные анализа регистрируются приборами автоматически и передаются на ЭВМ непосредственно из них. Установки, в которых аналитические приборы соединены с ЭВМ, автоматически печатающей геохимические карты, уже разрабатываются.

Для убыстрения поисково-разведочного процесса важна оперативность математической обработки геохимических данных. С этой целью должна предусматриваться быстрая пересылка по каналам связи исходной информации в ВЦ и изготавливаемых карт на место работ. Технически это пока мало обеспечено, но в перспективе вполне реально. Следует иметь в виду применение телетайпов и телевизионную передачу матриц и карт.

*Полнота использования геохимической информации* связана главным образом с вовлечением в обработку как можно большего числа элементов, а также с ориентировкой на наиболее информативные параметры. При ручной обработке, как правило, может быть использована лишь часть получаемой информации, а значительная часть ее бесполезно теряется. Это объясняется трудоемкостью обработки данных по большому числу элементов и трудностью выявления закономерностей при диффузном, размытом их распределении. Простыми способами, которые могут быть применены для ручной обработки, диффузное распределение не поддается исследованию. Далеко не всегда обеспечивается достаточно полное использование информации и в имеющихся способах машинной обработки. Таким образом, требование возможно более полного использования информации может быть определяющим при выборе системы обработки информации.

*Предварительные и промежуточные гипотезы* в явной или скрытой форме очень часто применяются при математической обработке геохимических данных. Таковыми являются, например, принимаемый вид функции при построении поверхностей тренда, решение о факторах (геохимических ассоциациях) на ранней стадии факторного анализа, принятие решения о величинах фоновых содержаний в методе многомерных полей и т. п. Как правило, обойтись без той или иной гипотезы не удастся. Преимущество имеют те методы, в которых используется минимальное число гипотез и притом таких, которые не ведут к далеко идущим последствиям в выводах.

Большой осторожности требует привлечение геологических гипотез. При построении геохимических карт часто используются представления о направлении рудоконтролирующих структур или о каких-либо других направлениях, влияющих на распределение химических элементов. Через них выражается анизотропия геологического пространства и в соответствии с ними берется направление интер- и экстраполяции. Следует стремиться обойтись без предварительных геологических гипотез. Это обеспечивает объективное построение геохимических полей, и в результате выявляются закономерности пространственного размещения геохимических аномалий и на их основе — месторождений полезных ископаемых, которые не могут быть предсказаны заранее по геологическим данным.

*Учет геолого-геофизических, ландшафтно-геоморфологических и других данных* целесообразен для правильной интерпретации геохимической информации. На геохимической карте можно отразить типы вмещающих пород, наличие определенных минералов и иные прямые признаки месторождений, сведения о связанных с оруденением изменениях вмещающих пород, различные геофизические свойства, типы ландшафтов, почв, виды отбирившихся проб, положение точек опробования в рельефе и т. п. Однако изображение всех этих данных на одной карте



может привести к ее перегрузке. Поэтому можно составлять параллельные геохимические и геолого-геофизические карты поисковых признаков, при совместной интерпретации которых возможно извлечение максимальной полезной информации.

*Количественная прогнозная оценка оруденения* является требованием, значение которого с течением времени будет возрастать. Это связано с тем, что такая оценка крайне необходима для правильного распределения средств на геологоразведочные работы по различным регионам и объектам. Применяемые системы обработки должны обеспечивать надежное выявление геохимических аномалий и вместе с тем вычисление параметров, необходимых для их оценки. Наряду с изображением величин концентраций элементов и площадей аномалий целесообразно вычисление количеств элементов в том или ином геологическом теле, а также выделение и изображение параметров, обеспечивающих прогнозирование оруденения на глубину.

*Компактность конечных документов*, получаемых в результате обработки, необходима для удобства пользования ими, помещения их в отчет и хранения в архивах. С этой точки зрения представляют интерес прежде всего те методы, которые предусматривают изображение данных по всем элементам или значительному их числу на одной карте (например, метод многомерных полей). Следует однако учитывать, что по некоторым элементам часть информации при этом утрачивается. Поэтому кроме карт многомерных полей, на которых изображается распределение целого ряда химических элементов, необходимо получение моноэлементных карт. Это относится прежде всего к промышленно-ценным элементам. Для хранения всех этих материалов нужна миниатюризация.

Обработка на основе указанных принципов должна применяться ко всем вновь получаемым геохимическим данным. Необходимо также иметь в виду, что в результате работ предыдущих лет накоплен большой объем информации, которая была обработана вручную, из нее извлечена лишь часть полезных сведений. Поэтому весьма важна повторная обработка этих данных с применением новых математических методов и ЭВМ. Обобщение материалов геохимических съемок с составлением сводных карт следует вести только на этой основе.

**Б. И. СУГАНОВ, М. Л. ШЕРМАН**

## **СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ В КРАСНОЯРСКОМ ГЕОЛОГИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ**

Геохимическим методам поисков в системе Красноярского геологического управления уделяется особое внимание. В течение последних двух лет вопросы геохимических поисков рассматривались на четырех заседаниях Научно-технического совета управления. Это обусловлено тем, что:

1) арсенал и разработанность геохимических методов таковы, что они способны эффективно решать поисковые задачи на всех стадиях геологоразведочных работ. К тому же потенциальные возможности их совершенствования далеко не исчерпаны, а разрешающая способность применительно к территории деятельности Красноярского ГУ до конца не выяснена;

2) геохимическая информация — многоцелевая, используется или может быть использована практически для решения многих геологических задач;

3) геохимические методы поисков наиболее результативны, однако достигнутая эффективность на территории Красноярского края нас не удовлетворяет.

В настоящее время геохимические методы поисков в КГУ применяются на всех стадиях геологоразведочных работ для решения конкретных задач. Используются литохимические поиски по потокам, первичным и вторичным ореолам рассеяния, гидрохимический метод, геохимическое опробование для оценки потенциальной рудоносности и корреляции геологических образований. За последние 6 лет ежегодно отбиралось около 500 тыс. проб при среднем уровне затрат около 1 млн. руб.

Распределение объемов по видам геохимических работ выглядит следующим образом (в тысячах проб): поиски по потокам рассеяния — 15—20; гидрохимические исследования — 10; поиски по вторичным ореолам рассеяния — 400—450, в том числе масштаба 1:10 000 и крупнее — 250—300; опробование для целей геокартирования и поиски по первичным ореолам — 50—60.

Из приведенных данных следует, что в системе управления ведущим геохимическим методом являются литохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния. Почти все пробы отбираются при геологических съемках масштаба 1:50 000 и при детальных поисках на перспективных участках.

Анализ геологоструктурных и ландшафтных особенностей изучаемых территорий, степени перспективности и изученности, масштаба исследований и конкретных задач привел к выводу о том, что мы переоценивали возможности этого метода и явно недооценивали поиски по потокам рассеяния. В связи с изложенным сейчас принято решение при геологических съемках масштаба 1:200 000, геологических съемках и поисках масштаба 1:50 000, проводимых на Таймыре, Анабаре, Сибирской платформе, в восточной периферии Енисейского кряжа, на большей части Западного Саяна, в Западной и Восточной Туве, перейти на метод поисков по потокам рассеяния. Эти территории в настоящее время экономически не освоены и труднодоступны. Здесь нас сегодня могут интересовать только крупные и уникальные по запасам объекты. Открытие рудопоявлений и мелких месторождений может привести только к отвлечению средств на их изучение и не дать экономической отдачи. Небольшой опыт проведения поисков по потокам рассеяния в Енисейском кряже, Восточном Саяне и Восточной Туве показывает вполне удовлетворительную разрешающую способность этого метода. Неоспоримыми преимуществами последнего являются также низкая стоимость, возможность пробоотбора в комплексе со шлиховым и гидрохимическим методами, возможность опосредования больших территорий (до 10 тыс. км<sup>2</sup>) в один полевой сезон.

Поиски по вторичным ореолам рассеяния планируется проводить в пределах известных рудных узлов и в экономически освоенных районах, где могут быть рентабельными для отработки средние и, некоторых видов минерального сырья, мелкие месторождения.

Явно недостаточен объем гидрохимического опробования. Наиболее квалифицированно и эффективно этот метод применяется в Ангарской экспедиции, которая ежегодно выполняет 40—60% всего объема работ управления и этим методом выявила и оконтуривала большинство рудных узлов в западной части Енисейского кряжа (Чернореченский, Нижнепитский, Тяглинский и т. д.). Удовлетворительно эти работы выполняет Норильская экспедиция.

Поиски по первичным ореолам используются пока весьма ограниченно. Метод трудоемкий, сложный и требует специальной подготовки и, главное, эталонов. Пока в системе управления эти исследования квалифицированно выполняет Центральная геохимическая партия (ЦГХП). Сибирская партия ИМГРЭ изучила эталонные рудные объекты в Но-

рильском районе, Енисейском кряже и Кузнецком Алатау. Такие эталоны необходимо иметь по всем рудным узлам Красноярского края и Тувинской АССР.

Этот метод дает критерии для оценки глубины эрозийного среза рудных объектов по их вторичным ореолам рассеяния. Но, к сожалению, пробы площадных геохимических съемок, из соображений экономии, анализировались на ограниченный круг элементов. Это привело к тому, что в настоящее время мы не можем использовать эти критерии, т. е. экономия в конечном итоге оказалась убыточной, так как со временем нам придется повторить геохимические съемки. Сокращенный анализ проб оказывается некорректным и в другом аспекте: выбор элементов определяется субъективными представлениями о металлогении района, в результате чего не полностью выявляются потенциальные перспективы района и пропускаются месторождения. Так, при проведении геологической съемки масштаба 1:200 000 в Енисейском кряже пробы не анализировались на редкие элементы и фосфор. Последующий 1:50 000 съемкой здесь выявлено апатит-редкометальное месторождение карбонатитового типа.

В связи с этим принято решение — анализ проб на сокращенный круг химических элементов проводить только при крупномасштабных поисках в районе месторождений, для которых изучены геохимические ряды зональности.

В системе управления еще не нашли применение такие геохимические методы, как биогеохимический и газортутный. Первый может дать положительный эффект на площадях со сложными поисковыми условиями (болота, районы, перекрытые чехлом рыхлых отложений более 5 м мощности и др.), второй обеспечивает обнаружение глубокозалегающих и перекрытых месторождений сульфидных руд.

Что касается биогеохимического метода, то его внедрение, с одной стороны, сдерживается отсутствием опыта проведения таких работ и специалистов и, с другой стороны — недостаточной еще разработанностью его основ (выбор объектов опробования, интерпретация результатов и т. д.).

Внедрение газортутного метода упирается в отсутствие приборов, поскольку серийное производство известных моделей в стране еще не налажено. Управлением запланировано создание в 1978 г. трех приборов ИМГРЭ-4.

Большая часть основных горнорудных районов края, за исключением Норильского, покрыта площадными литохимическими поисками по вторичным ореолам рассеяния масштаба 1:50 000 и 1:100 000. Лишь районы Сибирской платформы и Таймыра, доступные для геохимических поисков, почти не изучены.

В итоге при участии геохимических методов выявлено 15 месторождений. Большинство аномалий осталось не проверено. Обобщение результатов геохимических поисков по Енисейскому кряжу показало, что здесь имеются многие десятки аномальных полей, требующих проверки и оценки. Обобщение результатов геохимических поисков по южной части Красноярского края и всей территории Тувинской АССР даст еще множество геохимических аномалий. Проверка этих аномалий может привести к открытию 15—20 месторождений, что дает основание считать, что на сегодня геохимические методы в условиях интересующей нас территории являются наиболее эффективными. В то же время приведенный материал свидетельствует о том, что организация геохимических поисков в предшествующие годы не обеспечивала своевременную проверку всех выявленных аномалий. В целях ускорения темпов работ по оценке аномалий было решено геохимические поиски проводить с опережением геологических исследований. Принятые организационные формы геологосъемочных работ в системе управления — групповая геологическая

съемка — вполне обеспечивают решение этой задачи. Большое значение для ее реализации имеет также своевременный анализ проб, для чего с 1976 г. спектральные лаборатории переведены на двухсменную работу.

Повышение эффективности геохимических поисков немислимо без резкого повышения качества работ на всех этапах исследований. На стадии проектирования качество определяется квалификацией специалистов. Здесь значительную работу проводят специалисты Центральной геохимической партии. Главные формы их работы — консультации, совещания, семинары, сообщения о новейших достижениях поисковой геохимии. Помимо этого ежегодно управление направляет 3—5 человек на двухмесячные курсы повышения квалификации при Министерстве геологии СССР. Поскольку квалифицированных кадров в управлении еще недостаточно, в последние годы мы стремимся использовать для выполнения своих работ специалистов ведущих институтов и вузов страны на хозяйственных началах и на основе договоров о творческом содружестве.

Важное значение для повышения качества геохимических поисков имеет математическая обработка результатов. В 1973 г. в управлении запущена ЭВМ «Минск-32». Обработка геохимической информации ведется по 40 программам. В последние годы обрабатывается на ЭВМ около 20% геохимических проб. Однако имеющиеся программы не связаны друг с другом, а результаты все еще не выдаются в графической форме. В связи с этим в настоящее время разрабатывается «АСОД-геохимия». Ее внедрение планируется в 1978 г.

Повышение качества аналитических исследований осуществляется в трех направлениях: 1) вооружение лабораторий новейшей аппаратурой; 2) внедрение устройств для автоматической расшифровки спектрограмм; 3) усиление контроля за качеством анализов. В настоящее время лаборатории в основном оснащены кварцевыми спектрографами ИСП-28, ИСП-30. Совершенно недостаточно спектрографов ДФС-8 и ДФС-13. В десятой пятилетке планируется полностью обеспечить лаборатории дифракционными спектрографами.

Проведенными ранее исследованиями показано, что основная ошибка спектрального анализа (случайная и систематическая) связана со спектрографистом-интерпретатором. Исключить ее и призваны устройства для автоматической расшифровки спектрограмм.

Существенное значение для повышения эффективности геохимических поисков имеет обобщение результатов ранее проведенных работ. В настоящее время завершены работы по обобщению результатов геохимических поисков месторождений цветных, редких и благородных металлов в Енисейском краже, а в 1978 г. будет завершено по югу Красноярского края. В результате этих работ выявлены критерии разбраковки геохимических аномалий молибдена. Разбраковка известных геохимических аномалий молибдена на основе критериев показывает, что фронт поисковых, поисково-оценочных и геологоразведочных работ управления на молибден обеспечен на 5—10 лет, а перспективы выявления его промысленных месторождений весьма значительны.

Важный результат методического плана получен при обобщении ранее проведенных геохимических поисков месторождений золота. Установлено, что геохимические поиски месторождений золота по элементам-спутникам обеспечивают выявления вскрытых эрозией традиционных типов месторождений. Более эффективны геохимические поиски по самому золоту (спектрозолотометрия). Внедрение этого метода в последние 2—3 года, наряду с другими исследованиями, существенно позволило переоценить потенциальные перспективы известных районов. Уже сегодня массовое проведение спектрозолотометрии обеспечило фронт поисково-оценочных работ управления на ближайшие годы.

Как отмечалось выше, при обобщении результатов геохимических поисков в Енисейском краже установлено 126 перспективных аномаль-

ных полей. Обобщение результатов по всей территории деятельности управления даст не менее 300—350 перспективных аномалий.

Для проверки этих аномалий принято решение об организации специальных партий и отрядов при крупных экспедициях (Ангарской, Минусинской, Тувинской).

Таково в общих чертах состояние геохимических поисков в системе Красноярского геологического управления и основные пути повышения их эффективности.

**В. А. ЛИСИЙ, В. А. ЗАГОСКИН, Е. И. ЗАГОСКИНА,  
В. Г. КУЗНЕЦОВ, В. В. КОРЖ, Л. М. БАБУРИН**

### **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ РАБОТ НА ТЕРРИТОРИИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ**

Геохимические методы исследований в настоящее время прочно вошли в практику геологоразведочных работ Иркутского геологического управления. Наиболее широкое использование эти методы нашли в общем поисковом комплексе, выполняемом в процессе геологического картирования масштабов 1 : 200 000—1 : 50 000, а также при проведении детальных поисковых работ на рудное золото, цветные и редкие металлы.

Ведущие методы — литохимические поиски по потокам и вторичным ореолам рассеяния, аэрогаммаспектрометрическая съемка. Поиски по первичным ореолам, гидро- и биогеохимическое опробование применяются повсеместно и в сравнительно небольших объемах. Целенаправленно используются также некоторые другие модификации геохимических методов, которые будут охарактеризованы ниже.

Каждый год планомерные геохимические поиски проводят 40—45 геологосъемочных и специализированных поисковых партий, входящих в состав пяти территориальных экспедиций. Наибольшие объемы геохимических работ выполняет централизованная геологосъемочная экспедиция. Ежегодно отбирается примерно 250 000 проб, из которых 65—70% приходится на долю литохимических съемок по вторичным ореолам и потокам рассеяния.

Затраты на геохимические работы, включая аналитические исследования и камеральную обработку материалов, составляют 2,5—3% от общих годовых ассигнований на геологоразведочные работы по управлению и значительно уступают аналогичным расходам на проведение геофизических исследований (10—12%).

Современный уровень геохимической изученности территории Иркутской области характеризуется следующими цифрами (в % от общей площади): 1 : 500 000 и мельче — 59,3; 1 : 200 000 — 22,6; 1 : 100 000 — 12,6; 1 : 50 000—1 : 25 000 — 5,9; 1 : 10 000 и крупнее — 0,2. Сложившееся резкое несоответствие между геологической и геохимической заснятой территорией обусловлено множеством причин: запоздалым (с 1955 г.) вовлечением геохимических методов исследований в сферу планомерных геологопоисковых работ, повсеместном их использовании на раннем этапе их проведения, отсутствием до 1964 г. надлежащего методического руководства и контроля за качеством геохимических поисков и др.

В истории развития и применения геохимических методов исследований в практике поисково-разведочных и геологосъемочных работ Иркутского ГУ можно наметить три основных этапа.

Ранний этап (1955—1960 гг.) характеризовался повсеместным привлечением названных методов для решения геологопоисковых задач и низким методическим уровнем их проведения. В поисковых комплексах использовалась лишь металлометрическая съемка в площадном поверхностном варианте, для целей геологического картирования — сколковое опробование коренных пород по опорным разрезам.

Последующий этап (1961—1967 гг.) отличался резким возрастанием объемов геохимического опробования при сохранении ведущей роли литохимической съемки по вторичным ореолам рассеяния. В сочетании со шлиховым опробованием начали практиковаться гидрохимические поиски с использованием одного из коллективных методов (ВИТР-ЛТИ или ТПИ).

В этот же период была создана централизованная геохимическая служба (ЦГХП, геохимические отряды и старшие геохимики — в составе наиболее крупных экспедиций); усилен контроль за качеством производственных геохимических работ (кураторская группа в составе ЦГХП); начаты обобщение и систематизация материалов геохимических работ предшествующих лет; проведено мелкомасштабное ландшафтно-геохимическое районирование складчатого обрамления юга Сибирской платформы; осуществлен широкий комплекс опытно-методических натурных исследований по выяснению возможностей всех традиционных геохимических методов для выявления различных промышленно-генетических типов месторождений полезных ископаемых (рудного золота, слюды-мусковита, редких и цветных металлов и др.) в разнообразных геолого-ландшафтных обстановках интересующей нас территории. В результате значительно возрос общий методический уровень проведения геохимических исследований на всех стадиях геологопоисковых работ, а также был приобретен опыт ландшафтно-геохимического картирования и практического применения различных геохимических методов поисков. Оказалось, что все обследованные объекты, кроме мусковитоносных пегматитов Мамского района и медистых песчаников на Сибирской платформе, отчетливо фиксировались геохимическими аномалиями во всех опробованных природных образованиях: коренных породах, речном аллювии, почвах, водах, растениях. Данный факт свидетельствовал о высокой эффективности геохимических методов для поисков большинства типов рудных месторождений в горно-таежных условиях изучаемой территории, а «отказ» этих методов в Мамском районе легко объяснялся нерудным характером искомого минерального сырья. Непопятными оставались причины отсутствия вторичных ореолов рассеяния в верхних почвенных горизонтах над медистыми песчаниками, выходящими под рыхлые образования мощностью 1,5—2 м на средних и нижних уровнях затаеженных горных склонов. При выяснении данного вопроса впервые (1963 г.) были обнаружены вытянутые вниз по уклону ореолы рассеяния меди, верхняя граница которых залегала на глубине 0,8—1,2 м от дневной поверхности. Одновременно аналогичного типа вторичные ореолы были вскрыты на золоторудных проявлениях Байкало-Патомского нагорья.

Полученные данные послужили основанием для постановки широких исследований, направленных на изучение реального образа вторичных ореолов в склоновых грунтах гумидно-таежной зоны Сибири, установление их морфоструктурных особенностей и ведущих процессов формирования. Эти исследования в основном были осуществлены в период 1964—1967 гг.

Главным итогом проведенных исследований послужило заключение о широком развитии в пределах рассматриваемой территории на относительно пониженных уровнях горных склонов, особенно их северных экспозиций, вторичных ореолов закрытого типа, в результате чего была подтверждена обоснованность известных теоретических разработок

(Поликарпочкин, 1966; и др.) и соответствующих рекомендаций о более высокой надежности и глубинности метода поисков по потокам рассеяния по сравнению с площадными металлометрическими съемками. Было найдено научное объяснение повсеместно наблюдавшимся фактам преимущественной приуроченности рудных объектов, выявляемых в процессе проведения названных съемок или обычных визуальных поисков, к водоразделам и верхним уровням склонов, где вторичные ореолы образуются как открытые.

Согласно нашим статистическим расчетам, выполненным в 1966 г. по Восточному Саяну и Западному Прибайкалью (в границах Иркутской области), 75% всех известных здесь к этому времени месторождений и рудопроявлений располагаются или первоначально открыты в верхних частях гор и возвышенностей (выше среднего уровня склонов). Остальная часть рудных объектов (25%), находящихся в относительно пониженных участках рельефа, приурочена, как выяснилось, главным образом к скальным обнажениям бортов речных долин, крутым склонам южной экспозиции и т. п. Еще более разительные данные были получены по Ленскому золотоносному району, где практически все выявленные на рассматриваемый момент времени рудопроявления тяготеют к вершинам водоразделов и исторически получали названия соответствующих «гольцов».

По результатам проведения в этом районе площадных золотометрических съемок масштаба 1:25 000 (1964—1966 гг.), как правило, все относительно крупные и контрастные аномалии приурочивались также к «гольцам», отмечая либо ранее известные жильные проявления, либо новые рудоносные объекты.

Вместе с тем общая площадь участков, на которых вторичные ореолы отчетливо проявляются в верхних горизонтах рыхлого покрова, составляет порядка 25—30%, т. е. абсолютное большинство месторождений (75%) было ранее выявлено на площадях, суммарно не превышающих одной трети всей территории рассматриваемых регионов. Из приведенного соотношения нетрудно увидеть, что общий усредненный коэффициент открываемости месторождений применительно ко всей обширной территории складчатого обрамления юга Сибирской платформы равняется лишь 0,4. Почти аналогичные статистические данные получены в последнее время нашими коллегами из Бурятского ГУ: 70—80% ранее выявленных здесь месторождений всех типов находятся на площадях открытых категорий, в сумме составляющих 20% территории республики (цифры приводятся в настоящем сборнике). Величина вышеупомянутого коэффициента в данном случае оказывается еще меньшей (примерно 0,3).

Цифры, бесспорно, оказались неутешительными, ошеломляющими и свидетельствовали о крайне низкой результативности наших ведущих поисковых методов прежних лет (визуальные поиски, металлометрическая съемка) на большей части территории горно-складчатых областей, не говоря уже о Сибирской платформе, где поисковые условия еще более трудные.

Совершенно очевидно, что столь широко распространенные явления закрытости гипергенных аномалий в горно-таежной зоне не были известны и, естественно, не учитывались при поисках, равно как и установленные лишь в последнее время факты значительного воздействия на контрастность ореолов процессов выщелачивания большого числа рудных элементов с выносом их за пределы аномалий и отложением на определенных геохимических барьерах.

С другой стороны, можно допустить, что фрагменты площадей, для которых характерны открытые ореолы, опискованы достаточно хорошо, и они потенциально перспективны в основном только на глубокозалегающие и сильно выщелоченные с поверхности месторождения.

Все вышеизложенное послужило основанием для коренного изменения укоренившейся методики геохимических поисков, выразившегося в единовременном, практически в течение одного года, переходе на стадии планомерных средне- и крупномасштабных геологопоисковых работ от площадных металлометрических съемок на **метод поисков по потокам рассеяния** (третий этап, 1968—1976 гг.). Кроме главного достоинства этого метода, которое заключается в повышенной его глубинности (закрытые вторичные ореолы в речном аллювии переходят в потоки рассеяния открытого типа), учитывались и другие его преимущества: простота исполнения исследований (в комплексе со шлиховым и гидрохимическим опробованием, выполняемым специальными поисковыми отрядами в составе геологосъемочных партий), возможность обеспечения значительного опережения работ по геокартированию, относительно малая плотность опробования и дешевизна работ. Момент перехода на поиски по потокам рассеяния совпал также с периодом, когда основные объемы геологопоисковых работ сместились в наиболее удаленные и слабообжитые горно-складчатые районы и на Сибирскую платформу, где проведение площадных металлометрических съемок было нерационально и по экономическим соображениям. Областью применения **металлометрических съемок** стали крупномасштабные и детальные поиски, проводимые в рациональных сочетаниях с другими поисковыми методами в пределах рудных районов, при проверке геофизических и геохимических аномалий, на перспективных по геологическим прогнозам площадях и т. п.

Массовое внедрение и использование литохимических поисков по потокам рассеяния как ведущего метода в общем поисковом комплексе на стадии планомерных государственных съемок масштабов 1 : 200 000—1 : 50 000 особенно остро поставило проблему **разбраковки и оценки геохимических аномалий**. В данном случае эта проблема включает в себя следующий комплекс методических вопросов, связанных с постепенным переходом от аномальных концентраций рудных элементов в аллювии к их коренному первоисточнику в границах соответствующего фрагмента речного бассейна: а) разбраковка потоков рассеяния в процессе камеральной обработки; б) заверка и детализация выбранных перспективных потоков; в) выход на склон (склоны) с максимальным сужением контуров участков для последующих поисковых обследований; г) постановка на выделенных «рудных» участках детальных поисков и поисково-оценочных работ. Для всех перечисленных стадий процесса перехода от потока к руде необходимо было найти наиболее рациональные поисковые методы, учитывая при этом доказанные факты широкого проявления в условиях горно-таежной зоны дефлюкционных вторичных ореолов закрытого типа. Специальных методических решений требовали достаточно часто встречающиеся случаи, когда оцениваемые геохимические аномалии располагались на площадях с особо сложными поисковыми условиями (заболоченность, аллохтонные отложения, многолетняя мерзлота, каменные осыпи, курумы и т. п.).

Методические разработки в плане поставленной проблемы с начала 70-х годов осуществлялись в основном силами Центральной геохимической партии и развивались в направлении использования наиболее глубоких геохимических методов (гидро-, биогеохимических); изыскания новых, более результативных приемов опробования площадей с трудными поисковыми обстановками; использования наиболее информативных способов математической обработки геохимических данных и т. д. Исследования проводились не по тематической линии, а непосредственно в ходе ведения производственных геохимических поисков, что позволяло оперативно проверять и внедрять наиболее эффективные в соответствующих геолого-ландшафтных ситуациях методические приемы. Из числа таких приемов следует отметить следующие: а) гидрохимические поиски по склоновым водам; б) шлихо-геохимические исследования (в разных



модификациях); в) способ распознавания барьерных геохимических аномалий сорбционно-солевого типа; г) кварц-геохимический метод поисков золоторудных месторождений (наиболее результативный способ опосредования курумов); д) опробование суффозионных иловых потоков на склонах северных экспозиций; е) метод разбраковки и оценка золотых аномалий на основе одновременного использования комплекса признаков (силы корреляционной взаимосвязи и комплексности рудных элементов, величин дисперсий золота и др.). Постоянно опробовались также биогеохимические поиски.

Кратко охарактеризуем сущность, главное назначение и особенности применения каждого из перечисленных методов.

**Гидрохимические поиски по склоновым водам** представляют собой одну из разновидностей гидрохимического метода, когда объектом опробования служат природные воды рыхлых склоновых образований, формирующиеся в основном при постепенном таянии мерзлоты. К ним могут добавляться подземные трещинные воды, выходящие под рыхлый покров на разных уровнях склонов, а также капиллярные воды горных пород, которые в зимний период движутся снизу вверх и постепенно накапливаются в деятельном слое. Летом, во время и сразу после дождей, в рыхлых грунтах склонов определенную роль играют воды атмосферного стока.

Согласно современным научным представлениям, криолитозона не является областью химического покоя, как это считалось прежде. Наоборот, здесь протекают достаточно интенсивные процессы окисления и выщелачивания пород и минералов, активизирующиеся на участках зон сульфидной минерализации, а существующий режим затрудненного водообмена способствует формированию относительно высоких концентраций рудных элементов в водах.

Таким образом, воды рыхлого покрова приподножного уровня по составу и содержаниям микрокомпонентов должны отражать геохимические особенности заключенных в этом покрове вторичных ореолов рассеяния, в том числе закрытых или ослабленных вблизи дневной поверхности. Более того, учитывая наличие вышеупомянутого подтока минерализованных трещинно-грунтовых и капиллярных вод, можно ожидать получение определенной информации о верхних горизонтах коренных пород, подстилающих рыхлые отложения.

Проведенными исследованиями на нескольких рудных объектах, находящихся большей частью в неблагоприятных в поисковом отношении обстановках, устанавливается высокая контрастность выделяемых таким способом аномалий и четкая их приуроченность к первоисточникам. Концентрации металлов в водах рассматриваемого типа обычно в десятки раз превосходят их содержания в поверхностных водах на соответствующих участках.

Основное назначение метода — опосредование площадей с относительно сложными ландшафтно-геоморфологическими условиями, где проведение других видов геохимических обследований недостаточно надежно или заведомо неэффективно. Наиболее рационально этот метод использовать при поисках на затаеженных склонах северных экспозиций, где весьма интенсивно проявлены многолетняя мерзлота, каменные осыпи, курумы. Техника исполнения работ несложна. Отбор проб осуществляется из закопущек глубиной 30—70 см, проходимых вдоль подножий склонов с заданным интервалом (200—500 м). Наилучшее время ведения работ — начало лета, когда общая обводненность рыхлых масс самая высокая. Северные склоны удается обследовать в течение всего летнего периода.

**Шлихо-геохимический метод**, в связи с проблемой разбраковки и оценки аномалий, получил достаточно широкое развитие и применение в практике геохимических работ. Используются различные его модифика-

ций, отличающиеся главным образом характером материала проб (например, немагнитная фракция, пириты, шлих без разделения его на фракции и пр.).

Однако во всех случаях при включении рассматриваемого метода в поисковый комплекс преследуется одна главная цель — существенно усилить контрастность и расширить геохимические спектры изучаемых аномалий.

Действительно, как показывает накопленный опыт, рудные месторождения и рудопроявления полезных ископаемых, сопровождающиеся геохимическими потоками и ореолами рассеяния, еще более отчетливо (на порядок и выше) отмечаются соответствующими аномалиями по данным спектрального анализа шлиховых проб. Они характеризуются большей устойчивостью содержаний рудных элементов и гораздо более значительной информативностью о природе источника аномалии. Спектральный анализ достаточно уверенно фиксирует появление в шлихах сульфидов меди, свинца, цинка, мышьяка и висмута, вольфрамита, шеелита, тантало-ниобатов, касситерита, минералов редких земель и тория, хромита, марганцевых минералов (знаки и редкие знаки), апатита, циркона, ильменита (при минимальных весовых содержаниях). Выделяются также аномалии, связанные с месторождениями металлов, которые не образуют собственных минеральных видов, а концентрируются в определенных рудных или породообразующих минералах.

В ряде случаев применение шлихо-геохимического метода позволяет еще до обнаружения руд выяснять некоторые особенности их состава. Так, установление на одной из редкометальных аномалий гафния (более 1%) привело в дальнейшем к обнаружению в коренном источнике гафнийсодержащих цирконов. Аналогичные примеры получены по серебру и кобальту, оказавшимися связанными в рудах соответственно с галенитами и пиритами, и другие.

Весьма ценная дополнительная информация извлекается за счет концентрирования в шлихах таких рудных элементов, которые, как правило, не улавливаются при анализе обычных речных илов; к ним относятся тантал, ниобий, таллий, редкие земли, гафний, цирконий, вольфрам, сурьма, висмут, серебро и др.

В целом, по сравнению с литохимическими потоками, шлихо-геохимические всегда более выразительны по олову, вольфраму, висмуту, редким землям, торию, цирконию, гафнию, свинцу, цинку, сурьме, мышьяку, серебру, кобальту, литию, однако менее отчетливы по бериллию и молибдену. Расширение геохимических спектров обследуемых аномалий дает возможность высказывать более обоснованные суждения о вероятном формационном типе искомого оруденения.

В последнее время наметился еще один аспект применения шлихо-геохимических исследований — предпринимаются попытки использования метода для целей геохимической корреляции интрузивных образований, для определения уровня их эрозионного среза, для выяснения формационной принадлежности касситеритов, магнетитов и других главных рудообразующих минералов некоторых месторождений. Уже сейчас успешно практикуется способ выделения гипербазитов по высоким содержаниям элементов никель-кобальт-хромовой ассоциации; весьма перспективным в этом отношении представляется вопрос о возможности обнаружения аналогичным способом кимберлитовых тел (поиски алмазов на Сибирской платформе).

Разработана методика выявления олово-рудных и тантало-ниобиевых месторождений пегматитового типа на основе спектрального анализа темно-серого шлиха и выделения комплексных аномалий олова, тантала и ниобия. Установлены критерии разграничения аномалий «железорудной» и «трапповой» природы на Сибирской платформе по величинам отношения титана к магнию в магнетитах. Определена методика

выявления наиболее перспективных («рудных») аномалий золота по поведению примесей халькофильных элементов в пиритах из электромагнитной фракции шлихов малого веса.

Из всего многообразия примененных модификаций описываемого метода, решающих как общие, так и частные поисково-оценочные задачи, нужно особо выделить и рекомендовать для широкого использования опробированный и внедренный в практику вариант, который позволяет получать не только дополнительную ценную информацию, но и экономию денежных средств. Сущность данного варианта исследований заключается в том, что спектральному анализу оперативно подвергаются все шлиховые пробы, точнее — навески из материала шлихов без разделения их на фракции. Одновременно минералогическое изучение осуществляется по разреженной вдвое сети (половина проб), а после получения геохимических данных дополнительно исследуются шлихи, показавшие аномальные концентрации полезных компонентов. Упомянутый экономический эффект представляет собой разницу между стоимостью неизучавшейся части «фоновых» шлихов и затратами на спектральный анализ (вследствие малой стоимости спектрального анализа по сравнению с дорогостоящими минералогическими определениями). Можно указать, что годовая экономия по одной из экспедиций управления при спектральном анализе 12 000 шлихов составила 11 600 руб. (1974 г.).

Применяемый способ распознавания барьерных аномалий по существу представляет собой одну из разновидностей шлихо-геохимических исследований и используется при разведке широко распространенных в горной тайге литохимических аномалий, образующихся в нижних частях заболоченных пологих склонов. Предполагается, что они образуются путем осаждения целого ряда рудных элементов, переносимых в солевых формах с вышележащих уровней склона, где располагается коренной первоисточник. Выпадение происходит в зоне развития торфянистых оглеенных почв, на «сизых» обводненных илах и глинах, ниже гумусового слоя (горизонты В, ВС). Наиболее характерными компонентами таких аномалий являются марганец, никель, кобальт, цинк, олово, медь, молибден и др., т. е. наиболее подвижные рудные элементы зоны гипергенеза. Наиболее вероятный механизм их осаждения — сорбция на иловых и глинистых частицах нижнесклоновых грунтов в результате смены окислительно-восстановительной обстановки от кислой (в зоне выщелачивания и переноса) до бескислородной (в зоне отложения). Сорбционно-солевой характер рассматриваемых аномалий подтверждается тем, что при отмыве проб до серого шлиха и их повторном анализе повышенные концентрации вышеперечисленных металлов не устанавливаются, и аномалии «снимаются» с карты. На этом основан способ их диагностики: по отдельным профилям отбираются серии металлометрических проб, начальный вес которых определяется исходя из необходимости получения достаточной для анализа навески (шлиха); производится их отмывка, обработка, анализ и т. д. По опыту наших работ, если необходимо определять в пробах золото, вес их должен быть 2—3 кг. В остальных случаях достаточно 0,5—1 кг.

**Кварц-геохимический метод** был разработан и в 1973 г. внедрен в практику работ на рудное золото для опосредованного выявления площадей сплошного развития каменных осыпей и курумов. Он основан на использовании в качестве материала геохимического опробования жильного кварца — одной из главных минеральных сред, в которых искомый металл в наибольшей степени концентрируется как в рудах, так и в прилегающих к ним зонах рассеянной минерализации (жилах, прожилках, жильных зонах и пр.). Поэтому геохимическое опробование непосредственно кварца определяет целенаправленность поисков, значительную контрастность получаемых аномалий и высокую степень коррелируемости данных с соответствующим коренным источником.

Накопленный опыт свидетельствует о высокой надежности и информативности метода в условиях, где все другие способы детальных поисковых обследований малоэффективны. Так, в одном из районов Средне-Витимской горной страны после осуществления литохимических поисков по потокам рассеяния выделился крупный перспективный участок, целиком располагающийся в каменно-осыпной зоне на горном склоне. Последующее проведение здесь детальной литохимической съемки масштаба 1 : 25 000 по крупнообломочной фракции коренных пород склоновых образований (почвенный покров, растения и водоисточники здесь отсутствовали) не привело к обнаружению аномалий. Только в итоге постановки на этой площади кварц-геохимической съемки того же масштаба удалось отчетливо протрассировать золотоносную зону, выделить в ее пределах наиболее перспективные участки и непосредственно открыть две новые жилы с промышленными содержаниями благородного металла.

**Опробование суффозионных иловых потоков** — один из приемов обследований северных склонов, отличающихся особо сложными поисковыми обстановками: интенсивное развитие многолетней мерзлоты, сплошной моховой покров, залесенность, отсутствие коренной обнаженности. Материалом опробования служит тонкий глинисто-илистый материал в пониженных частях склонов, накапливающийся после ливневых дождей в виде своеобразных потоков по мелким продольным ложбинам, рытвинам и тропам или даже натеков на поверхности мха и растительной подстилки. Эти образования формируются за счет механического выноса водами тонких фракций из рыхлого покрова вышележащих уровней склона (с образованием «сушенцов», или «сухарей»), а также в результате поверхностного сноса аналогичного материала, выдавленного на дневную поверхность под действием криогенных процессов (бугры пучения, пятна-медальоны и др.).

Таким образом, при геохимических исследованиях характеризуемых илов извлекается информация о составе рыхлых образований (вторичных ореолов) верхних, средних и в некоторой мере нижних уровней склона. Глубинность метода пока не выяснена, во всяком случае она выше глубинности металлометрической съемки в поверхностном варианте. Метод находится в стадии апробации. Намечается его использование в будущем в сочетании с гидрохимическими поисками по склоновым водам.

**Метод разбраковки и оценки золотых аномалий** на основе одновременного использования некоторых признаков (силы корреляционной взаимосвязи рудных элементов, комплексности их проявления, величин дисперсий золота) испытан на известных месторождениях при проведении практических работ. Созданию метода предшествовали многолетние исследования минерально-геохимических особенностей участков золотоносных образований с концентрированным и рассеянным характером оруденения с целью выяснения критериев их разграничения. Было установлено, что золотые руды отличаются наибольшей степенью сохранности состава продуктивных минеральных ассоциаций (сульфиды меди, свинца, цинка, мышьяка, самородное серебро и его минералы, нередко сульфосоли), отсутствием каких-либо заметных взаимосвязей между количествами этих минералов, преимущественно мелкими размерами рудных выделений, их более или менее равномерным размещением. Наоборот, в зонах слабой общей золотоносности отчетливо проявлены признаки дифференциации состава указанных ассоциаций, укрупнения зерен отдельных минералов, упрочения взаимосвязей некоторых групп минералов, усиления неравномерности распределения. Эти свойства и были учтены при составлении специальной программы для ЭВМ единой серии «ЕС-1020», предназначенной для разбраковки аномалий в золотоносных районах. Интересующие нас руды, как и ожидалось, отмечаются наибольшим числом элементов продуктивной ассоциации, присутствующих

в повышенных концентрациях, низкими значениями дисперсии и корреляционных связей между содержаниями различных рудных элементов. Сопровождающие их многочисленные зоны слабой и рассеянной металлоносности характеризуются противоположными признаками. В соответствии с этим участки сосредоточенного оруденения окаймляются зонами высоких корреляций и дисперсий, образуя своеобразные «кольцевые» или «каркасные» структуры аномалий.

Замечательной особенностью вышеописанных критериев служит то, что они успешно могут быть использованы для разбраковки гипергенных аномалий в условиях значительной роли вышеупомянутых процессов выщелачивания рудных элементов из ореолов.

**Биогеохимические методы** до настоящего времени практически не вышли еще из стадии методических экспериментов. Они опробованы на разных типах месторождений, включая нерудное сырье (слюда — мусковит). Испытаны практически все доминантные виды растений горной тайги и тундры: кедр, лиственница, сосна, береза, кедровый стланик, осина, голубика, черника, рододендрон, мхи, лесные подстилки. Во всех случаях метод дал положительные результаты, сопоставимые в общих чертах с соответствующими данными металлометрических съемок. Вместе с тем главный вопрос биогеохимических исследований — эффективность его применения в относительно трудных поисковых ситуациях (нижние части склонов, площади распространения различного рода аллохтонных отложений, участки с повышенной мощностью рыхлого покрова, болота и т. д.) — пока окончательно не решен. Причина заключается в том, что таких объектов в период проведения исследований на территории области не было, и это лишний раз подтверждает выводы о низкой результативности поисков на обширных площадях, характеризующихся развитием ослабленных и закрытых ореолов. Поэтому основной задачей при дальнейшем плодотворном развитии биохимических поисков нужно считать проверку их эффективности в сложных ландшафтных обстановках и соответствующее практическое использование при крупномасштабных и детальных поисках, особенно на стадии проверки аномалий.

Все охарактеризованные выше виды геохимических исследований принадлежат к числу методов специального назначения и отработаны применительно к наиболее сложным в поисковом отношении категориям площадей, достаточно широко распространенным в пределах интересующей нас горно-таежной ландшафтной зоны. Естественно, что во всех случаях, когда можно обойтись без применения этих методов, т. е. при обследовании площадей с открытыми вторичными ореолами рассеяния (водораздельные пространства, вершины гор и возвышенностей, крутые склоны южной экспозиции, участки склонов выпуклого профиля и т. п.), предпочтение отдается литохимическим поискам по вторичным ореолам рассеяния.

Постановке поисково-оценочных работ предшествует обычно анализ природной обстановки, дифференциация территории обследований по степени проявленности геохимических аномалий и **составление карт по условиям ведения геохимических поисков**. Выделяются четыре категории площадей, характеризующихся развитием открытых, ослабленных, закрытых и погребенных вторичных ореолов. Соответственно выбираются наиболее рациональные геохимические методы или их сочетания.

**Поиски по первичным ореолам** все более широкое применение находят при детальной разведке промышленных месторождений. В то же время уже вошло в традицию сколковое опробование коренных пород включать в комплекс работ на стадии детальных поисков, поисково-оценочных работ и предварительной разведки. Наибольшие объемы этих исследований осуществлены на редкометальных, полиметаллических и золоторудных месторождениях Саяно-Байкальской горной области, а также железорудных месторождениях Ангаро-Илимского района. Часть ра-

бот по изучению эндогенных ореолов выполнена по хоздоговорам с научно-исследовательскими организациями (СибГЕОХИ, ИМГРЭ). В настоящее время систематические исследования в рассматриваемом направлении проводятся Бодайбинской экспедицией совместно с Институтом геохимии СО АН СССР на разведываемых золоторудных месторождениях Ленского района, а также Центральной геохимической партией на магнетитовых месторождениях Ангарской железорудной провинции. В последнем случае поставлена задача выявления возможной сопутствующей минерализации (ртуть, золото, цветные и редкие металлы). Как показывает опыт, дальнейшее рациональное использование метода требует надлежащего аналитического и программно-математического обеспечения.

Развитие и внедрение в практику поисковых работ гидрохимических методов исследований отличалось своими особенностями. На втором этапе (1961—1967 гг.), как уже отмечалось, эти методы широко апробировались на разных типах месторождений. Одновременно гидрохимические поиски постоянно начали включаться в поисковые комплексы при планомерных геологопоисковых работах масштабов 1 : 200 000—1 : 50 000, в первую очередь — на Сибирской платформе и на площадях с повышенной степенью закрытости. В последующие годы, в период массового перехода всех партий на литохимические поиски по потокам рассеяния, внимание к гидрохимическим исследованиям снизилось, исключая вышеописанные разработки в направлении использования метода для целей проверки аномалий. Соответственно уменьшились объемы и качество гидрохимического опробования. Несомненно, что это положение должно быть исправлено, и гидрохимические поиски должны занять свое должное место в комплексе работ на стадии общих поисков и в первую очередь — при изучении площадей закрытых категорий.

Еще одним методом, получившим широкое развитие в управлении, является **аэрогаммаспектрометрическая съемка** (1 : 25 000—1 : 50 000). Она осуществляется специализированными партиями с опережением работ по геокартированию. С помощью АГСМ-съемки решается ряд важных геологических задач, причем в поисковом плане она зарекомендовала себя как достаточно эффективный метод для выявления редкометалльного оруденения, связанного со щелочными гипербазитами, гранитами и полевошпатовыми метасоматитами. В самое последнее время наметилась также перспектива использования метода при поисках золоторудных месторождений. По состоянию на 1.1.1976 г. аэрогаммаспектрометрическая изученность территории Иркутской области составляла (в процентах от общей площади регионов): Восточный Саян — 32,8; Западное Прибайкалье — 53,1; платформа — 3,7.

В целом АГСМ-съемка служит прекрасным дополнением с воздуха наземного регионально-поискового комплекса, включающего визуальные обследования, литохимические поиски по потокам рассеяния, шлиховое опробование. В определенных условиях в этот комплекс добавляются шлихо-геохимические исследования (обычно в описанном варианте спектрального анализа шлихов без разделения их на фракции) и гидрохимические поиски.

При детальном поиске и разведке месторождений разнообразных полезных ископаемых все более активное внедрение находят **ядерно-физические методы**, преследующие цель полной или частичной замены геологического опробования путем количественных определений основных и попутных компонентов в рудах и боковых породах в условиях их естественного залегания. Наиболее существенные достигнутые в этом направлении результаты следующие:

- 1) используются рентгеноспектральные методы определения в карбонатах и пегматитах ниобия и рублидия на приборе БАРС-1, в пегматитах — тантала, ниобия, цезия и олова на «Минерале-3»;

2) получены обнадеживающие данные, свидетельствующие о возможности определения некоторых радиоактивных элементов на БАРС-1, а также рубидия, цезия и тантала на основе анализаторов РРША-1 и «Минерал-5»;

3) применяется фотонейтронный метод установления бериллия в рудных пробах и штуфах, а также по эндогенным ореолам (на основе «Берилл-2П»);

4) используется селективный гамма-гамма-метод количественного анализа на железо в скважинах (в комплексе с КВМ и СНГК);

5) положительно оценены возможности нейтронно-активационной съемки для выявления апатитовой минерализации в карбонатитах.

В последние годы проводятся опытные исследования по выяснению возможностей рентгенорадиометрического каротажа по сумме халькофильных элементов для индикации золотого оруденения прожилково-вкрапленного типа.

Таким образом, главной тенденцией развития геохимических методов исследований последнего периода (с 1968 г.) являлось внедрение наиболее результативных методик и методов геохимических поисков на всех стадиях геологоразведочных работ. Как было показано, основное внимание было уделено форсированному переводу всех поисковых партий на метод по потокам рассеяния как ведущий в общем поисковом комплексе (взамен металлометрических съемок) и разработке проблемы разбраковки и оценки геохимических аномалий в специфических сложных и крайне многообразных ландшафтных условиях горно-таежной зоны.

Совершенствование **аналитических работ** в период массового проникновения различных геохимических методов в практику выражалось главным образом в расширении производственной базы центральной и территориально-экспедиционных лабораторий, увеличении количества приборов, техническом переоснащении лабораторий (постепенная замена кварцевых спектрографов на дифракционные), освоении новых методик анализа, повышении точности и чувствительности определения химических элементов и др. В самые последние годы начато освоение атомно-абсорбционных методов анализа на базе имеющегося прибора «Перкин—Эльмер». Ежегодно возрастают количества проб, анализируемых приближенно-количественным химико-спектральным методом на золото.

**Обработка и интерпретация геохимической информации** с середины 60-х годов всеми подразделениями управления, производящими геохимические поиски, осуществляются с использованием приемов вариационной статистики с ручной разноской данных на карты и разрезы. Для расчета требуемых параметров нередко используются ЭВМ. Для решения частных поисково-оценочных задач применяются некоторые специальные программы, об одной из которых говорилось выше.

Вместе с тем совершенно бесспорно, что в настоящее время рассматриваемая проблема должна решаться исключительно путем организации массовой автоматизированной обработки геохимической информации с машинным построением карт — на основе наиболее прогрессивных программ, имеющих в передовых геохимических организациях нашей страны, на базе собственных (ведомственных) вычислительных центров. Подобной программой располагает, в частности, Институт геохимии СО АН СССР совместно с Вычислительным центром Иркутского госуниверситета, которые по хоздоговору осуществляют значительную часть работ по обработке и интерпретации результатов геохимических поисков в Ленском золотоносном районе, проводимых партиями нашего управления.

Главная направленность в плане **организации геохимических поисков** — обеспечение максимального опережения работ по геокартиро-

ванию с таким расчетом, чтобы к завершению всего цикла геологопоисковых обследований той или иной территории оценить по крайней мере большинство перспективных геохимических аномалий. Такая организация производственного процесса дает возможность существенно приостановить рост общего фонда непроверенных геохимических аномалий. Тем не менее несоответствие между темпами выявления и текущей проверки аномалий сохраняется. Так, за последнюю пятилетку (1971—1975 гг.) было выделено свыше 300 перспективных аномалий, а проверке были подвергнуты только 56, причем были сделаны интересные открытия.

Значительный резерв для новых открытий представляют многочисленные аномалии, выделенные за все предшествующие годы, с момента начала применения геохимических методов поисков. Общий фонд таких аномалий, зарегистрированных на территории Иркутской области, превышает 25 тысяч.

**Проверка аномалий** связана в большинстве случаев с возвращением на ранее закартированные площади, и в этом состоит главная суть проблемы, которую предстоит так или иначе решать на следующем этапе развития геохимических методов поисков в управлении. В настоящий момент в поисково-оценочные обследования вовлекается лишь крайне малая часть «старых» аномалий — главным образом при проведении работ по «геологическому доизучению» определенных площадей (1:50 000).

В то же время, как показал анализ изученности, геохимическими работами охвачено 74 % территории области, причем качество этих работ не всегда отвечает современным требованиям. Причинами такого положения явились запоздалое по сравнению с началом планомерных государственных геосъемок вовлечение геохимических методов в практику, низкая чувствительность анализа на многие рудные элементы в прежние годы, сокращенное или переменное от планшета к планшету число определявшихся химических элементов, низкий уровень обработки и интерпретации геохимических данных. В итоге суммарная площадь, на которой качество геохимических работ можно признать удовлетворительным, составляет 41 % от общей интересующей нас территории. При этом относительно равномерно и более детально опоискованы горно-складчатые районы (Восточный Саян, Западное Прибайкалье, Витимо-Патомское нагорье), наименее изучена Сибирская платформа.

Таким образом, по степени геохимической заснятости территория Иркутской области дифференцируется на несколько категорий площадей: 1) неизученные; 2) опоискованные методом по потокам рассеяния в масштабе 1:500 000 и мельче (1—3 пробы на 5—10 км<sup>2</sup>); 3) обследованные в масштабах 1:200 000—1:50 000 комплексом методов, из которых ведущим являются поиски по потокам рассеяния. Соответственно встает вопрос о необходимости **геохимического доизучения** еще необследованных районов и производства **повторной съемки** на тех площадях, которые прежде были опоискованы на невысоком методическом уровне. Учитывая, что общая площадь доизучения и пересъемки составляет 500 000 км<sup>2</sup>, заслуживают самого пристального внимания рекомендации В. В. Поликарпочкина о целесообразности в подобной ситуации проведения съемок с малой плотностью опробования, например, 1 проба на 5—10 км<sup>2</sup> (по речным илам). Возможен и другой путь — проанализировать спектральным методом навески из шлихов, имеющихся в архивах, поскольку, как было показано выше, результативность данного способа более высокая, чем обычных литохимических поисков. В обоих случаях необходима комплексная автоматизированная обработка геохимических данных с построением карт на ЭВМ, о которой упоминалось выше.

Весьма перспективной представляется также проблема извлечения более полной поисковой информации из материалов старых геохимиче-



ских работ путем их переработки аналогичным способом. В опытно-попытном порядке осуществление такой работы планируется на ближайшие два-три года общими усилиями Иркутского ТГУ, СибГЕОХИ и ВЦ Иркутского государственного университета для части территории Сибирской платформы, включающей зону экономического влияния БАМа и прилегающие к ней районы.

Подытоживая изложенное, кратко сформулируем главные направления развития геохимических поисков на территории Иркутской области, логически вытекающие из всего рассмотренного материала и определяющие стратегию этих работ на современном этапе.

1. Широкое применение и совершенствование метода поисков по потокам рассеяния с ориентацией на то, чтобы в конечном счете и в возможно более короткие сроки покрыть этими поисками всю территорию области.

Проверка возможностей получения новой поисковой информации из материалов геохимических и шлиховых съемок прошлых лет на основе использования метода многомерных полей (в первую очередь для Сибирской платформы).

2. Ускорение темпов проверки и оценки ранее выделенных и открываемых в процессе текущих работ перспективных геохимических аномалий.

3. Продолжение исследований по усовершенствованию методик разбраковки и оценки геохимических аномалий, учитывающих конкретные ландшафтные условия горно-таежной зоны и вышерассмотренные особенности развивающихся здесь вторичных ореолов рассеяния: широкое распространение закрытых и ослабленных у дневной поверхности ореолов, высокая степень выщелоченности из них большого числа рудных элементов и др.

4. Повышение глубинности и чувствительности поисков на основе более широкого и целенаправленного использования различных геохимических методов на всех стадиях геологоразведочных работ (био-, гидро- и шлихо-геохимические исследования, поиски по первичным ореолам, специальные модификации геохимических методов).

5. Улучшение качества и оперативности аналитического обеспечения геохимических работ путем планомерного технического переоснащения центральной и базовых лабораторий, повышения чувствительности и точности определения химических элементов, организации службы контроля.

6. Переход на автоматизированную и унифицированную обработку геохимических данных на ЭВМ. Организация для этой цели внутриведомственного вычислительного центра.

А. С. ФИЛЬКО, Э. Ф. ЖБАНОВ, М. И. ШАБАЛИН,  
П. Ч. ШОБОГОРОВ

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И НАПРАВЛЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ НА ТЕРРИТОРИИ БУРЯТСКОЙ АССР

На территории Бурятской АССР геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых в ряду всех других поисковых методов заняли ведущее положение. Затраты на геохимическое опробование, изучение и оценку выявленных геохимических аномалий составляют 10—12% от общих ассигнований на геологоразведочные работы и близки к расходам на геофизические методы поисков. Геохимические и геофизические методы и особенно их глубинные варианты закономерно

пришли на смену визуальным геологическим поискам, имевшим удовлетворительную результативность только в хорошо обнаженных районах. К настоящему времени на площади республики среднемасштабная геологическая съемка выполнена полностью, съемками в масштабе 1:50 000 охвачено 38% территории. Все геологические съемки сопровождались в соответствующем масштабе литохимическими съемками с пропусками лишь участков, занятых мезокайнозойскими впадинами.

При ведущей роли геохимических поисков в последние годы выявлены Мало-Ойногорское молибденовое, Зангодинское колчеданное, Назаровское цинковое, некоторые редкометальные месторождения и значительное число рудопроявлений (Худанское, Харитоновское, Ново-Павловское, Колобки, Зумбурукское и другие — молибденовые; Булхенское, Шара-Бугутуйское, Ангокитское — вольфрамовые; Моховое оловянное и т. д.).

Мало-Ойногорское молибденовое месторождение приурочено к Джидотской рудной зоне, контролируемой одноименным глубинным разломом, и локализовано в нижнекембрийских вулканогенно-осадочных породах на контакте с гранит-порфирами гуджирского интрузивного комплекса. Оно представлено сложнопостроенным штокверком, образованным маломощными прожилками преимущественно кварцево-молибденитового состава различной ориентировки. В рудах наряду с молибденитом установлены халькопирит, арсенопирит, сфалерит и минералы акцессорные — шеелит, галенит, гюбнерит, халькозин и борнит (Филько, Кузьмин, 1977). Штокверк ориентирован в северо-западном направлении, согласно с господствующими структурами рудного поля; северный фланг его имеет выход на поверхность, южный фланг залегает на глубине 50—120 м. Месторождение занимает водораздельную часть в области среднегорного резко расчлененного рельефа; мощность рыхлых отложений составляет 1,5—3,0 м.

Месторождение открыто в результате изучения комплексного металлотрического ореола, оконтуренного изоконцентрами (в %): 0,0005—0,001 молибдена, 0,01—0,03 меди, 0,01—0,015 свинца и 0,015—0,03 цинка. Ореолы молибдена и меди по размерам вдвое, а свинца и цинка — втрое уступают площади выхода штокверка на поверхность. На участках ореолов канавами вскрыты окисленные руды с содержанием молибдена 0,02—0,03%. Руды с промышленными концентрациями молибдена пересечены скважинами на глубине 25—30 м, что свидетельствует о высокой степени выщелачивания молибдена в приповерхностной зоне. Следует отметить, что вторичные ореолы молибдена были установлены при проведении поисково-ревизионных работ в масштабе 1:10 000, после геологической съемки в масштабе 1:50 000, оценившей площадь как неперспективную. Геофизическими работами рудоносная структура фиксируется как зона комплексных геофизических аномалий: а) низкими значениями кажущихся электрических сопротивлений (менее 500 Ом); б) повышенными, часто знакопеременными значениями магнитного поля (от 100 до 2000 гамм) и в) повышенными значениями поляризуемости, превышающими фоновые в 5—10 раз.

Назаровское колчеданно-полиметаллическое месторождение расположено в Озернинском рудном узле и приурочено к экзоконтакту массива гранодиоритов с нижнекембрийскими вулканогенно-осадочными образованиями. На месторождении установлено три кулисообразно расположенных рудных тел, которые контролируются мощной (более 150 м) зоной смятия. Рудные тела имеют форму линзовидных и пластообразных залежей, вытянутых в субмеридиональном направлении с крутым (60—80°) юго-восточным падением, и на современную поверхность не выходят. Главными рудными минералами являются пирит, сфалерит и пирротин, из нерудных — кварц, хлорит и кальцит. Среди второстепен-

ных минералов выделяются халькопирит, галенит, арсенопирит, магнетит, гематит и золото. Месторождение находится в условиях полужакрытых ландшафтов.

Площадь месторождения предварительно изучалась магнитометрическими работами и бурением без применения геохимических методов, в результате которых было выявлено несколько маломощных магнетит-гематитовых тел, которым дана отрицательная оценка (Сливинский, Нефедьев, 1977). Позднее литохимической съемкой по вторичным ореолам по сети  $100 \times 20$  м выявлено более двадцати комплексных ореолов с содержанием в ‰: цинка 0,01—0,3, свинца 0,01—0,05, серебра 0,0001, меди и бария 0,01—0,03. Вторичные ореолы пространственно совпадают с выходами осадочно-вулканогенных пород. Однако в коренном субстрате под рыхлыми отложениями промышленной рудной минерализации не было обнаружено. Оперативно примененные электроразведочные работы методами КЭП и вызванной поляризации в сочетании с градиентометрией и результатами геохимических поисков позволили сделать прогноз скрытого оруденения, которое было установлено при бурении.

Редкометальное месторождение формации полевошпатовых метасоматитов приурочено к верхнепалеозойским граносиенитам и сиенитам и представлено линзами и линейно-вытянутыми рудными телами, залегающими в зонах дробления. Центральные части рудных тел сложены грейзенами кварц-серицитового состава, а краевые — полевошпатовыми метасоматитами, обогащенными касситеритом и флюоритом. Рудные тела впервые установлены на водоразделе, но большая часть их располагается на склонах и перекрыта склоновыми отложениями мощностью более 3,5 м. Первоначальные признаки их были установлены литохимической съемкой по вторичным ореолам по сети  $500 \times 50$  м в виде аномальных точек меди, свинца (0,08%) и цинка (0,1%). При выборочной детализации этих аномалий гамма-нейтронной съемкой по сети  $100 \times 10$  м была выявлена аномалия с линейными локальными эпипцентрами, при вскрытии которых обнаружены рудные тела.

Моховое рудопроявление олова расположено в гольцовой части отрога Южно-Муйского хребта, на северо-восточном замыкании Туркино-Бамбуйского глубинного разлома. Оно сложено мощными телами касситеритсодержащих метасоматитов — гематит-магнетитового и гематит-магнетит-полевошпатового состава, реже гематит-кварцевыми и слюди́сто-гематит-кварцевыми грейзенами. Рудные тела полностью перекрыты курумами мощностью от 3,5 до 6,0 м. Крутизна склонов составляет  $25-30^\circ$ . Рудопроявление выявлено в 1975 г. по потокам рассеяния с содержанием олова в 0,0008—0,04% при геологической съемке в масштабе 1:50 000. Следует заметить, что в 60-х годах при сети отбора 2—3 пробы на  $1 \text{ км}^2$  в потоках рассеяния были выделены лишь единичные аномальные точки с содержанием олова в 0,003—0,01%, не привлёкшие внимания геологов.

Приведенные примеры выявления месторождений свидетельствуют о больших возможностях геохимических методов в практике ведения поисков. В первую очередь это относится к элементам, имеющим высокую подвижность в зоне гипергенеза (молибден, цинк, медь, свинец) или способность фиксироваться ядерно-физическими методами (фтор).

В последние годы большинство рудопроявлений и месторождений на нашей территории открывается с помощью геохимических методов поисков. Это связано с совершенствованием некоторых производственных процессов, увеличением объемов опробования и оценочных работ на геохимических аномалиях.

В плане аналитических работ это выражается в повышении чувствительности спектрального анализа на ряд элементов, внедрении ядер-

но-физических приборов «Берилл-4» и СП-3М, рентгенорадиометрической и атомно-абсорбционной аппаратуры. Повышение чувствительности спектрального анализа, например, на молибден до 0,0003% привело к тому, что для большинства рудных районов республики молибден стал постоянным компонентом аномальных геохимических полей. Это способствует выявлению их слабоконтрастных аномалий и повышению эффективности геохимических поисков молибдена на полуоткрытых и закрытых площадях, а также изменению металлогенических представлений о многих районах и обнаружению новых формационных типов оруденения. В последнее пятилетие спектральный анализ всех проб, отбирающихся при крупномасштабной геохимической съемке, ведется всеми партиями по единому стандарту предприятия (СТП) на 25 элементов, что позволяет проводить комплексный металлогенический анализ больших площадей и разбраковать аномалии на основе привлечения большего числа элементов.

Ежегодный объем спектрального анализа всех видов геохимических проб составляет 430—460 тыс. Кроме того, ежегодно выполняется гамма-нейтронная съемка в объеме 130—150 тыс. точек наблюдений и нейтронно-активационная съемка — 50—60 тыс. точек наблюдений. Применение ядерно-физических методов непосредственно на участках полевых работ способствует оперативной оценке аномалий бериллия, фтора и фосфора. Однако глубинность бесшпуровых вариантов поисков с помощью приборов «Берилл-4» и СП-3М является невысокой (до 5—10 см), что приводит к фиксации только открытых вторичных ореолов и делает успешным применение этих приборов в контурах обнаженных районов и горных выработках.

Все площадные геохимические съемки выполняются в БГУ при геологосъемочных работах и раньше обычно завершались одновременно, что приводило к накоплению непроверенных аномалий. В минувшей пятилетке произведены изменения в организации геохимических съемок. Большинство геологосъемочных партий теперь проводит опережающую литохимическую съемку, выполняя ее целиком за год-два на всей группе планшетов, выделенных для геологической съемки. Например, Южная партия провела крупномасштабную геохимическую съемку в 1973—1974 гг. на 13 планшетах общей площадью 4000 км<sup>2</sup>. На пробоборке было занято 5—6 бригад (из двух человек), объединенных в геохимический отряд. Два первых полевых сезона отряд был занят площадным биогеохимическим опробованием и литохимической съемкой по вторичным ореолам, последующие два года — детализацией и оценкой аномалий. Такой подход дает возможность оценить все перспективные геохимические аномалии с широким применением горных работ и выборочным бурением еще до завершения геологической съемки, остановить рост числа неизученных аномалий. Так, Южной партией были оценены все 117 выявленных аномалий, из них 17 наиболее перспективных были изучены детально с помощью горных работ, в результате чего было выявлено одно новое молибденовое месторождение и шесть рудопроявлений различных металлов.

Геохимические отряды, в задачу которых входит проведение всего цикла геохимических поисков (от опробования до оценки аномалий), созданы в шести крупных геологосъемочных партиях. Это позволяет партиям, при условии выполнения опережающей геохимической съемки на относительно больших площадях, управлять поисковыми работами на всех планшетах и вовлекать в изучение большее число геохимических аномалий, чем прежде. Одновременно оценка аномалий, как обязательный вид работ, была введена в технические задания всем геологосъемочным партиям.

Вследствие этого произошло повышение удельного веса детальных геохимических работ. Теперь ежегодно геохимические аномалии изучаются примерно на 100 участках, т. е. в два — три раза интенсивнее, чем прежде. Соотношение объемов опробования при площадных геохимических съемках масштаба 1:50 000 и детальных поисках впервые оказалось близким 1:1. В эти же годы внедрен механизированный способ проходки траншей и канав, для чего создан специальный парк бульдозерной техники, с помощью которого ежегодно выполняется 250—350 тыс. м<sup>3</sup> горных выработок. Это удешевляет и резко ускоряет оценку геохимических аномалий. Достигается более высокое качество и представительность искусственных выработок, чем прежде при ручном и буровзрывном способе их проходки. Из ежегодно выполняемого бурения в объеме 130—135 тыс. пог. м на оценку геохимических аномалий расходуется около 10%.

Длительное время обработка данных многочисленных анализов геохимических проб являлась сложной и затяжной стадией геохимических работ. Слабоконтрастные аномалии всех проанализированных элементов полностью учесть было невозможно, существовал разноречивый методике составления карт аномалий. В настоящее время с введением в строй ВЦ БГУ и запуском программы автоматизированного составления карт геохимических аномалий продолжительность «камеральной» стадии может быть сокращена вдвое, стандартизируется и повышается качество геохимических карт. Однако по-прежнему отрицательно сказывается на весь ход геохимических поисков длительное производство спектральных анализов. Это особенно ощутимо стало после того, когда удалось сократить время на обработку геохимической информации и оценку геохимических аномалий.

Важное значение для повышения уровня методического руководства геохимическими поисками приобрел анализ сложных геологических ситуаций, при расшифровке которых была неверно истолкована значимость геохимических аномалий, что в конечном итоге отодвинуло сроки открытия даже крупных рудных месторождений. Следует отметить, что в практике геологоразведочных работ оценка геохимических аномалий довольно часто требует учета многочисленных факторов, находящихся в тесном взаимодействии. Несвоевременная или некачественная интерпретация геологического строения объекта и его ландшафтно-геохимических условий, ошибочность установления предполагаемого генетического или промышленного типа месторождения приводят к неоднократному возвращению детальных поисков на одни и те же участки. Как известно, и в настоящее время в первую очередь оцениваются наиболее крупные и контрастные геохимические аномалии, хотя и установлено, что далеко не всегда контрастность последних соответствует их промышленной значимости. Наиболее часто ошибки подобного рода происходят на площадях с новыми для них формационными типами месторождений, что можно продемонстрировать на примере оценки Озерного и Холоднинского рудных полей.

В районе Озерного колчеданно-полиметаллического месторождения, залегающего в раннепалеозойских осадочно-вулканогенных породах, первоначальные поисково-разведочные работы в 1961—1963 гг. были связаны с оценкой железорудных месторождений. В процессе бурения были установлены повышенные содержания цинка и свинца в сидеритах и магнетитовых рудных телах, но широкое их распространение не расценивалось, как признак обширного эндогенного ореола. В том же районе литохимической съемкой по сети 500×50 м был выявлен комплексный вторичный ореол площадью более 20 км<sup>2</sup>, главными компонентами которого были цинк, свинец, марганец, барий, медь в количестве соответственно (в %): 0,01—0,05; 0,1—0,6; 0,2—0,8; 0,01—0,02; 0,01—0,03. В контуре этого ореола были выявлены признаки железной шляпы (лимониты,

ожелезненные сидериты), «красные» почвы. Эта аномалия, как выяснилось впоследствии, хорошо совпадает с контуром Озерного месторождения, но сразу после открытия она не получила всесторонней количественной интерпретации и считалась рядовой, хотя и рекомендовалась для последующего изучения с помощью геофизических методов и бурения. Предполагалось, что аномальные содержания свинца, цинка, бария, как и развитие железных шляп, обусловлены наличием мелких магнетитовых рудных тел. Детальное изучение условий поисковых работ на этом участке показало, что оценка поверхности здесь не могла быть надежно проведена визуальными поисками, результатами которых располагали первооткрыватели аномалии. Озерное месторождение расположено в таежно-мерзлотном ландшафте в районе средневысотных слаборасчлененных гор с широкими выровненными водоразделами. Рудные тела отличаются сильной выветрелостью и, хотя располагаются на водоразделе, перекрыты большей частью рыхлым чехлом мощностью 2—5 м, на отдельных фрагментах — более 5 м. Коренные обнажения рудных тел отсутствуют. Вторичные ореолы ослаблены, обстановка почв окислительная (рН = 5—5,5), содержание цинка в приповерхностном слое рыхлых отложений снижается в сотни раз по сравнению с содержаниями в рудах.

В районе Холоднинского колчеданно-полиметаллического месторождения, залегающего в осадочно-метаморфических породах протерозоя, первые прямые поисковые геохимические признаки оруденения были установлены в 1962 г. в результате опробования долинных отложений с шагом 80—100 м. Выявленные потоки рассеяния с содержанием свинца и цинка 0,01% имели протяженность 500—1500 м и, как оказалось позже, точно указывали местоположение Холоднинского рудного поля. Но так же, как и на Озерном месторождении, геохимические аномалии, хотя и были рекомендованы для детального изучения, первоначально оценены были не так высоко, как этого заслуживали. Поисковые работы в этом районе в то время проводились, главным образом, с целью изучения медно-никелевого оруденения, связанного с базит-гипербазитами, и появление свинцово-цинковых аномалий не привлекало особого внимания. Имеется сходство в ландшафтной обстановке Холоднинского и Озерного месторождений. Первое располагается также в зоне таежно-мерзлотных ландшафтов, в районе слаборасчлененных средне-высотных возвышенностей. Но в отличие от Озерного, здесь присутствуют ледниковые отложения, шире развиты тундра и заболоченность, хотя фрагмент одной из рудных зон выходит на поверхность. На обоих месторождениях рудные тела были обнаружены после детальных геофизических работ, при изучении протяженных зон низких сопротивлений и гравиметровых аномалий с помощью канав и бурения. Трудность получения правильной оценки первых геохимических аномалий в рассмотренных примерах обусловлена в основном одинаковыми причинами. Оба месторождения оказались расположенными в сложной ландшафтной обстановке, на плохо обнаженной поверхности, перекрытой чехлом рыхлых отложений мощностью 2—5 м. Рудные тела отличаются большими размерами по простиранию, но не имеют коренных обнажений, с поверхности окислены, их вторичные ореолы и потоки ослаблены, особенно избирательно по ведущему рудному компоненту — цинку. Содержание его во вторичных ореолах и потоках по отношению к содержанию в рудах уменьшено в 100—400 раз. Отсутствовали четкие богатые шлиховые ореолы полиметаллов. Заниженная оценка охарактеризованных геохимических аномалий в момент их открытия была связана также с отсутствием комплексного металлогенетического анализа, преобладанием «узкоотраслевых» поисков (железо, никель, редкие элементы) и отсутствием ранее выявленных крупных колчеданно-полиметаллических месторождений.

Переход на массовую оценку геохимических аномалий, крупномасштабные и детальные геохимические поиски и геологосъемочные работы

способствовали быстрому накоплению фактов о резко различных условиях и неодинаковой эффективности поисковых работ в разных районах. Развивалась потребность в районировании сложной природной обстановки на основе разработки новых принципов. Требовался анализ проявленности геохимических аномалий и всех других поисковых признаков различных рудных месторождений в разных ландшафтно-геоморфологических и ландшафтно-геохимических условиях. Это привело к созданию соответствующего направления в геохимических работах управления. Оно начало складываться в 1961—1966 гг. и к настоящему времени приобрело важное самостоятельное значение. За истекший период на части площадей рудных районов проведены специальные работы, выявлены классификационные признаки местных категорий площадей, различных по условиям формирования вторичных ореолов, изучены разрезы рыхлого чехла, строение вторичных ореолов и геохимические особенности ландшафтов на разных рудных месторождениях. Это позволило составить карты районирования условий ведения геохимических поисков для новых площадей. По трудности выявления вторичных ореолов и многих других поисковых признаков рудных месторождений территория Западного Забайкалья теперь дифференцируется на несколько категорий площадей (Тарасов, Жбанов, 1973).

Наиболее простая по строению рыхлого чехла и самая обнаженная категория площадей, на которой развиты открытые вторичные ореолы и полностью представительна традиционная металлометрическая съемка, занимает участки рельефа с интенсивно протекающей современной денудацией. К ним относятся узкие водоразделы сильно расчлененных гор, молодые врезы долин, крутые склоны, участки расчлененного среднегорья, располагающиеся в различных, но всегда молодых ландшафтах степной, таежной и тундровой зон. Среди этих открытых площадей выделяются разновидности с максимальной обнаженностью и мозаично перекрытые молодым (современным или голоценовым) рыхлым чехлом с минимальной мощностью (до 0,5 м). Оказалось, что большинство (70—80%) ранее выявленных месторождений всех типов расположено именно в первой категории. Площадь открытых категорий суммарно не превышает 20% территории Западного Забайкалья и в наиболее доступных, и практически во всех рудных районах опоскована достаточно надежно. Вероятность открытия на ней новых крупных эродированных месторождений быстро понижается или отсутствует. В связи с хорошей изученностью поверхности открытых площадей они потенциально перспективны только на глубокозалегающие и выщелоченные с поверхности месторождения.

Остальная часть территории относится к ландшафтам с более сложным строением и не везде отрайонирована еще достаточно точно. Вторая категория площадей распространена примерно так же, как и предыдущая. На ней отсутствуют или очень редки коренные обнажения, мощность покровных голоценовых и современных дефлюкционных, солифлюкционных, делювиальных и других местных отложений не более 2—5 м. Эта категория занимает преимущественно пологие склоны, часть обширных седловин и водоразделов. Для нее характерны выветрелость рудных тел, закрытые и ослабленные полузакрытые вторичные ореолы, в связи с чем здесь широко практикуется более глубокий пробоотбор (от 0,7 до 1,5 м), особенно на стадии детальной оценки геохимических аномалий. Озерное и Холоднинское месторождения в основном расположены во второй категории. Большинство других месторождений и рудопроявлений, открываемых в последние годы, размещается на площадях этой категории. В экономически освоенных и наиболее доступных районах изученность площадей второй категории быстро растет, и возможность открытия эродированных месторождений на них вскоре также будет исчерпана.

Третья категория площадей ориентировочно распространена на 25% всей территории Западного Забайкалья, занимает участки рельефа с реликтовыми плейстоценовыми дальнепринесенными полигенетическими образованиями (ледниковыми, озерными, эоловыми, эолово-делювиальными, пролювиальными, курумовыми) и несет в себе признаки последовательной смены палеоландшафтов, в связи с чем рыхлый покров ее неоднороден и имеет двух- и трехчленное строение. Суммарная мощность реликтовых отложений вместе с погребенными еще более древними склоновыми отложениями от 3—10 до 15—20 м и более. В коренном субстрате часто сохраняются реликты древних позднемиоценовых и палеоген-неогеновых линейных кор выветривания или остатки ложково-овражной сети, заполненные материалом перемещенных кор выветривания. Все эти разновозрастные отложения обычно занимают пологие склоны, увалы, низкие междуречья, современные и палеодолины, хотя эолово-делювиальные образования отмечаются и на достаточно высоких отметках (до 1300—1500 м). Они всегда в той или иной мере изменены современными склоновыми процессами и находятся в ландшафтных условиях (тайга, лесостепь), чуждых палеоландшафтной обстановке их первоначального образования. В разрозненных участках Западного Забайкалья давно были изучены единичные опорные разрезы подобных отложений. Но только в последние 5—10 лет, в связи с широким развитием геологоразведочных работ, быстро стали накапливаться данные о их более широком площадном развитии и появилась возможность более достоверно выделять границы распространения некоторых из них на картах районирования условий геохимических поисков. На таких категориях площадей геохимические поиски проводятся еще пока не широким фронтом: выборочно применяется биогеохимическая съемка, опробование картировочных скважин, пробуренных станками УПБ-25, в опытном порядке — метод вытяжек и МПФ, газортутная съемка. Основная сложность поисковых работ состоит не в выявлении геохимических аномалий, а в их разбраковке и последующей глубинной оценке, а также в картировании и глубинном изучении самих площадей этой категории. На площади третьей категории расположены фланги некоторых месторождений, выявлены геохимические аномалии, но новые крупные месторождения еще не обнаружены.

На остальных категориях площадей, занимающих примерно 25—30% территории Западного Забайкалья, мощность мезокайнозойских отложений составляет более 50 м, и они в настоящее время исключаются из геохимического опробования.

Основные объемы и затраты геохимических поисков сейчас приходятся на вторую и в ближайшем будущем будут распространяться на третью категорию площадей, т. е. на районы с преобладающим развитием полузакрытых и закрытых вторичных ореолов. На основе этого дальнейшее изучение условий геохимических поисков сейчас перемещается в районы распространения ландшафтов со сложной историей развития.

За последние 10 лет проведена большая работа по обобщению геохимической изученности республики и систематизации всех геохимических аномалий, выявленных с начала применения геохимических работ. Анализ качества ранее проведенных геохимических поисков показал, что территория общей площадью примерно в 60 000 км<sup>2</sup>, покрытая геохимической съемкой в 1952—1965 гг., подлежит пересъемке. Причиной этого является существовавшая в то время низкая чувствительность анализа на многие рудные элементы, ограниченное и переменное от планшета к планшету число анализировавшихся элементов (обычно не более 5—10), отсутствие дубликатов проб и пластинок, низкий уровень обработки геохимической информации. Пересъемка таких площадей становится необходимой и потому, что на них следует ожидать выявле-



ние всех тех новых формационных типов оруденения, которые были обнаружены в последнее десятилетие. Кроме того, на 90% территории республики геохимические поиски рудного золота также в методическом отношении следует признать устаревшими. Таким образом, становится очевидным возврат к геохимическим поискам на относительно больших площадях, хотя в республике завершена мелкомасштабная геохимическая съемка. Изложенное позволяет обосновать следующие основные направления геохимических методов поисков.

Первое направление — ускоренная и детальная оценка ранее обнаруженных рудоперспективных геохимических аномалий.

В 9-й и текущей пятилетках управление значительно увеличило объемы работ по оценке аномалий, она ежегодно стала производиться в два-три раза интенсивнее по сравнению с предыдущим годом. В результате открыто более 200 новых рудопроявлений, в том числе 10 месторождений молибдена, олова и других металлов. Это направление полностью сохраняет свое значение. Важно отметить, что обнаруженные при этом рудные объекты оказались размещенными большей частью на открытых категориях площадей. Оставшиеся рудоперспективные аномалии при ускоренных темпах изучения на открытых категориях площадей могут быть оценены в течение 5 лет.

Второе направление — геохимическая пересъемка и доизучение площадей, заснятых в 1952—1965 г. Это направление логически вытекает из результатов детального анализа геохимической изученности территории на различные элементы и обобщения данных всех ранее проведенных геохимических съемок. Пересъемка начала успешно проводиться в 9-й пятилетке и будет осуществляться по методике поисков потоков рассеяния в комплексе с гидро- и биогеохимическим опробованиями и аэрогаммаспектрометрией. С этой целью предстоит отобрать более 1 млн. проб. Более высокую разрешающую возможность этой методики должны обеспечить: новый теоретический уровень интерпретации потоков (Поликарпочкин, 1976), автоматизированная обработка анализов (Евдокимова, Китаев, 1975), повышенная чувствительность анализа на широкий комплекс рудных элементов; систематизация и разбраковка аномалий на основе закономерностей геохимической зональности месторождений и карт районирования условий формирования ореолов, разработанных в БГУ.

Третье направление — изучение резерва закрытых площадей и геохимические поиски выщелоченных с поверхности, скрытых, скрытопогребенных и погребенных месторождений. Оно еще слабо развито в управлении и сдерживается дороговизной работ, недостаточной мощностью лабораторной базы и парка буровых станков, хотя в некоторых рудных районах уже сейчас может быть подготовлен фронт поисков глубокозалегающих рудных месторождений. В настоящее время особенности эндогенных ореолов слепых рудных тел изучаются на пяти разведываемых месторождениях, обобщаются результаты ранее проведенных геохимических поисков по первичным ореолам, проводятся испытания газортутного полевого анализатора ИМГРЭ-4. В реализации перечисленных трех направлений принимают участие все партии управления.

Четвертое направление включает работы, связанные с изучением геохимических особенностей отдельных районов, производством опытных исследований, обеспечением качества и надежности различных методик опробования, детальным анализом и обобщением результатов геохимических поисков по трем перечисленным направлениям. На первом плане остается проблема интерпретации и разбраковки аномалий в зависимости от ландшафтно-геохимических условий, формационной принадлежности ореолообразующих рудных тел и особенностей формирования ореолов с учетом как механического, так и солевого переноса. Эти исследования ведутся совместно с СибГЕОХИ, ИМГРЭ и ИГЕМ. Эти за-

дачи, так же как и координацию всех геохимических работ, выполняет Центральная геохимическая партия. В настоящее время особо важное значение приобрели вопросы управления качеством геохимических методов поисков, увеличение мощности аналитической базы и подготовки кадров геохимиков как для освоения автоматизированного способа обработки геохимической информации, так и новых геохимических методов. В этом плане в управлении ежегодно проводятся курсы и начата разработка стандартов предприятий (СТП) на основные технологические и геохимические требования и геохимическую документацию. С помощью внутрипроизводственных стандартов осуществляется контроль за качеством геохимических работ и унификация геохимических карт, для составления которых используется ЭВМ.

В. А. БИЛАНЕНКО, В. Н. МАКАРОВ

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ЯКУТСКОМ ГЕОЛОГИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ

Широкое применение геохимических методов поисков на территории Якутии началось 20 лет назад и получило наибольшее развитие в последние годы. В настоящее время геохимические поиски применяются практически на всех стадиях геологоразведочных работ и рассматриваются как существенный резерв повышения эффективности геологических исследований в ЯГУ. В 9-й пятилетке объем геохимического опробования по ЯГУ вырос на 45% и достиг в 1976 г. 336 тыс. проб. На геохимических поисках занято около 200 инженерно-технических работников. Среднегодовая стоимость геохимических исследований составляет 1,5 млн. руб. На 1.01.1977 г. по территории Якутии отобрано около 2,3 млн. различных геохимических проб. Изученность Якутии по масштабам геохимической съемки приводится в табл. 1.

Таблица 1

Масштаб геохимических поисков	Заснятая площадь, тыс. км <sup>2</sup>	% к территории республики, пригодной для ведения поисков	% к общей площади республики	Количество геохимических проб, тыс.
Внемасштабные	1287	65	42	1680
1:200 000	311	15	10	400
1:100 000	26	1,3	0,8	230
1:50 000	18	1,0	0,5	130
1:25 000	6,9	0,4	0,2	303
1:10 000	9,7	0,5	0,3	111
1:5 000	0,01			17
1:2 000	0,08			20
Всего . . . . .	1660	83	54	2286
В том числе в м-бе 1:200 000 и крупнее . . . . .	372	18	11,8	1206

Примечание. Здесь и далее под внемасштабными исследованиями понимаются геохимические поиски с детальностью <1:200 000.

Необходимо отметить, что около 1,1 млн. геохимических проб отобрано при немасштабных исследованиях, что практически не решает поисковых задач. То же касается и площадей, охваченных геохимическими поисками, 78% которых опробовано с детальностью менее 1:200 000.

Даже в рудных районах Якутии, таких, например, как золотоносные Куларский, Верхнеиндигирский, Аллах-Юньский, Алданский, не изучено или изучено в масштабе 1:200 000 от 62 до 77% территории, а в алмазонасных — от 75 до 90%.

Характерен следующий удельный вес различных видов геохимического опробования: литохимические по вторичным ореолам (55%), донное (26%), литохимические по первичным ореолам (17%), гидрогеохимическое (2%).

В 1976 г. геохимические исследования охватили в Якутии площадь около 94 000 км<sup>2</sup>, в том числе:

Геохимические съемки	км <sup>2</sup>
немасштабные . . . . .	51 000
М-б 1:200 000 . . . . .	33 000
М-б 1:100 000 . . . . .	5 000
М-б 1:50 000 . . . . .	5 000

Таким образом, площадь, изученная с достаточной поисковой плотностью, составила за 1976 г. 43 000 км<sup>2</sup> (в м-бе 1:50 000 — 1:200 000).

Ежегодно геохимические работы проводятся на территории, составляющей около 3% (в 1976 г. — 3,3%) всей площади ЯАССР, или около 6% территории Якутии, пригодной для проведения геохимических поисков.

Виды и объемы геохимического опробования, выполненные в 1976 г., приведены в табл. 2 (в тыс. проб).

Таблица 2

Вид геологоразведочных работ	Геохимическое опробование						
	литохимическое			гидрохимическая	биогеохимическое	итого.	%
	первичные ореолы	вторичные ореолы	потоки				
Геологическая съемка:							
м-ба 1 : 200 000	16,2	21,3	17,4	1,3	0,6	56,8	17,1
м-ба 1 : 50 000	22,0	60,5	28,2	0,7	—	111,4	33,0
Работы:							
поисковые	31,0	73,3	6,5	2,6	—	113,4	33,7
разведочные	17,3	11,0	0,5	0,2	—	29,0	8,6
методические	12,0	9,2	2,2	0,5	1,3	25,2	7,6
Всего: тыс. проб	98,5	175,3	54,8	5,3	1,9	335,8	—
%	29	52	16	1,6	0,5		

В среднем по СССР отбирается 0,4 пробы/км<sup>2</sup> ежегодно, а по Якутии в 4 раза меньше. Учитывая слабую геохимическую изученность территории ЯАССР, очевидно, что разрыв в изученности все возрастает. При общем увеличении объемов геохимических работ в 1976 г. на 16% по сравнению с предыдущим годом отмечается сохранение низкой плотности опробования. Так, при геологосъемочных работах 1:200 000 масштаба в целом по ЯГУ применяются немасштабные геохимические поиски по литохимическим ореолам и потокам рассеяния с плотностью опробования в 10 раз ниже рекомендуемой «Инструкцией по геохимическим поискам» (1965), а при работах масштаба 1:50 000 плотность литохимического опробования ниже рекомендуемой в 15—20 раз.

Геологическое управление не обеспечено достаточно современной аналитической аппаратурой, ощущается недостаток в кадрах поисковиков-геохимиков. С целью повышения эффективности геохимических работ в системе ЯГУ созданы Центральная геохимическая партия, подчиняющаяся в методическом отношении главному геологу управления, и геохимические партии в Янской и Аллах-Юньской экспедициях. Центральная геохимическая партия осуществляет опытно-методические исследования в общее руководство геохимическими работами в ЯГУ. В последние годы геохимические поиски в системе ЯГУ ведут около 70 полевых отрядов, входящих в состав геологосъемочных, поисковых и других партий.

Эффективность геохимических методов поисков, несмотря на слабую геохимическую изученность Якутии, подтверждается ежегодными открытиями.

На 1.01.1977 г. на территории Якутии выявлено 4848 геохимических аномалий, в большинстве своем не заверенных. В последнее время обнаруживается 100—150 геохимических аномалий ежегодно, каждая из которых заверяется горными выработками, поисковыми маршрутами, тем или иным видом опробования, в том числе и геохимическим. Ежегодно при заверке геохимических аномалий выявляется 25—30 рудопроявлений. В 9-й пятилетке при помощи геохимических методов поисков открыт ряд месторождений. В 1976 г. на геохимических аномалиях установлены рудопроявления серебра, сурьмы, олова, свинца, ртути, цинка и других полезных ископаемых.

Высокая эффективность геохимических методов поисков со всей очевидностью проявилась при проведении комплексной геохимической съемки регионального масштаба в Адыча-Тарынской зоне (гидро- и литохимические поиски по потокам рассеяния масштаба 1:200 000). В этом рудном районе Якутии, где в течение последних 30 лет проводились геологические съемки и поисковые работы масштабов 1:25 000 и 1:50 000, были обнаружены десятки геохимических аномалий, заверкой которых выявлены месторождения и рудопроявления сурьмы, свинца, цинка и других металлов. Наибольший экономический эффект возможен при проведении поэтапных геохимических исследований комплексного характера, разработанных в ЯГУ (Биланенко и др., 1973).

Центральной геохимической партией совместно с сотрудниками ИМГРЭ, ЛГИ, СЕВМОРГЕО, СВКНИИ издано «Методическое руководство по геохимическим методам поисков рудных месторождений в Якутии», дополняющее и конкретизирующее требования действующих методических руководств применительно к условиям Якутской АССР.

В ЯГУ разработан и осуществляется комплекс мероприятий для создания устойчивой минерально-сырьевой базы в основных рудных районах Якутии. Начаты поисковые геохимические съемки в зоне хозяйственного освоения БАМа и планируется в течение 10-й пятилетки завершить здесь оценку геохимических аномалий. Внедряются опережающие комплексные геохимические поиски масштаба 1:200 000 и 1:50 000, направленные на исследование обширных слабо изученных районов Якутии.

Проводится большая работа по решению ряда задач прикладной геохимии. Следует отметить разработку методики комплексной региональной геохимической съемки по потокам рассеяния (лито-, гидро- и биогеохимической, масштаба 1:200 000 — 1:500 000). Поисковый отряд способен заснять за полевой сезон 8 000 км<sup>2</sup>, со стоимостью от 8 до 20 руб/км<sup>2</sup> и плотностью опробования от 1 до 0,1 пробы на 1 км<sup>2</sup>. Работы, проведенные ЦГХП на северо-востоке Якутии, показали высокую эффективность региональной геохимической съемки. Разработана методика геохимических поисков применительно к месторождениям различных типов (стратиформных полиметаллических, алмазных и др.).

Уделяется внимание изучению эндогенных ореолов при разведке сурьмяных, оловорудных и других месторождений для оценки уровня эрозионного среза и выявления слепых рудных тел.

Основными задачами, стоящими перед геохимической службой ЯГУ, являются:

укрепление лабораторной базы — создание мощного лабораторного центра в г. Якутске с производительностью 500—600 тыс. проб в год и оснащение лабораторий территориальных экспедиций современной аппаратурой;

проведение поисковых геохимических съемок в основных рудных и алмазоносных районах Якутии, а также в зоне хозяйственного освоения БАМа и региональных исследований на геохимически не изучавшихся или слабо изученных территориях;

проведение глубинных геохимических съемок и изучение эндогенных ореолов рассеяния в районах действующих горнодобывающих предприятий и объектах разведки;

внедрение дистанционных методов геохимических поисков месторождений полезных ископаемых;

внедрение ядерно-физических и экспрессных химических методов анализа при поисковых работах;

создание автоматизированной информационной поисковой системы «Геохимия».

Объемы ежегодного геохимического опробования по ЯГУ предполагается увеличить до 1,2 млн. проб.

**В. В. КУНИЦЫН, Р. А. БАУМШТЕЙН, В. Д. ОГОРОДНИКОВ**

### **ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ЧИТИНСКОМ ГЕОЛОГИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ**

Геохимические методы поисков в условиях Читинской области прочно зарекомендовали себя в качестве ведущих на широкий круг твердых полезных ископаемых и широко используются на всех стадиях геологосъемочных, поисковых и разведочных работ, являясь их неотъемлемой частью. 42-летний период производственного применения геохимических поисков в Восточном Забайкалье можно с некоторой условностью подразделить на шесть этапов.

Первый этап (1935—1947 гг.) совпадает с началом геофизических работ в Забайкалье. Он характеризуется малыми объемами опробования на небольших площадях, преимущественно в пределах рудных полей разведываемых месторождений. Работы проводились в крупном масштабе, шаг опробования не превышал 15 м. Пробы анализировались обычно на один элемент в зависимости от типа исследуемого месторождения. Условия анализа в то время были несовершенными, чувствительность крайне низкая. Тем не менее работы этого этапа позволили сделать вывод о применимости металлометрической съемки для поисков месторождений полезных ископаемых.

Ко второму этапу относятся работы 1948—1955 гг. В этот период металлометрия, благодаря высокой эффективности, простоте и дешевизне, становится одним из ведущих методов поисков. Металлометрическая съемка была взята на вооружение главным образом геофизической службой. На долю геофизических партий приходится почти весь

объем металлометрического опробования, выполненный в этот период на территории Читинской области. Происходит резкое увеличение объемов работ и площадей исследования. Работы проводятся в масштабе 1:50 000 с детализацией до 1:10 000 и 1:2000 и последующей проверкой аномалий горными выработками. Однако перечень анализируемых элементов все еще крайне ограничен.

Третий этап начинается с 1956 г. и включает работы, выполненные до 1963 г. Металлометрическое опробование используют уже не только геофизические, а все организации, проводящие геологосъемочные, поисковые и разведочные работы любых масштабов. Для этого периода характерно резкое возрастание объемов опробования. Ежегодно партиями ЧГУ отбирается около 1 млн. металлометрических проб (взято за 8 лет более 7 млн. проб). Работы проводятся преимущественно в масштабах 1:200 000 и 1:50 000. Начинают осуществляться опытно-методические работы по усовершенствованию спектрального анализа и методике отбора проб. Внедряется высокопроизводительный метод просыпки, который в 1958—1959 гг. был освоен всеми лабораториями управления. Пробы анализируются уже на 35 химических элементов. Вместе с тем снижается качество и эффективность работ. Начинает в геометрической прогрессии возрастать количество непроверенных и неоцененных геохимических аномалий.

Четвертый этап характеризуется еще большим расширением исследуемых площадей. Основными видами геохимических работ, проводимых в масштабах от 1:200 000 до 1:2 000, являются поиски по вторичным ореолам и потокам рассеяния. При металлометрическом опробовании ежегодно отбирается примерно 600 тыс. проб.

На стадии экспериментирования находятся другие методы геохимических поисков: глубинная металлометрия, по первичным ореолам, гидрохимические и биогеохимические. Продолжает совершенствоваться спектральный анализ. По спецметодикам выполняются анализы на ртуть, фтор, бор и золото. Большое распространение получают золотометрические съемки. Однако лабораторная служба все еще не удовлетворяет возросшим требованиям геохимических поисков. Ряд элементов определяется с недостаточной чувствительностью. Для этого этапа характерна все еще большая задержка в получении результатов спектрального анализа и несвоевременная проверка выявленных аномалий.

В 1963 г. в управлении была организована Центральная геохимическая партия (ЦГХП). В первоначальный период деятельности она провела обобщение материалов геохимических поисков за все предыдущие годы. При этом были систематизированы и сведены на металлометрическую карту области результаты всех металлометрических съемок, рекомендованы участки для проведения детальных работ, намечено дальнейшее направление поисковых геохимических исследований.

Пятый этап включает работы, проведенные с 1966 по 1975 гг. Металлометрической съемкой масштаба 1:200 000 покрыта почти вся территория Читинской области. Основной объем проб отбирается при поисках масштаба 1:50 000. Много внимания уделяется опытным исследованиям по усовершенствованию существующей методики геохимических работ. В соответствии с Инструкцией... (1965) ведется статистическая обработка результатов анализа, вычисляются параметры геохимического фона и аномальных содержаний элементов и с их учетом осуществляется разбраковка аномалий. Более широко проводятся литохимические поиски по эндогенным ореолам, глубинные металлометрические поиски и гидрохимическое опробование.

В 1969 г. составлены карты геохимических ландшафтов и карта районирования Читинской области по условиям ведения геохимических поисков масштаба 1:500 000. В этот период несколько уменьшается отставание в получении результатов анализов металлометрических проб.

Шестой этап (незавершенный) начался в 1976 г. Основная отличительная особенность его — начало разработки и внедрения первой очереди автоматизированной системы обработки геохимических данных с помощью современной ЭВМ ЕС-1020.

Геохимическая изученность Читинской области по состоянию на 1.01.1977 г. составляет в среднем масштабе 67,3%, в крупном — 40,8% и в масштабе детальных поисков 2,7% территории области. Относительная роль различных видов геохимических работ за 1975—1976 гг. показана ниже:

Год	Общий объем опробования, тыс. проб	В том числе по видам опробования			
		первичные ореолы	вторичные ореолы рассеяния	потоки рассеяния	гидрохимическое опробование
1975	555,7	72,7	472,3	9,9	0,7
1976	572,6	64,8	499,3	7,4	1,1

Как видно, по-прежнему наиболее широко применяются литохимические методы и прежде всего поиски по вторичным ореолам рассеяния.

При геологической съемке масштаба 1:200 000, которая на территории области в основном завершена, преимущественно применяется метод литохимических поисков по потокам рассеяния в комплексе со шлиховым опробованием. Нередко эти виды работ сочетаются с литохимическими исследованиями на склонах и дополняются сколовым опробованием коренных пород.

Геологосъемочные и поисковые работы масштаба 1:50 000 сопровождаются литохимическими поисками по вторичным ореолам, реже по потокам рассеяния, а в условиях гольцового ландшафта на севере области — площадным сколовым опробованием коренных пород с целью изучения первичного геохимического поля (выявление первичных ореолов, геохимическая характеристика комплексов и свит и т. п.).

Детальные литохимические поиски масштаба 1:10 000 и крупнее в основном по вторичным ореолам рассеяния проводятся в пределах рудных полей эксплуатируемых и разведываемых месторождений, а также при детализации геохимических аномалий, выявленных при поисках масштаба 1:50 000. Изучение первичных ореолов при этих работах осуществляется еще в недостаточных объемах. В последние годы такие исследования были выполнены на площадях Семилетнего флюоритового и Бом-Горхонского вольфрамового месторождений. Полученные результаты свидетельствуют о большой эффективности данного вида исследований.

Результаты тематических и опытно-производственных работ по изучению первичных ореолов ряда золоторудных месторождений свидетельствуют об успешном решении задачи по оценке глубоких горизонтов и флангов месторождений, определению уровня эрозионного среза рудных тел. Весьма интересные данные получены в последнее время при анализе строения первичных ореолов молибденовых месторождений Жерикенского района. С целью поисков скрытых и глубокозалегающих рудных объектов по их первичным ореолам в управлении производится сплошное геохимическое опробование керна всех скважин поискового и разведочного бурения и поинтервальное опробование подземных и поверхностных горных выработок. Только в 1976 г. отобрано более 60 тыс. таких проб. Однако полученные материалы по первичным ореолам производственными партиями своевременно и в полном объеме не обрабатываются.

Гидрохимическое и глубинное литохимическое опробование применяется в небольших объемах на закрытых площадях. В 1976 г. по этим видам геохимических поисков отобрано соответственно 1087 и 15 059 проб.

Из вышеприведенных данных обращает на себя внимание крайне незначительный объем опробования по потокам рассеяния. Это находит свое объяснение в том, что в Читинской области традиционно получили самое широкое развитие поиски по вторичным ореолам рассеяния, достаточно высокая эффективность которых апробирована временем. Кроме того, при поисках по потокам рассеяния трудновыполнимым оказалось требование Инструкции о желательности отбора в пробы илестоглинистого материала и совершенно невыполнимым соблюдение требуемой плотности сети пробоотбора при поисках масштаба 1:50 000 (20 проб на 1 км<sup>2</sup>). Вместе с тем опыт широкого применения поисков по потокам рассеяния в соседних регионах (Иркутская область, Хабаровский край) свидетельствует о их результативности и экономичности. Полученные предварительные данные опытно-производственных работ показывают, что и Читинская область не является в этом отношении исключением. Поэтому программой геохимических работ Читинского ГУ в зоне БАМа на 1978—1980 гг. ведущим методом при поисках масштаба 1:50 000 и геохимическом доизучении масштаба 1:200 000 определен метод поисков по потокам рассеяния.

Эффективность геохимических методов в Читинской области в настоящее время определяет прежде всего эффективность площадных поисков по вторичным ореолам рассеяния, на долю которых приходится более 80% общего объема геохимического опробования. За 20-летний период Читинским ГУ при помощи литохимических поисков при проверке 380 аномалий было выявлено 12 месторождений, в том числе: Северо-Акатуевское, Курултыкенское, Резановское, Ируновское — полиметаллические; Бугдаинское — молибденовое и другие (вольфрамовые и оловорудные). Кроме того, при литохимических поисках обнаружено более 100 проявлений полиметаллов, золота, молибдена, вольфрама, олова, меди, флюорита, никеля и других металлов. Всего выявлено более 600 геохимических аномалий. Непроверенными остаются более 300 аномалий, из которых в первую очередь требуют проверки около 80. В 1976 г. партиями управления с различной степенью детальности проверялись 74 геохимических аномалии, в том числе 10 аномалий, выявленных по работам этого года.

Несмотря на относительно высокую эффективность геохимических поисков в Читинском ГУ, их практическая отдача несоизмерима с выполняемыми объемами опробования и соответствующими затратами средств. Основная причина этого — завершение поискового геохимического цикла при геологической съемке масштаба 1:50 000 стадией фиксации ореолов и аномалий без последующей их оценки, детализации и проверки. Поэтому предполагается создать в 1977—1978 гг. при всех территориальных экспедициях поисковые партии для планомерной оценки перспективных площадей, выделенных по геохимическим и геофизическим данным.

Анализы геохимических проб выполняются Центральной и четырьмя полевыми спектральными лабораториями. Ими применяется экспрессный и дешевый метод полуколичественного спектрального анализа геохимических проб на широкий круг элементов с достаточно высокой чувствительностью и удовлетворительной точностью определений. Анализ осуществляется способом просыпки, реже испарения из канала угольного электрода, с визуальной расшифровкой спектрограмм и выдачей результатов рядом семи значащих цифр на порядок. Применяются также массовые экспресс-анализы по специальным методикам на золото, фтор, ртуть, литий, рубидий, цезий; анализ сухих остатков водных проб. Освоены методики количественного определения вольфрама, олова, бериллия, ниобия, тантала, редких земель и анализы на породообразующие элементы.



Пропускная способность Центральной спектральной лаборатории на 1977 г. составляет 380 тыс. общих спектральных анализов и 220 тыс. спектрохимических анализов на золото. Несмотря на это, требуется дальнейшая техническая модернизация и переоснащение лабораторной службы (непрерывные условия повышения качества и эффективности геохимических работ).

Важным залогом успеха геохимических поисков является применение оптимальных методов и их рациональное комплексирование с другими геологическими методами. В Читинском ГУ геохимические поиски масштаба 1:50 000 проводятся в комплексе с геологической съемкой, поисковыми маршрутами, шлиховым опробованием, геофизическими методами (магнито-, электро-, гравиразведка) и радиометрическими наблюдениями. В зависимости от ландшафтных условий применяются поиски по потокам или вторичным ореолам рассеяния.

Детальные геохимические поиски масштаба 1:25 000 и крупнее проводятся по вторичным ореолам рассеяния или первичным ореолам (в местах отсутствия на поверхности мелкозема). В зависимости от геологоструктурных и физических условий они комплексировуются с магнито-, электро-, гравиразведкой и ВП.

Для повышения эффективности геохимических работ на стадии детализации предусматривается апробация биогеохимических и атмосферических методов.

Для оперативного проведения поисковых работ намечается более широкое использование экспрессных ядерно-физических методов (гамма-нейтронная и нейтронно-активационная съемки).

На разведываемых месторождениях проводится изучение первичных геохимических ореолов. На основе критериев, выработанных при изучении первичных ореолов разведываемых и эксплуатируемых месторождений, намечается в дальнейшем приступить к переоценке ранее отбракованных месторождений, рудопроявлений и аномалий.

Необходимо более строго подходить к соблюдению стадийности в проведении геохимических поисков. Совершенно излишней является детализация вторичных ореолов рассеяния, выявленных работами масштаба 1:50 000, посредством геохимического опробования масштаба 1:25 000.

Как правило, такие работы только подтверждают наличие аномалий, не позволяя перейти к их проверке горными выработками, для чего требуется проведение геохимических съемок масштаба 1:10 000.

Разнообразные и сложные ландшафтно-геохимические условия Читинской области, в особенности ее северной части, требуют составления схем условий ведения геохимических поисков в тех же масштабах, в которых выполняются геохимические съемки. Составленные в 1967—1969 гг. ландшафтно-геохимические карты и карты районирования Читинской области по условиям ведения геохимических поисков масштаба 1:500 000 могут быть использованы только для самой общей ориентировки. Методика составления схем районирования по условиям ведения геохимических работ масштаба 1:50 000, 1:25 000 и крупнее не разработана.

Учитывая важность разработки методики составления таких схем, планируются опытно-методические работы, которые будут выполняться специалистами ЦГХП и Аэрометодической партии. Итогом работы явится составление методических рекомендаций для производственных подразделений управления.

К настоящему времени далеко не все вопросы методики геохимических поисков и их рационального комплексирования в достаточной степени решены. Прежде всего это относится к специфическим условиям северной части Читинской области. При проведении геохимиче-

ских поисков здесь часто приходится сталкиваться с участками, крайне неблагоприятными для ведения поисковых работ.

К их числу относятся прежде всего поля крупноглыбовых курумов, которые встречаются в пределах всей территории района. Особенно характерны они для горно-тундровой зоны ландшафта. Опробование курумов сколками положительных результатов в большинстве случаев не дает. По-видимому, это связано с избирательным разрушением курумов, при котором в первую очередь истираются механически более слабые оруденелые и гидротермально измененные породы.

На эффективность опискования в северных районах отрицательное влияние оказывает наличие многолетней мерзлоты. Нет надежной методики опробования площадей, перекрытых ледниковыми моренами.

Все это обуславливает необходимость проведения соответствующих опытно-методических работ, которые будут выполняться силами специалистов Центральной геохимической партии и сторонних научно-исследовательских организаций.

Главной задачей геохимических поисков в пределах Читинской области, за исключением территории зоны БАМа, на ближайший период является не наращивание фонда аномалий, а переоценка уже полученной огромной информации. Сделать это можно только путем применения комплексной автоматизированной обработки геохимических данных с помощью ЭВМ. В течение 1975—1976 гг. партией АСУ — Читагеология разработана первая очередь автоматизированной системы обработки геохимических данных с помощью ЭВМ ЕС-1020. В настоящее время начата ее опытная эксплуатация и внедрение в практику геохимических поисков (6 партий). В дальнейшем намечается полная комплексная обработка на ЭВМ всей накопившейся и вновь получаемой геохимической информации.

В архивах Читинского ГУ хранятся результаты анализов более 20 млн. геохимических проб. Пробы, отобранные в течение первых трех этапов развития геохимических поисков в Забайкалье (до 1963 г.), часто анализировались на ограниченный комплекс элементов. Чувствительность спектрального анализа на многие элементы была явно недостаточной. Анализы геохимических проб на золото не проводились. Оценка геохимических аномалий осуществлялась на основе построения моноэлементных планов и карт. Естественно, что слабоконтрастные ореолы, часть из которых несомненно обусловлена скрытым или перекрытым промышленным оруденением, внимания к себе в те годы не привлекали. А ведь именно тогда геохимические поиски проводились в основных горнорудных районах Забайкалья. Поэтому переоценка старых материалов на основе машинного построения полиэлементных геохимических карт различных модификаций (мультипликативных и аддитивных ореолов, карт многомерных геохимических полей и др.) с использованием современного математического аппарата позволит дополнительно выявить ряд перспективных геохимических аномалий и в конечном итоге увеличить баланс промышленных руд в пределах даже хорошо изученных районов.

В настоящее время тремя экспедициями составляются проекты на сбор и кодирование по архивным данным результатов площадных геохимических поисков масштаба 1:50 000 прошлых лет по территории Итака-Могочинской зоны, Центрального и Южного Приаргунья. На основе этих материалов будет проведена также прогнозная оценка перспектив рудоносности территорий, вначале (1980—1981 гг.) по отдельным рудным районам, а затем (1982—1986 гг.), по мере накопления массива (банка) исходных данных, по всей территории области.

С целью дальнейшего улучшения качества и повышения эффективности геохимических поисков в Читинском ГУ составлен и утвержден

план соответствующих мероприятий на 1977—1980 и последующие годы, в котором нашли отражение многие из рассмотренных выше задач и намечены пути их решения.

Н. И. ЛАВРИК, В. П. ВАСИЛЕНКО,

Н. П. ЧЕНЦОВ, А. И. БУРАГО

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ В ПРИМОРЬЕ

Приморский край имеет довольно высокую геолого-геофизическую и поисковую изученность. Геологической съемкой масштаба 1:50 000 вся его территория охвачена на 62%, а главные рудные районы на 85—100%, шлиховым опробованием на 85—100%. На всех крупных рудопроявлениях проведены детальные поисковые и геофизические работы в масштабах 1:10 000—1:5 000.

С 1940—1950-х гг. применяются литохимические поиски по вторичным ореолам и потокам рассеяния и гидрохимический метод. Литохимические поиски и оценка оруденения по первичным ореолам начали внедряться в практику производственных работ управления в 1972 г. и проведены на отдельных участках основных рудных районов Приморского края.

В настоящее время территория Приморья характеризуется следующей изученностью геохимическими методами (при различном качестве выполненных работ): гидрохимическими поисками—87400 км<sup>2</sup>, или 53,8% территории края; литохимическими поисками по потокам рассеяния—92 200 км<sup>2</sup> (56,7%); литохимическими поисками по вторичным ореолам рассеяния—82 500 км<sup>2</sup> (51%). Оставшиеся неизученными геохимическими методами площади являются либо слабо перспективными на обнаружение рудных месторождений, либо перекрыты молодыми образованиями значительной мощности (палеоген-неогеновые и четвертичные озерно-аллювиальные отложения, базальты).

Однако следует отметить, что геохимические работы, выполненные в 1940—1950-е гг., характеризуются низким качеством анализа вещества, узким комплексом определявшихся рудных элементов или имеют недостаточную плотность опробования. Работы неудовлетворительного с этих позиций качества составляют 35—40% изученной в эти годы площади. Такие участки нуждаются в повторном опосковании геохимическими методами.

Рассматривая вопрос эффективности применявшихся на территории Приморского края поисковых методов, необходимо отметить следующее. В период 40, 50 и частично 60-х гг. на стадии сравнительно слабой поисковой изученности Приморья наиболее высокую эффективность имел широко применявшийся в те годы шлиховый метод, благодаря которому было выявлено подавляющее большинство вскрытых эрозией рудных объектов, в том числе промышленных месторождений олова и вольфрама.

Применение геохимических методов в комплексе с геофизическими позволило выявить большое количество гидро- и литохимических аномалий, что способствовало расширению перспектив уже известных и открытию новых промышленных месторождений и рудопоявлений олова, вольфрама, полиметаллов, золота. Оловорудные объекты открывались даже на площадях, детально изученных шлиховым методом, но в этом случае они чаще оказывались представленными рудами с мелким

касситеритом, не дающим высоких концентраций в аллювии водотоков, но образующим обширные ореолы рассеяния в делювии.

Геохимическими методами (в комплексе с геофизическими) открыты Арсеньевское, Нижнее, Юбилейное, Арминское, Ноябрьское, Встречное оловорудные месторождения, Фасольное полиметаллическое, Лазурное медно-молибденовое рудопроявления, многочисленные серебряные в Кузнецовском рудном районе; расширены перспективы Силинского и Новогорского оловорудных месторождений; полностью переоценено оловорудное месторождение Голубое, частично — месторождения Трапещия и Дальнетаежное.

В настоящее время на территории Приморского края известно более 1500 литохимических аномалий, связанных как с выходящей на дневную поверхность, так и слабо эродированной, в том числе и скрытой рудной минерализацией. Около 100 аномалий связаны с оцененными на глубину месторождениями и рудопроявлениями. Более 400 геохимических аномалий изучены в предыдущие годы только с поверхности в основном горными и геофизическими работами без применения новейших геохимических методов оценки перспективности оруденения на глубину.

Представляется возможным, что в их числе могут оказаться слабо эродированные промышленно интересные объекты, проявленные с поверхности слабыми аномалиями.

За годы 9-й пятилетки на территории Приморского края было выявлено более 200 новых аномалий и рудопроявлений, в том числе геохимическими методами выявлено 168 аномалий, из них: гидро- и литохимических по потокам рассеяния — 81, литохимических по вторичным ореолам рассеяния — 87.

Таким образом, благодаря сравнительно высокой поисковой изученности основных рудных районов края, подавляющее большинство вскрытых эрозией рудных месторождений и проявлений оказались выявленными, в связи с чем вероятность нахождения новых объектов, характеризующихся промышленными параметрами оруденения с поверхности, значительно снизилась, а поисковые работы стали недостаточно эффективными.

В этой ситуации дальнейшее развитие геохимических методов в Приморье должно быть направлено на поиски скрытых и слабо эродированных месторождений. В связи с этим применяемые геохимические методы должны обеспечить, с одной стороны, выявление слабоконтрастных аномалий, а с другой — прогнозную оценку их перспективности на глубину. Поэтому в настоящее время наиболее актуальной является задача повышения глубинности, разрешающей способности и надежности геохимических методов. Это может быть достигнуто: применением более глубинных геохимических методов поисков; разработкой и использованием геохимических критериев прогнозной оценки геохимических аномалий, рудопроявлений и недоразведанных месторождений по результатам изучения поверхности; улучшением технической оснащенности лабораторной базы более чувствительными и точными аналитическими приборами; применением более чувствительных методов опробования с обогащением проб (выделение и анализ тяжелой или электромагнитной фракции).

В условиях Приморья особо важное значение имеет фактор, сформулированный первым.

Методические исследования, проведенные сотрудниками ИМГРЭ, ДВГИ, ДВИМСа, МГУ, Геохимической экспедиции Центрального геофизического треста, а также ЦГХП ПТГУ за годы 9-й пятилетки, способствовали усовершенствованию методики геохимических поисков в условиях Приморья и повышению их эффективности.

Главными достижениями в области геохимических методов поисков рудных месторождений в условиях Приморского края являются следующие:

1. Разработаны критерии оценки уровня эрозионного среза оловянного, вольфрамового, полиметаллического и золотого оруденения Приморья по первичным и вторичным литохимическим ореолам (ИМГРЭ, МГУ, ПТГУ).

2. Разработан метод количественной оценки скрытого и в различной степени эродированного оловянного оруденения на глубину по первичным ореолам (ЦГХП, ПТГУ).

3. Разработаны принципиальные основы метода прогнозной количественной оценки на глубину оловянного, вольфрамового и жильного полиметаллического оруденения по значениям линейных продуктивностей рудных тел и минерализованных зон, полученным не менее чем в шести пересечениях, не лежащих на одной прямой в плоскости продольного разреза рудного тела (зоны). По сравнению с другими, метод имеет следующие преимущества: а) прогнозная количественная оценка оруденения может быть выполнена по одному основному рудному элементу, что позволит максимально использовать данные предшествующих для оценки перспективности ранее выявленных аномалий, рудопроявлений и недостаточно изученных месторождений; б) все неизвестные характеристики определяются в процессе расчета для каждого оцениваемого объекта, а не переносятся по принципу аналогии с эталонных месторождений; в) расчетами учитывается не только вертикальная (осевая), но и горизонтальная (продольная) изменчивость продуктивности рудного тела; г) одновременно с основными прогнозными характеристиками оцениваемого оруденения определяется и степень его эродированности; д) определяется возможное склонение рудных столбов.

4. На основе использования перечисленных методов и критериев разработан методический подход к составлению карт прогнозной оценки геохимических аномалий как основы выбора участков под постановку детальных поисковых работ.

За последние годы на основе применения разработанных для условий Приморского края геохимических методов и критериев оценены 132 аномалии. По результатам оценки 110 аномалий признаны неперспективными, 22 аномалии получили положительную оценку, в том числе 14 — на предварительной стадии работ без подсчета прогнозных запасов. Заверочные буровые и горные работы были проведены на 13 объектах, в том числе на трех оцененных положительно и девяти — отрицательно. Отрицательный прогноз подтвердился на всех оценивавшихся объектах при хорошей сходимости прогнозных и фактических параметров оруденения. Перспективы положительно оцененных геохимическими методами участков (Голубого, Неправильного, Южно-Силинского, Быстрого) проверены бурением и подземными горными выработками. По первым трем объектам сделанный прогноз подтвердился, по участку Быстрому — нет, хотя в связи с плохой изученностью структуры рудного поля объем работ недостаточен для полной оценки участка.

Представляется рациональным перед постановкой бурения на положительно оцениваемых аномалиях проводить более детальные геохимические работы с поверхности, по их результатам выполнять количественную оценку всех выявленных рудных и минерализованных зон и определять места заложения буровых скважин. Опыт проведения подобных работ по оценке оловянного оруденения показал, что на конечном этапе положительную оценку получают 3—5% от числа изученных объектов. Следовательно, можно ожидать, что из 1000 недостаточно изученных аномалий положительную оценку получат 30—50.

Чтобы повысить эффективность поисковых работ в условиях Приморья, необходимо увеличить количество ежегодно оцениваемых участков до 100—150.

Исходя из стоящих перед геологической службой управления задач и учитывая состояние геологопоисковой изученности территории края, применение геохимических методов в Приморье целесообразно в следующих направлениях:

1. Выполнить работы по оценке перспективности выявленных аномалий и рудопроявлений на основе использования результатов ранее проведенных работ и применения новейших методов количественного прогнозирования на глубину с составлением соответствующих карт в масштабах 1:200 000—1:50 000. Результаты этих обобщений и, в частности, карты оценки аномалий должны служить основой выбора участков под постановку детальных поисковых и поисково-оценочных работ, сопровождаемых бурением скважин и проходкой подземных горных выработок.

2. Продолжить более интенсивными темпами работы по прогнозной оценке ранее выявленных геохимических аномалий, рудопроявлений и недостаточно изученных месторождений и в первую очередь в освоенных горнорудной промышленностью и легкодоступных районах. Усиленное развитие этого направления имеет высокие потенциальные возможности для выявления промышленно интересных объектов.

3. Провести повторное изучение или доизучение геохимическими методами тех территорий, в пределах которых качество проведенных ранее работ не отвечает современным техническим требованиям. Цель работ — переоценка перспективности некачественно изученных территорий на рудную минерализацию. При достаточной плотности отбора можно ограничиться их повторным анализом. В случае отсутствия проб и при некондиционных работах следует геохимические поиски провести повторно. Масштаб работ определяется поставленными задачами и конкретной геолого-геохимической обстановкой.

4. Продолжить геохимические поиски на слабо изученных и неизученных территориях вначале комплексом гидрохимического и литохимического по потокам рассеяния методов в масштабах 1:50 000—1:100 000, а затем на перспективных участках провести литохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния в масштабах 1:50 000—1:25 000 (в комплексе с геофизическими методами) с последующей прогнозной оценкой выявленных аномалий по первичным ореолам.

5. В освоенных горнорудной промышленностью районах, таких, как Кавалеровский и Дальнегорский, провести площадные литохимические поиски по первичным ореолам с целью выявления возможного скрытого оруденения.

6. Начать глубинные геохимические поиски в западных районах края, перспективных на выявление перекрытых месторождений.

7. В связи с направленностью геохимических методов на поиски слабо эродированного и скрытого оруденения необходимо на всех стадиях поисково-оценочных работ особое внимание уделять выявлению связанных с ним слабоконтрастных аномалий. Надежность их обнаружения должна проверяться путем искусственного усиления полезного сигнала, т. е. применением различных методов фракционирования и обогащения проб, осуществлением контроля анализа проб методами повышенной чувствительности и точности, использованием специальных приемов обработки и интерпретации полученной информации.

8. С целью повышения надежности и эффективности геохимических методов необходимо продолжать их совершенствование, обратив особое внимание на их рациональное комплексирование с геолого-структурными, геофизическими, минералогическими, термобарометриче-

скими исследованиями, изучением петролого-геохимических особенностей аномальных полей, картированием метасоматической зональности перспективных территорий.

Таким образом, в условиях Приморского края наиболее целесообразной является следующая последовательность применения геохимических и некоторых других методов при поисках и оценке рудных месторождений: 1) гидро- и литохимические поиски по потокам рассеяния в масштабах 1:100 000—1:50 000; 2) литохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния в масштабах 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000 в комплексе с геофизическими методами (электроразведкой, магниторазведкой, гравиразведкой); 3) предварительная прогнозная оценка объектов по вторичным и первичным ореолам с применением геохимических критериев в комплексе с петролого-геохимическими; 4) детальная прогнозная оценка объектов по первичным ореолам с использованием геохимических, минералого-геохимических, геофизических, структурно-тектонических и общегеологических критериев; 5) поисково-оценочное бурение с изучением первичных ореолов на глубину и проверкой правильности сделанных прогнозов.

**И. Ф. БРОВЧУК, А. П. ИНГОВАТОВ, Э. Г. АБИСАЛОВ**

### **АВИАДЕСАНТНЫЕ ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ПОТОКАМ РАССЕЯНИЯ В УСЛОВИЯХ ОХОТСКО-ЧУКОТСКОГО ВУЛКАНОГЕННОГО ПОЯСА**

Современные темпы проведения геологических съемок и геохимического опознания обширных и труднодоступных территорий Дальнего Востока, Сибири и Северо-Востока не могут создать достаточного резерва перспективных объектов (участков, площадей) для обоснования постановки детальных поисков на твердые полезные ископаемые и групповых геологических съемок масштаба 1:50 000. По инициативе отдела геологической съемки Мингео РСФСР Центральный геофизический трест силами Геохимической экспедиции, начиная с 1973 г., осуществляет опытно-производственные и производственные авиадесантные литохимические поиски по потокам рассеяния в золото- и оловорудных районах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса.

Результаты опытных работ, выполненных на рудных полях известных золото-серебряных и оловорудных месторождений и рудопроявлений, а также расчеты показывают, что принятая методика и плотность опробования обеспечивает выявление рудных полей средних и крупных месторождений или их эндогенных ореолов, выведенных на современный денудационный срез, что вполне отвечает задачам геохимических съемок, опережающих групповые геологические съемки масштаба 1:50 000.

На основе разработанной методики и принятой организации работ за три полевых сезона 1975—1977 гг., опознована площадь в 30 000 км<sup>2</sup>, т. е. примерно 10 000 км<sup>2</sup> за один полевой сезон продолжительностью 2,5 месяца, что позволило в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса выявить участки с проявлениями золота, серебра, олова, молибдена, висмута, вольфрама и на качественно новой основе локализовать площади для постановки групповой геологической съемки масштаба 1:50 000.

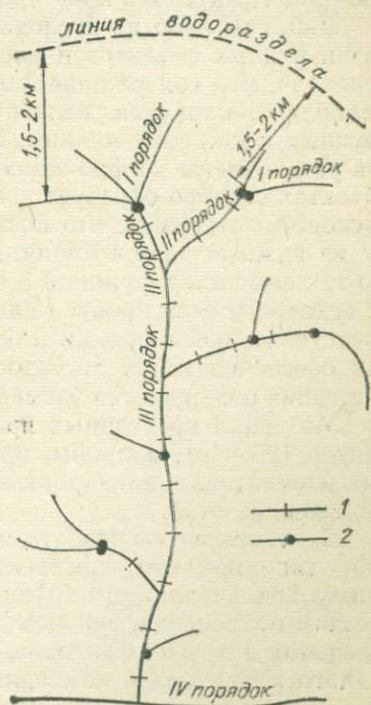
Район работ характеризуется сильно расчлененным рельефом с абсолютными отметками 1000—2000 м и относительными превышениями 600—1300 м, хорошо развитой гидросетью и глубоко врезаемыми доли-

нами рек. Эрозионный характер речных долин, резко континентальный климат обусловили преобладание в русловых стоках твердой фазы и широкое развитие аллювиально-пролювиальных отложений в руслах водотоков первого и второго порядков. Важной особенностью региона является контрастное сочленение лавовых покровов мел-палеогеновых вулканитов и гранитоидных интрузивов со складчатыми структурами мезозоя и кристаллическими образованиями дорифейского возраста. Наличие гранитоидов натрового и калиевого рядов определило, по мнению многих исследователей, оловянную и золото-редкометалльную специализацию пояса. С вулканитами связано золото-серебряное и золото-сульфидное оруденение. Постановке геохимических исследований предшествовали работы по анализу результатов предыдущих геологических и аэрофотогеологических исследований, изучение геологоструктурных и металлогенических условий территории и выделение на их основе площадей, заслуживающих по общегеологическим предпосылкам первоочередного внимания.

На первом этапе для отработки методики геохимических поисков по потокам рассеяния работы выполнялись параллельно с групповой геологической съемкой масштаба 1:50 000 в традиционном площадном и вновь принятом для групповых съемок объектном вариантах на эталонных площадях с известными рудопроявлениями золота и олова. Размер площадей составлял 300 и 2000 км<sup>2</sup>. Анализ полученных результатов опытных геохимических съемок по потокам рассеяния и вторичным ореолам позволил обосновать комплекс геохимических и геологических методов исследований при групповой геологической съемке масштаба 1:50 000 и, что наиболее важно, предложить методику и организацию опережающих авиадесантных литохимических поисков по потокам рассеяния для изучения обширных территорий, размером не менее 10 000 км<sup>2</sup> за один полевой сезон. При работах использовался вертолетный транспорт для десантного выброса поисковых групп, что обеспечило оперативность в обследовании значительных по площади территорий.

Особенностью примененных авиадесантных поисков является использование литохимической съемки по аллювиально-пролювиальным отложениям водотоков современной речной сети и расположение пунктов опробования, отличное от традиционной методики опробования, предложенной «Инструкцией по геохимическим методам поисков рудных месторождений» (1965). Опробуются, с шагом 300—500 м, русловые отложения водотоков III и II порядков с минимальной площадью водосбора 4—5 км<sup>2</sup>, что соответствует масштабу 1:200 000. Водотоки I порядка опробуются только в устьевой части, двумя—тремя пробами с шагом 50—100 м, не доходя до вершин ручьев на 1,5—2,0 км (см. рисунок).

Как видно из рисунка, многочисленные русла мелких ручьев и логов I порядка не опробуются до их истоков с той плотностью, как этого требует Инструкция... (1965), что сокращает как объем



Принципиальная схема размещения проб при авиадесантной литохимической съемке по потокам рассеяния.  
1 — места отбора рядовых проб, 2 — места отбора двух-трех проб в устьевой части водотоков I порядка с шагом 50—100 м.



руслowych маршрутов, так и количество геохимических проб. Это подтверждается соотношениями между длинами водотоков I:II:III:IV порядков, как 45:30:17:8.

Правомерность такого подхода к методике опробования русловых отложений водотоков I порядка, без потери геологической и геохимической информации, подтверждается математическими расчетами и особенностями более интенсивного проявления и развития процессов эрозии и денудации в верховьях речных систем, отличного от протекания этих же процессов в низовьях и бортах долин: в истоках рек, разветвленных на многочисленные лога и распадки, разрушение горных пород и снос твердой фазы по водотоку происходит в десятки раз интенсивнее и в больших масштабах, чем с бортов долин в пределах водотоков III, IV и более высоких порядков. Это подтверждается наличием широких чаше- и циркообразных форм долин в истоках речных систем. Поэтому при наличии в истоках и на водоразделах рек крупных рудных объектов, выходящих на современный денудационный срез, последние отразятся потоками рассеяния элементов-индикаторов оруденения в русловых отложениях I и II порядков. На примере изучения золото- и оловорудных месторождений опытными и производственными работами доказано, что протяженность потоков рассеяния золота, серебра, свинца, цинка, мышьяка, сурьмы, ртути, молибдена, бария от коренных рудных источников превышает 2—3 км, а в некоторых случаях и 5—10 км.

Опробованию обычно подвергаются все водотоки, выделенные на топографической карте масштаба 1:50 000. Для опробования по потокам рассеяния вся территория разбивалась на элементарные бассейны размером не менее 5 км<sup>2</sup>. Начальный вес проб составлял не более 250—300 г, материал проб просеивался через сито 0,5 мм.

Анализы проб из русловых отложений, отобранных в пределах развития рудных объектов и рассеянных на 8 фракций (от 5 до 0,08 мм), показали, что содержание золота, серебра, олова, свинца, цинка, меди, молибдена, марганца, мышьяка, кобальта увеличивается в 3—5 раз от крупных фракций к мелким. Максимальные концентрации этих элементов установлены во фракциях 0,16 и 0,08 мм. На золото-серебряных объектах серебро образует контрастные аномалии во всех фракциях русловых отложений, что позволяет вести поиски по серебру, как одному из важных элементов-индикаторов золото-серебряного оруденения. Но так как выход фракций 0,16 и 0,08 мм составляет не более 0,6—1,9% от исходного веса пробы (200—300 г), а фракций 0,5 мм—35—45%, то представительной фракцией опробования принята фракция менее 0,5 мм, как обеспечивающая достаточную и требуемую контрастность потоков рассеяния большинства элементов-индикаторов оруденения.

Материал просеянных проб анализировался на широкий круг элементов (25—30), а пробы, показавшие аномальные концентрации рудных элементов, анализировались спецметодами на золото, ртуть, сурьму, мышьяк, фтор.

С учетом интенсивности потоков рассеяния, их геологической позиции, типоморфного комплекса рудных элементов, коррелируемости между концентрациями групп элементов применительно к типам ожидаемого оруденения, закономерностей поведения элементов вдоль русел водотоков и других факторов, определялись площади возможного сноса рудного материала и намечалась очередность их более детального изучения.

На втором этапе выделенные потоки рассеяния заверялись на местности путем геологического осмотра участков развития аномалий, повторного опробования как водотоков, так и элювиально-делювиальных образований по ориентированным профилям, с переходом, при положительных результатах заверки, к площадным литохимическим съемкам масштаба 1:10 000 — 1:25 000, в зависимости от размеров участков. На

рудоносных площадях, выявленных геохимическими методами, размером 500—1000 км<sup>2</sup> ставились групповые геологические съемки масштаба 1:50 000.

На основе выполненных производственных работ на качественно новой геохимической основе определялись перспективы рудоносности изученных территорий Охотско-Чукотского пояса.

Разработанные методические принципы авиадесантной литохимической съемки по потокам рассеяния позволили снизить стоимость работ и трудозатраты на их производство за счет сокращения протяженности маршрутов, количества отобранных проб и применения вертолета для оперативной переброски поисковых групп. Стоимость 1 км<sup>2</sup> опоискованной площади составила 20—25 руб.

Условием для успешного ведения авиадесантных геохимических съемок по потокам рассеяния является качественное и своевременное исполнение анализа литохимических проб с обязательным использованием дифракционных спектрографов (ДФС-8, ДФС-13') и спецметодов для определений содержания золота, мышьяка, сурьмы, ртути, фтора; использование ЭВМ для обработки геохимической информации: запись первичных геохимических данных на магнитную ленту в системе прямоугольных координат с последующей автоматической распечаткой на ЭВМ в рамках трапеций международной разграфки.

Опережающие авиадесантные литохимические съемки по потокам рассеяния, с учетом конкретных ландшафтно-геохимических условий регионов, целесообразно поставить на обширных территориях Сибири, Северо-Востока и Дальнего Востока, в том числе на территории вдоль трассы БАМ. Такие работы, по нашему мнению, могут рассматриваться в качестве законченного вида геологических работ — государственных геохимических съемок рудных районов, а их данные могут быть отнесены к картам долговременного пользования.

И. С. ЛОМОНОСОВ, Л. А. ФИЛИПОВА, Э. М. РЯБЫХ,  
А. Д. ШИВЕРСКАЯ, Е. И. ЗАГОСКИНА

## РЕГИОНАЛЬНОЕ ОБОБЩЕНИЕ ДАННЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ СЪЕМОК С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ НОВЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И МАШИНЫМ ПОСТРОЕНИЕМ КАРТ

Важнейшая задача геологической службы — выявление региональных и локальных закономерностей размещения месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Для ее решения может быть применено покрытие больших территорий мелкомасштабной геохимической съемкой, подобно геологическим и отдельным видам геофизических съемок, и составление на этой основе прогнозных геохимических карт.

Мелкомасштабные съемки можно вести с малой плотностью опробования, целесообразность их связана с необходимостью изучения больших территорий в сжатые сроки.

Исходный материал для составления прогнозных геохимических карт может быть получен также по данным поисковых работ прошлых лет путем их соответствующей переработки. В архивах территориальных геологических управлений за 25-летний период интенсивного ведения геохимических поисков накопились огромные массивы геохимических данных, которые при повторной обработке современными математическими методами, безусловно, дадут новую ценную информацию.

Институтом геохимии им. академика А. П. Виноградова СО АН СССР совместно с Иркутским ТГУ начата работа по региональному обобщению данных ведущихся в настоящее время геохимических съемок и архивных материалов, с целью составления мелкомасштабной прогнозной геохимической карты на примере южной части Сибирской платформы, охватывающей территорию в 60 тыс. км<sup>2</sup>.

Перспективность этой территории определяется наличием соленосных отложений, содержащих, в частности, калийные соли; повышенной литиеносностью карбонатов и гипсоносных пород; присутствием рудной минерализации, приуроченной к зонам глубинных разломов и молодым разрывным структурам кайнозойского возраста; широким развитием осадочных железо-марганцевых руд, фосфоритов, бокситов, медистых песчаников и т. д., возможностью обнаружения стратиформных, гидротенных и других типов рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых.

Кроме того, на юге платформы в потоках рассеяния обнаружены полиметаллы, олово, молибден, золото и другие, для которых не выявлены коренные источники, что дает основание предположить наличие здесь неизвестных до сих пор типов рудной минерализации.

Выбор объекта исследования, кроме геологических предпосылок, обусловлен тем, что здесь ведется строительство БАМ и намечается создание крупного территориально-промышленного комплекса, что требует быстрее выявления природных ресурсов на большой территории и вовлечение их в сферу хозяйственного использования.

В основу составления прогнозной геохимической карты юга Сибирской платформы положены следующие принципы.

Основным масштабом геохимической карты принят 1:500 000 с плотностью опробования 1 точки на 5—10 км<sup>2</sup>. На этой карте находят отражение закономерности пространственного размещения месторождений полезных ископаемых и выявляются основные рудные районы, крупные минерализованные зоны, в том числе и такие, которые не зафиксированы геологическими съемками и визуальными поисковыми работами.

Прогнозная карта масштаба 1:500 000 является основой для целенаправленного ведения и значительного сокращения площадей дальнейших поисковых работ.

В зависимости от решаемой задачи геохимическая карта масштаба 1:500 000 может быть дополнена набором карт других масштабов.

На базе этой карты или путем разряжения точек опробования при обработке данных могут быть составлены также карты масштабов 1:1 000 000 и 1:2 500 000.

На выделенных перспективных территориях в дальнейшем необходима постановка геохимических работ с плотностью опробования 1—2 точки на 1 км<sup>2</sup>, что отвечает картам масштаба 1:200 000. Имеющийся опыт геохимических съемок по потокам рассеяния показывает, что на картах этого масштаба четко выявляются отдельные месторождения и определяются типы их рудной минерализации. Поэтому следующим этапом геохимического картирования является составление сначала для перспективных участков, а затем и всей изучаемой территории карт масштаба 1:200 000.

Постановка таких работ на юге Сибирской платформы (площадь 60 тыс. км<sup>2</sup>) потребует вовлечения в сферу обработки 60—120 тысяч проб против 6—12 тысяч при составлении прогнозно-геохимической карты масштаба 1:500 000.

Составление геохимических карт 1:50 000, 1:25 000 и более крупных масштабов целесообразно для перспективных площадей меньшего размера.

Составление прогнозной геохимической карты масштаба 1:500 000 в нашем случае базируется главным образом на архивных данных по потокам рассеяния. Этот вид съемок наиболее пригоден для составления карт при малой плотности опробования, так как каждая проба, отобранная по потокам, характеризует значительную площадь водосборного бассейна.

Кроме того, съемки по потокам обладают повышенной глубиной, что позволяет обнаруживать глубокозалегающие месторождения, не выходящие на современный уровень эрозионного среза.

В случае отсутствия архивных данных опробованием потоков рассеяния с малой плотностью — 1 проба на 5—10 км<sup>2</sup>, можно обеспечить покрытие территории в десятки и сотни тысяч км<sup>2</sup> в течение 3—5 лет.

Для части территории, не охваченной поисками по потокам рассеяния, для составления геохимической карты в качестве дополнения к основному материалу используются архивные данные по вторичным ореолам, несущие большую информационную нагрузку.

Параллельно с литохимическими, составляются гидрогеохимические карты, так как имеется в виду, что гидрогеохимические аномалии не только подтверждают данные литохимического опробования, но и содержат дополнительную информацию. Особенно это касается платформенных территорий, где часть рудоконтролирующих структур имеет субгоризонтальную ориентировку. В этом случае в данных гидрохимического опробования отражаются скрытые рудные залежи, располагающиеся между реками и не пересеченные эрозионным срезом.

Кроме того, при составлении карты привлекаются также данные шлихо- и биогеохимического опробования.

Интерпретация всех геохимических данных производится с учетом фактического материала по геологическому строению (литологии пород, тектоники, магматизма и т. д.), аэрогаммаспектрометрическим и космическим съемкам.

При составлении прогнозной геохимической карты приходится иметь дело с огромным цифровым фактическим материалом, обработка которого невозможна без применения ЭВМ. Материалы по геохимическому опробованию юга Сибирской платформы, хранящиеся в архивах, были обработаны ранее ручным способом с разной степенью детальности и различным подходом авторов к их интерпретации. Накопленный в последние годы опыт работ по обобщению данных текущих геохимических съемок современными математическими методами свидетельствует о том, что построенные на этой основе карты несут новую информацию и имеют качественное преимущество по сравнению с картами ручной обработки. Именно поэтому при региональном обобщении геохимических данных целесообразна повторная обработка архивных материалов с привлечением новых математических методов и машинным построением карт на ЭВМ.

В настоящее время существует ряд математических методов обработки данных геохимических съемок. Нами для автоматизированной обработки массовой геохимической информации используется хорошо зарекомендовавший себя метод многомерных полей (МП), разработанный в Институте геохимии им. академика А. П. Виноградова СО АН СССР и ВЦ Иркутского госуниверситета.

Суть метода заключается в построении в пространстве распределения множества химических элементов и разделении исследуемого пространства на однородные области, характеризующиеся определенным типом природных ассоциаций. На карте многомерного поля находят отражение признаки геологического строения природной системы, типы минерализации, зональности и т. п. Метод реализован в полностью автоматизированной системе, допускающей возможность обработки неограниченных массивов информации с наименьшими затратами труда

на ее подготовку и прохождение задач на ЭВМ. Решения выдаются ЭВМ в виде моно- и полиэлементных (многомерных) карт.

Региональное обобщение данных геохимических съемок связано с трудностями, требующими разрешения.

При выборке архивных материалов возникает вопрос разбраковки и максимальной утилизации исходной информации. Трудности связаны с тем, что в разные периоды применения геохимических методов поисков использовались аналитические методы с различной чувствительностью на отдельные элементы и определялось их разное количество. Из многообразия элементов (25—30, иногда и более) для обработки необходимо выбрать их оптимальное количество. При применении метода МП для построения полиэлементных карт такой оптимальный набор элементов включает те из них, которые присутствуют во всех обрабатываемых массивах или в преобладающем их большинстве. Для элементов, не входящих в этот набор, составляются моноэлементные карты.

Второй важный вопрос — увязка различных массивов обработки. Необходимость увязки возникает при любом методе математического обобщения геохимической информации. В случае метода МП она заключается в увязке выделяемых на ЭВМ классов-ассоциаций химических элементов, для чего требуется учет критериев подобия классов, выявляемых в различных самостоятельно обрабатываемых массивах.

Одна из трудных задач при составлении прогнозной геохимической карты заключается в выработке единой системы координат для всех массивов обрабатываемой информации. Задача решается путем организации банка данных на ЭВМ и разработке программ автоматической организации массивов для составления карт требуемого масштаба.

При применении метода МП и других методов математической обработки приходится решать задачу выбора фоновых концентраций, элементов. Проблема выбора фона для больших территорий трудна, так как, очевидно, в различных частях их фоновые содержания элементов могут быть различными, причем, если предполагается поэтапное составление сводной карты по мере выполнения геохимических съемок, на часть территории фоновые концентрации не могут быть вычислены в начале работы.

В нашем случае предполагается составление карты с охватом ею значительной части Сибирской платформы, общий размер которой составляет минимум 4 млн. км<sup>2</sup>. Поэтому в качестве фона были приняты кларки элементов в земной коре. При составлении гидрогеохимической карты за фон принят средний состав природных вод зоны гипергенеза, т. е. зоны, в которой развиты инфильтрационные воды, генетически связанные с атмосферными осадками. По условиям залегания это в подавляющем большинстве случаев грунтовые воды, дренирующиеся местной речной сетью.

При указанном подходе к выбору фона, классы элементов, выделяемых при обработке данных методом МП, будут формироваться под воздействием региональных особенностей.

Не исключено, что на фоне региональных аномалий информация о локальных поисковых признаках в регионе может быть частично потеряна, но эту утрату можно возместить путем повторных пересчетов с исключением регионально-аномальных элементов.

Составление прогнозной геохимической карты на основе регионального обобщения данных геохимических съемок с привлечением современного математического аппарата является новым перспективным этапом решения основной задачи поисковых работ — выявления новых месторождений полезных ископаемых.

- Албул С. П. Рудопоисковая гидрогеохимия. М., изд. Ун-та дружбы народов им. Патриса Лумумбы, 1969. 344 с.
- Антропова Л. В. Формы нахождения элементов в ореолах рассеяния рудных месторождений. Л., «Недра», 1975. 144 с.
- Батурина Е. Е. О связи мезозойской металлогении Джидинского рудного района с блоковой тектоникой.— В кн.: Рудоносность и структура рудных месторождений Бурятской АССР. Улан-Удэ, 1970, с. 41—51.
- 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, изд. ИЛИМ, 1975, с. 53—56.
- Виноградов Б. П., Ларионов Г. Ф., Свешников Г. Б., Тененбаум Л. Я., Иванова И. А. Теоретические и методические основы сорбционно-солевого метода поисков сульфидных месторождений (на примере Центрального Казахстана).— В кн.: Литохимические поиски рудных месторождений. Алма-Ата, «Наука», 1972, с. 218—226.
- Вопросы геохимии подземных вод в связи с поисками рудных полезных ископаемых. Изд-во Томского ун-та, 1974. 215 с.
- Глазовская М. А., Макунина А. А., Павленко И. А., Божко М. Г., Гаврилова И. П. Геохимия ландшафтов и поиски полезных ископаемых на Южном Урале. М., Изд-во МГУ, 1961. 182 с.
- Голева Г. А. Гидрогеохимические поиски скрытого оруденения. М., «Недра», 1968. 289 с.
- Голева Г. А. Гидрогеохимия рудных элементов. М., «Недра», 1977. 216 с.
- Домчак В. В. Роль железо-марганцевого адсорбционного барьера при геохимических поисках на Северном Урале.— «Разведка и охрана недр», 1974, № 2, с. 19—21.
- Евдокимова В. Н. Автоматизированная система обработки геолого-геохимической информации методом многомерных полей.— В кн.: Геохимические методы поисков рудных месторождений в Сибири и на Дальнем Востоке. Новосибирск, «Наука», 1978, с. 3—25.
- Евдокимова В. Н., Китаев Н. А. Обработка данных геохимических съемок на основе анализа рудных полей.— В кн.: Геохимические поиски месторождений в Сибири и на Дальнем Востоке по вторичным ореолам рассеяния. Иркутск, 1973, с. 212—225.
- Игнатович В. И. Условия локализации молибден-вольфрамового оруденения и структура Джидинского рудного поля.— Автореф. канд. дис. М., 1965. 24 с.
- Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М., «Недра», 1965. 227 с.
- Квятковский Е. М., Майоров Н. Ф., Ньюппенен Т. И., Сахновский М. Д. Геохимические методы поисков медно-никелевых месторождений Кольского полуострова.— В кн.: Научные основы геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых и оценки потенциальной рудоносности магматических и метаморфических комплексов докембрия. Апатиты, 1972, с. 119—125.
- Колосова Г. Н. Особенности вещественного состава озерно-болотных отложений плиоцен-четвертичного времени.— В кн.: Вопросы геоморфологии. М., изд. Московского филиала географического о-ва, 1975, с. 68—69.
- Красников В. И. Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1959. 411 с.

Кудерина Л. Д. Эпигенетические процессы в мезокайнозойских отложениях месторождений Атаусуйского рудного района.— «Изв. АН КазССР. Серия геол.», 1973, № 3, с. 17—33.

Макунина Г. С. Особенности геохимии зоны гипергенеза южнотаежных ландшафтов Среднего Урала и их использование при поисках медноколчеданных месторождений.— В кн.: Литогеохимические методы при поисках скрытого оруденения. М., 1972, с. 66—68.

Мельников Н. В. Комплексное использование месторождений полезных ископаемых.— В кн.: Научные основы оптимизации использования месторождений полезных ископаемых и охрана недр. М., 1977, с. 34—54.

Методическое руководство по гидрогеохимическим поискам рудных месторождений. М., «Недра», 1973. 184 с.

Одесский И. А. Волновые движения земной коры. Л., «Недра», 1972, 223 с.

Онтоев Д. О. Стадийность минерализации и зональность месторождений Забайкалья. М., «Наука», 1974. 242 с.

Организация и результаты геохимических поисков в различных районах страны. М., изд. ИМГРЭ, 1977. 68 с.

Перельман А. И. Геохимия эпигенетических процессов. Изд. 3-е. М., «Недра», 1968. 331 с.

Перельман А. И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М., «Недра», 1972. 288 с.

Перельман А. И. Геохимия ландшафта. Изд. 2-е. М., «Высшая школа», 1975. 341 с.

Перельман А. И. Биокосные системы Земли. М., «Наука», 1977. 156 с.

Петровская С. Г. Типы эндогенных ореолов гидротермальных месторождений молибдена.— В кн.: Ежегодник-1969 СибГЕОХИ. Иркутск, 1970, с. 182—185.

Петровская С. Г., Санин Б. П., Спиридонов А. М. Первичные геохимические ореолы и значение их для оценки перспектив разведываемых месторождений.— «Геол. и геофиз.», 1974, № 8, с. 79—87.

Петровская С. Г., Спиридонов А. М. Зональность геохимических ореолов, гидротермально измененных пород и прожилковых образований молибденового месторождения (Западное Забайкалье).— «Геол. и геофиз.», 1977, № 3, с. 64—71.

Поликарпочкин В. В. Вторичные ореолы и потоки рассеяния. Новосибирск, «Наука», 1976. 408 с.

Применение гидрогеохимического метода при поисках рудных месторождений. М., «Недра», 1974. 115 с.

Сагт Ю. Е. Геохимические методы поисков сульфидных месторождений, перекрытых аллохтонными отложениями по эпигенетическим ореолам рассеяния.— В кн.: Геохимия, минералогия, петрология. М., «Наука», 1976, с. 62—78.

Санин Б. П. Типы эндогенных ореолов рассеяния и возможные пути их формирования (на примере полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья).— В кн.: Ежегодник-1972 СибГЕОХИ. Иркутск, 1973, с. 301—304.

Сауков А. А. Геохимия. М., «Наука», 1975. 480 с.

Свешников Г. Б. Электрохимические процессы на сульфидных месторождениях. Л., изд. ЛГУ, 1967. 160 с.

Сливинский А. А., Нефедьев М. А. Эффективность геохимических и геофизических методов поисков на Назаровском месторождении.— В кн.: Комплексование геохимических методов при поисках и разведке эндогенных месторождений. М., изд. ИМГРЭ, 1977, с. 42—44.

Смирнов С. С. Некоторые общие вопросы изучения рудных месторождений.— «Изв. АН СССР. Серия геол.», 1946, № 5.

Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. М., Изд-во АН СССР, 1951. 335 с.

Солянский Е. Н. Основные черты тектоники Джидинского района.— В кн.: Материалы по геологии рудных месторождений Прибайкалья. Иркутск, 1963, с. 160—168. (Тр. Вост.-Сиб. геол. института АН СССР, вып. 13).

Солянский Е. Н. Основные структурные факторы пространственного размещения магматических и рудных образований в Джидинском рудном районе.— В кн.: Геология, поиски и разведка рудных месторождений. Вып. 1. Иркутск, 1973, с. 17—29.

**Сотникова С. И.** Геохимия ландшафтов речных долин Южных Мугоджар (на примере долины р. Кундузды).— «Вестник МГУ. Серия V. География». 1970, № 4, с. 104—107.

**Тайсаев Т. Т.** Ландшафтно-геохимические основы районирования территории Бурятии по условиям ведения геохимических поисков.— В кн.: Вторичные ореолы рассеяния и их использование при поисках рудных месторождений на территории Сибири. Улан-Удэ, 1973, с. 185—203.

**Тарасов В. И., Жбанов Э. Ф.** Основы регионального районирования территории Бурятской АССР по сложности выявления вторичных механических ореолов.— В кн.: Вторичные ореолы рассеяния и их использование при поисках рудных месторождений на территории Сибири. Улан-Удэ, 1973, с. 211—217.

**Таусон Л. В., Гундобин Г. М.** Критерии перспективной оценки Хапчерангинского рудного узла (на основе зональности первичных ореолов).— В кн.: Прогнозирование скрытого оруденения. М., «Наука», 1976, с. 121—128.

**Таусон Л. В., Петровская С. Г., Санин Б. П.** Эндогенный ореол рассеяния молибдена в Шахтаминском рудном поле.— «Докл. АН СССР», 1968, т. 182, № 4, с. 930—933.

**Философов В. П.** Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур. Изд. Саратовского ун-та, 1960. 94 с.

**Филько А. С., Кузьмин В. С.** Мало-Ойногорское молибденовое месторождение и особенности его разведки.— «Разведка и охрана недр», 1977, № 7, с. 21—27.

**Шварцев С. Л.** О некоторых вопросах эволюции объема и состава инфильтрационных подземных вод в алюмосиликатных породах.— «Геохимия», 1975, № 6, с. 905—916.

**Щеглов А. Д.** Эндогенная металлогения Западного Забайкалья. Л., «Недра», 1966. 278 с.

**Щеглов А. Д.** Металлогения областей автономной активизации. М., «Недра», 1968, 179 с.



## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<i>Таусон Л. В.</i> О стратегии геохимических поисков месторождений полезных ископаемых . . . . .	4
<i>Сафронов Н. И., Квятковский Е. М.</i> Рациональная последовательность и сочетания геохимических методов при поисковых и разведочных работах (стратегия геохимических поисков) . . . . .	9
<i>Поликарпочкин В. В.</i> Стратегия геохимических поисков рудных месторождений (изучение больших площадей и локальных перспективных участков) . . . . .	21
<i>Перельман А. И.</i> Законы гипергенной миграции элементов как теоретическая основа геохимических поисков . . . . .	28
<i>Удодов П. А., Рассказов Н. М., Шварцев С. Л.</i> Области применения и задачи гидрогеохимических поисков рудных месторождений . . . . .	47
<i>Петровская С. Г., Санин Б. П., Спиридонов А. М., Щербак Н. А.</i> Значение и место геохимических методов в комплексе геологоразведочных работ в районах действующих рудников (на примере Джидинского рудного района) . . . . .	59
<i>Поликарпочкин В. В., Евдокимова В. Н.</i> Проблемы математической обработки геохимических данных . . . . .	71
<i>Суганов Б. И., Шерман М. Л.</i> Состояние и основные направления развития геохимических поисков в Красноярском геологическом управлении . . . . .	74
<i>Лисий В. А., Загоскин В. А., Загоскина Е. И., Кузнецов В. Г., Корж В. В., Бабурип Л. М.</i> Основные направления развития геохимических работ на территории Иркутской области . . . . .	78
<i>Филько А. С., Жбанов Э. Ф., Шабалин М. И., Шобогоров П. Ч.</i> Основные результаты и направление геохимических поисков на территории Бурятской АССР . . . . .	90
<i>Биланенко В. А., Макаров В. Н.</i> Результаты и основные направления развития геохимических работ при поисках и разведке рудных месторождений в Якутском геологическом управлении . . . . .	99
<i>Куницын В. В., Баумштейн Р. А., Огородников В. Д.</i> Основные вопросы дальнейшего проведения геохимических работ при поисках и разведке рудных месторождений в Читинском геологическом управлении . . . . .	102
<i>Лаврик Н. И., Василенко В. П., Ченцов Н. П., Бураго А. И.</i> Состояние и перспективы дальнейшего развития геохимических методов поисков в Приморье . . . . .	108
<i>Бровчук И. Ф., Инговатов А. П., Абисалов Э. Г.</i> Авиадесантные поиски месторождений по потокам рассеяния в условиях Охотско-Чукотского вулканогенного пояса . . . . .	112
<i>Ломоносов И. С., Филиппова Л. А., Рябых Э. М., Шиверская А. Д., Загоскина Е. И.</i> Региональное обобщение данных геохимических съемок с привлечением новых математических методов и машинным построением карт . . . . .	115
Литература . . . . .	119

**СТРАТЕГИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ  
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Ответственный редактор  
*Валентин Валентинович Поликарпочкин*

Утверждено к печати Институтом геохимии  
им. академика А. П. Виноградова

Редактор издательства *З. Д. Роскина*  
Художественный редактор *М. Ф. Глазырина*  
Художник *Н. А. Пискун*  
Технический редактор *А. В. Сурганова*  
Корректоры *Г. Д. Смоляк, Л. А. Щербакова*

---

ИБ № 10463.

Сдано в набор 24.10.78. Подписано к печати 05.12.79. МН10299. Формат 70×108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага типограф-  
ская № 2. Литературная гарнитура. Высокая печать. Усл. печ. л. 11,2. Уч.-изд. л. 11,2.  
Тираж 1100 экз. Заказ 3589. Цена 1 р. 70 к.

---

Издательство «Наука», Сибирское отделение. 630099, Новосибирск, 99, Советская, 18.  
Типография издательства «Советская Сибирь». 630048, Новосибирск-48, Немировича-Данченко, 104.

**В СИБИРСКОМ ОТДЕЛЕНИИ  
ИЗДАТЕЛЬСТВА «НАУКА»**

готовятся к выпуску следующие книги:

- Поровые растворы горных пород как среда обитания микроорганизмов**
- Ушакова Е. Н.** Биотиты магматических пород
- Добрецов Н. Л.** Введение в глобальную петрологию
- Индолев Л. Н., Жданов Ю. Я., Суплецов В. М.** Сурьмяное оруденение Верхояно-Колымской провинции
- Ковалев В. П.** Герцинский магматизм Предсаянья
- Влияние перераспределения стока вод на природные условия Сибири**
- Первичные ореолы рудных районов**
- Вахрушев В. А.** Рудные минералы изверженных пород
- Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений**
- Царев Д. И.** Магматические и метасоматические процессы в формировании игнимбритов

*Книги высылаются наложенным платежом.*

*Заказы направляйте по адресу:*

*630090, Новосибирск, 90, Морской проспект, 22.*

*Магазин «Наука».*

УДК 550.84

**О стратегии геохимических поисков месторождений полезных ископаемых. Таусон Л. В.** Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 4—9.

В соответствии с существующими темпами роста добычи металлов оценивается необходимая интенсивность роста их запасов в ближайшие десятилетия. Показывается различие стратегических задач поисков рудных месторождений в экономически освоенных горно-рудных районах и в экономически слабо освоенных областях.

Определяется рациональная последовательность и масштабность геохимических методов поисков и оценки рудных месторождений на отдельных стадиях геологоразведочных работ.

Обосновывается необходимость количественной оценки прогнозных запасов рудных узлов и месторождений, введения специальной категории прогнозных запасов и широкого использования геохимических методов на стадиях оценки и разведки месторождений.

УДК 550.84

**Рациональная последовательность и сочетания геохимических методов при поисковых и разведочных работах. Сафронов Н. И., Квятковский Е. М.** Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 9—21.

Рассматривается стратегия рудных поисков в широком смысле этого слова, включая и геохимические методы. Охарактеризованы объекты поисков и их особенности. Приведены основные характеристики, поисковые возможности и предложен рациональный комплекс методов при поисках семи основных типов рудных месторождений, имеющих сходные физические, химические и физико-химические характеристики руд: пегматитовые, грейзеновые, кварцеворудные, сульфидные, скарновые, окисные, вкрапленные и рассеянные.

Даны рекомендации о путях открытия новых крупных месторождений на неосвоенных территориях применительно к различным категориям площадей по условиям ведения работ и выделенным поисковым типам рудных месторождений. Табл. 1.

УДК 550.84

**Стратегия геохимических поисков рудных месторождений (изучение больших площадей и локальных перспективных участков). Поликарповкин В. В.** Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 21—28.

Важнейшими стратегическими вопросами являются обеспечение геохимического изучения больших площадей и выбор эффективных геохимических методов на выделенных перспективных участках. Для решения первой задачи следует использовать потоки рассеяния с малой плотностью опробования на первом этапе. Решение второй задачи, учитывая закрытость литохимических ореолов, должно включать применение биогеохимических и других поисковых методов с повышенной глубиной. Важна организация работ, обеспечивающая доведение их до конечного результата, оперативность анализов и применение автоматизированных методов обработки геохимических данных на ЭВМ.

УДК 550.84

**Законы гипергенной миграции элементов как теоретическая основа геохимических поисков. Перельман А. И.** Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 28—47.

Важными научными понятиями теории геохимических поисков являются «зона выщелачивания» и «геохимические барьеры». На барьерах образуется большая часть аномалий, выявляемых при поисках. В связи с этим решение одной из наиболее актуальных проблем геохимических поисков — оценки аномалий, связано с развитием теории геохимических барьеров. Автором разработана систематика концентраций элементов, образующихся на барьерах. Она построена на основе сочетания двух факторов — класса вод, подступающих к барьеру, и класса самого барьера. Выделено 12 классов вод по условиям гипергенной миграции элементов (1—12) и 8 классов барьеров, обозначенных латинскими буквами от А до Н. Каждый тип концентрации — вид геохимической аномалии, обозначается двойным

индексом (А6, F11) и характеризуется определенной парагенной ассоциацией элементов, которая может концентрироваться на данном барьере. Выделяются десятки типов концентраций, часть которых хорошо изучена (например, А6, В3), а часть еще необходимо выявить. Табл. 2.

УДК 550.84

**Области применения и задачи гидрогеохимических поисков рудных месторождений.** Удодов П. А., Рассказов Н. М., Шварцев С. Л. Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 47—59.

Приведены данные по результатам гидрогеохимических поисков различного масштаба в основных ландшафтных зонах. Проанализирована эффективность поисковых гидрогеохимических работ. Намечены пути дальнейшего совершенствования методики гидрогеохимического метода поисков и повышения результативности гидрогеохимических исследований. Табл. 4.

УДК 550.84 (571.54)

**Значение и место геохимических методов в комплексе геологоразведочных работ в районах действующих рудников (на примере Джидинского рудного района).** Петровская С. Г., Санин Б. П., Спиридонов А. М., Щербак Н. А. Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 59—71.

Показана необходимость применения комплекса геологических, геофизических, геохимических методов. Даны рекомендации и приведены примеры применения геохимических исследований в зависимости от задач на разных стадиях геологоразведочного процесса. Показана информативность примененных исследований по потокам рассеяния (существенная информация о характере оруденения, фиксирование малых количеств рудных элементов, выявление рудной зональности), по вторичным ореолам (обнаружение открытых и закрытых ореолов в разных ландшафтных условиях района), по первичным ореолам (установление минералого-геохимической зональности, прогнозирование оруденения).

Отмечена значительная роль математических методов обработки. Табл. 3, ил. 4.

УДК 553.982.04:5508:681.3

**Проблемы математической обработки геохимических данных.** Поликарпочкин В. В., Евдокимова В. Н. Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 71—74.

Рассматривается стратегия в вопросах обработки данных геохимических съемок на ЭВМ для решения массовых производственных задач. Определяются необходимые условия эффективности математических методов и основные задачи перевода обработки данных съемок на автоматизированный счет.

УДК 550.84

**Состояние и основные направления развития геохимических поисков в Красноярском геологическом управлении.** Суганов Б. И., Шерман М. Л. Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 74—78.

Проанализировано общее состояние и рассмотрена методика геохимических работ на территории Красноярского края. Показано, что ведущим методом до самого последнего времени являлись литохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния, все другие геохимические методы применялись ограниченно. Освещены вопросы дальнейшего развития геохимических исследований, при этом обращено внимание на внедрение в труднодоступных районах метода поисков по поткам рассеяния, ускорение темпов проверки выявленных геохимических аномалий путем организации опережающих поисков и создания специальных партий, а также совершенствование методов анализа и обработки материалов.

**Основные направления развития геохимических работ на территории Иркутской области.** Лисий В. А., Загоскин В. А., Загоскина Е. И., Кузнецов В. Г., Корж В. В., Бабуриин Л. М. Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 78—90.

Рассмотрены этапы внедрения геохимических методов поисков в практику геологоразведочных работ Иркутского геологического управления. На основе фактов широкого распространения в условиях горной тайги вторичных ореолов закрытого типа обоснован переход от металлотометрической съемки к поискам по потокам рассеяния, осуществленный во всех производственных подразделениях управления в течение 1968 г. Освещены вопросы методики разбраковки и оценки геохимических аномалий; описан комплекс специальных поисковых приемов, разработанных применительно к площадям с трудными ландшафтными условиями.

Рассмотрены вопросы организации работ по пересъемке крупных территорий и пересчету методом многомерных полей материалов геохимических работ прошлых лет. Выделены главные направления развития геохимических поисков на современном этапе.

**Основные результаты и направление геохимических поисков на территории Бурятской АССР.** Филько А. С., Жбанов Э. Ф., Шабалин М. И., Шобогоров П. Ч. Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 90—99.

На примере отдельных месторождений Бурятии показаны большие возможности геохимических методов поисков, которые в ряду всех других поисковых методов занимают одно из ведущих положений в геохимической службе БГУ. Показано, что наиболее эффективны поиски элементов, имеющих высокую подвижность в зоне гипергенеза (молибден, цинк, медь, свинец) или способность фиксироваться ядерно-физическими методами (фтор, бериллий).

Особое внимание уделено методике геохимических исследований и анализу сложных геологических ситуаций, при расшифровке которых была неверно истолкована значимость геохимических аномалий.

Рассмотрены категории площадей, выделяемых по трудности выявления вторичных ореолов и других поисковых признаков.

Обоснованы основные направления геохимических методов поисков.

**Результаты и основные направления развития геохимических работ при поисках и разведке рудных месторождений в Якутском геологическом управлении.** Биланенко В. А., Макаров В. Н. Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 99—102.

Дана характеристика состояния геохимических исследований и показана эффективность применения различных геохимических методов поисков применительно к природным условиям территории Якутской АССР.

Рассматриваются методические вопросы комплексной региональной геохимической съемки по потокам рассеяния и основные задачи, стоящие перед геохимической службой ЯГУ. Табл. 2.

**Основные вопросы дальнейшего проведения геохимических работ при поисках и разведке рудных месторождений в Читинском геологическом управлении.** Куницын В. В., Баумштейн Р. А., Огородников В. Д. Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 102—108.

Приводятся сведения о развитии и состоянии геохимических поисков в Читинской области. Охарактеризована геохимическая изученность области и роль различных методов. Рассмотрены эффективность геохимических поисков и недостатки в их проведении. Намечены пути совершенствования геохимических работ и повышения их эффективности.

УДК 550.84

**Состояние и перспективы дальнейшего развития геохимических методов поисков в Приморье.** Лаврик Н. И., Василенко В. П., **Ченцов Н. П.,** Бураго А. И. Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 108—112.

Охарактеризована изученность территории Приморья гидрохимическими, а также литохимическими поисками по потокам и вторичным ореолам рассеяния. Дана оценка качества проведенных работ. Рассмотрен вопрос эффективности различных геохимических методов в комплексе с геофизическими исследованиями, а также поставлена и раскрыта задача повышения глубинности, разрешающей способности и надежности геохимических методов. Намечены пути развития и последовательность применения геохимических и некоторых других методов при поисках и оценке рудных месторождений на территории Приморья.

УДК 550.84

**Авиадесантные поиски месторождений по потокам рассеяния в условиях Охотско-Чукотского вулканогенного пояса.** Бровчук И. Ф., Инговатов А. П., Абисалов Э. Г. Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 112—115.

Рассмотрена методика применения авиадесантных поисков на больших территориях. Высказано мнение о том, что опережающие авиадесантные литохимические съемки по потокам рассеяния целесообразно поставить на обширных территориях Сибири, Северо-Востока и Дальнего Востока. Ил. 1.

УДК 550.84

**Региональное обобщение данных геохимических съемок с привлечением новых математических методов и машинным построением карт.** Ломоносов И. С., Филиппова Л. А., Рябых Э. М., Шиверская А. Д., Загоскина Е. И. Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Новосибирск, «Наука», 1980, с. 115—118.

В связи с необходимостью изучения больших территорий и выявления общих и локальных закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых в сжатые сроки, обоснована необходимость регионального обобщения результатов ведущихся геохимических съемок и архивных материалов.

На примере юга Сибирской платформы рассмотрены принципы составления на этой основе прогнозной геохимической карты м-ба 1:500 000.

Показана целесообразность при региональном обобщении геохимических данных повторной обработки архивных материалов с привлечением новых математических методов (метод многомерных полей) и машинным построением карт на ЭВМ.

1 р. 70 к.

3206



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ