



МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ  
И ОХРАНЫ НЕДР СССР

**ОПЫТ РАЗРАБОТКИ  
ГИДРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ  
ПОИСКОВ РУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

ГОСГЕОЛТЕХИЗДАТ

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ И ОХРАНЫ НЕДР СССР  
ОТДЕЛ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ВИМС

550.4 + 550.8.

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ  
ГИДРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ  
ПОИСКОВ РУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Под редакцией

А. А. Бродского и В. И. Красникова



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ГЕОЛОГИИ И ОХРАНЕ НЕДР  
МОСКВА 1959

Предисловие	3
А. А. Бродский. Очередные задачи в области развития гидрохимических методов поисков рудных месторождений	5
В. И. Красников. К вопросу о месте и роли гидрохимического метода в рациональных комплексах геологопоисковых работ	20
П. А. Удодов, И. П. Онуфриенок и П. В. Кристалева. Химическая активность горных пород и минералов по отношению к ионам водорода	36
И. П. Онуфриенок. К вопросу о пределах насыщения природных вод ионами металлов	40
Ю. Ю. Бугельский. Результаты гидрохимических исследований в районе Довгалева месторождения	44
С. Д. Капранов, Б. А. Воротников. Некоторые результаты гидрохимических исследований в Восточном Забайкалье	47
Р. С. Кононова. Некоторые особенности формирования химического состава подземных вод в Сретенском районе Восточного Забайкалья	53
Г. Б. Свешников. Гидрохимические особенности полиметаллических месторождений Рудного Алтая	60
Г. А. Вострокнутов. Опыт гидрохимических поисков на Среднем Урале	64
В. В. Павлов. Опыт гидрохимических поисков медноколчеданных месторождений	69
П. И. Пищерева. Особенности миграции микроэлементов в подземных водах полиметаллических месторождений Кара-Мазара	76
Н. И. Долуханова. Гидрохимические исследования на некоторых рудных месторождениях Армении	80
С. Р. Крайнов. Гидрохимические исследования в Лорийском нагорье Северной Армении	84
З. В. Комарова, Д. В. Полферов. Опыт гидрохимических поисков медно-никелевых месторождений на Кольском полуострове	90
К. Е. Питьева. К методике гидрохимических поисков редкометалльных месторождений	97
А. Д. Миллер, Р. И. Либина и В. Я. Данилов. Определение ниобия в природных водах и вытяжках из рыхлых отложений на месторождениях редкометалльных пегматитов	102

Министерство геологии и охраны недр СССР  
 Отдел научно-технической информации ВИМС  
 ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ  
 МЕТОДОВ ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Редактор издательства *Н. С. Долгих*      Технич. редактор *О. А. Гурова*  
 Корректор *Т. А. Кондрагьева*

Сдано в набор 26/1-1959 г.  
 Формат бумаги 60×92<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
 Т-03078

Тираж 3000 экз.

Печ. л. 6,5

Подписано к печати 27/III 1959 г.  
 Уч.-изд. л. 6,93  
 Зак. 86      Бесплатно

Картфабрика Госгеолтехиздата

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В течение двух лет, прошедших после Всесоюзного совещания по геохимическим методам поисков рудных месторождений, рядом научно-исследовательских и производственных организаций были проведены исследования по дальнейшей разработке гидрохимического метода поисков и опытно-производственному применению его в различных районах страны.

Итоги этих работ были обсуждены в марте 1958 г. на расширенном заседании геохимической секции Ученого совета ВСЕГИНГЕО, в котором приняли участие представители 14 научно-исследовательских учреждений и вузов и 24 производственных организаций. В докладах и выступлениях было показано, что за последние два года выполнен ряд работ, развивающих гидрохимический метод в направлениях, указанных Всесоюзным совещанием, в связи с чем было принято решение о необходимости опубликования заслушанных докладов.

В настоящий сборник включено большинство этих докладов в виде статей, освещающих отдельные вопросы теории и практики гидрохимических поисков. В статье А. А. Бродского приведена классификация гидрохимических поисковых признаков, позволяющая более обоснованно подходить к интерпретации результатов гидрохимических исследований, и схема районирования СССР по условиям ведения гидрохимических поисков. В статье В. И. Красникова изложены предварительные соображения о месте и роли гидрохимического метода в рациональных комплексах геологопоисковых работ. Несмотря на слабую разработку этих вопросов и предварительный характер высказываемых положений, они могут оказаться полезными для дальнейшей разработки и более эффективного использования гидрохимического метода при поисках рудных месторождений.

В статье Г. Б. Свешникова поставлен очень интересный вопрос о роли электрохимического растворения в формировании водных ореолов рассеяния. Учет этих процессов может иметь большое значение при поисках слепых месторождений по ореолам рассеяния в межпластовых водах. В статьях К. Е. Питьевой, А. Д. Миллера и др. приводятся хорошо аргументированные данные по применению гидрохимического метода для поисков редких и рассеянных элементов.

В статьях П. А. Удодова и И. П. Онуфриенко показано значение величины рН для миграции микроэлементов, а следовательно и для формирования водных ореолов. В статье И. П. Онуфриенко особый интерес представляет составленный им график зависимости предельных содержаний ряда микроэлементов, используемых в качестве гидрохимических поисковых признаков, от величины рН.

В статье Р. С. Кононовой освещена зависимость процессов формирования химического состава подземных вод от экспозиции горных склонов, петрографического состава водоносных пород и местных гидрогеологических условий. Учет этих факторов очень важен при интерпретации результатов гидрохимических исследований.

В статьях других авторов излагается опыт применения гидрохимического метода поисков в различных районах СССР. Приводимые данные иллюстрируют особенности миграции микроэлементов в подземных водах и формирования водных ореолов в различных геолого-гидрогеологических условиях.

Наряду с достижениями в разработке гидрохимического метода поисков имеются и существенные недостатки. Одним из основных пробелов является отсутствие надежной научнообоснованной методики интерпретации гидрохимических аномалий.

Хотя настоящий сборник не охватывает всех вопросов теории и практики гидрохимических поисков и многие из затрагиваемых в нем вопросов еще недостаточно разработаны, сборник в целом довольно полно освещает итоги работы большого коллектива научных и производственных работников и будет полезен для дальнейшей разработки гидрохимического метода и более рационального его использования при поисках рудных месторождений.

---

---

А. А. БРОДСКИЙ

## ОЧЕРЕДНЫЕ ЗАДАЧИ В ОБЛАСТИ РАЗВИТИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Разработка гидрохимических методов поисков рудных месторождений в настоящее время ведется в ряде научных и производственных организаций. За последние два года в этой области выполнены следующие работы:

1. ВСЕГИНГЕО разработаны геохимическая классификация компонентов минерализации подземных вод и гидрохимических поисковых признаков, принципы районирования и применения гидрохимических методов поисков рудных месторождений в зависимости от природных условий для территории СССР, методика использования повышенных содержаний мышьяка в водах в качестве гидрохимического поискового признака, выяснены гидрохимические особенности отдельных районов Восточного Забайкалья, Кураминского хребта, Южного Урала, северной Армении.

2. ВСЕГЕИ изучены условия миграции молибдена в подземных водах, формирование его водных ореолов рассеяния и разработана методика интерпретации гидрохимических данных в условиях Центрального Казахстана.

3. ВИТРОм проведены опытные гидрохимические исследования на полиметаллических и золотых месторождениях Восточного Забайкалья, на медных, никелевых, ниобиевых и литиевых месторождениях Кольского полуострова.

4. Томским политехническим институтом изучена химическая активность пород по отношению к водам с низким рН и значе-ние этой активности для формирования водных ореолов.

5. Ленинградским государственным университетом изучено влияние гальванического растворения на формирование водных ореолов и геохимические особенности полиметаллических месторождений Рудного Алтая.

6. Московским государственным университетом проведены опытные гидрохимические поиски редкометалльных месторождений на Кольском полуострове.

7. Сотрудниками ИГЕМ АН СССР изучались закономерности формирования водных ореолов рассеяния молибдена и проводились гидрохимические исследования в отдельных районах Восточного Забайкалья, Приморья, Средней Азии, Кавказа.

8. Работниками Лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР изучались процессы формирования химического состава подземных вод и водных ореолов рассеяния в зоне гипергенеза сульфидных месторождений Приморья.

9. В Академии наук Армянской ССР разрабатывались методы почвенно-гидрохимической съемки и проводились гидрохимические исследования на некоторых полиметаллических месторождениях Армянской ССР.

10. Ряд территориальных геологических управлений (Уральское, Армянское, Грузинское, Южно-Уральское, Западно-Сибирское, Читинское, Киргизское) проводили гидрохимические поиски рудных месторождений.

Все перечисленные научно-исследовательские организации и вузы производили также разработку и усовершенствование методов химического и спектрального анализа природных вод.

Одним из показателей развития гидрохимического метода поисков является разнообразие и степень изученности гидрохимических поисковых признаков. Эту характеристику можно представить в виде следующей таблицы гидрохимических поисковых признаков.

Известные до 1956 г.	Выявленные в 1956—1957 гг.
SO <sub>4</sub> , Zn, Cu, Pb, Mo, Ni, U, Ra, Rn, рН, общая минерализация	As, Nb, Be, Zr, Sb, Mn, Li

Исследования, проведенные ВСЕГИНГЕО, ВИТРОм и другими организациями, показали, что мышьяк образует достаточно четкие ореолы на полиметаллических, медных, редкометальных (молибден, вольфрам) и золоторудных месторождениях. В отношении ниобия и бериллия до недавнего времени считалось, что они не могут мигрировать в природных водах. Сейчас работами кафедры гидрогеологии МГУ (К. Е. Питьева) доказано наличие ореолов повышенных содержаний ниобия, бериллия и циркония в водах, соприкасающихся со скоплениями минералов, обогащенных этими элементами.

Повышенные содержания марганца и лития в водах были использованы как косвенные гидрохимические поисковые признаки при опытных гидрохимических поисках редкометальных пегматитов на Кольском полуострове [4].

Значительно повысилась изученность ранее известных гидрохимических поисковых признаков, особенно молибдена. Для меди установлено, что она мигрирует в водах в основном в виде ком-

плексных ионов. Поэтому при анализах водных проб на медь необходимо использовать методы, обеспечивающие разрушение этих комплексных ионов: определение с дитизионом при  $\text{pH} \sim 1,5$ , предварительное кипячение подкисленной пробы с персульфатом и т. п.

В табл. 1 приведена разработанная автором классификация гидрохимических поисковых признаков.

Степень изученности условий миграции элементов, используемых в качестве гидрохимических поисковых признаков, различна, поэтому положение в классификации многих элементов в настоящее время в значительной мере условно.

Предлагаемая классификация дает возможность производить выбор тех или иных гидрохимических поисковых признаков в зависимости от задач, стоящих перед гидрохимическими исследованиями, и от конкретной геолого-гидрогеологической обстановки. Так, для проведения собственно поисков необходимо прежде всего использовать ореольные устойчивые гидрохимические поисковые признаки. Рудные гидрохимические поисковые признаки могут использоваться для уточнения местоположения рудных тел или поисков рудных пластов, представленных бедной вкрапленной минерализацией. Такие переходные гидрохимические поисковые признаки, как медь, могут быть использованы для поисков в условиях грунтовых вод, циркулирующих в силикатных породах гумидных областей, в других условиях повышенные содержания меди в водах могут служить только для уточнения местоположения рудных тел. В случае необходимости использования ореольного неустойчивого гидрохимического поискового признака, например урана, должен быть дополнительно использован какой-либо ореольный устойчивый гидрохимический поисковый признак, имеющий общность геохимических черт, так для урановых месторождений целесообразно использовать молибден, в отдельных случаях — цинк и олово.

Классификация гидрохимических поисковых признаков позволяет осуществлять дифференцированный подход к интерпретации выявленных гидрохимических аномалий. Данные по ненакапливающимся гидрохимическим поисковым признакам обычно отвечают наличию рудных концентраций в породах, повышенные же содержания накапливающихся элементов могут образовываться не только под влиянием рудных концентраций в породах, но и под влиянием других геологических и гидрогеологических факторов. Повышенные содержания элементов, связанные с влиянием рудных тел, могут образовываться в значительном удалении, отделяясь от этих тел участками с фоновыми значениями.

При использовании классификации гидрохимических поисковых признаков следует учитывать, что она, как и всякая классификация, дает обобщенную характеристику. Например, в приводимой классификации  $\text{SO}_4^{2-}$  и U относятся к одному типу ореольных неустойчивых признаков, но причины и характер проявления

Классификация гидрохимических поисковых признаков

Типы	Подтипы	Накапливающиеся (образуют повышенные содержания в водах за счет кларковых содержаний в породах)	Ограниченно накапливающиеся (образуют повышенные содержания за счет кларковых содержаний в породах, только при особо благоприятных условиях)	Не накапливающиеся (не образуют повышенных содержаний в водах за счет кларковых содержаний в породах)	Характеристика
Ореольные	Устойчивые	Zn, (Li), (B)	Ni, (Sr)	Mo, (W), (Zr), (Sn)	Дают четкие водные ореолы рассеяния, выходящие за пределы распространения рудных тел. Для накапливающихся интерпретация осложнена
	Неустойчивые	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , U	As, (V) Mn		Дают водные ореолы рассеяния, выходящие за пределы распространения рудных тел, но ореолы неравномерны, иногда отсутствуют. Для накапливающихся интерпретация осложнена. Сульфат-ион наиболее применим в условиях хорошо промытых пород и вод окислительного режима
Переходные	Повышенные содержания химических элементов		Cu	(Nb), (Be), (Ta)	Водные ореолы рассеяния, выходящие за пределы интенсивного влияния рудных тел, образуют только в особо благоприятных для их миграции условиях (низкий pH и обогащенность вод органикой, интенсивность процессов окисления и т. д.)

Переходные	Показатели минерализации вод	pH, сульфатность воды	Общая минерализация		Как правило, низкие значения pH, сульфатность воды и высокие величины минерализации характерны только в пределах интенсивного воздействия окисляющих сульфидных тел. При малой активности пород, слагающих район, слабом водообмене и малой минерализации воды могут образовываться довольно обширные ореолы
	Сильно гидролизующиеся			Sb, Bi, (Ga <sup>v</sup> , (In), (Ge), (Hg <sup>2+</sup> ))	Водные ореолы рассеяния, как правило, не выходят за пределы интенсивного воздействия рудного тела
Рудные	Сорбируемые и образующие труднорастворимые карбонаты			Pb, (Co), Ra, (Cd ?), (Ag), (Hg <sup>1+</sup> )	Водные ореолы рассеяния незначительных размеров. При движении вод в зияющих пустотах и при повышенных содержаниях CO <sub>2</sub> , размеры ореолов увеличиваются

Примечание. Элементы, заключенные в скобки, отнесены к определенным типам гидрохимических поисковых признаков на основании теоретических предпосылок ввиду недостаточного количества фактических данных.

этой неустойчивости различны для каждого из признаков. Поэтому, наметив на основании классификации общий характер использования и интерпретации гидрохимических поисковых признаков, необходимо более детально выяснить характеристику каждого из признаков, входящих в тот или иной тип.

Классификация позволяет также наметить основные пути для дальнейшего изучения гидрохимических поисковых признаков. Наиболее благоприятными для использования являются ореольные устойчивые, ненакапливающиеся гидрохимические поисковые признаки. К этому типу отнесены Mo, W, Zr, Sn. По условиям миграции молибдена имеется достаточно обоснованный материал, позволяющий вполне определенно отнести молибден к этому типу. Остальные элементы отнесены к нему на основании оценки их физико-химической природы и отдельных разрозненных данных по распространению в природных водах, находящихся под влиянием рудных тел. Поэтому необходимо исследовать условия формирования водных ореолов рассеяния W, Zr, Sn, а для W и Cd разработать более чувствительные методы определения их в природных водах (порядка десятых долей  $\text{мкг/л}$ ).

Для всех указанных компонентов необходимо выяснить условия обогащения ими вод и формы, в которых они находятся. Важной задачей является также выяснение условий формирования водных ореолов рассеяния Li, B, Be, Ge, а для Li, B и Ge, кроме того, усовершенствование методики их определения.

Изучение содержания бора в водах важно не только для выявления бороносных вод, но и для оценки общей перспективности исследуемых территорий по бору и поисков месторождений других типов, в первую очередь боратов и датолитов.

Накопленные за последние годы материалы по формированию водных ореолов и разработке схем районирования СССР по природным условиям ведения поисковых работ [3, 5 и др.] позволили значительно усовершенствовать разработанную ранее автором схему районирования по ведущим гидрохимическим поисковым признакам и превратить ее в схему районирования СССР по природным условиям проведения гидрохимических поисков рудных месторождений.

В основу этой схемы положены: характер формирования водных ореолов рассеяния в различных геолого-гидрогеологических условиях и тип подземных вод, являющийся объектом гидрохимических исследований при поисках. Эти моменты определяются геоструктурными, климатическими, почвенно-геохимическими и гидрогеологическими условиями, а также условиями рельефа. Границы распространения различных климатических, почвенно-геохимических и гидрогеологических условий для грунтовых вод очень близки между собой. Поэтому для отображения площадного распространения этих трех факторов можно использовать районирование по одному из них. Для горноскладчатых районов, где основным объектом гидрохимического изучения являются

грунтовые воды, наиболее целесообразно использовать районирование, предложенное О. К. Ланге [6].

Таким образом, в схеме районирования территории СССР по природным условиям ведения гидрохимических поисков учитываются три следующих основных фактора: 1) геоструктурный (наиболее крупные подразделения — провинции); 2) гидрогеологический (согласно О. К. Ланге, область); 3) геоморфологический (районы). Схема такого районирования представлена в табл. 2.

Схема дает возможность в первом приближении выявить районы, наиболее благоприятные для проведения гидрохимических поисков рудных месторождений, основные объекты исследования (грунтовые, межпластовые воды), что в значительной мере определяет методику производимых поисков, показывая какие гидрохимические поисковые признаки могут быть использованы, а также характер их использования.

Перечисленные сведения важны для планирования гидрохимических исследований, при их проведении на определенной площади требуются более детальные данные. Поэтому необходимо составить для каждого из районов, выделенных в схеме районирования, таблицы изменения гидрохимических поисковых признаков и их поведения в зависимости от типа вод (грунтовые, межпластовые, трещинно-жильные и др.), типа месторождений (существенно пиритные, пиритные, без пирита и др.) и общего металлогенического характера изучаемого района, от состава вмещающих оруденение водоносных пород (карбонатные, силикатные и др.). Составление таких таблиц наряду с уточнением схемы районирования должно явиться делом ближайшего будущего.

Приведенная схема районирования позволяет выявить районы, требующие первоочередного изучения возможностей применения гидрохимических методов при поисках рудных месторождений. Наименее изученными в этом отношении являются районы сплошной вечной мерзлоты и краевые части платформ. В то же время эти районы имеют большое народнохозяйственное значение и весьма перспективны по многим типам рудных месторождений. Отдельные опубликованные работы [7, 11] и ряд неопубликованных исследований доказали возможность эффективного использования гидрохимических методов поисков в районах островной вечной мерзлоты. Одной из дальнейших задач является разработка методики производства гидрохимических поисков рудных месторождений в районах развития сплошной вечной мерзлоты. При этом необходимо обратить особое внимание на условия формирования водных ореолов рассеяния в подмерзлотных водах. От использования последних зависит глубинность гидрохимических методов для этих районов.

В последнее время неоднократно подчеркивается значение глубинных поисков в краевых частях платформ [8]. Перспектив-

Схема районирования СССР по природным условиям проведения гидрохимических поисков рудных месторождений

Провинции	Области	Районы	Объект исследования	Основные особенности проведения гидрохимических поисков	Типичные районы	Ведущий г. п. п.	Использованный источник
Платформы и плиты	Приподнятые части платформ и плит	С островной мерзлотой	Грунтовые воды активного слоя, воды низовых болот, ручьев и небольших рек	Водные ореолы рассеяния ореольных г. п. п. слабой контрастности. В качестве г. п. п. можно использовать величины минерализации. При использовании источников грунтовых вод, выходящих на южных склонах, глубинность поисков может достигать мощности зон активной региональной трещиноватости, при нешироких водоразделах глубинность зависит от характера рельефа	Южная часть Восточно-Сибирской платформы	Mo, Zn, As	По аналогии с другими месторождениями
		Со сплошной мерзлотой	Над-и подмерзлотные воды	Не выяснены	Северная часть Восточно-Сибирской платформы	—	—
	Краевые зоны с глубиной залегания кристаллического фундамента менее 1000 м	С минерализацией межпластовых вод до 1 г/л  То же, до 10 г/л	Межпластовые, поверхностные и грунтовые воды  То же	Для межпластовых вод характерны слабо контрастные, но обширные водные ореолы рассеяния. Использование $SO_4^{2-}$ как г. п. п. невозможно  Особенности для высокоминерализованных межпластовых вод не выяснены	Енисейская краевая зона  Западно-Сибирская плита	—  —	Р. С. Кононова, Г. Б. Свешников, В. В. Федосеева  —

		То же, до 50 г/л и более	• •	Особенности для высокоминерализованных межпластовых вод не выяснены	Тургайский прогиб	—	—
		То же, от 1 до 50 г/л и более	• •	То же	Белорусская антеклиз	—	—
Платформы и плиты	Опущенные части платформ и плит с глубиной кристаллического фундамента более 1000 м	Без поднятий	Межпластовые воды	В настоящее время целесообразно только гидрохимическое опробование глубоких скважин в исследовательских целях	Русская платформа, Западно-Сибирская низменность	—	—
		С отдельными поднятиями кристаллического фундамента, достигающими современного эрозионного среза	Грунтовые воды, воды тектонических трещин	Применение гидрохимических поисков целесообразно лишь для отдельных поднятий, выраженных в рельефе возвышенностями. Наилучшие результаты дают повышенные содержания Мо, возможно использование повышенных содержаний Zn, Sn, As	Кызылкумы и Устюрт	Мо	На основании анализа геологических и гидрогеологических условий
Складчатые сооружения и шты	Области избыточного увлажнения	С резко приподнятым рельефом	Грунтовые воды и примыкающие к ним части межпластовых водоносных горизонтов. Воды тектонических трещин, болот и речек	Отчетливым г. п. п. является повышенное содержание сульфат-иона. Металлы дают ореолы слабой контрастности. Возможно использование как г. п. п. величины минерализации	Северный Урал, Приморье	SO <sub>4</sub> <sup>n</sup>	Ю. Ю. Бугельский, С. И. Смирнов

Интерпретация повышенных содержаний SO<sub>4</sub><sup>n</sup> затруднена

Провин- ции	Области	Районы	Объект исследования	Основные особенности проведения гидрохимических поисков	Типичные районы	Ведущий г. п. п.	Использованный источник
и щиты	Области избыточного увлажнения	Со слабо расчлененным рельефом	Грунтовые воды и примыкающие к ним части межпластовых водоносных го- ризонтов. Воды тектонических трещин, болот и рек	Возможно широкое использование всех г. п. п. Переходные г. п. п., особенно при поисках меднокол- чеданных месторождений, могут быть использованы как ореольные. Глубинность метода определяется мощностью слоя активной трещи- новатости и условиями рельефа	Средний Урал, Са- лаир, Куз- нецкий Ала- тау, Коль- ский полу- остров	Все ореольные и для медноколчеданных Са	А. А. Бродский, Г. Н. Вострокну- тов, В. Е. Дани- лов, А. Д. Мил- лер, К. Е. Питье- ва, Е. А. Понома- рев, П. А. Удодов, В. В. Федосеева
	Области не- устойчивого увлажнения	С резко приподня- тым рельефом  Со слабо расчленен- ным релье- фом	То же  " "	Отчетливым г. п. п. являются повы- шенные содержания сульфат-иона. Металлы дают достаточно контра- стные ореолы. На участках с раз- витием горнолуговых почв воз- можно использование меди как ореольного г. п. п. Глубинность поисков определяется условиями рельефа  Металлы дают контрастные ореолы. Ореолы повышенных содержаний SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> часто (особенно в болотах) срезаются процессами десульфид- рования и в то же время арид- ность климата затрудняет интер- претацию повышенных содержаний SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> . Глубинность определяется мощностью зоны активной трещи- новатости и условиями рельефа	Закавказье, Алтай  Южный Урал, Се- верный Казахстан, Алтай	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>  Все ореольные за исклю- чением SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Н. И. Долуханова, С. Р. Крайнов, Г. Б. Свешников, Е. А. Сергеев, П. А. Удодов  А. А. Бродский, Е. А. Пислегина, П. И. Пищерова, Г. Б. Свешников, Е. А. Сергеев, В. В. Федосеева

Области недостаточно увлажнения	С резко поднятым рельефом	" "	Интерпретация аномальных значений $SO_4^{2-}$ затруднена	Каратау	Zn, Pb	А. А. Бродский, С. Р. Крайнов, В. И. Пищерова, П. В. Федосеева
	Со слабо расчлененным рельефом	" "	Гидрохимические поиски эффективны только для отдельных расчлененных возвышенных массивов, где возможно применение всех устойчивых г. п. п. Основным г. п. п. является повышенное содержание молибдена	Центральный Казахстан, Мугоджары, Южное Закавказье	Mo	Е. Е. Белякова, А. А. Бродский, Ю. Ю. Бугельский, С. Р. Крайнов, В. В. Федосеева
Высокогорные области		Грунтовые воды и воды тектонических зон	Фоновые и ореольные значения г. п. п. низкие, но контрастность ореолов хорошая, глубинность поисков определяется условиями рельефа	Главный Кавказский хребет, Тянь-Шань	—	В. И. Виноградов, П. И. Пищерова, А. Н. Токарев
Области распространения вечной мерзлоты	С островной мерзлотой	Грунтовые воды активного слоя, воды низовых болот, ручьев и небольших рек, воды тектонических зон	Водные ореолы рассеяния ореольных г. п. п. слабой контрастности. Как г. п. п. возможно использование величин минерализации. При использовании источников грунтовых вод, выходящих на южных склонах, глубинность поисков может достигать мощности зоны активной региональной трещиноватости, при нешироких водоразделах глубинность зависит от характера рельефа	Восточное Забайкалье	Mo, Zn, As	Ю. Ю. Бугельский, Б. А. Воронников, С. Д. Капранов, Р. С. Кононова, М. В. Орлова, В. В. Поликарпочкин, А. Я. Стремяков
	Со сплошной мерзлотой	Над-и подмерзлотные воды	Не выяснены	Дальний Север	—	—

Примечание. г. п. п. — сокращенно гидрохимические поисковые признаки,

ными в этих условиях являются как породы нижнего структурного этажа, так и верхнего. Небольшой опыт проведения гидрохимических исследований для выяснения перспективности верхнего структурного этажа уже имеется.

Так, в 1955 г. сотрудниками ВСЕГИНГЕО было установлено, что в подземных водах силурийских и кембрийских отложений в пределах Эстонского и Силурийского плато и западной части Карельского перешейка имеют место повышенные содержания меди и свинца, а также повышенная распространенность бериллия и олова. Наиболее высокие содержания указанных элементов отмечаются на отдельных участках, что, возможно, указывает на их перспективность в отношении наличия соответствующих рудопроявлений.

Значительную трудность представляет использование гидрохимических методов для выяснения перспективности нижнего структурного этажа. В этих условиях главным объектом гидрохимических исследований являются межпластовые воды. Поскольку процессы окисления в значительной части этих вод не могут развиваться, то, очевидно, в формировании в них водных ореолов рассеяния наибольшую роль играют процессы электрохимического растворения, на которые обратил внимание Г. Б. Свешников [9].

Очень часто межпластовые воды имеют высокую минерализацию. Если в условиях грунтовых вод повышение минерализации обычно препятствует распространению повышенных содержаний металлов, образующихся в водах под влиянием рудных тел, то в межпластовых водах это явление или отсутствует, или в значительной мере ослабляется.

Имеющиеся разрозненные данные и некоторые теоретические соображения показывают, что в условиях межпластовых вод образуются водные ореолы рассеяния слабой контрастности, но больших размеров. Выявление этих ореолов при поисках может значительно сократить число глубоких буровых скважин, ускорить и удешевить производимые работы, несмотря на некоторое замедление бурения скважин при отборе проб воды.

Первоочередными задачами в области разработки методики гидрохимических поисков в закрытых районах являются: а) изучение процессов формирования водных ореолов рассеяния в бескислородных и высокоминерализованных межпластовых водах; б) разработка методов определения тяжелых металлов в высокоминерализованных водах и методов отбора проб воды из глубоких буровых скважин, особенно в процессе их бурения.

Одной из самых ответственных и трудных задач является интерпретация результатов гидрохимических исследований, включающая:

- 1) выявление фоновых и аномальных значений гидрохимических поисковых признаков и оконтуривание гидрохимических аномалий;

- 2) установление природы гидрохимических аномалий (причины их возбуждения);
- 3) выяснение мест возможного оруденения;
- 4) проверку наличия оруденения.

По всем указанным пунктам имеются лишь общие принципиальные установки [2], детально разработанная методика с учетом разнообразных природных условий отсутствует. По первым двум пунктам в настоящее время накопился довольно обширный материал, обработка и систематизация которого, очевидно, позволит разработать указанную методику. По двум последним пунктам материал почти отсутствует. Хотя в результате работ различных организаций установлено большое число гидрохимических аномалий, однако проверены из них единицы. Имеются случаи, когда на месте ранее выявленной гидрохимической аномалии уже существует эксплуатируемое месторождение, но роль гидрохимических исследований для обнаружения и разведки этих месторождений не установлена. Поэтому для реализации возможностей гидрохимического метода необходима проверка выявленных гидрохимических аномалий.

Большое значение для правильной интерпретации гидрохимических данных, по мнению автора, имеет вопрос о глубинности метода, которая определяется следующими факторами<sup>1</sup>:

- 1) глубиной расчленения рельефа; если эта глубина превышает размеры водных ореолов, то размерами последних;
- 2) мощностью слоя грунтовых вод; если эта мощность более поперечных размеров диффузионного ореола рассеяния рудных месторождений в грунтовых водах, то этими размерами;
- 3) глубиной, с которой поднимаются напорные (тектонические зоны, подмерзлотные, подморенные и др.) воды или размерами водных ореолов рассеяния.

Вопрос о глубинности метода важен не только для интерпретации гидрохимических аномалий, но и для определения эффективности метода и его места в комплексе геохимических методов поисков в различных геолого-гидрогеологических условиях. Поэтому при гидрохимических исследованиях, проводимых как для разработки метода, так и для поисков рудных месторождений, следует уделять больше внимания сбору фактического материала по этому вопросу. Большой фактический материал для разработки вопроса глубинности гидрохимического метода может быть получен при проверке гидрохимических аномалий и проведении полевых и лабораторных экспериментальных исследований, в первую очередь, по выяснению размеров водных диффузионных ореолов рассеяния в различной природной обстановке.

Для правильного выбора фоновых значений гидрохимических поисковых признаков и выделения гидрохимических аномалий не-

<sup>1</sup> Эти факторы выведены теоретически и основываются на разрозненных данных.

обходимо изучение изменений величин гидрохимических поисковых признаков во времени. Систематического материала по этому вопросу немного, но ряд авторов указывает на значительные изменения содержаний отдельных гидрохимических поисковых признаков за сравнительно короткое время. К сожалению, в основном эти наблюдения основываются на определении суммы металлов, т. е. практически на изучении изменений во времени величины содержания цинка [3, 10, 12].

Учитывая большую важность вопросов изменения величины гидрохимических поисковых признаков во времени, необходимо организовать соответствующие стационарные наблюдения. Эти наблюдения надо поставить в различных климатических условиях на месторождениях различных типов и обеспечить изучение изменения химического состава как вод, циркулирующих непосредственно в рудных телах, так и ореольных. При этом должны исследоваться воды (поверхностные, грунтовые, межпластовые), имеющие различный характер зоны аэрации и различные глубины залегания.

В первую очередь наиболее целесообразно организовать стационары на участках разведанных, но неэксплуатируемых месторождений Среднего Урала и Салаира. Стационарные исследования дадут материал для выяснения условий формирования истинных и ложных гидрохимических аномалий, а также солевых ореолов в зоне аэрации.

Важнейшей задачей дальнейшего развития гидрохимических методов является правильное применение их в рациональном комплексе с другими геохимическими методами поисков. На практике этот рациональный комплекс нередко нарушается. Например, гидрохимические исследования проводятся после детальной металлометрии, что сводит на нет их эффективность. Часто гидрохимические исследования производятся в отрыве от других видов поисков или, наоборот, выполнение их поручается геологу партии, который не обладает достаточными знаниями в области гидрогеологии и гидрохимии и, кроме того, загружен выполнением работ по другим видам поисков. Отрицательно отражается на качестве гидрохимических поисков формальное отношение к ним, при котором планирование сводится к установлению числа отбираемых проб воды без учета особенностей изучаемого района и задач, стоящих перед поисками. Сильно ухудшает постановку гидрохимических поисков несвоевременное обеспечение партий специальным оборудованием (полевыми лабораториями, реактивами и посудой).

Для упорядочения практического проведения гидрохимических поисков необходимо организовать в геологических управлениях специальные гидрохимические партии, отряды которых и должны проводить эти поиски в составе соответствующих геологосъемочных и геологопоисковых партий и экспедиций. Для организации

этих партий следует привлечь специальные гидрогеологические организации МГиОН (Всесоюзный гидрогеологический трест, Узбекский и Казахский гидрогеологические тресты, гидрогеологические экспедиции территориальных управлений).

Научно-методическую помощь гидрохимическим партиям должны оказывать научно-исследовательские организации и тематические геохимические партии. Следует распределить среди научно-исследовательских организаций районы курирования и в комплекс работ тематических партий по геохимическим поискам включить исследования по разработке гидрохимических методов, поручив проведение их квалифицированным специалистам.

Очередными задачами по разработке и применению гидрохимических методов поисков являются:

1. Проверка и изучение выявленных гидрохимических аномалий. Материалы этих работ должны быть использованы для дальнейшего изучения процессов формирования водных ореолов рассеяния и разработки методики интерпретации гидрохимических аномалий.

2. Анализ природных условий, определяющих глубину гидрохимических поисков.

3. Разработка методики гидрохимических исследований при поисках рудных месторождений в краевых зонах платформ с глубиной кристаллического фундамента до 1000 м.

Для этого в первую очередь следует провести изучение процессов формирования водных ореолов в высокоминерализованных межпластовых водах, находящихся в бескислородных условиях, разработать методы концентрирования и определения микроэлементов в высокоминерализованных водах и гидрохимического опробования глубоких несамоизливающихся буровых скважин.

4. Разработка эффективной методики гидрохимических поисков в условиях сплошной вечной мерзлоты.

5. Изучение новых гидрохимических поисковых признаков, в первую очередь для месторождений редких и рассеянных элементов (В, Li, Be и др.).

6. Изучение геохимии отдельных типов подземных вод как теоретической базы для гидрохимических исследований в поисковых целях.

7. Изучение условий миграции микроэлементов в зоне аэрации в зависимости от характера этой зоны и гидрогеологических условий (в первую очередь глубины залегания грунтовых вод). Эти исследования должны проводиться с целью дальнейшей разработки вопросов образования истинных и ложных гидрохимических аномалий, прогноза изменения содержания микрокомпонентов минерализации грунтовых вод во времени, формирования солевых ореолов. Выяснение влияния характера зоны аэрации и

гидрогеологических условий явится основой для дальнейшего развития методов почвенногидрохимических поисков.

Для решения этих вопросов должны быть организованы стационары, в первую очередь на Урале и Салаире.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бродский А. А. Гидрохимический метод поисков меди. Госгеолтехиздат, 1956.
  2. Бродский А. А. Гидрохимический метод поисков рудных месторождений (временные методические указания). Госгеолтехиздат, 1957.
  3. Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. Тр. Первого Всесоюзн. совещ. по геохим. методам поисков рудных месторождений, под ред. В. И. Красникова. Госгеолтехиздат, 1957.
  4. Миллер А. Д. и Данилов В. Я. Солевые ореолы рассеяния редкометалльных пегматитов Кольского полуострова. Геохимия, № 6, 1957.
  5. Шарков Ю. В. К вопросу об особенностях проведения металлотерических поисков в различных природных условиях. Разведка и охрана недр, № 8, 1956.
  6. Ланге О. К. О районировании грунтовых вод. Мат. к познанию геол. строения СССР, МОИП, Нов. серия, вып. 8(12), 1947.
  7. Стремяков А. Я. К вопросу применения гидрохимических поисков рудных месторождений в условиях многолетнемерзлых пород. Разведка и охрана недр, № 3, 1958.
  8. Красников В. И. Развитие методики поисков рудных месторождений. Сов. геол., № 60, 1957.
  9. Свешников Г. Б. и Добычин С. Л. Гальваническое растворение сульфидов и ореолы рассеяния тяжелых металлов. Геохимия, № 4, 1956.
  10. Геохимические методы поисков рудных месторождений. Сб. перев. статей, под ред. В. И. Смирнова, ИЛ, 1954.
  11. Boyle R. W. Geochemical Prospecting in Yukon. Canad. Mining J., vol. 6, 1955.
  12. Atkinson. Heavy Metal Concentration in Streams in North Angola. Economic Geology, N 6, 1957.
- ВСЕГИНГЕО

В. И. КРАСНИКОВ

### К ВОПРОСУ О МЕСТЕ И РОЛИ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА В РАЦИОНАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ ГЕОЛОГОПОИСКОВЫХ РАБОТ

Гидрохимический метод поисков рудных месторождений по существу еще не вышел из стадии экспериментирования. Разработка научных основ и широкая производственная апробация этого метода начаты всего несколько лет назад, причем работы нередко велись и продолжают вестись в отрыве от других поисковых методов, что не может способствовать выяснению места и роли гидрохимического метода в рациональных комплексах геологопоисковых работ. Поэтому в настоящее время можно высказать лишь самые предварительные соображения по данному вопросу, которые, однако, могут оказаться полезными для дальнейшей разработки и более эффективного использования гидрохимического метода.

## Преимущества и недостатки гидрохимического метода

Одним из основных преимуществ гидрохимического метода является его повышенная глубинность, достигающая при благоприятных условиях нескольких сот метров. Это положение можно иллюстрировать следующими типичными примерами.

В горных районах при наличии глубоко промываемых структур на поверхность могут выходить ореольные воды, связанные со слепыми и выщелоченными на значительную глубину рудными залежами, которые невозможно обнаружить другими поисковыми методами (рис. 1,а). В этих условиях по гидрохимическим аномалиям удавалось выявлять слепые рудные тела, залегающие на глубине до 200 м, причем эта глубина, очевидно, не является предельной.

В условиях расчлененного пенепплена возможно выявление гидрохимических аномалий, связанных с месторождениями, перекрытыми мощным четвертичным покровом (рис. 1,б). Последующие детальные поиски на прилегающих площадях могут сравнительно быстро привести к обнаружению погребенных ореолов рассеяния, а по ним и самих месторождений.

Глубинные поиски гидрохимическим методом возможны также при наличии восходящих напорных вод, омывающих слепые рудные тела (рис. 1,в), хотя такие случаи более редки по сравнению с рассмотренными выше.

По окраинам платформ и плит, в межгорных впадинах, депрессиях и других аналогичных районах, перспективных по целому ряду полезных ископаемых преимущественно осадочного происхождения, должны формироваться гидрохимические ореолы рассеяния в межпластовых водах (рис. 1,г), систематическое опробование которых при поисковом бурении может существенно облегчить выявление слепых рудных залежей.

При высоком стоянии уровня грунтовых вод и при малой подвижности последних известный интерес приобретают диффузионные ореолы рассеяния (рис. 1,д), по которым можно выявлять неглубоко залегающие слепые и погребенные рудные тела.

Вторым важным преимуществом гидрохимического метода является значительная протяженность водных ореолов рассеяния рудообразующих и сопутствующих им элементов, достаточно устойчивых в широком диапазоне окислительно-восстановительных условий гидросферы. Для таких элементов протяженность легко выявляемых ореолов рассеяния в открытых водотоках нередко достигает многих километров и даже первых десятков километров. Так, по данным Е. Е. Беляковой (1958), длина потоков рассеяния молибдена в поверхностных водах Центрального Казахстана, в зависимости от масштаба оруденения и характера дренируемых пород колеблется от 6 до 20 км.

Надо полагать, что и в подземных водах, особенно циркулирующих по легко проницаемым пористым, кавернозным и трещи-

новатым породам, зонам дробления, разломам и т. д., гидрохимические ореолы могут достигать весьма значительных размеров.

Следует особо подчеркнуть, что гидрохимические ореолы и потоки рассеяния должны быть, как правило, больше чем литохимические (первичные и вторичные), поскольку последние наряду с рудными телами являются источником микроэлементов для водных ореолов.

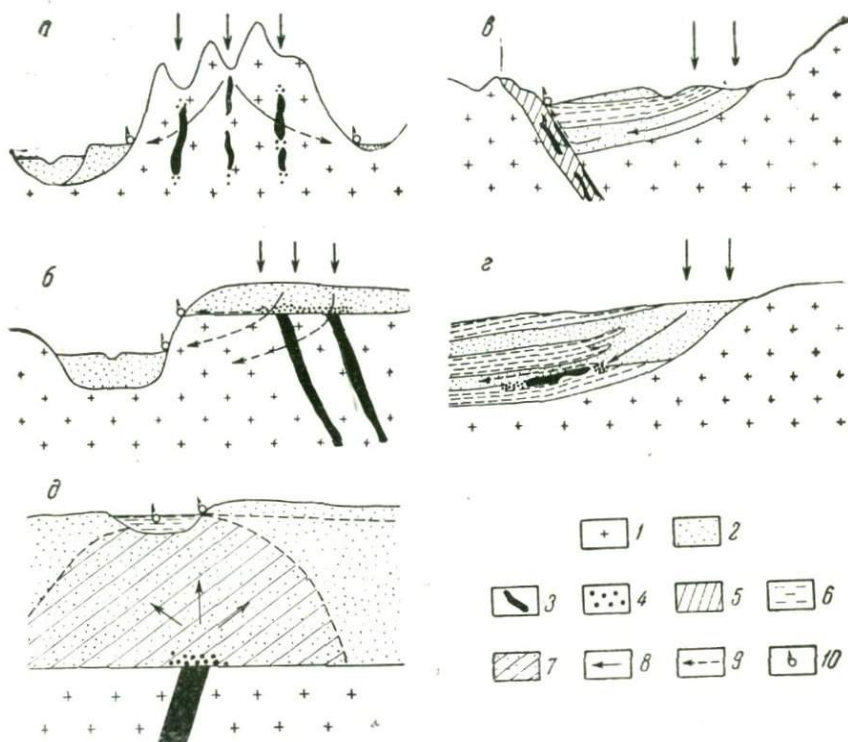


Рис. 1. Примеры, иллюстрирующие глубину гидрохимического метода

*а*—слепые рудные тела в горном районе с глубокопромываемыми структурами; *б*—перекрытое месторождение и его погребенный ореол в условиях расчлененного пенеплена; *в*—восходящие воды, омывающие слепые рудные тела; *г*—погребенный гидрохимический ореол в межпластовых волах;

*д*—схема диффузионного гидрохимического ореола над погребенным рудным телом

1—кристаллические породы; 2—водопроницаемые рыхлые отложения; 3—рудные тела; 4—первичные (*а*, *г*) и погребенные (*б*, *д*) ореолы; 5—зона дробления; 6—водонепроницаемые осадочные толщи; 7—диффузионный гидрохимический ореол; 8—метеорные осадки и фоновые воды; 9—ореольные воды; 10—выходы ореольных вод (гидрохимические аномалии)

Большая протяженность водных ореолов и потоков рассеяния позволяет соответственно разредить сеть первоначального поискового опробования, что особенно важно при поисках слепых и погребенных месторождений.

К недостаткам гидрохимического метода относятся:

1) малые концентрации искомых металлов и элементов-индикаторов в водных ореолах и возникающие отсюда трудности ана-

лиза водных проб на микроэлементы с *необходимой для поисковых целей точностью*;

2) более сложные условия отбора, обработки и анализа проб, отчасти компенсируемые сравнительно редкой сетью гидрохимического опробования;

3) изменчивость водных ореолов и гидрохимического фона в виду резких колебаний содержания рудных и сопутствующих им элементов в водах в зависимости от метеорологических условий, экспозиции склонов и других факторов, определяющих формирование химизма природных вод;

4) невозможность эффективного использования метода в районах развития вечной мерзлоты, по крайней мере в отношении месторождений, рудные тела и ореолы рассеяния которых располагаются целиком в толще мерзлых пород;

5) трудности геологической интерпретации гидрохимических аномалий, обусловленные:

а) множественностью причин, вызывающих их появление и, следовательно, большим количеством ложных аномалий;

б) отсутствием в большинстве случаев видимой связи гидрохимических аномалий с соответствующими им рудными залежами, так как водные ореолы на ближних, а иногда и на дальних подступах к месторождениям обычно скрываются под наносами или в толще коренных пород, вмещающих рудные залежи, и как бы отрываются от соответствующих им месторождений;

в) отсутствием четких критериев для выделения рудных аномалий.

Сопоставляя преимущества и недостатки гидрохимического метода, легко видеть, что его применение наиболее целесообразно в следующих случаях:

1) при геологических съемках и поисках мелких и средних масштабов (1 : 200 000—1 : 100 000 и мельче), когда наиболее полно реализуется возможность эффективного использования метода с опробованием по редкой сети;

2) в горных районах с резко расчлененным рельефом и хорошо развитой гидросетью, характеризующихся наиболее благоприятными условиями для гидрохимических поисков;

3) в пределах расчлененных пенеппенов, плато и равнин с омоложенной гидросетью, прорезающей четвертичный покров и выводящей на поверхность погребенные ореолы экранированных месторождений (см. рис. 1,б);

4) в закрытых районах при поисках слепых и погребенных месторождений с принудительным вскрытием ореолов буровыми скважинами.

### **Основные факторы, определяющие выбор поисковых методов**

Рациональный выбор поисковых методов характеризуется искомыми объектами и природной обстановкой, от которой зависят условия нахождения месторождений и формы их проявления.

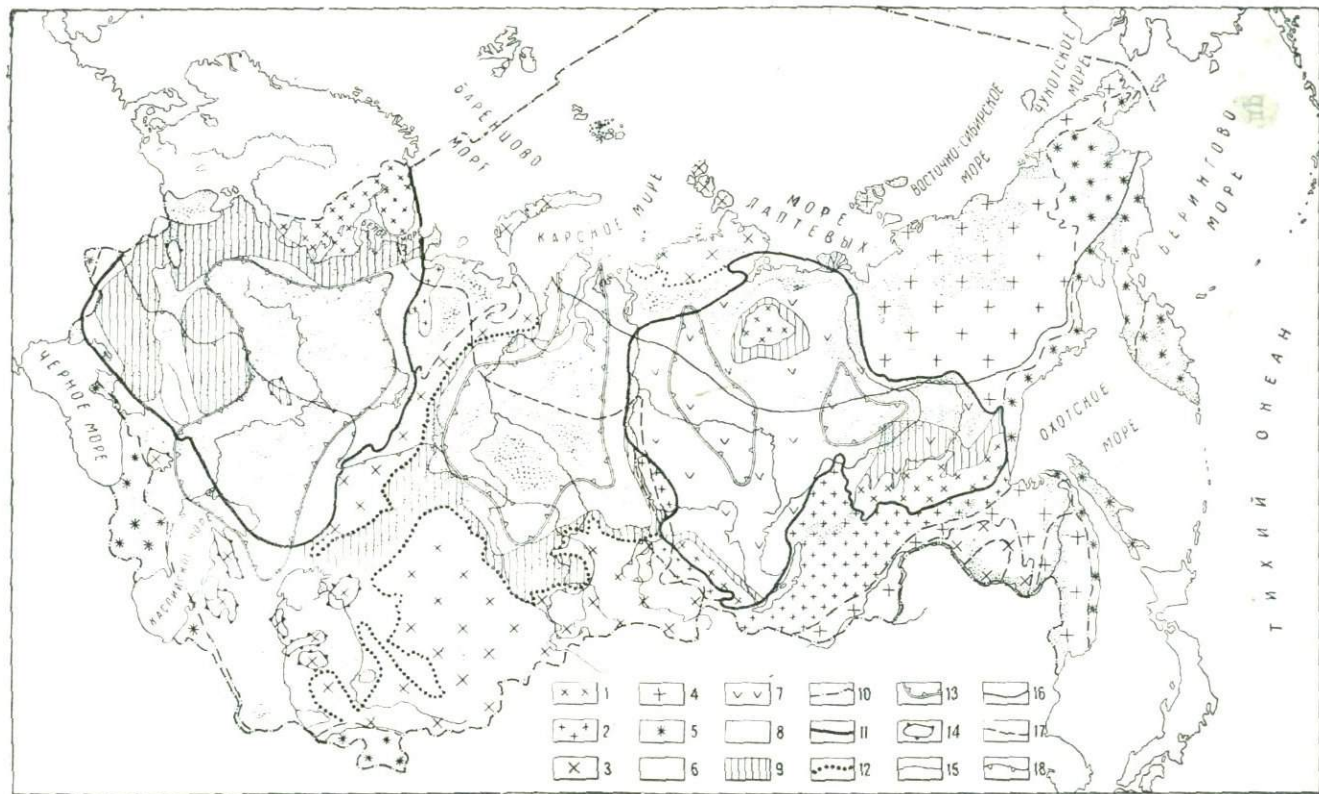


Рис. 2. Схема районирования территории СССР по природным условиям ведения геологопоисковых работ (по В. И. Красникову и О. А. Глико)

1—8—основные типы региональных геологических структур: 1—2—подтип 1-А—щиты (1) и поднятые байкалы (2); 3—5—подтип 1-Б—полицентральные складчатые области палеозойского (3), мезозойского (4) и кайнозойского (5) возраста; 6—подтип 11-А—открытые районы платформ и плит без существенных проявлений позднегерцинского магматизма; 7—подтип 11-Б—открытые районы Сибирской платформы, существенно затронутые позднегерцинским магматизмом; 8—тип III—закрытые районы с региональным покровом аллохтонных четвертичных отложений аллювиального, ледникового, озерного, морского, эолового и смешанного происхождения; 9—краевые части платформ и плит с глубиной залегания нижнего структурного яруса менее 1000 м; 10—граница складчатых областей различного возраста; 11—граница платформ; 12—граница между опущенными и поднятыми областями; 13—граница краевых частей плит, прилегающих к областям сноса; 14—поднятия в пределах платформ и плит; 15—границы выделенных структурных элементов; 16—южная граница распространения сплошной вечной мерзлоты; 17—южная граница распространения островной вечной мерзлоты; 18—граница между северной (туманной) и южной (аридной) зонами

Из внутренних факторов, присущих самим месторождениям, наибольшее значение имеют:

1) преобладающая ориентировка рудных структур и контролируемых ими рудных залежей, определяющая возможности вывода месторождений на поверхность земли с образованием открытых ореолов рассеяния и других поисковых признаков; при субвертикальной ориентировке рудных структур большинство месторождений в пределах интересующей нас зоны эксплуатации относится к вскрытым, при субгоризонтальной ориентировке рудных структур вскрытие месторождений ограничивается глубиной эрозионного расчленения рельефа и большинство месторождений относится к слепым;

2) вещественный состав руд и вмещающих пород, их физические и химические свойства, определяющие характер поисковых признаков (тип и состав ореолов, процессы вторичного минералообразования, концентрацию и рассеяние рудного вещества, связь рудных выходов с положительными и отрицательными элементами рельефа и т. д.).

Из внешних природных факторов, свойственных окружающей среде, наибольшее значение имеют:

1) геолого-структурное положение исследуемого района, определяющее типовой комплекс полезных ископаемых и условия их нахождения в земной коре, в частности преобладающую ориентировку рудных структур и контролируемых ими рудных залежей;

2) условия эрозионного вскрытия геологических формаций и связанных с ними месторождений полезных ископаемых (глубина эрозионного среза, вертикальное и площадное расчленение рельефа);

3) характер четвертичного покрова (генетический тип, площадное распространение, литологический состав и мощность четвертичных отложений);

4) биоклиматическая зональность, определяющая характер растительного покрова, формирование почв и основные черты геохимии ландшафта.

По геолого-структурному положению и условиям эрозионного вскрытия месторождений нами, совместно с О. А. Глико, выделено три основных типа региональных геологических структур с двумя подтипами в каждом, характеризующиеся принципиально различными условиями ведения поисковых работ. На карте районирования СССР по условиям ведения поисковых работ (рис. 2) и в сводке типовых условий геологосъемочных и поисковых работ (табл. 1) выделены также основные биоклимати-

Типовые условия ведения геолога

Типы геологических структур			Рельеф ведущих		
тип	подтип	площадь (в % от всей территории СССР)	Наименование структур	горный рельеф, %	структурный рельеф, %
I. Открытые районы складчатых областей (одноярусные)	I-A. Щиты и байкалиды	8	Щиты	52	23
			Байкалиды	100	—
	I-B. Поднятые области палеозойской и более молодой складчатости	30	Области палеозойской складчатости	69	10
			Области мезозойской складчатости	72	8
Области кайнозойской складчатости			63	9	
II. Открытые районы платформ и плит (двухъярусные)	II-A. Платформы и плиты без существенного проявления магматизма	16	Русская плита	1	43
			Скифская плита	—	16
			Туранская плита	5	19
			Западно-Сибирская плита	—	7
			Опущенные байкалиды Тимана	—	20

## съемочных и поисковых работ

структур данного типа		Биоклиматическая зональность*	Характерные комплексы полезных ископаемых	Главные особенности ведения геологосъемочных и поисковых работ
скульптурный рельеф, %	аккумулятивный рельеф, %			
21	4	I и II	Месторождения метаморфических комплексов (Fe, Mn и др.), эндогенные месторождения, связанные с основными и щелочными, реже с кислыми магмами; месторождения коры выветривания	Сложность геологического строения, интенсивное проявление магматизма и метаморфизма, преобладающая субвертикальная ориентировка рудных структур; благоприятные условия вывода геологических формаций и месторождений на поверхность земли совокупным действием тектонических и денудационных процессов; преобладание открытых ореолов рассеяния, обилие и разнообразие поисковых признаков; благоприятные условия для визуальных, геолого-минералогических и геохимических поисков
—	—			
15	6	I и II	Эндогенные месторождения, связанные с кислыми, реже с основными и щелочными магмами; осадочные, в разной степени метаморфизованные месторождения	
—	20	II		
3	25	I и II		
15	41	I и II <sub>a</sub>	В верхнем структурном ярусе осадочные месторождения, в нижнем ярусе месторождения, I типу геологических структур	Простое геологическое строение верхнего яруса; пластовая и линзовидная форма, пологое залегание и большая протяженность рудных тел, незначительная глубина эрозионного расчленения рельефа и связанная с этим необходимость искусственного вскрытия нижних горизонтов зоны эксплуатации. Поиски в нижнем структурном ярусе ограничиваются объектами глубинных геофизических методов
6	78	I		
23	53	I		
—	93	I и II		
—	80	II <sub>a</sub> и II <sub>б</sub>		

Типы геологических структур			Наименование структур	Рельеф ведущих	
тип	подтип	площадь (в % от всей территории СССР)		горный рельеф, %	структурный рельеф, %
III. Закрытые районы с региональным покровом аллохтонных четвертичных отложений значительной мощности	III-Б. Открытые районы Сибирской платформы, затронутые позднейшим магматизмом	11	Сибирская плита	7	62
	III-А. Закрытые районы платформ и плит	30	См. выше площади, занятые		
	III-Б. Закрытые районы складчатых областей	5	См. выше площади, занятые		

\* Биоклиматическая зональность: I—южная (аридная) зона, II—северная мерзлотой—II<sub>6</sub> и со сплошной вечной мерзлотой—II<sub>B</sub>.

структур данного типа		Биоклиматическая зональность*	Характерные комплексы полезных ископаемых	Главные особенности ведения геологосъемочных и поисковых работ
скульптурный рельеф, %	аккумулятивный рельеф, %			
2	29	II <sub>б</sub> и III <sub>в</sub>	В верхнем структурном ярусе осадочные и эндогенные месторождения, связанные с трапповым магматизмом. В нижнем ярусе месторождения, свойственные I типу геологических структур	Геологическое строение верхнего яруса осложнено наложенным магматизмом и дизъюнктивными нарушениями. Поиски осадочных месторождений аналогичны подтипу II-A. Поиски эндогенных месторождений верхнего яруса затруднены покровами траппов. Возможности поисков в нижнем структурном ярусе ограничены аналогично подтипу II-A
аккумулятивным рельефом			Комплексы полезных ископаемых, аналогичные соответствующим подтипам II типа. Россыпи и другие вторичные месторождения, связанные с четвертичным покровом	Полное отсутствие естественных обнажений и рудных выходов, преобладающая субгоризонтальная ориентировка рудных структур. Геологические съемки и поиски основаны на искусственном вскрытии геологических формаций и месторождений буровыми скважинами в сочетании с глубинными геофизическими исследованиями
аккумулятивным рельефом			Комплексы полезных ископаемых, аналогичные соответствующим подтипам I типа. Россыпи и другие вторичные месторождения, связанные с четвертичным покровом	Условия поисков определяются четвертичным покровом. Наиболее характерны валунно-ледниковые ореолы рассеяния (в районах развития ледниковых отложений) и погребенные ореолы

(гумидная) зона с подзонами: без вечной мерзлоты — II<sub>в</sub>, с островной вечной

ческие зоны: аридная и гумидная (последняя с тремя подзонами: без вечной мерзлоты, с островной и со сплошной вечной мерзлотой).

По характеру четвертичного покрова нами выделяются:

а) площади I категории, обнаженные или покрытые мало-мощными (обычно не более 1—2 м) элювиально-делювиальными и другими отложениями автохтонного типа, характеризующиеся развитием открытых ореолов нормальной интенсивности и обильными проявлениями других поисковых признаков, в том числе визуальных;

б) площади II категории, перекрытые делювиально-покровными суглинками средней мощности (до 5 м) и другими отложениями смешанного состава с преобладанием в верхнем слое аллохтонного материала, характеризующиеся развитием резко ослабленных у дневной поверхности ореолов рассеяния и редкими проявлениями других поисковых признаков;

в) площади III категории, перекрытые покровными суглинками и другими, в основном аллохтонными отложениями значительной мощности (до 20—30 м), характеризующиеся развитием неглубоко погребенных ореолов рассеяния и, как правило, отсутствием визуально наблюдаемых поисковых признаков;

г) площади IV категории, перекрытые весьма мощным покровом аллохтонных отложений (многие десятки и первые сотни метров) с глубоко погребенными ореолами рассеяния и полным отсутствием других поисковых признаков, за исключением некоторых геофизических аномалий.

### **Рациональные сочетания поисковых методов**

Вопросы рационального сочетания (комплексирования) поисковых методов могут рассматриваться по крайней мере с трех сторон: 1) применительно к искомым объектам, т. е. к определенным видам полезных ископаемых, типам месторождений и рудным комплексам; 2) по основным этапам геологопоисковых работ и 3) применительно к типичным (рассмотренным выше) или конкретным (местным) условиям ведения поисковых работ.

Сводка наиболее употребительных поисковых методов по отдельным металлам приведена в табл. 2. Как видно из этой таблицы, гидрохимический метод успешно применяется или может быть рекомендован при поисках месторождений Cu, Pb, Zn, Mo, Ni и Co (в сульфидных рудах), U, V, Li, Be, Sb и Hg, Bi, Nb, Zr, Fe, Mn, Sn и редких земель. Для Cu, Pb, Zn, U и Mo гидрохимический метод поисков является ведущим, а для остальных металлов — вспомогательным методом. При этом для сульфидных руд Cu, Pb, Zn, Mo, Ni, Co, Sb и Bi, а также для U, V, Li, Be и Zr поисковыми признаками служат ореолы рассеяния самих искоемых металлов, а все другие руды выявляются по водным ореолам элементов-индикаторов. С помощью последних, очевидно, можно выявлять еще более широкий круг месторождений, чем это пока-

зано в табл. 2, так как большинство руд содержат те или иные мигрирующие элементы. Этот вопрос требует дальнейшего исследования.

Приведенные в табл. 2 сочетания поисковых методов характерны в основном для специализированных поисков, ориентированных на определенный вид полезных ископаемых. Такие работы широко проводились отраслевой геологической службой различных министерств и ведомств для расширения сырьевой базы горнорудных предприятий. В настоящее время эти работы уступили место планомерным комплексным исследованиям, ориентированным на выявление широкого круга полезных ископаемых, в связи с чем на первое место выступает проблема рационального сочетания поисковых методов применительно к основным этапам и типовым условиям ведения геологосъемочных и поисковых работ.

Первый тип региональных геологических структур (щиты и поднятые складчатые области различного возраста) отличается весьма разнообразным комплексом полезных ископаемых. Для щитов и поднятых байкалид (см. подтип I-A в табл. 1) наиболее характерны осадочно-метаморфогенные месторождения железа (тип железистых кварцитов), марганца, урана и золота (в конгломератах типа Витватерсранда и Блайнд Ривера), магматические месторождения хрома, титана и сульфидных медно-никелевых руд с платиноидами в основных и ультраосновных породах, месторождения редких земель, тантала, ниобия, тория и алюминия, связанные с щелочными породами, вторичные месторождения силикатных никелевых руд, остаточные месторождения железа, марганца, титана и алюминия. Менее характерны эндогенные месторождения, связанные с кислыми магмами.

Для поднятых областей более молодой складчатости (подтип I-Б) ведущие рудные комплексы представлены разнообразными эндогенными месторождениями, связанными с кислыми и средними изверженными породами: пегматитовыми месторождениями Li, Be, Ta, Nb и других редких и рассеянных элементов, скарновыми месторождениями Fe, Pb и Zn, Sn, W, Mo, Cu и Au, грейзенами с Sn, W, Be и Mo, гипо- и мезотермальными месторождениями W, Mo, Au, U, Sn, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, эпитермальными месторождениями Sb, Hg, Au с теллуридами, Pb, Zn и Cu. Кроме того, могут присутствовать осадочные месторождения геосинклинального типа, в той или иной степени метаморфизованные. Менее характерны месторождения, связанные с основными и щелочными магмами. В целом рассматриваемый тип региональных геологических структур отличается наибольшим богатством и разнообразием рудных комплексов. Преобладающая ориентировка рудных структур — субвертикальная. Рельеф преимущественно горный. Геологическое картирование и рациональные системы поисковых работ в этих условиях могут основываться на естественном эрозионном вскрытии геологических формаций и связанных с ними месторождений полезных

Наиболее употребляемые поисковые методы по отдельным металлам

	Визуальные и геолого- минералогиче- ские методы	Аэрогеоло- гические методы	Шли- ховой метод	Металло- метрия	Гидро- химиче- ский метод	Маг- нито- мет- рия	Радио- метриче- ские методы	Элек- тро- раз- ведка	Гра- ви- мет- рия	Сей- смо- раз- ведка	Технические методы (поисковое бурение)
Железо . . . . .	XX	X	—	X	X	XX	—	X	XX	X	X
Марганец . . . . .	XX	X	—	X	X	XX	—	X	—	—	X
Титан . . . . .	X	X	XX	X	—	X	XX	X	X	—	X
Хром . . . . .	X	—	X	X	—	XX	—	—	XX	—	—
Медь . . . . .	XX	X	X	XX	XX	X	—	—	—	—	—
Свинец и цинк . . . . .	X	X	—	XX	XX	—	—	XX	X	—	X
Алюминий . . . . .	XX	X	—	X	—	X	X	X	—	X	XX
Магний . . . . .	XX	—	—	X	—	X	—	X	X	X	X
Никель и кобальт . . . . .	XX	X	—	X	X	X	—	X	X	—	X
Ванадий . . . . .	X	—	—	X	X	—	X	—	—	—	—
Олово . . . . .	X	X	XX	X	X	X	X	X	—	—	X
Вольфрам . . . . .	X	X	XX	XX	—	X	—	X	—	—	X
Молибден . . . . .	X	—	—	XX	XX	X	X	X	—	—	—
Сурьма . . . . .	X	—	—	XX	—	—	—	X	—	—	—
Ртуть . . . . .	X	—	XX	X	X	—	—	—	—	X	X
Литий . . . . .	X	X	XX	XX	X	—	—	X	—	—	—
Бериллий . . . . .	X	X	XX	XX	X	—	—	X	—	—	—
Редкие земли . . . . .	X	X	XX	X	X	X	XX	—	—	—	X
Тантал . . . . .	X	X	XX	X	—	X	XX	X	—	—	X
Ниобий . . . . .	X	X	XX	X	X	X	XX	—	—	—	X
Цирконий . . . . .	X	X	XX	X	X	X	—	—	—	—	XX
Золото . . . . .	X	X	XX	X	X	X	X	X	—	—	XX
Платина . . . . .	X	—	XX	X	—	X	—	X	X	—	X
Уран . . . . .	X	X	—	—	XX	X	XX	X	—	X	X
Торий . . . . .	X	X	XX	—	—	X	XX	—	—	—	X

Условные обозначения: XX—ведущие поисковые методы; X—вспомогательные.

и скопаяемых. Условия для применения гидрохимического метода поисков весьма благоприятны. Основным поисковым приемом является опробование открытых водотоков и родников на склонах долин. Гидрохимические поиски совмещаются с металлотометрическим и шлиховым опробованием гидросети.

При геологических съемках и поисках масштаба 1 : 50 000 и крупнее рекомендуется проводить специальное изучение четвертичного покрова с выделением площадей I-IV категорий. На перспективных в геологическом отношении площадях III-IV категорий должны организовываться поиски месторождений по погребенным ореолам рассеяния. Обязательным элементом этих работ является опробование на микроэлементы всех водоносных горизонтов, вскрытых поисковыми скважинами. В некоторых случаях может представлять интерес также гидрохимическое опробование мелких скважин, пробуренных для отбора металлотометрических проб на площадях II категории.

Необходимо подчеркнуть также исключительную важность принудительного вскрытия подземных вод вообще, особенно при детальных поисках и проверке гидрохимических аномалий. Воды родников и открытых водотоков, доступные для непосредственного опробования, могут омыwać не выходящие на поверхность рудные залежи лишь случайно и сравнительно редко. На глубине воды присутствуют всюду и в них, несомненно, развиваются гидрохимические ореолы рассеяния, большинство которых не выходит на поверхность, но может быть вскрыто неглубоким бурением. Для многих рудных районов эта задача вполне актуальна и составляет часть общей проблемы поисков рудных месторождений по погребенным ореолам рассеяния.

Наряду с указанными работами при геологических съемках и поисках масштаба 1 : 50 000—1 : 25 000 должно производиться детальное гидрохимическое опробование всех открытых водотоков, ключей, колодцев и буровых скважин, пробуренных с различными целями. Таким образом на этой стадии работ гидрохимические поиски должны производиться как по открытым, так и по подземным ореолам рассеяния, тогда как на предыдущей стадии изучаются в основном лишь открытые водные ореолы.

Платформы и плиты, относящиеся ко второму типу региональных геологических структур, характеризуются разнообразным комплексом осадочных месторождений Fe, Mn, Al, Ti, Cu, Zn, Pb (?), Mg, V, Mo, U, тяготеющих к краевым зонам платформ и плит и к областям сноса вокруг щитов и поднятий в их центральной части. В районах проявления позднейшего магматизма (подтип II-Б) встречаются эндогенные месторождения, связанные с трапповым магматизмом, имеющие подчиненное значение.

Рудные месторождения нижнего структурного яруса платформ и плит могут представлять практический интерес лишь в краевых зонах и вокруг поднятий в их центральной части,

при мощности верхнего структурного яруса не более 1 км, а для некоторых полезных ископаемых не более 300—500 м.

Рельеф платформ и плит подтипа II-A, как правило, равнинный, слаборасчлененный, поэтому подавляющее большинство месторождений верхнего структурного яруса относится к слепым, а все месторождения нижнего яруса—к перекрытым.

Открытые районы Сибирской платформы (подтип II-B) характеризуются структурным и скульптурным рельефом с вертикальным расчленением в пределах первых сотен метров, кроме того, значительные площади перекрыты траппами. Следовательно, и здесь большинство осадочных месторождений зоны эксплуатации не выходит на дневную поверхность. Эндогенные месторождения, связанные с позднейшим магматизмом, также в большей своей части относятся к слепым ввиду незначительной глубины эрозионного среза и широкого развития экранирующих траппов.

Методика геологического картирования и рациональные системы поисков в открытых районах платформ и плит как затронутых позднейшим магматизмом, так и не затронутых им должны основываться, с одной стороны, на естественном эрозионном вскрытии геологических формаций и связанных с ними месторождений верхних стратиграфических горизонтов и, с другой стороны, — на обязательном искусственном вскрытии более глубоких горизонтов системой опорных, картировочных и поисковых скважин в сочетании с глубинными геофизическими исследованиями.

Условия для гидрохимических поисков в пределах платформ и плит менее благоприятны по сравнению со складчатыми областями как в отношении свойственных этим регионам месторождений, из которых лишь немногие могут являться объектами гидрохимических поисков, так и по геоморфологическим условиям (слабое расчленение рельефа, неблагоприятные условия формирования водных ореолов рассеяния). Однако и здесь гидрохимические исследования надо считать обязательными в качестве вспомогательного метода поисков в отношении месторождений, приуроченных к вскрытым эрозией верхним стратиграфическим горизонтам, и в качестве одного из основных методов при поисках слепых месторождений в нижних не вскрытых эрозией горизонтах.

Закрытые районы — третий тип — в отношении свойственных им комплексов полезных ископаемых аналогичны соответствующим подтипам I и II типов региональных геологических структур, отличаясь от них наличием мощного покрова четвертичных отложений. Характерной особенностью закрытых районов является отсутствие естественных обнажений дочетвертичных пород, поэтому геологическое картирование и поиски полезных ископаемых должны целиком основываться на искусственном вскрытии геологических формаций и связанных с ними месторождений системой опорного, картировочного и поискового бурения с комплексным изучением геологических разрезов по скважи-

нам. В этот комплекс должны обязательно входить и гидрохимические исследования.

Ближайшими задачами в области разработки и производственного освоения гидрохимического метода поисков являются:

1. Сравнительная оценка гидрохимического и илового методов. В настоящее время рекомендуется производить параллельное опробование вод и донных отложений (возможно, что в ряде случаев один из этих методов окажется излишним).

2. Разработка научных основ геологической интерпретации гидрохимических аномалий с выбраковкой ложных и выделением перспективных аномалий и методики детальных поисков соответствующих им рудных тел и месторождений. Особое внимание должно быть уделено изучению подземной части водных ореолов (в наносах и верхнем слое коренных пород) близ месторождений и их связей с рудными телами, первичными и вторичными ореолами рассеяния.

3. Разработка эффективной методики гидрохимических поисков рудных месторождений по погребенным ореолам рассеяния на площадях III—IV категорий с мощным четвертичным покровом.

4. Разработка эффективной методики поисков слепых месторождений в закрытых районах и в нижних горизонтах платформ и плит, не вскрытых современной эрозией по ореолам рассеяния в межпластовых водах.

5. Дальнейшее совершенствование методики обработки и анализа водных проб (приемы концентрирования микроэлементов, полевые методы анализа и пр.).

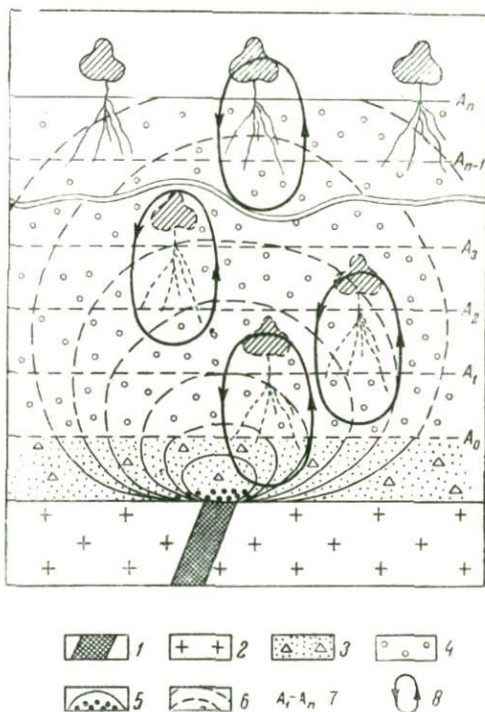


Рис. 3. Схема многостадийного формирования эпигенетического ореола подвижных элементов в аллохтонном покрове значительной мощности

1—рудное тело; 2—коренные породы; 3—погребенный элювиально-делювиальный (автохтонный) покров; 4—аллохтонный покров; 5—погребенный сингенетический ореол; 6—эпигенетический ореол в последовательно формировавшемся аллохтонном покрове; 7—стадии формирования эпигенетического ореола; 8—схема биогенной (или иной) аккумуляции рудных элементов в вышележащих слоях на разных стадиях формирования аллохтонного покрова

Интересной разновидностью рассматриваемого метода является так называемый почвенно-гидрохимический метод, заключающийся в отборе почвенных проб, последующем производстве водных (или слабокислотных и слабощелочных) вытяжек и их анализе на искомые металлы и элементы-индикаторы. Этот метод разрабатывался с целью дополнения гидрохимических данных в слабообводненных районах при недостатке объектов гидрохимического опробования. Действительно, экспериментальные работы, проведенные Н. И. Долухановой (1957) на ряде медно-молибденовых месторождений Закавказья, показали хорошее совпадение ореолов рассеяния этих месторождений, выявленных обычным гидрохимическим опробованием и почвенно-гидрохимическим методом.

Но еще более интересной представляется возможность использования этого метода для выявления месторождений на площадях II и особенно III категории по слабым эпигенетическим ореолам, которые могут развиваться в аллохтонном покрове по схеме, изображенной на рис. 3. Изучение этого вопроса имеет большое научное и практическое значение.

ВИМС

П. А. УДОДОВ, И. П. ОНУФРИЕНОК  
и П. В. КРИСТАЛЕВ

## **ХИМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД И МИНЕРАЛОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ ВОДОРОДА**

Химическая активность горных пород и минералов по отношению к ионам водорода — это способность пород и минералов изменять рН растворов. Изменение рН водных растворов происходит за счет нейтрализации имеющихся в растворе кислот и реакций, способствующих появлению новых кислот за счет гидролиза. Поэтому при измерении химической активности горной породы по изменению рН следует учитывать пути изменения рН, т. е. проводить по крайней мере два вида испытаний: с заведомо кислым раствором — для учета реакций нейтрализации и с раствором, близким к нейтральному, — для учета реакций гидролиза.

В качестве кислого раствора употреблялась 0,001 н. серная кислота, с начальным рН, равным 3,0. Химическую активность, определенную этим раствором, в дальнейшем обозначим  $AK_{(3,0)}$ . В качестве раствора близкого к нейтральному использовалась дважды дистиллированная вода, выдержанная в лабораторной обстановке, с начальным устойчивым рН, равным 6,2; испытания химической активности с такой водой обозначим  $AB_{(6,2)}$ .

### **Разработка метода определения $AK_{(3,0)}$ и $AB_{(6,2)}$**

Нами было поставлено большое количество опытов с целью выявления оптимальных условий для сравнительного метода определения  $AK$  и  $AB$  горных пород и минералов. Было изучено

влияние на чувствительность определения среды, соотношения между твердой и жидкой фазами, влияние длительности воздействия среды, степени измельчения пород и минералов, метода определения рН и химического состава минералов. Суммировав все касающееся разработки метода, мы остановились на следующей прописи.

Образец породы или минерала измельчается до 0,5 мм и пропускается через набор сит. Для определения АК и АВ берется фракция 0,1—0,25 мм. Навеска 1г этой фракции помещается в чистую пробирку центрифуги диаметром 3 см и заливается 50 мл воды с рН=6,2 (для определения АВ<sub>(6,2)</sub>) или 50 мл 0,001 н. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в 2%-ном растворе Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · 10H<sub>2</sub>O (для определения АК<sub>(3,0)</sub>). Содержимое пробирки сразу же после прибавления жидкости перемешивается механической стеклянной мешалкой с 150—200 об/мин. в течение 1 мин., после чего пробирка переносится в центрифугу и центрифугируется ровно 1 мин. при 2000—2500 об/мин. Прозрачный центрифугат отбирается на определение рН потенциометрическим или колориметрическим методом. При использовании потенциометра ЛП-5 с малым стеклянным электродом объем жидкости можно брать 10 мл, а навеску породы или минерала — 0,2 г.

#### Результаты определения АК и АВ для некоторых минералов

По предлагаемой методике нами было произведено определение АК и АВ для наиболее характерных минералов. Результаты этих определений приведены в табл. 1.

Результаты определения величин АК и АВ для основных породообразующих минералов позволили разделить их по значению АК на пять классов. В первый класс вошли антиактивные минералы из группы сульфидов (марказит и др.) со значениями АК<sub>(3,0)</sub> < 3. Во второй класс включены нейтральные по химической активности минералы со значением АК равным 3,0, и АВ от 6,2 до 6,7. Некоторые минералы этого класса, например, пирротин, пирит и др., имеют АВ<sub>(6,2)</sub> < 6,2. Значение АВ<sub>(6,2)</sub> < 6,2 может служить показателем наличия сульфидов в исследуемых образцах. Третий класс со значениями АК<sub>(3,0)</sub> от 3,1 до 3,4 и АВ<sub>(6,2)</sub> от 6,2 до 8,15 включает наибольшее количество минералов. Значительная их часть относится к кальциевым минералам, причем с увеличением процентного содержания кальция наблюдается повышение значений АК и АВ. Минералы третьего класса отличаются весьма слабой химической активностью. К четвертому классу относятся минералы с повышенными значениями АК<sub>(3,0)</sub> от 3,5 до 5,0 и АВ<sub>(6,2)</sub> от 6,2 до 8,7. Это главным образом кальциево-магниевые минералы с повышенной химической активностью. Пятый класс представлен в основном сильно активными минералами со значениями АК<sub>(3,0)</sub> от 5,0 и выше и АВ<sub>(6,2)</sub> от 8,9 до 9,5. Наибольшее значение АК имеют карбонаты кальция.

Сравнительная химическая активность минералов по отношению к ионам водорода

Название минералов	Значение pH по кислоте АК <sub>(3,0)</sub>	Значение pH по воде АВ <sub>(6,2)</sub>	Класс активности
Марказит FeS <sub>2</sub>	2,85	2,75	I
Пирротин Fe <sub>n</sub> S <sub>n+1</sub>	3,0	5,75	
Пирит FeS <sub>2</sub>	3,0	5,8	II
Диаспор HAlO <sub>2</sub>	3,0	6,2	
Родохрозит MnCO <sub>3</sub>	3,0	6,2	
Антимонит Sb <sub>2</sub> S <sub>5</sub>	3,0	6,2	
Буланжерит Pb <sub>3</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>11</sub>	3,0	6,2	
Галенит PbS	3,0	6,3	
Аурипигмент As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	3,0	6,3	
Магнетит FeFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	3,0	6,4	
Альбит Na [AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	3,0	6,5	
Ярозит KFe <sub>3</sub> [SO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>	3,0	6,7	
Сидерит FeCO <sub>3</sub>	3,0	6,8	III
Флюорит CaF <sub>2</sub>	3,08	6,2	
Диопсид CaMg [Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ]	3,1	6,2	
Серпентин Mg [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ] (OH) <sub>2</sub>	3,1	6,2	
Сфалерит ZnS	3,1	6,4	
Гематит Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,1	6,5	
Оливин (Mg, Fe) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	3,1	6,7	
Ортоклаз K [AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	3,1	7,25	
Роговая обманка Ca Na(Mg,Fe <sup>2+</sup> ) <sub>4</sub> (Al,Fe <sup>3+</sup> ) <sub>3</sub> [(Si, Al) <sub>11</sub> O <sub>36</sub> ](OH) <sub>2</sub>	3,1	7,4	
Лабрадор. Изоморфные смеси (Ab + An)	3,1	7,8	
Эгирин-авгит	3,1	7,9	
Актинолит Ca <sub>2</sub> (Mg, Fe <sup>2+</sup> ) <sub>5</sub> [Si <sub>10</sub> O <sub>36</sub> ](OH) <sub>2</sub>	3,1	8,15	
Нефелин Na (AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	3,2	6,3	
Церуссит PbCO <sub>3</sub>	3,2	6,4	
Барит BaSO <sub>4</sub>	3,2	7,2	
Хромит FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	3,25	7,4	
Смитсонит ZnCO <sub>3</sub>	3,3	6,4	
Волластонит Ca <sub>6</sub> [Si <sub>10</sub> O <sub>36</sub> ]O	3,4	6,6	
Магнезит MgCO <sub>3</sub>	3,5	8,6	
Англезит PbSO <sub>4</sub>	4,2	6,2	IV
Родонит (Mn, Ca) SiO <sub>3</sub>	3,65	7,2	
Гипс CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	4,4	6,8	
Апатит R <sub>5</sub> (F, Cl) [(P, As, V) O <sub>4</sub> ] <sub>3</sub>	4,8	8,7	
Мусковит KAl <sub>2</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH) <sub>2</sub>	5,35	8,9	
Доломит Ca Mg (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	5,5	8,9	V
Исландский шпат CaCO <sub>3</sub>	8,1	9,5	
Кальцит CaCO <sub>3</sub>	8,2	9,2	

## Результаты определения АК и АВ для горных пород

При гидрохимических исследованиях основное значение имеет химическая активность горных пород, а не отдельных минералов. Поэтому нами были проведены по указанной выше методике массовые лабораторные определения химической активности горных

пород для различных районов Западной и Восточной Сибири. На основании этих определений предлагается схематическая классификация горных пород по их химической активности по отношению к ионам водорода (табл. 2).

Таблица 2

Класс	Типы горных пород по химической активности	Название горных пород	Число образцов	АК <sub>(3,0)</sub>	АВ <sub>(6,2)</sub>
I	Антиактивные	Изверженные, метаморфические и осадочные горные породы с сульфидами железа	15	< 3	< 6,2
II	Нейтральные	Изверженные, метаморфические и осадочные монолитные горные породы. Рыхлые нелессовидные породы	50	3,0	6,2—6,4
III	Весьма слабоактивные	Изверженные, метаморфические и осадочные монолитные горные породы преимущественно с наличием щелочноземельных элементов	130	3,1—3,4	6,5—7,0
IV	Повышенно активные* (за счет вторичных процессов — вторичная активность)	Изверженные, метаморфические и осадочные горные породы с наличием трещин, залеченных кальцитом или карбонатным цементом. Рыхлые отложения слегка лессовидного типа	90	3,5—5,0	7,1—8,0
V	Сильно активные (осадители тяжелых металлов из природных вод)	Массивные карбонатно-кальциевые осадочные породы — известняк, мрамор, доломит и др. Рыхлые песчано-глинистые лессовидные породы	75	> 5,0	8,1—9,5

Результаты определения химической активности горных пород показывают, что большинство их относится ко II и III классам. Однако для одних и тех же пород значение АК иногда увеличивается до рН-5,0, т. е. нейтральные или весьма слабоактивные породы в результате последующих геологических процессов резко увеличивают химическую активность. Такие породы с измененным повышенным значением АК мы относим к IV классу (см. табл. 2), выделяя их в особую категорию горных пород с вторичной химической активностью, которой могут обладать все породы и минералы.

Химическая активность горных пород оказывает непосредственное влияние на процессы их взаимодействия с гидротермальными растворами в период формирования месторождений и с природными водами в зоне гипергенеза. Поэтому химическая активность горных пород в конечном счете определяет целый ряд факторов, которые должны учитываться при гидрохимических поисках, а именно: 1) распределение рудной минерализации; 2) обогащение природных вод тяжелыми металлами, условия их миграции и выпадения из водных потоков; 3) химический состав и рН природных вод.

Таким образом, изучение химической активности горных пород представляет задачу, непосредственно связанную с разработкой гидрохимического метода поисков рудных месторождений.

Томский  
политехнический институт

И. П. ОНУФРИЕНОК

## **К ВОПРОСУ О ПРЕДЕЛАХ НАСЫЩЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД ИОНАМИ МЕТАЛЛОВ**

Развитие гидрохимических методов поисков рудных месторождений повысило интерес к процессам, протекающим в зоне гипергенеза. Академик А. Е. Ферсман еще четверть века назад отмечал, что дальнейшее изучение гипергенных процессов невозможно без учета значения рН, его изменений и роли в природных процессах миграции. Считая рН одним из основных факторов гипергенеза, он дал таблицу выпадения гидроокисей металлов из водных растворов в зависимости от изменения этой величины. Однако, давая лишь некоторое представление о порядке выделения гидроокисей, таблица не отвечает на ряд вопросов, имеющих принципиальное значение для гидрохимии, в частности, она не показывает при всех ли условиях соблюдается этот порядок, остаются ли еще ионы металлов в растворе после выделения гидроокисей при известном рН и в каких концентрациях. Эти вопросы чрезвычайно сложны и их решение посильно только для большого числа исследователей. В настоящей заметке делается попытка систематизировать хотя бы часть имеющихся материалов и наметить пути решения некоторых гидрохимических задач, связанных с изменением рН в водных растворах.

### **Графическое изображение процессов выпадения гидроокисей металлов из водных растворов**

Выпадение гидроокисей металлов из водных растворов подчиняется правилу произведений растворимости. Если из произведений растворимости вычислить необходимые концентрации ионов металлов в насыщенных водных растворах при различных

pH, то можно получить данные для графического изображения процессов выделения гидроокисей. Если эти данные нанести в координатах рМе и рН, где рМе — отрицательный логарифм концентрации ионов металлов в г/л, а рН — отрицательный логарифм концентрации ионов водорода в г-ион./л, то процесс выпадения каждой отдельной гидроокиси изобразится прямой линией, наклон которой зависит от валентности катиона (для одновалентных катионов  $\frac{\Delta \text{pMe}}{\Delta \text{pH}} = 1$ , для двухвалентных  $\frac{\Delta \text{pMe}}{\Delta \text{pH}} = 2$ , для трехвалентных  $\frac{\Delta \text{pMe}}{\Delta \text{pH}} = 3$  и т. д.).

Простые графические зависимости, получающиеся в таком логарифмическом графике, позволяют по одной точке, т. е. по рМе, вычисленному при определенном рН, построить зависимость от рН всех концентраций данного иона металла в водном растворе.

Прямолинейные зависимости могут нарушаться только при изменении коэффициентов активностей. Для труднорастворимых гидроокисей, при концентрациях солей от 100 мг/л и значениях рН от 2 до 12 можно без большой погрешности считать, что зависимости будут прямолинейными. Наклон этих прямых может меняться с изменением валентности катиона, а направление наклона — от перехода катионной формы металла в анионную.

На основании вычислений из произведений растворимости рМе и рН для различных гидроокисей нами построен график (см. рисунок). Порядок выделения гидроокисей при равных концентрациях ионов металлов прослеживается по горизонталям. Как видно из графика, этот порядок может изменяться в зависимости от величины концентрации раствора. Количественный состав гидроокисей, выпадающих при определенном рН (в случае наличия всех катионов) прослеживается по вертикали.

Особого внимания заслуживает тот факт, что понижение положительной валентности катионов металлов способствует их большей растворимости, т. е. большей «живучести» в растворе при повышении рН. Например,  $\text{Zr}^{4+}$  может присутствовать в водных растворах в виде иона  $\text{ZrO}^{2+}$ ,  $\text{Sb}^{3+}$  в виде  $\text{SbO}^+$ ,  $\text{V}^{3+}$  в виде  $\text{VO}^+$ . Эти данные в литературе немногочисленны и их пока недостаточно для изображения на графике действительного поведения каждого отдельного катиона. Практика гидрохимических поисков рудных месторождений показывает, что в водных растворах в ощутимых количествах находятся титан, торий, цирконий, ниобий и другие высоковалентные металлы. Их присутствие, вероятно, связано с понижением положительной валентности образуемых ими ионов.

Анализ процессов выпадения гидроокисей из водных растворов в зависимости от изменений рН позволяет решить ряд вопросов, связанных с концентрацией различных катионов при определенных значениях рН с образованием некоторых минералов

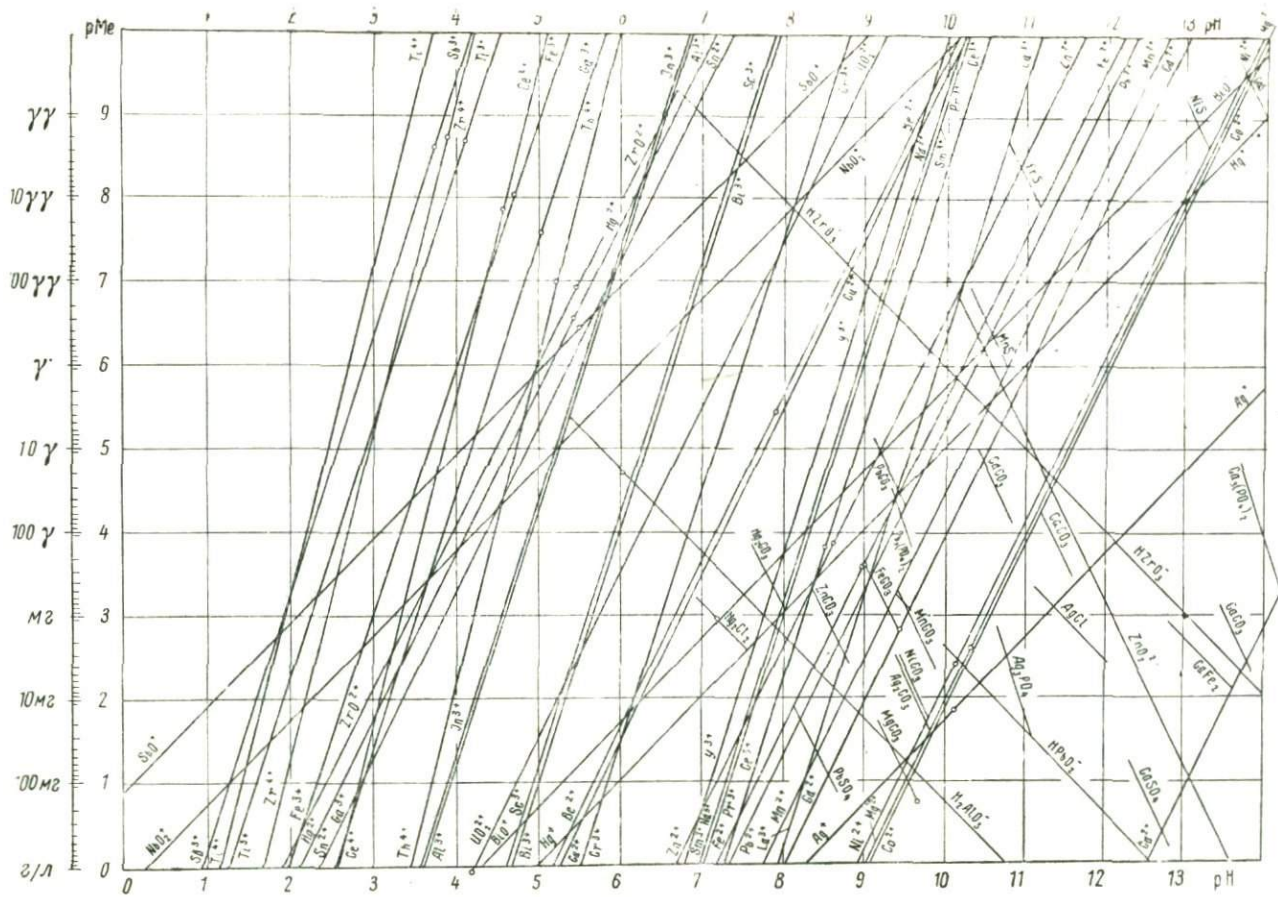


График пределов растворимости гидроокисей металлов в зависимости от величины pH

и т. д. Например, на графике линии катионов  $\text{V}^{3+}$  и  $\text{UO}_2^{2+}$  пересекаются при  $\text{pH} = 5,5$ , при одинаковых весовых количествах урана и висмута. Следовательно, при указанном значении  $\text{pH}$  и при наличии в растворе висмута и урана возможно совместное образование гидроокисей обоих металлов; в природе это соответствует минералу ураносфериту  $\text{V}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{UO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .

### Образование труднорастворимых солей

Поскольку на графике нанесены все концентрации катионов, начиная от грамма и кончая  $\gamma\gamma$ , было решено дать здесь же линии концентраций анионов осадителей, способных образовывать с катионами при гипергенных процессах труднорастворимые соли. Для этого из произведений растворимости труднорастворимых солей были вычислены отрицательные логарифмы концентраций в насыщенных растворах как катионов  $\text{pMe}$ , так и анионов  $\text{pA}$ . Зависимости между  $\text{pMe}$  и  $\text{pA}$  были нанесены на график. Оказалось, что линии концентраций анионов пересекают линии концентраций катионов под определенным углом, зависящим от валентности аниона-осадителя. Угол наклона линий анионов определяется отношением ординаты к абсциссе. Для одновалентных анионов это отношение равно 1, для двухвалентных — 2, для трехвалентных — 3. Необходимую концентрацию аниона для данной концентрации катиона ищут по вертикали, пересекающей линию аниона, из точки пересечения проводят горизонтальную линию до встречи с осью концентрации общей для  $\text{pMe}$  и  $\text{pA}$  и отсчитывают концентрацию аниона. Необходимо отметить, что образование труднорастворимых солей (как видно из графика) не связано с  $\text{pH}$ , так как  $\text{pMe}$  и  $\text{pA}$  нанесены на ось ординат.

### Выводы

Разработанный метод совмещенного анализа процессов выпадения гидроокисей металлов и изменений  $\text{pH}$  позволил выявить простые графические зависимости, позволяющие быстро строить прямые равновесия между ионами металлов и их гидроокисями с изменением  $\text{pH}$ . Выявлены простые графические зависимости для построения линий равновесных концентраций анионов осадителей в насыщенных растворах труднорастворимых солей.

Построенный график позволяет в первом приближении находить концентрации ионов металлов в природных водах с учетом величин  $\text{pH}$  и некоторых анионов осадителей. Однако этот график далеко не совершенен, особенно для высоковалентных катионов. Для уточнения графика необходимы дополнительные исследования по определению концентраций ионов металлов в насыщенных водных растворах их гидроокисей, при нескольких выпол-

не определенных рН как в кислой, так и щелочной области. Последняя задача весьма трудная, но с применением радиоактивных изотопов, по-видимому, может быть разрешена сравнительно легко.

Томский  
политехнический институт

Ю. Ю. БУГЕЛЬСКИЙ

## РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАЙОНЕ ДОВГАЛЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Район Довгалевого месторождения расположен в 18 км к северо-востоку от пос. Тетюхе, в верховье р. Довгалево́й, левого притока р. Ахобе. Сеть поверхностных водотоков района состоит из р. Довгалево́й с меридонально вытянутыми притоками Извилистым и Незаметным, которые дополнительно питаются ключами, дренирующими основные водоразделы. С запада район ограничен р. Горбушей, впадающей в р. Тетюхе. В целом густота сети поверхностных водотоков весьма значительна. Рельеф района месторождения сильно расчленен. Максимальные абсолютные отметки достигают 820 м. Относительные превышения водоразделов над дном падей колеблются в пределах 500—700 м.

В геологическом строении района главную роль играет эффузивно-туфогенная толща верхнемелового—нижнепалеогенового возраста, представленная многочисленными разностями липаритов и их туфов. Меньшая площадь занята породами более древней (Т<sub>3</sub>—I) туфогенно-осадочной толщи, сложенной переслаивающимися покровами кварцевых порфиров, их туфов, туфобрекчий и фельзитов, с одной стороны, и осадочным комплексом пород (кремнистыми, песчано-глинистыми и глинистыми сланцами, песчаниками и известняками), — с другой. Эффузивные и осадочные породы прорваны интрузией гранит-порфиров. Все породы интенсивно дислоцированы. Многочисленные разрывные нарушения имеют северо-западное, северо-восточное и широтное простирание.

Довгалево́е месторождение состоит из серии небольших рудных участков, расположенных в нескольких километрах друг от друга. Оруденение наиболее крупного из них — Заявочного представлено минерализованными зонами дробления в эффузивах северо-восточного, северо-западного и широтного простираний. Тип оруденения прожилково-вкрапленный. Главными рудными минералами являются пирротин, сфалерит, галенит, пирит, подчиненную роль играют халькопирит, касситерит, блеклые руды, кубанит, самородное серебро. Второй—Довгалево́ский участок связан с гранат-геденбергитовыми скарнами, залегающими в виде вытянутых линз среди глинистых сланцев и алевроитов.

Оруденение гнездово-вкрапленное. Главными рудными минералами являются пирротин, галенит, сфалерит и пирит.

Третий — Горбушинский участок также связан со скарнами, развивающимися по контакту известняков с песчаниками и алевролитами. Состав скарнов и рудных минералов аналогичен Довгалеvскому участку. Кроме перечисленных, известно еще несколько мелких рудопроявлений (участок Спорный, Довгалеvский I и др.).

Подземные воды района относятся преимущественно к грунтово-трещинным, образующим единый водоносный горизонт, уровень которого располагается на глубинах от 5 до 70 м в зависимости от расчлененности рельефа. Питание подземных вод происходит за счет атмосферных осадков, количество которых достигает 800 мм в год. Области питания служат повышенные участки рельефа, областями разгрузки — долины, на склонах которых в распадках выходят многочисленные нисходящие источники. Вследствие сильной расчлененности рельефа и большого количества атмосферных осадков, интенсивность водообмена в породах значительна.

Для выяснения естественного гидрохимического фона и изучения миграции рудных компонентов в подземных и поверхностных водах было проведено гидрохимическое опробование на площади около 50 км<sup>2</sup>. Опробованию подвергалось большинство родников, ручьев, а также капези и водопритоки в разведочных штольнях. В полевой лаборатории проводился обычный шести-компонентный анализ водных проб, а также определение в них содержания Zn, Pb, Cu, Mo, As.

Определения SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> и pH производились непосредственно в маршрутах. Кроме того, были проведены спектральные анализы водных концентратов, приготовленных по методу Томского политехнического института.

За естественный гидрохимический фон принимались воды родников в верховьях кл. Извилистого и р. Довгалеvки, дренирующих безрудную эффузивно-туфогенную толщу. Химический состав вод гидрокарбонатно-хлоридно-натриевый с общей минерализацией до 60 мг/л. Сульфат-ион при чувствительности использованной методики (4 мг/л) не улавливается. Содержание цинка и свинца обычно меньше чувствительности анализа (0,01 мг/л), хотя в единичных пробах оно поднимается до 0,03 мг/л. В пределах месторождений в процессе циркуляции вод химический состав последних становится сульфатно-гидрокарбонатно-натриевым. Как показало изучение водоприток в штольне Заявочного участка, содержание сульфатов здесь возрастает до 50 мг/л, а содержание гидрокарбонатов — сокращается до 20 мг/л. Содержание хлоридов и общая минерализация вод существенно не изменяются. Концентрация тяжелых металлов резко возрастает: максимальные содержания цинка достигают 2 мг/л, свинца 0,6 мг/л, в ряде проб появляется мышьяк в количестве до 0,06 мг/л, спект-

ральным анализом обнаруживаются кадмий (сотые доли процента) и серебро (от десятитысячных до сотых долей процента). Аналогичные изменения химического состава вод наблюдаются и на других рудных участках.

Аномальные содержания сульфат-иона и цинка распространяются за пределы рудных участков. Так, по кл. Незаметному, дренирующему Заявочный участок, аномальные содержания сульфат-иона и цинка отмечаются на расстоянии 1,5 км, постепенно уменьшаясь по мере удаления от месторождения. Дальность миграции свинца, как правило, не превышает сотни метров. Другие металлы за пределами месторождения обнаружены не были. Образование достаточно протяженных ореолов рассеяния цинка и сульфат-иона позволяет использовать их в качестве поисковых признаков. При этом содержания цинка  $< 0,04$  мг/л и сульфат-иона  $\leq 4$  мг/л можно считать фоновыми; содержания цинка  $0,04-0,2$  мг/л и сульфат-иона  $6-16$  мг/л характеризуют воды ореолов рассеяния; наконец, содержания цинка  $> 0,2$  мг/л, сульфат-иона  $> 16$  мг/л, а также появление свинца, мышьяка, кадмия и серебра характеризуют воды, циркулирующие в непосредственной близости от рудных тел.

Большое значение для миграции рудных компонентов и, следовательно, для образования водных ореолов рассеяния имеют структурные особенности месторождения. Пострудные тектонические нарушения, зоны интенсивной трещиноватости обладают большей водопроницаемостью, что способствует более интенсивному водообмену и увеличивает дальность миграции рудных элементов. Например, в районе свинцово-баритового рудника Нижние Қайрақты (Центральный Казахстан), по широтному нарушению, скрытому под аллювиальными отложениями, цинк выносятся на 900 м от месторождения, в то время как вне разлома дальность его миграции ограничена химически активными карбонатными породами до первых сотен метров. На месторождении Савинское № 5 (Восточное Забайкалье) сопоставление встречаемости рудных компонентов в водах, отобранных из пород висячего и лежащего боков и из рудоконтролирующих зон дробления, показало, что основными путями миграции металлов являются зоны дробления. Скважины, пробуренные в аллювиальных отложениях, покрывающих продолжение тектонической зоны, контролирующей Кличкинское месторождение, дали воду с аномальным содержанием цинка —  $0,11$  мг/л при фоне  $0,04$  мг/л, сульфат-иона  $215$  мг/л при фоне  $100$  мг/л и тысячные доли % Pb, Mo, Ag, Sn.

Гидрохимическое опробование помогает в ряде случаев установить наличие тектонических нарушений и их перспективность в отношении рудоносности. Примером может служить аномалия, обнаруженная в районе Довгалевского месторождения, в крайнем левом распадке кл. Широкого. Содержание сульфатов здесь достигает  $20$  мг/л, цинка до  $0,8$  мг/л и свинца до  $0,4$  мг/л. Ано-

малия прослеживается к западу через водораздел в левом притоке р. Горбуши. Наличие ее подтверждается спектральным анализом донных отложений. Максимальные содержания рудообразующих элементов наблюдаются на участках пересечения руслом ручья брекчий эффузивных пород, сцементированных лимонитом. Эти образования местными геологами рассматривались как реликты древних деллювиальных образований. Однако спектральный анализ образцов лимонита, отобранных И. В. Витовской из всех обнажений брекчий по ключам и в водораздельной части, установил повышенные содержания в них Pb, Zn, Cu и As и других рудных элементов.

Линейная вытянутость зоны брекчий в широтном направлении от участка Заявочного через Спорный до р. Горбуши, форма обломков и наличие в цементирующем лимоните рудных элементов, характерных для гидротермального процесса, позволяют сделать предположение, что лимонитизированные брекчии представляют собой верхнюю окисленную часть рудной зоны. Проведенные работы доказывают возможность успешного применения гидрохимического метода поисков в условиях Южного Приморья, особенно если он будет сочетаться с геохимическими и структурно-геологическими исследованиями.

Лаборатория процессов  
выветривания ИГЕМ АН СССР

С. Д. КАПРАНОВ, Б. А. ВОРОТНИКОВ

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ВОСТОЧНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ

Постановка опытных работ в Восточном Забайкалье была связана с изучением условий применения гидрохимических поисков рудных месторождений в районе распространения вечной мерзлоты. Работы проводились в 1956—1957 гг. вначале на известных рудных месторождениях (Акатуевском, Кудиканском, Бугдаинском) и затем в условиях малоизученного района среднего течения р. Шилки, в 25 км к востоку от г. Сретенска.

Акатуевское полиметаллическое, Бугдаинское и Кудиканское молибденовые месторождения расположены в пределах центральной части Кукульбейского хребта, характеризующегося среднегорным рельефом с абсолютными отметками 1000—1400 м и относительными превышениями от 300 до 500 м. Довольно высокие водоразделы чередуются с широкими речными долинами. Северные склоны водоразделов положе южных и обычно покрыты древесной растительностью. Гидрографическая сеть представлена небольшими речками переходного горно-степного типа, входящими в систему рр. Газимура и Унды с расходом воды в средней части до 1 м<sup>3</sup>/сек. Климат района резко континентальный. Среднегодовая температура воздуха — 3,5°, количество осадков

460 м. В падах, долинах рек и на склонах северной экспозиции распространена вечная мерзлота мощностью до нескольких десятков метров с отдельными участками таликов.

Район сложен разнообразными породами доюрского, юрского и послеверхнеюрского возраста. Доюрский комплекс представлен нижнепалеозойскими кварцитами, роговиками, кристаллическими сланцами, известняками, доломитами, а также варисскими интрузивными биотитовых и биотитово-роговообманковых гранитов. В юрский комплекс входит акатуевская свита, сложенная конгломератами, песчаниками и глинистыми сланцами, довольно разнообразный комплекс гранитоидных пород среднекеммерийского возраста и различные эффузивные образования верхней юры. Послеврхнеюрский комплекс представлен разнообразными интрузивными породами верхнекеммерийского возраста и четвертичными отложениями.

Гидрогеологические условия в пределах известных месторождений характеризуются следующими особенностями. В верхней, приповерхностной части развиты поровые воды современных рыхлых образований, имеющих небольшую мощность (преимущественно в делювиальных отложениях). На глубине 2—5 м (в зависимости от экспозиции склонов) начинается вечная мерзлота, мощность которой колеблется в пределах 10—50 м. В местах, где вечная мерзлота отсутствует, уровень трещинно-грунтовых вод коренных пород обычно находится на глубине 50—80 м, а глубина их распространения достигает 100—150 м. Воды характеризуются низкой минерализацией (преимущественно до 100 мг/л) и гидрокарбонатно-кальциевым составом.

Акатуевское полиметаллическое месторождение расположено в экзоконтакте интрузии граносиенит-порфиров с нижнепалеозойскими известняками. Рудная минерализация развита до глубины 300 м; руды преимущественно галенитовые и галенит-сфалеритовые. Характерно широкое распространение минералов мышьяка и сурьмы и незначительное — меди. Зона окисления развита на глубину 100—120 м.

Бугдаинское молибденовое месторождение приурочено к мощной зоне дробления в гидротермально измененных гранитах; руды молибденитовые и сфалерит-галенитовые, отмечаются минералы мышьяка, меди и сурьмы. Зона окисления развита на глубину 20—30 м. Главными вторичными минералами являются лимонит и ферримолибдит. Вторичные минералы цинка, меди и мышьяка пользуются ограниченным распространением. Кудиканское месторождение сходно с Бугдаинским.

Основным объектом гидрохимических исследований были воды четвертичных отложений (преимущественно делювиальные), выходы которых представлены многочисленными родниками. Значительное внимание было уделено также поверхностным водотокам, питание которых происходит в основном за счет подземных вод четвертичных отложений. Выходы вод коренных

пород дочетвертичного возраста весьма редки и, как правило, ограничиваются искусственными вскрытиями этих вод в горных выработках и буровых скважинах.

Проведенными исследованиями установлено, что для ореольных вод Бугдаинского и Кудиканского молибденовых месторождений, расположенных в гранитоидных породах, характерно повышенное содержание Mo, As, Zn, Cu и  $SO_4''$ , а для Акатуевского полиметаллического месторождения, расположенного среди известняков, — повышенное содержание As и  $SO_4''$ .

Ореольные и фоновые содержания указанных элементов в природных водах изученного района приведены в табл. 1.

Таблица 1

Элемент	Содержания, мг/л	
	фоновые	ореольные
Mo	До 1	До 150
As	" 3	" 120
Zn	" 50	" 7000
Cu	" 1	" 20
$SO_4''$	" 15 мг/л	" 75 мг/л

Отсутствие в водных ореолах Акатуевского полиметаллического месторождения цинка и меди объясняется, вероятно, карбонатным составом вмещающих пород, которые повышают рН подземных вод до 7,0—7,5 и тем самым вызывают осаждение цинка и меди в непосредственной близости от рудных тел.

Влияние рН воды на миграцию меди и цинка отмечено и в пределах молибденовых месторождений (Бугдаинского и Кудиканского). Здесь на склонах южной экспозиции, характеризующихся горно-степным ландшафтом, в котором формируются воды с рН до 7,5—7,8, повышенные содержания цинка и меди в водах не обнаруживаются даже вблизи месторождений.

Белухинское вольфрамовое месторождение, обследованное в 1957 г., расположено в Балейском районе Читинской области, в пределах юго-западных отрогов Нерчинского хребта. В геологическом отношении район характеризуется широким развитием мезозойских кислых интрузивных пород, с которыми и связана рудная минерализация. Рудная зона месторождения, приуроченная к водораздельной части горы Белуха, представлена многочисленными мелкими кварцевыми рудоносными жилами с вольфрамитом, шеелитом и многочисленными сопутствующими сульфидами — пиритом, халькопиритом, сфалеритом, висмутином, пирротинном, реже галенитом и арсенопиритом. Зона окисления по мощности незначительна. Из вторичных минералов обнаружены лимонит, халькозин, базо-висмутит, смитсонит и др.; из нерудных большим распространением пользуется флюорит.

Физико-географические и гидрогеологические условия Белухинского месторождения в целом аналогичны описанному выше району.

На основании проведенных работ ведущими гидрохимическими признаками вольфрамового оруденения в пределах Белухинского месторождения можно считать повышенные содержания в водах цинка, меди, молибдена, сульфат-иона и фтор-иона, а также повышенную минерализацию и сульфатный состав подземных вод.

В 1957 г. гидрогеологические исследования проводились вдоль р. Шилки в Сретенском районе Читинской области. Исследованный район характеризуется низкогорным рельефом с абсолютными отметками 700—900 м и вертикальным расчленением 100—300 м. Климат отличается большой сухостью и суровостью — среднегодовое количество осадков 350 мм, среднегодовая температура —4,1°.

В геологическом отношении большая часть района находится в пределах самого крупного в Восточном Забайкалье массива (площадью свыше 1000 км<sup>2</sup>) протерозойско-палеозойских метаморфических образований.

На севере этот массив ограничен верхнетриасовыми, а на юге — верхнеюрскими осадочными и эффузивными образованиями. С запада массив ограничен крупной интрузией мезозойских гранитоидов.

В районе не установлено сколько-нибудь значительных месторождений. В прошлом здесь разведывались и разрабатывались золотые и касситеритовые россыпи. Известны отдельные точки с молибденовым, олово-вольфрамовым и полиметаллическим оруденением.

В гидрогеологическом отношении район аналогичен описанным выше, но отличается более высокой минерализацией подземных вод (до 500 мг/л) и рН (до 7,8), а также их более сульфатным составом. Многочисленные химические анализы вод показывают следующее содержание металлов (табл. 2).

Таблица 2

Компоненты	Содержания, мкг/л	
	фоновые	аномальные
Mo	до 4	5—380
As	" 4	5—250
Zn	" 30	30—200
Cu	" 8	—

Основными поисковыми гидрохимическими признаками в описываемом районе являются молибден и мышьяк; аномальные содержания меди практически отсутствуют, цинка — очень редки.

Повышенные сульфатность и минерализация вод часто обнаруживаются в местах с явным отсутствием рудной минерализации, что обусловлено особенностями формирования подземных вод.

Аномальные содержания молибдена и мышьяка в водах, определенные химическим путем, почти во всех случаях подтверждены спектральным анализом концентратов вод, приготовленных по методу ТПИ. При этом спектральным анализом концентратов из аномальных точек установлено повышенное содержание в них ряда других элементов (Ni, V, Cr, Ag, Sb, Bi, Pb). Общий анализ вод из аномальных точек иногда обнаруживает повышенные минерализацию и сульфатность. Характерно, что точки с аномальным содержанием металлов, как правило, группируются в пределах участков, довольно ограниченных по своей площади.

Таким образом, все указанное выше дает основание считать, что выделенные аномальные участки не случайны и связаны с тем или иным оруденением.

Контурные аномальных участков определялись ориентировочно — от области разгрузки подземных вод или участка поверхностного стока, где производилось опробование, вверх по склону, до области питания. Всего на изученной площади было выделено восемь аномальных участков. Работы по детализации проводились далеко не в полном объеме и лишь на трех аномальных участках № 1, 2 и 5.

Обследование показало, что аномальные участки характеризуются благоприятными для возможного оруденения геологическими условиями. На двух из них даже при весьма беглом осмотре обнаружены породы с видимой рудной вкрапленностью.

В табл. 3 приводятся основные физико-географические, геолого-гидрогеологические и гидрохимические характеристики обследованных районов Восточного Забайкалья.

Различия в составе гидрохимических поисковых признаков, по-видимому, зависят от геоморфологии районов, обуславливающей их гидрогеологические особенности.

Участки, занимаемые рассмотренными месторождениями, являются наиболее высокими приводораздельными частями Кукульейского и Нерчинского хребтов с абсолютными отметками до 1400 м и характеризуются сильно изрезанным рельефом, что при относительно большом количестве осадков создает хорошую проницаемость пород. При наличии сплошной или с таликами вечной мерзлоты создаются условия для распространения преимущественно надмерзлотных вод рыхлых покровных отложений; воды коренных пород имеют подчиненное распространение, так как здесь находится основная область их питания. Редкие выходы этих вод отмечаются в местах развития сквозных таликов в мерзлых породах.

Сретенский район расположен гипсометрически значительно ниже, на отметках 700—800 м, у основания склонов Борщевоч-

Таблица 3

Показатели	Акатуевское, Бугдаинское, Кудиканское и Белухинское месторождения	Сретенский район
<b>Физико-географические</b>		
Тип рельефа . . . . .	Среднегорный (1000—1400 м)	Низкогорный (700—800 м)
Относительные превышения, м . . . . .	300—500	100—300
Вечная мерзлота . . . . .	Сплошная с таликами	Островная
Осадки, мм . . . . .	450	350
<b>Геолого-гидрогеологические</b>		
Породы . . . . .	Гранитоидные	Метаморфическая толща
Металлогенический пояс (по С. С. Смирнову)	Полиметаллический и редкометалльный	Молибденовый
Воды преимущественно распространенные:		
тип . . . . .	В основном надмерзлотные рыхлых покровных отложений	Часто подмерзлотные трещинных коренных пород
химический состав минерализация, мг/л . . . . .	$\text{HCO}_3-\text{Ca}$	$\text{HCO}_3-\text{SO}_4-\text{Ca}$
pH . . . . .	До 250 В среднем 6,5	До 500 В среднем 7,5
<b>Гидрохимические</b>		
Основные гидрохимические поисковые признаки . . . . .	Zn, Cu, Mo, As, $\text{SO}_4$ повышенная минерализация	Mo, As, Zn

ного и Шилкинского хребтов. Рельеф здесь более сглаженный, климат суше, мерзлота имеет островной характер. Район относится к области разгрузки трещинных вод коренных пород, формирующихся в верхних, приводораздельных частях хребтов. Выходы их отмечаются преимущественно вдоль р. Шилки. Воды рыхлых покровных отложений имеют подчиненное значение, часто в той или иной степени смешиваясь с водами более глубокой циркуляции.

Таким образом, в Сретенском районе объектом изучения были трещинные воды коренных пород, находящиеся в более поздней стадии формирования по сравнению с трещинными водами зоны питания и тем более с водами рыхлых покровных отложений. В связи с более длительной циркуляцией во вмещающих породах эти воды отличаются гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевым составом, более высокой минерализацией и повышенными зна-

чениями рН. Все это затрудняет использование в качестве поисковых признаков сульфат-иона и величины минерализации, а также повышенных содержаний меди и цинка, подвижность которых с увеличением рН воды резко снижается.

Особенностью гидрохимических поисков в Восточном Забайкалье является резкая изменчивость условий в зависимости от экспозиции склонов (выход преимущественно трещинных вод на склонах южной экспозиции, локальное формирование вод того или иного типа на северных и южных склонах).

Вечная мерзлота в условиях Восточного Забайкалья не является серьезным препятствием при проведении гидрохимических поисков, но ее отрицательное влияние сказывается в уменьшении глубинности метода, особенно в местах сплошного развития мерзлоты. Кроме того, затрудняется интерпретация полученных данных, в первую очередь в местах выхода на поверхность подмерзлотных трещинных вод среди слабоминерализованных надмерзлотных вод.

ВСЕГИНГЕО

Р. С. КОНОНОВА

### НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В СРЕТЕНСКОМ РАЙОНЕ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

При гидрохимических поисках рудных месторождений часто недооценивается роль процессов формирования общего химического состава подземных вод. Как показали наши исследования, проведенные в 1957 г. в Сретенском районе Читинской области, изучение этих процессов имеет большое значение для выявления фоновых и аномальных величин гидрохимических признаков, интерпретации гидрохимических аномалий и решения ряда других вопросов.

Район работ приурочен к южным отрогам Шилкинского и северо-восточным отрогам Борщовочного хребта. Абсолютные отметки составляют в среднем 800—900 м; относительные превышения хребтов над уровнем р. Шилки — 300—500 м, а водоразделов над боковыми долинами — 100—300 м. Рельеф района сформирован в основном эрозионной деятельностью р. Шилки и ее притоков.

Климат района резко континентальный: зима холодная, продолжительная, лето короткое и жаркое. Характерны резкие колебания температуры не только годовые, но и суточные. Температурный режим зависит также от рельефа, — склоны, защищенные от холодных северных и северо-западных ветров имеют более высокую среднюю температуру, чем открытые для ветров участки. В зимнее время южные склоны нагреваются значительно сильнее северных.

Зимой температура воздуха достигает  $-52^{\circ}$ , летом  $+39^{\circ}$ . Среднегодовая температура воздуха отрицательная  $-4,1^{\circ}$ . Годовое количество осадков около 350 мм, большая часть их (не менее 60%) приходится на июнь—август. Низкие отрицательные температуры и малый снеговой покров определяют наличие в районе многолетней (вечной) мерзлоты островного типа, распространенной по склонам северной экспозиции и речным долинам.

Район в большей своей части расположен в пределах крупного массива протерозойско-палеозойских метаморфических образований. С севера этот массив ограничен верхнетриасовыми и с юга—верхнеюрскими осадочными образованиями, а с запада—крупной интрузией мезозойских гранитоидов. Образования  $Pz$ — $Pz_1$  представлены разнообразными сильно метаморфизованными осадочными и интрузивными породами (сланцы, кварциты, гранито-гнейсы, серпентиниты, амфиболиты). Интрузивный комплекс  $Pz$  представлен мелкозернистыми биотитовыми гранитами, плагиогранитами и плагиогранито-гнейсами. Мезозойский осадочно-эффузивный и интрузивный комплекс подразделяется на триасовый осадочно-эффузивный (песчаники, сланцы, конгломераты, туфы), юрский — песчаники, сланцы, туфы и граниты, включающие также сретенские порфириовидные граниты. Среди четвертичных отложений выделяются древние четвертичные отложения ( $Q_{I-III}$ ) в виде рыхлых аллювиальных отложений, слагающих древние террасы р. Шилки, и современные четвертичные отложения ( $Q_{IV}$ ), сплошным чехлом покрывающие коренные породы. Четвертичные отложения представлены песчано-глинистыми и глыбово-щебенистыми делювиальными, элювиальными, коллювиальными и аллювиальными образованиями. Средняя мощность элювиально-делювиальных отложений 3—4 м. На северных склонах мощность рыхлого покрова, как правило, увеличивается.

Характерной особенностью района является наличие островной мерзлоты. По взаимоотношению с последней подземные воды района можно разделить на два типа. К первому типу относятся воды, связанные с мерзлотой (преимущественно долины рек и северные склоны). Они подразделяются на надмерзлотные (воды деятельного слоя) и подмерзлотные (грунтовые трещинные воды и жильные локальные воды более глубокой циркуляции, не имеющие в районе непосредственных выходов на поверхность). Ко второму типу относятся воды, не связанные с мерзлотой (преимущественно южные склоны). Этот тип подразделяется на поровые воды рыхлых четвертичных образований (преимущественно делювиальных и аллювиальных) и трещинно-грунтовые воды коренных пород. Все указанные типы вод связаны взаимопереходами и часто бывает трудно установить к какому типу вод относится тот или иной источник. На северных склонах наиболее широко распространены надмерзлотные воды, на южных — трещинно-грунтовые

воды коренных пород. Выходы подмерзлотных вод и делювиальных вод на участках, лишенных вечной мерзлоты, более редки.

Основным источником питания подземных вод за исключением вод аллювиальных отложений, является инфильтрация атмосферных осадков.

При общем ограниченном количестве осадков основная их часть (до 80%) выпадает в теплый период года, когда на южных склонах и водоразделах сезонная мерзлота исчезает и непрерывность покрова мерзлых пород нарушается. Это создает благоприятные условия для питания подземных вод.

Областями питания подземных вод являются водораздельные участки, а областями разгрузки — долины рек, где наблюдаются выходы источников.

Большинство исследователей, работавших в районах Восточного Забайкалья, отмечали приуроченность выходов источников к склонам южной экспозиции (Н. И. Толстихин, Н. В. Глазов, И. Я. Баранов и др.). Это означает, что основным фактором в распределении выходов источников является распределение мерзлых пород. На площади 600 км<sup>2</sup> было зафиксировано 115 источников, в том числе на левобережье р. Шилки — 74 и на правобережье — 41. На левобережье большинство источников действительно приурочено к склонам южной экспозиции, а на правобережье наоборот большинство источников приурочено к склонам северной и северо-западной экспозиции.

Такое различие в распределении источников, вероятно, объясняется тем, что помимо мерзлых пород громадное влияние имеет основная дрена района. Вследствие дренажа р. Шилки, несмотря на наличие мерзлых пород на северных склонах, большинство выходов источников на правобережье р. Шилки все же приурочено к склонам северной и северо-западной экспозиции (как это отмечено для районов, лишенных вечной мерзлоты). Таким образом, общегидрогеологический фактор дренирования играет главную роль в распределении выходов источников, однако роль экспозиции склонов для района очень велика и растет по мере удаления от р. Шилки, что накладывает отпечаток на весь характер гидрогеологических и гидрохимических условий района.

Все типы вод изученного района характеризуются слабой минерализацией, составляющей для вод делювия (деятельного слоя) от 20 до 100 мг/л, для трещинно-грунтовых вод 200—300 мг/л, очень редко 500 мг/л. Низкая минерализация подземных вод в основном определяется: сравнительно хорошей проницаемостью пород, наличием многолетней мерзлоты и слабым развитием процессов окисления сульфидов, рассеянных в породах (преобладает углекислотное выветривание, активность которого также понижена).

По химическому составу выделяются следующие типы вод (согласно графику-квадрату, по А. А. Бродскому). По анионному



циево-магниевого, так как большую часть района занимают метаморфические породы.

На участках развития гранитов в катионном составе вод начинает преобладать натрий. Воды становятся натриево-кальциевыми или кальциево-натриевыми. Наконец, на участках развития серпентинитов в катионном составе вод резко начинает преобладать магний, и воды становятся магниево-кальциевыми. Минерализация вод на этих участках повышается до 500 мг/л.

Катионный состав вод района очень хорошо контролирует основные участки развития пород метаморфической толщи (среди них особенно участки развития серпентинитов) и кислых интрузивных пород.

Величина рН подземных вод изменяется от 5,9 до 7,8. В условиях данного района, где породы по активности различаются очень мало (за исключением серпентинитов), основным фактором, определяющим величину рН, является общая минерализация вод (наблюдается прямая зависимость величины рН от минерализации вод). Так, рН 5,9—6,0 характерна для вод начальной стадии формирования химического состава гидрокарбонатно-хлоридных вод с минерализацией от 25—50 до 100—120 мг/л. Значения рН 7,1—7,3 характерны для вод гидрокарбонатно-сульфатного состава с минерализацией >400 мг/л. Эта зависимость величины рН от минерализации подземных вод значительно затрудняет использование рН в качестве поискового гидрохимического признака.

На участках с рудной минерализацией отмечается также закономерное увеличение рН с ростом минерализации подземных вод. Однако при одной и той же степени минерализации подземных вод на оруденелых участках рН ниже, чем на участках, не несущих оруденения. Из этого следует, что при гидрохимических поисках нельзя использовать в качестве поискового признака абсолютные значения рН без учета общей минерализации вод.

Помимо литологического состава пород и общих гидрогеологических условий района, громадное значение для изменения содержания всех основных компонентов минерализации вод имеет экспозиция склонов. Нами подсчитаны средние величины минерализации и средние значения  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$  и  $\text{Na}$  по всем источникам и построены диаграммы в зависимости от экспозиции склонов. Эти диаграммы показывают резкое увеличение всех компонентов минерализации и рН на склонах южной экспозиции и резкое снижение их на склонах северной, северо-восточной и северо-западной экспозиций. Так, средние содержания  $\text{SO}_4$  изменяются от 52—54 мг/л на южных и восточных склонах до 6—14 мг/л на северных и северо-западных склонах. Средние содержания рН изменяются соответственно от 7,2—7,3 до 6,7.

Такое изменение химического состава подземных вод связано с тем, что на северных склонах, где повсюду отмечается мерзлота, процессы выветривания и окисления протекают гораздо слабее,

чем на южных склонах. К тому же на южных склонах преобладают выходы трещинно-грунтовых вод, а на северных склонах — воды деятельного слоя, пути циркуляции которых очень невелики.

Распределение микроэлементов в подземных водах района определяется, в основном, теми же факторами, что и содержание

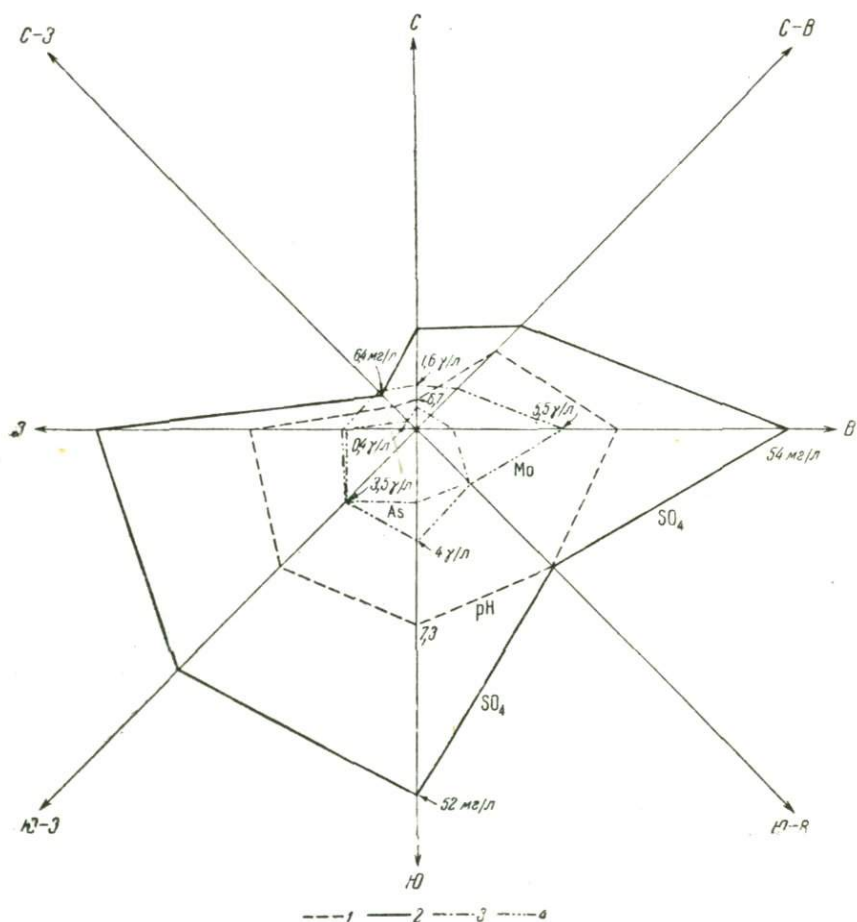


Рис. 1. Распределение средних величин pH—1 и средних содержаний: 2— $SO_4$ , 3—As и 4—Mo в воде источников по склонам различной экспозиции. Составила Р. С. Кононова

основных компонентов минерализации, а именно: литологическим составом пород, кларковыми содержаниями микроэлементов в различных породах и экспозицией склонов.

Не останавливаясь на влиянии состава пород (поскольку оно характерно для любого района), рассмотрим влияние экспозиции склонов на содержание микроэлементов в подземных водах.

Нами построены диаграммы изменения средних содержаний микроэлементов в подземных водах в зависимости от экспозиции склонов по данным химических анализов для Mo и As и по данным спектральных анализов для Ni, Ti, V, Cr, Mo, Zr, Pb, Cu, Sb, As, Zn, Sn, P, Ag. При этом установлено (рис. 1) ярко выраженное закономерное увеличение содержаний As и Mo на скло-

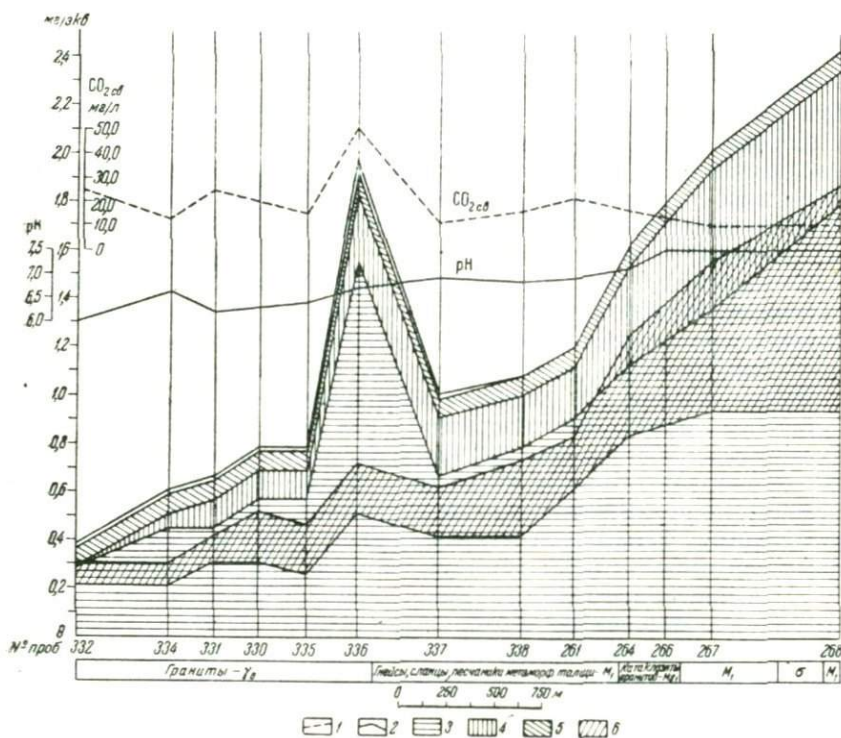


Рис. 2. Гидрохимический профиль пади Добрынина. Составила Р. С. Кононова  
 1—содержание  $\text{CO}_2_{\text{св}}$  (мг/л); 2—величина pH; 3—содержание гидрокарбонат-иона (в мг-экв);  
 4—содержание сульфат-иона (в мг-экв); 5—содержание хлор-иона (в мг-экв); 6—содержание  
 иона-магния (в мг-экв). Содержание  $\text{NO}_3$  показано на профиле выше иона Cl, содержание  
 иона Na—выше, а иона Ca—ниже Mg

нах южной экспозиции (до 4—5  $\gamma/\text{л}$  для Mo и 2,7—3,0  $\gamma/\text{л}$  для As) и снижение содержания этих элементов в водах на склонах северной экспозиции (до 1,5  $\gamma/\text{л}$  для Mo и 0,3—0,8  $\gamma/\text{л}$  для As).

Изменение содержаний микроэлементов в водах в зависимости от экспозиции склонов имеет большое значение при проведении детальных гидрохимических работ масштаба 1 : 25 000 и крупнее при определении фоновых и аномальных значений, которые будут различными для склонов северной и южной экспозиции.

Наконец, данные по общему химическому составу подземных вод иногда могут указывать и на структурные особенности района, выявление которых весьма важно при проведении гидрохимических поисков. Примером этого является приводимый на рис. 2 гидрохимический профиль для одной из небольших долин. На профиле резко выделяется образуемый  $\text{HCO}_3^-$ -ионом пик, приуроченный к контакту гранитов мезозойского комплекса с метаморфической толщей  $\text{Pr}_1$ — $\text{Pr}_2$ . Возможность появления этого пика за счет окисления сульфидов и растворения карбонатов или за счет растворения кальцита отпадает в связи с отсутствием повышенных значений  $\text{SO}_4^{2-}$  и рН. Пик  $\text{HCO}_3^-$ -иона, вероятно, вызван выделением углекислоты вдоль тектонического разлома, поскольку для Забайкалья очень характерна приуроченность углекислых источников к тектоническим зонам. Это предположение подтверждается также кривой содержания  $\text{CO}_2$  св, увеличивающейся против пика  $\text{HCO}_3^-$ -иона.

В условиях закрытых районов Восточного Забайкалья, где тектонические контакты очень трудно прослеживаются, гидрохимические исследования, очевидно, могут использоваться и для этих целей.

Таким образом, изучение закономерностей формирования общего химического состава подземных вод в районе позволяет более объективно устанавливать фоновые и аномальные значения рН, содержания  $\text{SO}_4^{2-}$  и металлов в водах. При проведении детальных гидрохимических работ (масштаба 1 : 25 000 и крупнее) необходимо учитывать изменение фоновых и аномальных значений в зависимости от экспозиции склонов и от типа вод.

Изучение общего химического состава подземных вод облегчает также выяснение некоторых гидрогеологических, геологических и структурных особенностей района и дает общую оценку распределения рудной минерализации в горных породах.

ВСЕГИНГЕО

Г. Б. СВЕШНИКОВ

## ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РУДНОГО АЛТАЯ

Гидрохимические исследования с поисковыми целями на Рудном Алтае начали проводиться в 1941 г. Е. А. Сергеевым. В дальнейшем работы велись в разных районах М. Ф. Куликовой (1950), Е. А. Сергеевым (1953—1954), П. А. Удодовым (1955—1956), Каменской геофизической экспедицией (1956).

В 1953—1957 гг. под руководством автора проводились опытные гидрохимические исследования в основных районах Рудного Алтая (Иртышская зона смятия, Лениногорский и Зырянский

районы, Николаевское, Вавилонское и Таловско-Рулихинское рудные поля). В результате проведенных исследований были установлены некоторые общие гидрохимические особенности Рудного Алтая и гидрохимические поисковые признаки полиметаллических и медных месторождений.

В пределах Рудного Алтая в зависимости от гидрохимических особенностей выделяются следующие районы:

1. Район с относительно слаборасчлененным рельефом и сравнительно сухим климатом (относительные превышения 50—200 м, при абсолютных отметках 300—500 м, среднегодовое количество осадков 300—500 мм), включает степную часть Рудного Алтая, прилегающую к р. Иртыш и низовьям рр. Уба и Ульба. Подземные воды этого района характеризуются относительно высокой минерализацией 0,3—5 г/л при величине рН 6,9—8,4 (за исключением рудничных вод). Среднеарифметические фоновые содержания в подземных водах следующие: меди 3,5—8 мг/л, свинца 6—11 мг/л, цинка 11—23 мг/л. В дождливый период фоновые содержания тяжелых металлов выше чем в засушливый период.

2. Среднегорный Зырянский район с относительными превышениями 100—900 м (абсолютные отметки 500—1400 м) и годовым количеством осадков 500—600 мм. Подземные воды этого района, за исключением вод рудных зон, имеют общую минерализацию 0,1—0,6 г/л и величину рН 7,0—8,4. Средние фоновые содержания меди 6 мг/л, свинца 5 мг/л, цинка 20 мг/л. В противоположность району Иртышской зоны смятия в Зырянском районе фоновые концентрации меди несколько выше фоновых концентраций свинца.

3. Высокогорный район с относительно влажным климатом (абсолютные отметки от 750 до 2100 м, среднегодовое количество осадков 660—2000 мм), соответствующий Лениногорскому району, в особенности его восточной части, где наблюдаются воды с очень малой минерализацией в 0,05—0,2 г/л и значениями рН, изменяющимися в пределах от 4,9 до 8,1. Средние фоновые концентрации меди 6 мг/л, свинца 8 мг/л, цинка 40 мг/л (значительно выше фоновых содержаний цинка в водах первых двух районов).

Гидрохимические поисковые признаки определяются типом месторождений, среди которых автор различает:

А. Полиметаллические (свинцово-цинковые и медно-цинковые) месторождения с развитой зоной окисления, характеризующиеся наличием интенсивного естественного, электрического поля (Березовское, Белоусовское, Николаевское, Таловское, Треховское Второе, Шубинское и др.). Воды этих месторождений, относящиеся к гидрокарбонатно-сульфатному или сульфатно-гидрокарбонатному типу, характеризуются пониженными значениями рН — до 5,5<sup>1</sup> и концентрациями тяжелых ме-

<sup>1</sup> В рудничных водах отмечаются более низкие значения рН, так в рудничных водах Белоусовского месторождения отмечено значение рН 3,4.

таллов, в десятки и сотни раз превышающими фоновые содержания металлов. В водах зоны окисления одних месторождений содержание меди несколько преобладает над содержанием свинца (Березовское, Белоусовское), для других месторождений — воды зоны окисления характеризуются преобладанием свинца над медью, несмотря на подчиненное содержание свинца по сравнению с медью в рудах (Николаевское, Греховское Второе месторождения).

В пробах глубинных вод, отобранных с нижних горизонтов Березовского и Белоусовского рудников, содержание свинца возрастает и становится выше содержания меди. Химический состав глубинных вод по отношению к среднему химическому составу вод района изменен относительно мало.

Измерения окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) вод, произведенные в верхних горизонтах Березовского и Греховского рудников, показывают несколько повышенные по отношению к поверхностным водам значения ОВП ( $+400 \pm 650$  мВ). Воды гидрохимических ореолов рассеяния месторождений указанного типа характеризуются повышенными содержаниями ионов  $SO_4^{2-}$  свинца и цинка. Ореолы рассеяния меди выражены очень слабо.

Б. Полиметаллические месторождения с развитой мощной зоной окисленных руд. Естественное электрическое поле на земной поверхности из-за большой глубины залегания первичных руд не наблюдается (Зыряновское, Лениногорская группа месторождений). По сравнению с водами полиметаллических месторождений типа А химический состав вод рудных зон этих месторождений менее отличается от среднего химического состава вод района. Воды месторождений характеризуются гидрокарбонатно-сульфатным составом и повышенными концентрациями тяжелых металлов, превышающими фоновые содержания в десятки раз. В водах верхних горизонтов Зыряновского и Лениногорского рудников отмечаются повышенные содержания меди по сравнению с свинцом и пониженные значения рН до 2,8—3,3. Воды нижних горизонтов характеризуются преобладанием свинца над медью и повышенными значениями рН — 7,5—8,1. Ореольные воды, характеризуются повышенными содержаниями сульфат-иона, свинца и цинка. В Зыряновском районе отмечаются также ореолы рассеяния меди.

В. Полиметаллические месторождения со слабо выраженной зоной выветривания коренных пород, представленные слепыми рудными телами, перекрытыми мощными наносами, а естественное электрическое поле, связанное с рудными телами, не наблюдается (Ново-Березовское, Иртышское месторождения). Воды рудных зон по химическому составу почти не отличаются от среднего химического состава вод района, которые относятся к гидрокарбонатно-хлоридному или гидрокарбонатному типам. Аномальные концентрации тяжелых

металлов в водах, превышают фоновые в 3—10 раз; содержание меди, как правило, всегда ниже содержаний свинца и цинка. Химизм вод указанных месторождений в целом соответствует химизму вод нижних горизонтов Березовского, Лениногорского и Зырянского рудников, вскрывающих первичные руды. Ореолы рассеяния сульфат-иона на участках месторождений, представленных слепыми рудными телами, проявляются очень слабо или совсем не наблюдаются. Наиболее четким является ореол рассеяния свинца. Воды характеризуются заниженными значениями ОВП ( $+245 \pm 350$  мВ), в то же время месторождения с хорошо развитой зоной окисления характеризуются устойчивыми повышенными значениями ОВП.

Г. Медные месторождения с отчетливо развитой зоной окисления, характеризующиеся наличием интенсивного естественного электрического поля (Александровское, Вавилонское месторождения). Воды рудных зон этих месторождений отличаются сульфатным, сульфатно-гидрокарбонатным составом, пониженными значениями рН и устойчивыми, относительно повышенными значениями ОВП по сравнению с водами безрудных зон. Содержание тяжелых металлов в водах, в особенности меди, в тысячи раз превышает фоновые величины. Свинец в водах имеет подчиненное значение.

Д. Медные месторождения с мощной зоной окисленных руд (месторождение Чудак). Естественное электрическое поле отсутствует. Воды месторождения характеризуются гидрокарбонатно-сульфатным составом и незначительным повышением содержания тяжелых металлов.

Некоторые гидрохимические особенности полиметаллических месторождений Рудного Алтая (незначительные изменения величины рН в рудничных водах, пониженные содержания меди и железа в водах по сравнению со свинцом и цинком, несмотря на широкое развитие в рудах пирита и медных минералов и др.), а также факты наличия гидрохимических ореолов рассеяния тяжелых металлов (свинец, цинк) на участках слепых месторождений со слабым развитием зоны окисления трудно объяснить процессами химического окисления сульфидных руд при действии кислорода или других окислителей, происходящими в водно-воздушной среде. Указанные гидрохимические особенности полиметаллических месторождений получают удовлетворительное объяснение с точки зрения представлений об электрохимическом растворении сульфидных минералов. Электрохимическое растворение сульфидов может происходить при наличии руд, сложенных минералами, имеющими разные электродные потенциалы и электронную проводимость и при условии непрерывной циркуляции вод через рудную залежь. Доступ кислорода в этом случае не имеет существенного значения.

Гидрохимические ореолы рассеяния тяжелых металлов электрохимического происхождения могут быть зафиксированы в усло-

виях слабого развития процессов химического окисления в зоне выветривания коренных пород, например, в условиях закрытых рыхлыми отложениями участков Прииртышья. Это обстоятельство приобретает важное практическое значение. Оно указывает на возможность применения гидрохимического метода при поисках полиметаллических руд в районах, закрытых мощными наносами. По результатам гидрохимических исследований в подобных районах нами выделено несколько перспективных участков. На одном из них последующим картировочным бурением вскрыто глубокозалегающее полиметаллическое оруденение. Остальные гидрохимические аномалии бурением не проверялись.

Электрохимическое растворение характерно не только для полиметаллических руд. На основании имеющихся предварительных данных об электрохимических свойствах медных и никелевых сульфидов можно предполагать наличие гидрохимических ореолов никеля электрохимического происхождения на участках медноникелевого оруденения, в том числе на месторождениях, расположенных в зоне вечной мерзлоты.

Ленинградский  
государственный университет

Г. А. ВОСТРОКНУТОВ

## ОПЫТ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

В системе Уральского геологического управления гидрохимические работы стали проводиться с июля 1956 г. силами специального гидрохимического отряда. Работы носили опытно-методический характер и заключались в гидрохимическом обследовании участков медно-колчеданных месторождений и новых поисковых площадей.

В 1956 г. гидрохимические исследования проводились в Кировградском и Уфалейском районах, а в 1957 г. в тех же и дополнительно в Нижне-Тагильском и Ново-Лялинском районах.

Перечисленные районы расположены на восточном склоне Среднего Урала. Поиски проводились в пределах так называемых зеленокаменных полос (зон), сложенных эффузивно-осадочным комплексом пород нижнепалеозойского возраста. В геоморфологическом отношении эти зоны представляют собой меридионально вытянутые депрессии, ограниченные грядами возвышенностей, сложенных более устойчивыми интрузивными породами; рельеф горноувалистый. Абсолютные отметки колеблются от 200—450 м в депрессиях до 500—650 м на возвышенностях. Климат континентальный, среднегодовое количество осадков 450 мм.

Зеленокаменные породы смяты в сложные синклинали, опрокинутые на запад и осложненные складчатостью высших поряд-

ков. Встречаются межпластовые интрузии гипербазитов и гипабиссальные интрузии диоритов и плагиогранитов.

Известные медно-колчеданные месторождения разделяются на месторождения краевых и центральных рудоносных зон; первые приурочены к склонам возвышенностей вблизи контакта зеленокаменной толщи с интрузиями гипербазитов. В гидрогеологическом отношении они характеризуются повышенной активностью водообмена и слабой обводненностью пород. Месторождения центральных зон расположены в депрессиях эффузивно-осадочной толщи, отличаются пониженной активностью водообмена, широким развитием болот и большей водообильностью. Условия залегания, строение рудных тел и состав руд обычны для медно-колчеданных месторождений Среднего Урала.

Основным объектом гидрохимических исследований являлась гидрографическая сеть. При этом предполагалось, что поверхностные воды отражают усредненный химический состав грунтовых вод на участках их дренажа рекой. Одновременно опробовались все встреченные выходы подземных вод.

В открытых водотоках пробы отбирались от устья к верховью в среднем через 500 м. В зависимости от геологического строения и участков подтока грунтовых вод, расстояние между точками опробования менялось от 300 до 600 м. Из русла отбирались донные илисто-глинистые отложения. В поле производились сокращенные анализы водных проб, определение в них меди и цинка и выпаривание проб для получения сухого остатка. Сокращенные анализы производились с помощью полевой гидрохимической лаборатории ЛГ-1 (ВСЕГИНГЕО, 1955 г.). Медь определялась диэтилдитиокарбаматом (чувствительность метода 2 мкг/л), цинк дитизоном (чувствительность 5 мкг/л). В центральной лаборатории Уральского геологического управления производился спектральный полуколичественный анализ донных проб и сухих остатков водных проб.

Поисковыми признаками колчеданных месторождений служили сульфат-ион, медь, цинк, свинец и серебро. При определении их фоновых содержаний подсчитывались относительные проценты распространенности различных концентраций микроэлементов, а затем брались среднеарифметические величины наиболее часто встречающихся концентраций, кроме заведомо аномальных.

На картах металлоносности природных вод и донных отложений условной штриховкой наносились отношения содержаний микроэлементов к их фоновым значениям. При этом учитывались направление потока подземных вод, величина концентрации рудных компонентов и характер ее изменения по потоку.

На основании данных сокращенного анализа строились гидрохимические карты, на которых условными знаками и цветом выделялись воды разных типов, площади их распространения, направление движения и участки подтока грунтовых вод в гидро-

графическую сеть. По данным поверхностных водотоков строились гидрохимические профили, на которых в логарифмическом масштабе наносились содержания микроэлементов в воде и донных отложениях в различных точках опробования.

Из особенностей изученных вод необходимо отметить высокое содержание органических соединений, малую минерализацию (обычно до 0,25 г/л), нейтральную и слабощелочную реакцию (рН от 7,0 до 8,6).

Преобладающий состав вод гидрокарбонатно-кальциево-магниевый. В пределах зеленокаменной полосы на участках с повышенной минерализацией пород встречаются  $\text{HCO}_3\text{—SO}_4\text{—Ca—Mg}$  и  $\text{HCO}_3\text{—SO}_4\text{—Ca—Na}$  воды, а на рудных участках  $\text{HCO}_3\text{—SO}_4$  и  $\text{SO}_4\text{—HCO}_3$  воды.

Содержание сульфат-иона вне влияния зон минерализации составляет 0—10 мг/л, редко выше. В пределах зеленокаменных пород с сульфидной минерализацией содержание сульфат-иона в водах повышается до 20—40 мг/л, в ореолах рудных тел до 40—60 мг/л и в самих рудных зонах — до 80—100 мг/л и выше.

Часто сульфат-ион образует вокруг источников минерализации размытые и смещенные аномалии, особенно в районах центральных рудоносных зон, где величина его потоков рассеяния достигала нескольких километров. Большую роль в распределении сульфат-иона играют активность водообмена и процессы десульфатизации. При проведении поисков содержание сульфат-иона использовалось для выделения рудоносных комплексов пород, зон сульфидной минерализации и дополнительной характеристики гидрохимических аномалий.

Основным поисковым признаком и одним из наиболее широко распространенных микроэлементов в водах являлась медь, содержания которой колеблются от  $2 \cdot 10^{-3}$  до  $5 \cdot 10^{-2}$  мг/л в воде и  $1 \cdot 10^{-3}$ — $3 \cdot 10^{-1}\%$  в сухом остатке водных проб и донных отложениях. Среднее фоновое содержание меди соответственно равно  $2 \cdot 10^{-3}$  мг/л и  $6 \cdot 10^{-3}\%$ .

В условиях краевых рудоносных зон в поверхностных водотоках под влиянием рудных тел образуются небольшие, четко выраженные потоки рассеяния меди протяженностью 250—500 м, реже до 1000 м. Максимальные концентрации меди наблюдаются в непосредственной близости от рудной зоны (до 100 м).

В условиях центральных рудоносных зон в поверхностных водотоках при благоприятных условиях образуются потоки рассеяния, протяженностью до нескольких километров, в которых максимальные концентрации меди отмечаются на значительном удалении от рудных зон (до 500 м). Иногда потоки рассеяния выделялись только по данным спектрального анализа сухих остатков и донных проб.

Различная миграционная способность меди и сульфат-иона приводит к частичному несовпадению их аномальных участков.

Однако совместное увеличение содержаний меди и сульфат-иона обычно свидетельствует о рудном источнике минерализации вод.

Содержание цинка в воде меняется от  $5 \cdot 10^{-3}$  до  $1-2$  мг/л и  $1 \cdot 10^{-2} - n \cdot 10^{-1} \%$  в донных осадках, среднее фоновое содержание цинка соответственно  $5 \cdot 10^{-3}$  мг/л и  $6 \cdot 10^{-3} \%$ .

В поверхностных водотоках краевых рудоносных зон максимальные концентрации цинка смещаются вниз по течению от рудной зоны до  $100-250$  м. На участках центральных рудоносных зон смещение аномальных концентраций цинка еще более значительно (до  $500-1000$  м). Потоки рассеяния цинка часто являются прерывистыми. Определение местоположения источника минерализации по ореолам и потокам рассеяния цинка затруднительно. Обычно для этого требуются дополнительные исследования и другие, более надежные поисковые признаки.

Обычно данные по содержанию цинка в водах и донных осадках являются дополнительным признаком перспективности аномального участка. Остальные микроэлементы определялись только с помощью спектрального полуколичественного анализа и их повышенные содержания использовались в качестве дополнительных поисковых признаков медноколчеданного оруденения. Особенно характерными в этом отношении являлись свинец и серебро.

В водах краевых рудоносных зон данные по содержанию свинца помогают точнее очертить границы предполагаемых участков минерализации. Появление свинца в воде и донных отложениях обычно свидетельствует о перспективности аномального участка. Дальность миграции свинца не более  $100-500$  м, максимальные концентрации обычно наблюдаются в непосредственной близости к рудному телу ( $1-3 \cdot 10^{-2} \%$ ).

В поверхностных водах центральных рудоносных зон длина потоков рассеяния свинца достигает  $500-1500$  м, максимальные содержания отмечаются на расстоянии до  $500$  м от рудных тел.

Данные по содержанию свинца использовались для дополнительной характеристики и интерпретации гидрохимических аномалий. Повышенные содержания серебра наблюдались почти исключительно в водах, тесно связанных с колчеданным оруденением и достигали в районах центральных рудоносных зон  $1-3 \cdot 10^{-2} \%$ . Данные по содержанию серебра использовались как хороший дополнительный признак перспективности аномального участка и помогали более точно определить местоположение источника минерализации.

Из других элементов-спутников можно отметить марганец, стронций и барий. При обычной концентрации этих элементов в порядке  $1 \cdot 10^{-2} - n \cdot 10^{-2} \%$ , на участках колчеданного оруденения их содержание часто повышается до  $n \cdot 10^{-2} \%$  —  $n \cdot 10^{-1} \%$ . Особенно четко это наблюдается в отношении марганца. Кроме того, в природных водах обычно встречался ванадий ( $n \cdot 10^{-3} \%$ ), титан ( $1 \cdot 10^{-1} - n \cdot 10^{-1} \%$ ), никель и хром ( $n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10^{-2} \%$ ).

Повышенные содержания последних двух элементов довольно хорошо увязывались с массивами гипербазитов.

На основании анализа металлонности вод с учетом общей геологической и гидрогеологической обстановки, выделялись участки гидрохимических аномалий. Образование последних в большинстве случаев связывалось с подтоком почвенно-грунтовых вод, омывающих вторичные солевые ореолы в почвах и элювиально-делювиальных отложениях. Большинство гидрохимических аномалий плохо выделялись или совсем не выделялись по донным осадкам, что можно объяснить сильным усреднением содержаний металлов в илесто-глинистой фракции и незначительной интенсивностью солевых ореолов, которые маскируются относительно высоким фоном обычных кларковых содержаний рудных элементов в породах.

Благоприятными признаками перспективных аномалий считались:

1) повышенные содержания рудных компонентов в ряде точек аномального участка;

2) значительная контрастность аномалии (т. е. большая разница между аномальными и фоновыми концентрациями рудных элементов);

3) повышенные концентрации элементов-спутников и общее увеличение количества и концентраций микроэлементов в аномальных пробах по сравнению с обычными пробами;

4) благоприятная геологическая обстановка аномального участка с точки зрения возможности нахождения медных руд, наличие геофизических и металлометрических аномалий.

Приведем несколько примеров гидрохимических аномалий.

В Уфалейском районе на восточном склоне горы Маук по долине одного из ручьев были выделены две гидрохимические аномалии. Ручей на всем протяжении питается почвенно-грунтовыми водами. Состав вод  $\text{HCO}_3\text{—Ca—Mg}$ . Сульфаты присутствуют лишь в виде следов. Минерализация вод до 0,15 г/л, рН — 7,8. В ручье выявлен довольно интенсивный поток рассеяния тяжелых металлов (в водах и донных отложениях). Содержание меди в потоке превышало средний фон района в пять раз, цинка в два-шесть раз. Выявлены два аномальных участка, в пределах которых содержание меди выше, чем в потоке рассеяния в два-три раза (до  $2 \cdot 10^{-2}$  мг/л и  $3 \cdot 10^{-2}\%$ ), содержание свинца достигало до  $1 \cdot 10^{-2}\%$  и серебра до  $1 \cdot 10^{-3}\%$ .

Аномальные участки совпали с двумя металлометрическими ореолами, выделенными на южном склоне лога, по которому протекает ручей. Несколько южнее одной из аномалий проходит ось геофизической аномалии. Коренные породы представлены серпентинитами и пироксенитами с линзами амфиболитов и амфиболитовых хлоритизированных сланцев.

При разбуривании рудоносной зоны, одна из скважин на глубине 50 м подсекла рудное тело мощностью 1,35 м, представлен-

ное цинково-медистым колчеданом с незначительной вкрапленностью халькопирита в висячем боку.

В Кировградском районе на северо-восточном и юго-восточном склонах горы Черемшанки было выделено две аномалии. Пробы воды отбирались из р. Черемшанки, ручьев и источников грунтовых вод. Состав воды  $\text{HCO}_3\text{—SO}_4\text{—Ca(Na)}$  и  $\text{SO}_4\text{—HCO}_3\text{—Mg}$ . Содержание сульфидов непостоянно (до 40 мг/л), минерализация воды 0,1 г/л, рН 5,8—7,8, часто 6,6.

В реке и ручьях наблюдались потоки рассеяния тяжелых металлов. Содержание меди достигало  $2 \cdot 10^{-2}$  мг/л, цинка 0,  $n\text{—}n$  мг/л. По данным спектрального анализа, концентрация меди превышала среднефоновую в два-пять раз, цинка в 2—16 раз. В ряде проб отмечена резко повышенная концентрация свинца, достигающая сотых и даже десятых долей процента в сухом остатке. В отдельных пробах встречен молибден ( $1\text{—}3 \cdot 10^{-3}\%$ ), кобальт ( $3 \cdot 10^{-3}\%$ ), марганец ( $1\text{—}3 \cdot 10^{-1}\%$ ) и стронций (до  $1 \cdot 10^{-1}\%$ ).

Гора сложена разнообразными по составу породами: в западной части альбитофирами, в северной — порфиритоидами, в центральной части развиты ортофоры и их туфы, восточнее протягивается полоса зеленых сланцев и порфиритов. На вершине горы в отвалах старых выработок встречены отдельные линзочки кварцево-серицитовых сланцев с сульфидной минерализацией. Среди кварцево-серицитовых и кварцево-серицито-хлоритовых сланцев залегают кварцевые жилы меридионального и северо-восточного простирания с крутым восточным падением. В жилах отмечены участки с полиметаллическим оруденением (пирит, халькопирит, галенит, блеклые руды).

Значительные размеры гидрохимических аномалий плохо увязываются с известным маломощным рудопроявлением и указывают на возможность выявления новых участков медноколчеданного и полиметаллического оруденения.

Уральское  
геологическое управление

В. В. ПАВЛОВ

## ОПЫТ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ МЕДНОКОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В 1957 г. Учалинская разведочная партия развернула широкие поисковые работы, в комплекс которых был включен и гидрохимический метод. Полевые исследования велись в следующих трех направлениях: а) детальное изучение гидрохимических условий Учалинского рудного поля; б) гидрохимические поиски масштаба 1 : 10 000 в комплексе с геологическими и геофизическими исследованиями; в) гидрохимическое обследование на медь значительной территории в масштабе 1 : 100 000.

Район работ характеризуется развитием эффузивных образований основного, среднего и кислого состава. Эффузивная толща, расчлененная незначительными прослоями известняков и кремнистых сланцев, смята в крутые складки северо-восточного простирания. В пределах исследуемой площади известен ряд промышленных и непромышленных медноколчеданных месторождений. Вещественный состав рудопроявлений представлен пиритом, сфалеритом, халькопиритом с незначительной примесью галенита. Зона окисления выражена слабо.

Район характеризуется активным водообменом, рельеф сильно расчленен, высотные отметки колеблются от 370 до 920 м. Речная сеть развита слабо (мелкие, часто пересыхающие летом речки).

В пределах района выделены следующие водоносные комплексы: трещинные воды эффузивных образований; трещинные воды известняков; воды рыхлых отложений. Воды всех водоносных комплексов чаще всего имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав. Их общая минерализация колеблется в пределах от 150 до 1500 мг/л. Фоновые содержания в водах  $\text{SO}_4$  10—12 мг/л,  $\text{Cu}$  1—2 мкг/л,  $\text{Zn}$  10—15 мкг/л.

В направлении с запада на восток наблюдается зональное изменение химического состава вод. В пределах хр. Ирендык выделяются воды гидрокарбонатно-кальциево-магниевого состава, далее к востоку они обогащаются натрием и переходят в гидрокарбонатно-кальциево-магниево-натриевые. Дальнейшее изменение химического состава вод идет в сторону увеличения натрия и уменьшения магния: зона к востоку от хр. Ирендык характеризуется гидрокарбонатно-кальциево-натриево-магниевым, следующая, четвертая зона — гидрокарбонатно-натриево-кальциевым составом вод. В этом же направлении происходит изменение общей минерализации от 200—300 мг/л по родникам на склонах хребтов до 700—900 мг/л и даже 1500 мг/л в низинах и заболоченных участках.

Таким образом участки с повышенным водообменом отличаются низкой минерализацией и гидрокарбонатно-кальциевым составом вод. Участки с пониженным водообменом характеризуются относительно повышенной минерализацией и гидрокарбонатно-натриево-кальциевым составом вод. В низменных заболоченных участках наблюдаются повышенные содержания сульфатона.

Первые пробы воды в районе рудной залежи были отобраны из скважин, вскрывших зону окисленных руд. Воды оказались слабоминерализованными, неагрессивными и рекомендовались А. Я. Беляевским (1941) как пригодные для водоснабжения. Однако после вскрытия шахтами и карьером рудного тела характер вод резко изменился: воды стали высокоминерализованными, агрессивными, с большим содержанием серной кислоты.

Но воды рудной зоны являются исключением, аномальным явлением на общем фоне химизма вод карьерного поля. Химический состав подземных и поверхностных вод исследованного участка характеризуется низкой общей минерализацией (200—300 мг/л), изменчивым составом и  $pH > 7$ . Чаще всего это гидрокарбонатно-кальциево-магниево-натриевые воды.

Общая минерализация вод рыхлых отложений в два-три раза выше, чем трещинных вод. Воды рыхлых отложений беднее медью, свинцом, молибденом и ураном, цинк присутствует в равных количествах в тех и других водах.

Если проследить изменение химического состава вод от карьера к востоку, то отчетливо видно, как резко понижается общая минерализация и увеличивается  $pH$  воды. Увеличения содержания меди и цинка в водах за пределами карьера не наблюдалось. Все это объясняется направлением движения подземного потока в сторону карьера. Для вод рыхлых отложений на расстоянии 1800 м к востоку от карьера наблюдается некоторое увеличение общей минерализации, сульфат-иона и понижение  $pH$ .

Несмотря на непосредственную близость мощного рудного тела и направление стока подземных вод в сторону оз. Малые Учалы, рудное тело не оказало существенного влияния на химизм вод озера до начала горных работ на месторождении. Лишь после вскрытия рудного тела с организацией откачки шахтных вод, воды озера начали обогащаться сульфат-ионом, медью и цинком.

Большой интерес представляют воды, выделившиеся по ряду скважин в 500—800 м к востоку от проектного борта карьера с содержанием в них меди от 0,035 до 0,18 мг/л. Эта зона вод с запада и востока окружена водами с содержанием меди от 0,01 до 0,03 мг/л, а в некотором удалении оно не превышает 0,006 мг/л.

В пределах зоны с повышенным содержанием меди и за ее пределами по простиранию пород к северу вскрыты воды с повышенным содержанием свинца (от 0,074 до 0,225 мг/л при фоне 0,02 мг/л). Содержание цинка в водах в пределах рудного поля колеблется от 0,05 до 1,0 мг/л. В распределении проб с повышенным содержанием цинка не подмечено определенных закономерностей.

Описанная выше аномалия представляет несомненный поисковый интерес. Скважины, расположенные на восточной границе аномалии, вскрыли мощную толщу альбитофиров с густой вкрапленностью пирита.

В 1957 г. нами было произведено гидрохимическое обследование 1000 км<sup>2</sup> в масштабе 1 : 100 000. Основная задача состоит в выявлении перспективных участков для постановки поисковых работ на медь. Площадь была покрыта маршрутами по долинам рек, ручьев и склонам возвышенностей. В процессе работы использовалась геологическая карта масштаба 1 : 100 000. Рас-

пределение интересующих нас компонентов в подземных и поверхностных водах оказалось весьма неравномерным. Содержание меди колебалось от 0,001 до 0,05 мг/л, цинка от 0,005 до 1,0 мг/л, сульфат-иона от 0,0 до 400 мг/л и отношения  $\frac{SO_4}{Cl}$  от 0 до 30. Результаты химических анализов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Содержание	Компоненты, мг/л			
	Cu	Zn	SO <sub>4</sub>	$\frac{SO_4}{Cl}$
Фоновое . . . . .	До 0,005	До 0,1	8-14	1
Повышенное . . . . .	0,006-0,01	0,2-0,3	15-30	1-5
Аномальное . . . . .	0,01	0,3	30	5

Проведенные исследования позволили выделить ряд аномальных участков с повышенными или аномальными содержаниями рудных компонентов. Краткое описание их приводится ниже.

Аномалия 1 находится в южной части обследованной площади. Аномальный участок сложен порфиритами и альбитофирами нерасчлененной толщи верхнего силура — нижнего девона. Верхнесилурийские образования прорваны нижнепалеозойскими интрузиями.

По химическому составу подземные и поверхностные воды в пределах аномалии различны — от гидрокарбонатно-кальциево-магниевое-натриевых до гидрокарбонатно-натриево-магниевое-кальциевых. Их общая минерализация колеблется от 200 до 400 мг/л, постепенно увеличиваясь с запада на восток. Аномальные содержания меди и цинка отмечаются в трех пробах. В тех же пробах наблюдается повышенное содержание сульфат-иона. Несколько севернее отношение  $\frac{SO_4}{Cl}$  достигает 5.

На аномальном участке протекают четыре речки: Бюйлы, Зириклы, Таныш и Айкаре-Елга. Содержание в их водах рудных компонентов увеличивается в пределах выделенной аномалии и уменьшается вне ее. Так, в водах рч. Бюйды наблюдается изменение содержаний сульфат-иона от 8,0 до 40 мг/л, цинка — от фоновых до 0,5 мг/л и  $\frac{SO_4}{Cl}$  от 0,5 до 2,2. Рч. Таныш вытекает из заболоченного участка, находящегося в пределах аномалии. Ее воды характеризуются повышенным содержанием Cu, Zn и SO<sub>4</sub>". Ниже по течению у восточной границы аномалии содержание Cu и Zn понижается, содержание сульфат-иона повышается, а величина  $\frac{SO_4}{Cl}$  остается неизменной. Единичные определения свинца установили его повышенное содержание в пределах аномального участка (до 0,041 мг/л).

Хотя определить природу данной аномалии трудно, однако, учитывая общую перспективность обследуемой полосы и нахождение в пределах аномалии известной поисковой точки Курпалы, необходимо обследовать данный участок более детально с применением горных работ.

**Аномалия 2** находится на северо-восточном склоне горы Бюйды, вытянута в широтном направлении в виде полосы шириной 2—3 км и длиной 10 км. Аномальный участок сложен нижнедевонским комплексом ирендыкской свиты, к которому с востока примыкают верхнесилурийские пироксен-плагиоклазовые порфиры с линзами и прослоями кварцевых альбитофиров и их туфов.

Подземные и поверхностные воды в пределах аномального участка по химическому составу относятся к гидрокарбонатно-натриево-магниевым, с общей минерализацией 350—400 мг/л. Рч. Ем-Елга, дренирующая подземные воды, пересекает аномальную площадь с запада на восток. В пределах аномалии воды характеризуются повышенным содержанием  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$  и  $\text{SO}_4$ .

В источниках, связанных, очевидно, с контактами пород, отмечается повышенное содержание меди — до 0,01 мг/л и цинка — до 0,5 мг/л. Повышенное содержание сульфат-иона в общих чертах повторяет контуры выделенной аномалии. Среднее содержание сульфат-иона в водах аномального участка 25—50 мг/л, отношение  $\frac{\text{SO}_4}{\text{Cl}} > 2$ , иногда достигает 5. Содержание свинца за пределами аномалии равно 0,011—0,013 мг/л, в пределах аномалии 0,02 мг/л.

Для выяснения природы аномалии необходимы детальные гидрогеологические работы в комплексе с геологическими и геофизическими исследованиями.

**Аномалия 3**, расположенная северо-восточнее аномалии 2, захватывает верхнее течение рч. Б. Агыр и на востоке уходит за границы обследуемой площади.

Аномальный участок сложен верхнесилурийскими и девонскими альбитофирами, порфиритами и их туфами. К юго-востоку от аномального участка развиты граниты.

В пределах аномалии подземные и поверхностные воды по химическому составу изменяются от гидрокарбонатно-натриево-кальциево-магниевых до гидрокарбонатно-кальциево-магниевых. Общая минерализация вод колеблется от 200 до 1300 мг/л (в долине рч. Б. Агыр). В пределах аномального участка берут начало речки Таш-Яр, Мартын, Кыдыш и несколько западнее — Б. Агыр, воды которых характеризуются повышенным содержанием  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$  и  $\text{SO}_4$ . Повышенное содержание указанных рудных компонентов отмечено по всем источникам, ключам и заболоченным участкам. Содержание сульфат-иона в водах участка колеблется от 2 до 400 мг/л, причем максимальное содержание встре-

чено только в долине рч. Б. Агыр. Содержание хлор-иона остается неизменным.

Аномалия 4 находится юго-восточнее дер. Сафарово в верхнем течении рек Куруды и Б. Агыр. Аномальный участок сложен порфиритами, кварцитами, гнейсами и слюдисто-кварцевыми сланцами нижне- и верхнедевонского возраста.

По химическому составу подземные и поверхностные воды изменяются от гидрокарбонатно-кальциево-натриево-магниевых до гидрокарбонатно-натриево-кальциево-магниевых. Их общая минерализация находится в пределах 200—400 мг/л.

В пробах, отобранных из заболоченных истоков рек Куруды и Б. Агыр, отмечено аномальное содержание меди и повышенное содержание цинка, сульфат-ион и свинец в пробах почти отсутствуют. Ниже по течению содержание меди снижается, а сульфат-иона и свинца повышается.

Природа аномалий не выяснена, возможно, она связана с болотным характером вод данного участка.

Гидрохимические исследования масштаба 1 : 10 000 были проведены на площади 200 км<sup>2</sup>, характеризующейся равнинным, слабохолмистым рельефом с максимальными абсолютными отметками до 470—580 м.

В геологическом строении района принимают участие кварцевые альбитофиры, порфириты и туфы смешанного состава. На севере участка встречены известняки, вторичные кварциты и листвиниты.

Обследуемая площадь была покрыта густой сетью (через 150 м) маршрутов, ориентированных вкрест простирания пород. В процессе обследования фиксировались все естественные и искусственные водопоявления. Из каждого водопункта отбиралась проба воды в количестве 1,5 л из расчета 1,0 л для химического анализа на металлы и 0,5 л — на сокращенный анализ, последний производился непосредственно в поле с помощью полевой лаборатории А. А. Резникова. Пробы, отобранные для химического анализа на металлы, консервировались соляной кислотой. Для определения свинца, меди и цинка использовалась лаборатория ВСЕГИНГЕО. Часть проб отправлялась на полный контрольный и спектральный анализы в г. Свердловск. Результаты анализов сведены в табл. 2.

Таблица 2

Содержание	Рудные компоненты, мг/л		
	Cu	Zn	SO <sub>4</sub> "
Фоновое . . . . .	0,002	0,1	8—15
Повышенное . . . . .	0,003—0,01	0,2—0,3	—
Аномальное . . . . .	>0,01	>0,3	—

По химическому составу воды относятся к гидрокарбонатно-натриево-кальциевым и гидрокарбонатно-натриево-кальциево-магниевым с величиной рН, близкой к нейтральной. Общая минерализация вод колеблется в пределах от 140 до 1970 мг/л. Повышение минерализации наблюдается в южной части обследованной площади, особенно на заболоченных участках.

В пределах исследованной площади выделяется два перспективных участка: южный — в верхнем течении рч. Б. Агыр и долина р. Уй.

Участок р. Уй характеризуется развитием известняков альбитофиров, порфиритов и габбро-диабазов. По химическому составу воды реки гидрокарбонатно-натриево-кальциевые с реакцией среды, близкой к нейтральной. Средняя минерализация вод 600 мг/л. В верхнем течении реки содержания цинка, меди и сульфат-иона не превышают фоновых значений. Начиная от с. Пичугино, где р. Уй отклоняется к северу и далее на восток, до самой границы участка, содержание меди повышается до 0,01—0,016 мг/л. Цинк в большинстве проб содержится в аномальном количестве 0,7—1,4 мг/л. Содержание сульфат-иона в водах реки не выходит за пределы фоновых значений.

Проба воды, отобранная из болота, находящегося в 200 м от реки, отличается высоким содержанием сульфат-иона — 200 мг/л и повышенным содержанием меди и цинка. В водах колодца в с. Пичугино также отмечено повышенное содержание сульфат-иона, меди и цинка.

В этом же районе геофизической экспедицией методом резистивиметрии выявлен аномальный участок, характеризующийся низкими сопротивлениями вытяжек из грунтов.

На основании всех этих данных можно предположить, что повышенные содержания меди и цинка в водах реки не являются случайными. Для выявления природы аномалии необходимо более детальное изучение этой площади.

Южный участок сложен порфиритами и альбитофирами. Воды участка по химическому составу относятся к гидрокарбонатно-натриево-кальциево-магниевым и гидрокарбонатно-натриево-кальциевым. Минерализация воды в рч. Б. Агыр относительно высокая (от 540 до 1150 мг/л), средняя минерализация вод по южному участку составляет 1085 мг/л.

Содержание меди, цинка и сульфат-иона в водах рч. Б. Агыр у южной границы участка не превышает фоновых значений. Далее наблюдается резкое повышение содержания цинка до 0,6 мг/л и меди до 0,15 мг/л. Это повышение отмечено не только для реки, но и для других водопунктов. Так, в пробе, взятой из колодца, установлено повышенное содержание меди — 0,010 мг/л, а в пробе, отобранной из болота, — аномальное — 0,035 мг/л.

В водах рч. М. Агыр содержание металлов повышенное. Сульфат-ион присутствует на этой площади в больших количествах.

Так, в одной из проб содержание его составляет 400 мг/л,  $\frac{SO_4}{Cl}$  достигает 60,8. Далее, вниз по течению реки, наблюдается общее снижение содержания Zn, Cu,  $SO_4$ , хотя по отношению ко всему району оно остается повышенным.

Более детальное изучение выявленных гидрохимических аномалий проводится в 1958 г.

Учалинская ГРП ЮГУ

П. И. ПИЩЕРОВА

## ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАРА-МАЗАРА

Гидрохимические исследования, проведенные в Западном Кара-Мазаре в районе полиметаллических месторождений Алтын-Топкан, Такели и Кансай, заключались в изучении распределения содержаний микроэлементов в подземных водах, выявлении условий образования водных ореолов около известных месторождений и установлении гидрохимических поисковых признаков указанного рудного района.

Месторождения Алтын-Топанской группы находятся на северном склоне Кураминского хребта, характеризующегося сильно расчлененным высокогорным рельефом с абсолютными отметками от 900 до 2100 м. Месторождения Такелийской группы расположены у границы Кураминских гор с Мирза-Рават-Дальверзинской депрессией. Рельеф этого района предгорный, сглаженный, с абсолютными высотами до 1000 м. Месторождения Кансайской группы занимают южные склоны Кураминского хребта (хребет Окуртау) на границе горной и предгорной части района с абсолютными отметками 1200—1300 м.

Указанные месторождения являются полиметаллическими, рудные поля их сложены породами палеозойского возраста — метаморфическими сланцами нижнего палеозоя, известняками среднего палеозоя, эффузивно-туфогенными отложениями верхнего палеозоя, интрузивными породами варисского возраста и различными жильными образованиями. Главными рудоконтролирующими структурами являются тектонические нарушения — разломы, надвиги, разрывы (Контактный разлом, Главный Такелийский надвиг, Окур-Даванский разлом и др.), с которыми сопрягаются более мелкие минерализованные трещины и разломы, играющие важную роль в структуре рудных полей.

Рудная минерализация представлена галенитом, сфалеритом, пиритом, халькопиритом, арсенопиритом, пирротинном, тетраэдритом, пирротинном, шеелитом, магнетитом, гематитом и др. В качестве постоянных примесей в рудах присутствуют серебро и кадмий. Зоны окисления на месторождениях развиты слабо. Окисленные минералы (церуссит, смитсонит, англезит, редко азурит,

малахит и др.) развиваются по трещинам среди первичных руд в виде примазок, налетов, корочек и прожилков, не образуя заметных скоплений. Рудные тела представлены линзообразными залежами (Алтын-Топкан) или рудными столбами и трубками небольших размеров (Такели и Кансай).

Обводненность месторождений слабая, хотя все породы района в той или иной степени водоносны. К верхней трещиноватой зоне коренных пород приурочены трещинно-грунтовые воды, которые распространяются на глубину не более 80 м. Эти воды дренируются мелкой гидрографической сетью и представляют местный подземный сток. К тектоническим нарушениям (разломы, надвиги) приурочены трещинно-жильные воды глубокой циркуляции, которые дренируются окружающими предгорными депрессиями (например, Мирза-Раватской) и долинами крупных рек — Ангрена, Сыр-Дарья, представляя собой региональный подземный сток.

По химическому составу подземные воды района гидрокарбонатно-сульфатные и сульфатно-гидрокарбонатные. Наличие сульфатных вод на участках рудной минерализации является достаточно четким поисковым признаком. Однако вследствие наложения общих процессов формирования химического состава вод на процессы окисления сульфидов использование абсолютных содержаний сульфат-иона в качестве поискового признака иногда затруднительно. В таких случаях следует учитывать отношение сульфат-иона к хлор-иону, чтобы исключить влияние общих процессов формирования химического состава вод.

Изучение условий миграции микроэлементов в подземных водах месторождений Алтын-Топкан, Такели и Кансай показало, что свинец, цинк, молибден, мышьяк, серебро, никель, титан, хром образуют ореолы аномально-повышенных содержаний в подземных водах всех месторождений. Их аномальные содержания обнаруживаются в водах, циркулирующих непосредственно в пределах рудных зон, в подземных водах ореолов месторождений (на расстоянии до 1 км от последних), а также зон тектонических нарушений. Следовательно, перечисленные микроэлементы образуют водные ореолы вокруг полиметаллических месторождений. Изучение этих ореолов дало возможность выявить некоторые особенности миграции отдельных микроэлементов, а также одну общую закономерность, заключающуюся в отсутствии сколь угодно значительных колебаний фоновых содержаний основных микроэлементов (свинца, цинка, молибдена, мышьяка и др.) в подземных водах в зависимости от литолого-петрографического состава пород, по которым циркулируют эти воды.

Основные особенности миграции свинца, выявленные при изучении месторождений Алтын-Топкан, Такели и Кансай сводятся к следующему:

1. Аномальные содержания свинца образуются в водах месторождений, рудные тела которых залегают в некарбонатных по-

родах. Карбонатные породы резко ограничивают миграцию свинца.

2. Формирование водных ореолов рассеяния свинца в значительной мере зависит от морфологии и условий залегания рудных тел. Линзообразные рудные тела больших размеров сопровождаются более четкими и протяженными ореолами. Небольшие крутопадающие тела столбовой и трубовидной формы образуют нечеткие и прерывистые водные ореолы.

3. Аномальные содержания свинца отмечаются на сравнительно небольших расстояниях от рудных тел, особенно если они залегают в карбонатных породах.

4. С увеличением содержания в водах  $\text{Ca}$ ,  $\text{SO}_4^{''}$  и общей минерализации намечается тенденция к увеличению содержания свинца в водах, объясняющаяся, очевидно, тем, что все эти изменения вызваны одной и той же причиной — воздействием окисляющих сульфидов.

Основные особенности миграции цинка, выявленные при изучении тех же месторождений, сводятся к следующему:

1. Цинк может мигрировать в водах различного химического состава; построенные нами графики не установили какой-либо связи между химическим составом вод и содержанием в них цинка.

2. Образование водных ореолов рассеяния цинка зависит от гидродинамических условий. Так, на одном из участков аномальные содержания цинка были обнаружены вблизи рудных зон в небольших слабых водотоках (родники № 1—4, см. рисунок) и на значительном удалении от последних (7—15 км) в концентрированном водотоке (родники № 7—8).

В промежуточных родниках № 5—6, выклинивающихся ниже рудоносной зоны, аномальные содержания цинка отсутствуют в виду больших уклонов рельефа, значительной скорости движе-

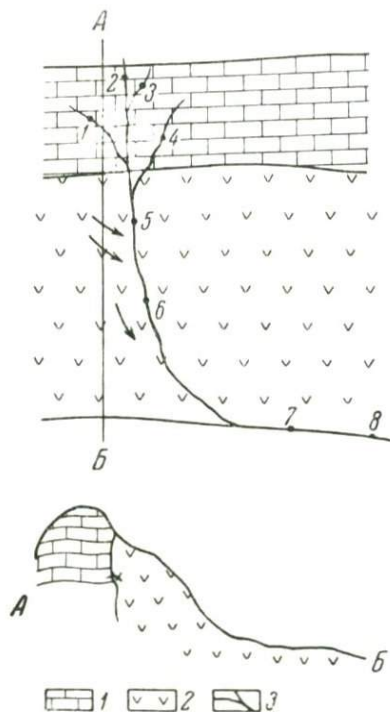


Схема расположения опробованных родников с аномалиями (1—4, 7—8) и фоновым содержанием цинка (5—6%)

1—известняки, вмещающие рудные тела; 2—эффузивные породы; 3—рудная жила; направление движения вод указано стрелками и цифрами—родники и их номера

ния подземных вод и разбавления их за счет подтока подземных вод со склонов.

На участке родников № 7—8 происходит снижение скоростей движения подземных вод (из-за выполаживания рельефа), разбавление становится ничтожным, происходит накопление цинка.

3. Значительная длина пути миграции цинка характеризует его устойчивость в подземных водах и позволяет производить оценку перспективности значительных площадей.

Особенности миграции молибдена могут быть сформулированы следующим образом:

1. Молибден мигрирует в водах лучше, чем свинец; его аномальные содержания отмечаются в большинстве водных проб, отобранных в зоне влияния рудных тел. Относительно большая устойчивость молибдена в подземных водах обуславливает более длинные пути его миграции по сравнению со свинцом.

2. Миграция молибдена в водах ограничивается влиянием карбонатных пород. Однако это влияние сравнительно невелико и отмечается лишь вблизи рудных тел. В некотором удалении от последних устанавливается равновесие между водой, обогащенной молибденом, и карбонатными породами. Эта особенность миграции молибдена выявлена при изучении вод, связанных с влиянием рудных тел и подтверждена проведенными нами экспериментальными исследованиями.

3. Наиболее четкие ореолы аномальных содержаний молибдена образуются в подземных водах месторождений, залегающих в гранодиоритах.

4. Молибден, по-видимому, способен образовывать вторичные аккумуляции в четвертичных отложениях на значительном удалении от месторождений (до 5 км).

Особенности миграции мышьяка следующие:

1. Аномальные содержания мышьяка обнаруживаются в подземных водах, циркулирующих в пределах мышьяково-полиметаллических месторождений.

2. Мышьяк, по-видимому, мигрирует на небольшие расстояния от источника оруденения (до 1 км).

Проведенные исследования дают возможность судить о глубинности гидрохимического метода поисков. Для подземных вод местного стока, дренируемых мелкой гидрографической сетью, она определяется величиной порядка 60—80 м (зона усиленной трещиноватости коренных пород), для трещинно-жильных вод регионального подземного стока глубинность метода значительно больше. Так, изучение трещинных вод, циркулирующих в зоне двух разломов, дало повышенные содержания ряда микроэлементов (Pb, Cu, Zn, Mo, Ag, Ni и др.). Глубина залегания рудных тел по этим разломам достигает 600—800 м.

Выявленные особенности миграции микроэлементов в подземных водах полиметаллических месторождений позволили установить следующие гидрохимические поисковые признаки (см. табл.).

Гидрохимические поисковые признаки	Микроэлементы	Фоновые содержания в <i>мкг/л</i> или в градациях спектрального анализа	Аномальные содержания, в <i>мкг/л</i> или в градациях спектрального анализа	Ориентировочная длина водных ореолов, <i>км</i>
Основные	Цинк . . . . .	До 100	Свыше 100	До 7—15
	Молибден . . . . .	" 15	" 15	" 1
	Мышьяк . . . . .	" 5,5	" 5,5	" 1
	Свинец . . . . .	Отсутствует и следы	Мало и есть	Не более 0,5
Вспомогательные	Медь . . . . .	До 1	Свыше 1	Не более 0,5 По-видимому, в пределах рудного тела
	Серебро . . . . .	Отсутствует и незначительные следы	Следы и мало	
	Никель . . . . .	Отсутствует и следы	Мало	
	Титан . . . . .	Следы и мало	Имеется и много	
	Хром . . . . .	Отсутствует и следы	Мало и есть	

Проведенные работы позволили также наметить участки гидрохимических аномалий, в пределах которых рудопроявления пока не известны. Всего выделено девять участков, которые могут представлять практический интерес.

ВСЕГИНГЕО

Н. И. ДОЛУХАНОВА

## ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА НЕКОТОРЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ АРМЕНИИ

В 1955 г. сотрудниками ГИН АН АрмССР проводились исследования на медноколчеданных, серноколчеданных и полиметаллических месторождениях северной Армении. Месторождения Аллавердской группы (Ахталское полиметаллическое, Шамлугское и Аллавердское медноколчеданные), Танзутское и Чибухлинское серноколчеданные месторождения находятся в сходных гидрогеологических условиях. В Аллавердской группе, кроме трещинных вод, выделяются пластово-трещинные, которые приурочены к туфоосадочным породам и образуют отдельные выдержанные горизонты. В других породах циркуляция вод происходит по крупным тектоническим трещинам и зонам дробления. На этих обводненных участках активно идут процессы окисления. Химический состав вод не обнаруживает связи с породами, в которых они циркулируют, но зависит от близости рудоносных зон и интенсивности процессов окисления сульфидов.

На месторождениях выделяются три типа вод: а) с кислой реакцией; б) с нейтральной реакцией, но с большим процентным содержанием  $\text{SO}_4^{2-}$ ; в) с нейтральной и слабощелочной реакцией при небольшом содержании  $\text{SO}_4^{2-}$ . Первые два типа вод, очевидно, связаны с окисляющейся рудной зоной, тогда как воды третьего типа не связаны с процессами окисления. Прямая и четкая связь минерализации вод с процентным содержанием в них сульфатов говорит об их минерализации за счет окисления сульфидов и растворения продуктов окисления: с падением содержания сульфатов в водах падает и содержание металлов. Воды с минерализацией до 0,5 г/л относятся к гидрокарбонатно-кальциевым, воды с минерализацией от 0,5 до 1,0 г/л принадлежат к смешанному типу, воды с минерализацией более 1 г/л являются сульфатными.

Воды первых двух типов ввиду их свободного общения с кислородом воздуха обладают более высоким окисляющим действием. Воды третьего типа, пропитывающего нескрытые участки рудной зоны, обладают пониженной кислотностью, меньшей минерализацией и не столь активны в процессах окисления сульфидов и растворения окисленных продуктов. Воды первых двух типов являются показателями наличия рудных зон, находящихся в стадии активного окисления, растворения и выноса металлов. Воды третьего типа — показатели неокисленной рудной зоны. Воды этих типов содержат металлы и могут использоваться с поисковыми целями.

Наибольшее содержание меди отмечено в водах первого типа: для рудничных и поверхностных вод Аллавердского месторождения, промывающих отвалы, оно достигает десятков мг/л; в водах второго и третьего типов присутствуют лишь следы меди.

Цинк встречается в водах месторождений в больших количествах. Наибольшее содержание этого металла обнаружено в кислых водах первого типа. С уменьшением содержания сульфат-иона в нейтральных водах содержание цинка резко падает. Так, в рудничных водах Ахталского месторождения содержание цинка падает с 240 мг/л в водах первого типа до 5,6 мг/л в водах второго типа и до 0,6 мг/л в водах третьего типа. В поверхностных водах содержание цинка соответственно составляет 4,5 мг/л в водах первого типа, 0,4 мг/л в водах второго типа и 0,12 мг/л в водах третьего типа. В рудничных водах Шамлуга содержание цинка снижается с 210 мг/л в водах первого типа до 0,09 мг/л в водах третьего типа.

Содержание свинца, однако, не меняется в зависимости от типа вод и, будучи в общем не столь велико (десятые доли мг/л), остается почти без изменения, независимо от реакции воды и содержания сульфатов.

Таким образом, на изученных месторождениях сульфаты не являются надежным показателем оруденения, а служат только показателем существования окисляющего рудного тела. Процессы

окисления руд здесь связаны главным образом с уже разрабатываемыми участками. Наоборот, сульфидные руды, не затронутые процессами окисления, вскрытые только разведочными выработками, сопровождались гидрокарбонатно-кальциевыми водами небольшой минерализации с содержанием цинка в десятых и сотых долях мг/л. Эти воды и являлись показателем наличия на глубине не вскрытой рудной зоны. Так же, как и содержание в водах сульфатов, на этих месторождениях для больших глубин не совсем показательна и связанная с ними общая минерализация вод. Она зависит от интенсивности процессов окисления и растворения, а не от величины оруденения.

Таким образом, при поисковых работах на месторождениях подобного типа нужно очень тщательно определять в водах металлы, присутствие которых даже в небольших количествах может быть поисковым признаком. В то же время косвенные признаки (рН раствора, содержание сульфатов, общая минерализация вод) при отсутствии интенсивных процессов окисления на этих месторождениях могут быть не показательными. Водные растворы выносят на поверхность значительное количество металлов. Так, по Ахтальскому полиметаллическому месторождению ежегодный вынос цинка с площади месторождения в 1 км<sup>2</sup> при общем водопритоке 13 л/сек достигает 1 т и меди 15 кг.

Поскольку на Ахтальском месторождении полностью отсутствуют выходы родников, нами была проведена почвенно-гидрохимическая съемка с определением цинка в воднорастворимой части почв. Цинк обнаружен в количестве от следов до 7 мг на 100 г почвы; наибольшее содержание цинка в воднорастворимой части почв приурочено к выходу рудоносных кварцевых порфиров. На площади распространения порфиритов, считавшихся нерудоносными, цинк отсутствовал или присутствовал только в следах, за исключением северо-запада района, где оконтурен участок с повышенным содержанием цинка. В дальнейшем непосредственно под этим участком разведочными работами было вскрыто одно из самых крупных рудных тел месторождения.

В последующие годы почвенно-гидрохимическая съемка была проведена к юго-востоку и западу от месторождения. Содержание меди на 100 г почвы составляет от следов до 0,7 мг, цинка — от следов до 38 мг. В результате проведенной съемки установлена зараженность района медью и цинком, причем она распространена не только по всему району, но, вероятно, далеко за его пределами. Эта площадь между Ахтальским и Шамлугским месторождениями может оказаться рудоносной. Обогащенные и обедненные металлами участки чередуются в виде полос меридионального направления, вытянутых по всей площади. Особенно это четко видно для меди и объясняется, по-видимому, наличием меридиональных сбросов, ограничивающих отдельные рудоносные зоны.

ГИН АН АрмССР проводились также опытные работы по составлению прогнозной гидрохимической карты северного склона Памбакского хребта, в бассейне р. Гарпи и верховьях р. Акстев на площади 270 км<sup>2</sup>. Район представляет собой горную, сильно расчлененную область с хорошо развитой гидросетью. Поверхностный сток (бурные горные речки) здесь преобладает над стоком подземным, родников зарегистрировано немного.

В геологическом отношении район сложен вулканогенной толщей эоцена, представленной разнообразными порфиритами, кварцевыми порфирами и ортофирами, прорванными интрузиями кварцевых диоритов, гранодиоритов, нефелиновых и щелочных сиенитов. На ряде небольших участков вулканогенная толща эоцена перекрыта четвертичными лавами.

В районе известны крупное Танзутское серноколчеданное месторождение и небольшое медное месторождение, расположенные в истоках р. Гарпи. Кроме того, известны небольшие серноколчеданные месторождения и рудопроявления в западной части района на склонах Памбакского хребта, в эоценовой вулканогенной толще.

В процессе съемки опробовались все речки, ручьи и их притоки, а также все выходы подземных вод. Там, где отсутствовали выходы вод и поверхностные водотоки, исследовалась воднорастворимая часть почв. Химические анализы производились в поле упрощенными методами, десятая часть проб была доставлена в город на контроль. Сухие остатки ряда проб были сданы на спектральный анализ. В водах определялись: тяжелые металлы — дитизином, медь — карбаматным методом, сульфаты — нефелометрическим и железо — роданидным методом.

По железу лучше всего оконтуривается район самого Танзутского серноколчеданного месторождения, которое заражает р. Гарпи до самого ее впадения в р. Памбак (на протяжении 10 км). Хорошо выделяются другие серноколчеданные рудопроявления. Некоторые из них обнаружены в результате наших работ и до этого были неизвестны. В районе медного месторождения повышенные содержания железа в водах не обнаружены.

Карта распространения сульфатов в водах повторяет карту распространения железа. Лучше всего выражен район Танзутского месторождения, где содержание сульфатов в поверхностных водах превышает 1 г/л. Повышенное содержание сульфатов установлено в водах р. Гарпи на протяжении 10 км. Хорошо выделяется также ряд серноколчеданных рудопроявлений, вблизи которых содержание сульфатов в водах достигает 300—1000 мг/л. Участок медного месторождения по сульфатам не выделяется так же, как и по железу.

Повышенные содержания меди в водах отмечены в районах Танзутского серноколчеданного и медного месторождений, причем Танзутское месторождение меди выделяется хуже, чем по

железу и сульфатам. Ввиду более слабой миграционной способности меди ее ореолы не выходят за пределы Танзутского и медного месторождений.

Сопоставляя результаты гидрохимических исследований с известными данными о геологическом строении и рудоносности района, можно сделать вывод об их полном совпадении и, следовательно, о целесообразности постановки подобных съемок на всей территории Армении, с целью обнаружения новых перспективных рудоносных площадей.

ГИН АН АрмССР

С. Р. КРАЙНОВ

## ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛОРИЙСКОМ НАГОРЬЕ СЕВЕРНОЙ АРМЕНИИ

Лорийское нагорье занимает площадь около 1500 км<sup>2</sup>, абсолютные отметки поверхности колеблются в пределах 1000—3000 м. Значительная расчлененность рельефа в сочетании со значительными осадками (600—800 мм в год) обуславливает обилие источников и мелких поверхностных водотоков.

Территория нагорья располагается в пределах двух почвенно-растительных зон: горно-луговой и горно-лесной, граница между которыми проходит на высоте 1500—1600 м над уровнем моря.

В геологическом строении нагорья принимают участие главным образом юрские и эоценовые породы, представленные туфами, туфопорфиритами, туфопесчаниками и порфиритами. Более ограниченное развитие имеют интрузивные породы (граниты, гранодиориты, кварцевые диориты) верхнеэоценового и частично верхнемелового возраста. Дочетвертичные породы смяты в складки северо-западного простирания и разорваны тектоническими нарушениями того же направления.

Кора выветривания представлена карбонатным ортоэлювием. Наибольшей мощности она достигает в пределах горно-лесной зоны; в горно-луговой зоне кора выветривания интенсивно эродирована и теряет свой карбонатный облик.

Рудопроявления Лорийского нагорья отличаются различной морфологией и вещественным составом, среди них выделяются:

1) пластовые рудопроявления, приуроченные к туфоосадочным породам среднего эоцена, в том числе: а) полиметаллические — в известковистых туфопесчаниках и б) медно-гематитовые — в туфах;

2) жильные рудопроявления, приуроченные к туфоэффузивным и эффузивным породам среднего эоцена и юры. По минералогическому составу они делятся на медноколчеданные, серноколчеданные, медно-мышьяковые, полиметаллические и др.

Жильные рудопроявления, как правило, приурочены к тектоническим нарушениям и сопровождаются первичными ореолами

гидротермального метаморфизма. Зона окисления на большинстве месторождений развита слабо; исключения представляют медноколчеданные месторождения, где она выражена достаточно полно. В окисленных рудах месторождений, расположенных в горно-луговой зоне, преобладают гидроокислы железа и ярозит, для месторождений горно-лесной зоны, кроме гидроокислов железа, характерны карбонаты меди.

В пределах нагорья выделяются:

1. Зона местного стока, расположенная выше местного базиса эрозии, которым служит поверхность Лорийского плато.
2. Зона регионального стока, расположенная выше регионального базиса эрозии, которым служит русло одной из крупнейших рек Северной Армении — Дзорагет.

В пределах зоны местного стока выделяются три подзоны: а) аэрации; б) грунтово-трещинных вод; в) пластово-трещинных вод.

Общая минерализация вод зоны местного стока не превышает 300 мг/л. Наиболее широким распространением в пределах нагорья пользуются грунтово-трещинные воды. Химизм этих вод зависит от принадлежности участка их формирования к определенной почвенно-растительной зоне. В пределах горно-луговой зоны химический состав грунтово-трещинных вод определяется особенностями литологического состава вмещающих пород (табл. 1).

Таблица 1

**Среднее содержание основных компонентов минерализации химического состава грунтово-трещинных вод в зависимости от вмещающих пород в пределах горно-луговой зоны (1955 г.)**

Водоносные комплексы	Na+K	Mg	Ca	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cu	pH	Pb, % встречаемости	Количество-анализов
	мг/л									
Нижний туфоэффузивный комплекс . . . . .	4,3	1,2	8,2	3,7	7,2	31,2	0,005	7,0	0	92
Нижняя туфоосадочная толща . . . . .	5,0	2,3	12,4	4,1	8,1	40,0	0,007	6,8	16	97
Верхняя туфоосадочная толща . . . . .	7,4	4,1	22,6	3,6	13	77,0	0,010	7,0	5	88
Карбонатная толща . . . . .	3,2	4,4	55,5	3,6	4,20	186,9	0,003	7,8	0	10

Как видно из табл. 1, каждый литолого-стратиграфический комплекс обладает особым, только ему присущим химизмом грунтово-трещинных вод. В пределах горно-лесной зоны наличие мощного слоя карбонатной коры выветривания приводит к повышенным содержаниям в грунтово-трещинных водах гидрокарбонат-иона и кальция (табл. 2).

## Средние содержания компонентов минерализации в грунтово-трещинных водах различных почвенно-растительных зон

Наименование зон	Na+K	Mg	Ca	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	pH	Количество анализов
	мг/л							
Горно-луговая . . . .	4,3	1,2	8,2	3,7	7,2	31,2	7,2	70
Горно-лесная . . . .	8,8	1,8	108,6	6,2	8,0	303,2	7,2	25

Химический состав грунтово-трещинных вод меняется не только по площади, но и по сезонам. Как правило, к концу летнего периода за счет срабатываемости запасов сульфатность грунтово-трещинных вод возрастает.

Пластово-трещинные воды по химическому составу аналогичны грунтово-трещинным, заключенным в тех же литолого-стратиграфических комплексах. Отличие указанных типов вод заключается в их химическом режиме. Для грунтово-трещинных вод характерны интенсивные сезонные колебания химического состава, пластово-трещинные воды этим колебаниям не подвержены.

Воды зоны регионального стока обладают более высокой минерализацией (до 500 мг/л) в связи с более длительной циркуляцией в коренных породах.

Как показали гидрохимические исследования на известных месторождениях, изменения в химическом составе подземных вод зависят от минералогического состава окисляющихся руд, принадлежности участка месторождения к определенной почвенно-растительной зоне, гидрогеологических условий и времени опробования вод.

Минералогический состав. Наибольшие изменения химического состава подземных вод характерны для подземных вод медноколчеданных месторождений. На этих месторождениях в водах источников наблюдается резкое увеличение содержаний SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (до 200 мг/л), меди (до 0,2 мг/л) и снижение pH (до 4,0). В водах источников в пределах полиметаллических месторождений наблюдается незначительное увеличение содержаний SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (до 40 мг/л) и цинка (до 0,7 мг/л).

Влияние особенностей почвенно-растительных зон на формирование химического состава грунтово-трещинных вод в пределах месторождений проявляется на медноколчеданных месторождениях. В горно-луговой зоне наблюдается резкое увеличение содержаний сульфат-иона и меди (до 0,2 мг/л), в горно-лесной зоне — только увеличение содержаний сульфат-иона. Содержание меди в водах месторождений горно-лесной зоны не увеличивается вследствие взаимодействия гидрокарбонат-

ных вод зоны с продуктами окисления халькопирита, в результате чего медь фиксируется на месте в виде основных карбонатов.

Влияние гидрогеологических условий. Характер влияния месторождений на химический состав вод различных гидрогеологических зон и подзон различен. Так, на медноколчеданных месторождениях наиболее интенсивные изменения характерны для вод подзоны аэрации (снижение pH, увеличение содержаний сульфат-иона, меди, железа, кобальта). В грунтовых водах этих же месторождений наблюдалось увеличение содержания сульфат-иона и меди (в горно-луговой зоне). В водах зоны регионального стока изменений под влиянием окисляющих руд не наблюдалось.

Влияние времени на формирование гидрохимических поисковых признаков отчетливо проявилось в пределах пластовых полиметаллических месторождений. Основным гидрохимическим признаком этих рудообразований является соотношение  $\frac{SO_4}{Cl}$ .

В течение летнего сезона по мере сезонного снижения запасов грунтово-трещинных вод значения  $\frac{SO_4}{Cl}$  в пределах месторождений возрастают в большей степени, чем вне месторождений. Поэтому к концу сезона рудопроявления в химическом составе грунтово-трещинных вод проявляются с большей четкостью. На участках разгрузки пластово-трещинных вод подобного изменения гидрохимических показателей не наблюдалось.

В результате проведенных исследований были выявлены поисковые признаки для каждого минералогического типа месторождений. Эти признаки приведены в табл. 3 и 4.

Рекогносцировочные поисковые работы на участках, перспективных на пластовые полиметаллические руды включали:

- 1) массовое опробование подземных вод с целью выявления гидрохимических аномалий;
- 2) геолого-гидрогеологическую интерпретацию выявленных аномалий с выделением перспективных участков;
- 3) проверку перспективных участков геологопоисковыми работами.

В качестве основных поисковых признаков использовались отношение  $\frac{SO_4}{Cl}$  и повышенные содержания в водах цинка. При интерпретации аномалий учитывались гидрогеологические условия и время опробования вод. В результате проведенных гидрохимических поисков на площади около 100 км<sup>2</sup> были намечены перспективные участки, большинство которых было подтверждено другими поисковыми методами (металлометрией) или непосредственным обнаружением рудопроявлений.

Далее, в процессе региональных исследований выяснилось, что гидрохимические методы могут применяться не только для

Характеристика основных гидрохимических показателей пластовых рудных тел в подземных водах

Гидрохимические показатели	Фоновые значения				Аномальные значения				Размеры ореолов, м			
	1954 г.		1955 г.		1954 г.		1955 г.		1954 г.		1955 г.	
	грунто- вые воды	пласто- вые воды	грунто- вые воды	пласто- вые воды	грунто- вые воды	пласто- вые воды	грунто- вые воды	пласто- вые воды	грунто- вые воды	пласто- вые воды	грунто- вые воды	пла- сто- вые воды

## Полиметаллическая формация

$\frac{SO_4}{Cl}$	1,0—2,5	2,0	2,0—3,0	2,5	2,5—3,0	2,0—2,8	3,0—10,5	2,5—3,0	0—300	—	300—500	—
Zn (мг/л)	До 0,20	—	—	—	0,2—0,7	0,2—0,5	—	—	500	—	—	—

## Медно-гематитовая формация

$\frac{SO_4}{Cl}$	2,0—2,5	—	—	—	До 2,5	—	—	—	0—300	—	—	—
-------------------	---------	---	---	---	--------	---	---	---	-------	---	---	---

Характеристика основных гидрохимических показателей  
жильных рудных тел в подземных водах

Рудные формации	Гидрохимические показатели	Фоновые значения показателей	Аномальные значения показателей	Размеры ореолов, м
Медноколчеданная				
Месторождения горно-луговой зоны (Желтая речка, Рудокоп)	SO <sub>4</sub> , мг/л	7—8	12—213,0	0—100
	Cu, мг/л	Нет	0,02—0,2	
	Fe, мг/л	0,1	0,2—1,2	
	Co	Нет	Есть	
	pH	6,5—7,5	6,5—3,8	
Месторождения горно-лесной зоны (Полян-Такян, . . . . . Агви . . . . .)	SO <sub>4</sub> , мг/л	7—8	10—30	400
	SO <sub>4</sub> Cl	До 8	8—20	
	Co	Нет	Есть	
	pH	6,5—7,5	6,5—5,8	
Серноколчеданная				
Медно-мышьяковая	SO <sub>4</sub> , мг/л	До 20	20—130,0	До 500
	Fe, мг/л	0,1	0,2—3,8	0—100
	Cu, мг/л	0,01	0,02—0,05	0—300
	As, мкг/л	1,0	1—3	?

оконтуривания отдельных рудных тел, но и для выделения гидротермально-метаморфизованных пород, включающих искомые рудопроявления. Изучение изменений химического состава подземных вод за счет гидротермальной метаморфизации велось на одном из месторождений с ярковыраженной метаморфизацией вмещающих пород (табл. 5). Последняя проявилась главным

Таблица 5

Изменение некоторых гидрохимических показателей на участках гидротермально-метаморфизованных пород и медных месторождений

Водовмещающие комплексы	Cl	SO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> /Cl	Cu		Количество анализов
				% встречаемости	среднее содержание, мг/л	
Безрудные породы . .	3,6	7,6	2,0	30	0,003	70
Гидротермально-измененные породы . . . . .	3,6	14,0	3,8	25	0,002	20
Медные месторождения	4,0	50,0	16,0	100	0,07	19

образом в окварцевании и пиритизации пород, следствием чего является широкое площадное заражение трещинно-грунтовых вод сульфат-ионом (до 15—25 мг/л). Увеличения содержаний рудных элементов в данном случае не наблюдалось.

В результате на месторождениях, окруженных гидротермально-измененными породами, формируются сложные гидрохимические ореолы, в строении которых выделяются:

1) внешняя часть, характеризующаяся сульфатностью грунтово-трещинных вод, незначительно превышающей нормальные значения, но имеющей распространение на значительных площадях вокруг рудных тел; происхождение этой части ореола связано с наличием гидротермальной метаморфизации пород;

2) внутренняя часть, характеризующаяся резким увеличением содержания сульфат-иона, рудных элементов, иногда снижением рН; эта часть ореола связана с окислением рудных тел месторождения.

Возможность оконтуривания площадей гидротермальной метаморфизации пород открывает новые перспективы перед гидрохимическим методом поисков. Во-первых, появляется возможность оконтуривать перспективные площади при помощи рекогносцировочных исследований. Во-вторых, выявление закономерностей в расположении гидротермально-метаморфизованных пород позволяет делать некоторые выводы, касающиеся металлогенических особенностей изучаемой территории.

Нами была исследована перспективная площадь около 400 км<sup>2</sup>, расположенная между двумя группами интрузий верхнеэоценового и верхнемелового возрастов. Региональное изучение подземных вод на этой территории позволило выявить в ее пределах внешнюю часть гидрохимического ореола, соответствующую площади гидротермальной метаморфизации, тяготеющей к верхнеэоценовой группе интрузий. Поисковые работы в пределах этой площади позволили обнаружить несколько рудопроявлений.

Учитывая территориальное тяготение площади гидротермально измененных пород к группе верхнеэоценовых интрузий, можно предположить, что именно эти интрузии являются рудообразующими для большинства рудопроявлений исследуемой территории. Эти данные согласуются с результатами геологических исследований.

ВСЕГИНГЕО

З. В. КОМАРОВА, Д. В. ПОЛФЕРОВ

### **ОПЫТ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ**

В настоящем сообщении изложены предварительные результаты гидрохимических исследований, проведенных в 1957 г. Северо-Западным геологическим управлением и ВИТРОм на сульфидных медно-никелевых месторождениях Кольского полуострова. Целью этих исследований являлось выяснение возможности

применения гидрохимического метода для поисков вышеуказанных месторождений в условиях областей, подвергавшихся материковому оледенению. При производстве анализов использовалась методика концентрирования элементов-индикаторов с помощью диэтилдитиокарбамата натрия; определение элементов производилось спектральным и колориметрическим методами.

Исследования проводились на двух хорошо изученных в геологическом отношении месторождениях. Первое, расположенное на берегу озера, представлено небольшими линзовидными интрузиями норитов и габбро-норитов, кулисообразно залегающими в метаморфизованных диоритах. Промышленное оруденение сосредоточено лишь в одной норитовой интрузии, выходящей под наносы в двух участках, размеры которых не превышают 80—100 м в длину и 50—60 м в ширину. Остальная часть интрузии перекрыта вмещающими породами. В эродированной части интрузия содержит медно-никелевое сульфидное оруденение вкрапленного и вкрапленно-агрегатного типа. Главными рудными минералами являются пирротин, пентландит, халькопирит. Зона окисления имеет мощность не более 1,0—1,5 м. Четвертичные отложения, покрывающие участок месторождения сплошным чехлом, представлены древнеозерными песками, мощностью 2—3 м, сменяющимися валунно-супесчаной мореной, мощность последней составляет 3—5 м.

Второе месторождение, находящееся на пологом склоне возвышенности, приурочено к полосе туфогенных и осадочных пород (филлиты, туффиты), подстилающихся и перекрытых метаморфизованными диабазами. Среди филлитов и туффитов согласно залегают крупные, выходящие под наносы пластообразные интрузии базито-гипербазитового состава, в нижней части которых концентрируются медно-никелевое оруденение вкрапленного типа, переходящее в брекчьевидное у непосредственного контакта с вмещающими породами. Главными рудными минералами являются пирротин, пентландит, халькопирит. В контакте с рудными телами вмещающие породы содержат медно-никелевое оруденение вкрапленного типа, быстро исчезающее при удалении от контакта.

Рудное поле второго месторождения также полностью перекрыто четвертичными отложениями — валунно-супесчаной мореной средней мощностью 10—12 м, а на отдельных участках — до 20—27 м. В пониженных участках рельефа морена перекрыта торфяно-болотными отложениями.

Воды обоих месторождений подразделяются на три типа: поверхностные, грунтовые и трещинные. Характерной особенностью их является гидравлическая взаимосвязь, обусловленная перекрытием кристаллических пород сплошным чехлом рыхлых четвертичных отложений.

На первом месторождении обилие поверхностных вод обусловлено не только наличием большого озера, но и развитием до-

вольно густой дренажной сети, состоящей из мелких ручьев и речек, стекающих со склонов окружающих возвышенностей в направлении, перпендикулярном простиранию рудных тел. Подземные воды, имеющие также широкое распространение, находятся в трещинах кристаллических пород и порах рыхлых четвертичных отложений. Трещиноватость коренных пород распространяется до глубины 150—200 м.

Подземные воды грунтового и трещинного типов были вскрыты в ходе разведки первого месторождения почти всеми скважинами и горными выработками на глубине до 3 м, часть скважин фонтанировала. По данным многолетних стационарных гидрогеологических наблюдений, режим подземных вод здесь зависит в основном от количества выпадающих осадков и температуры воздуха.

На втором месторождении поверхностные воды распространены не так широко, как в первом случае; система дренирования развита значительно слабее. Однако подземные воды также имеют повсеместное развитие, будучи связаны с трещинами кристаллических пород и с ледниковыми отложениями; зона трещиноватости коренных пород распространяется значительно глубже — до нескольких сотен метров от дневной поверхности. Уровень грунтовых вод залегает на глубине от 0,2 до 3 м, часть разведочных скважин фонтанирует.

На обоих месторождениях изучались все три типа вод — трещинные, поверхностные и грунтовые, однако, более или менее достаточное количество фактического материала имеется только для грунтового типа вод. Отбор проб производился в соответствии с временными методическими указаниями А. А. Бродского (1957 г.).

Трещинные воды опробовались из самоизливающихся скважин, поверхностные — из ручьев, речек и озер. Расстояние между точками отбора проб поверхностных и трещинных вод колебалось в пределах от 15 до 100 м.

Грунтовые воды опробовались из закопашек на профилях, проходящих вкрест простирания рудных тел. Расстояние между профилями на первом месторождении было принято в 40 м, на втором месторождении — 200 м. Эти размеры были продиктованы в основном плотностью имеющейся разведочной сети. Расстояние между точками отбора проб по профилю колебалось в пределах от 80 до 10 м, составляя обычно 40 м. Вблизи рудных тел расстояния между закопашками сокращались до 10 м, что объясняется поведением элементов-индикаторов в условиях Севера: исследования показали, что уже на расстоянии первых десятков метров от рудного тела его влияние на химический состав грунтовых вод сказывается мало.

Объем проб составлял 1—1,5 л (тарой для проб служили тщательно промытые стеклянные бутылки, закупориваемые корковыми пробками). Всего на обоих месторождениях, на площади

около 2,5 км<sup>2</sup>, было отобрано около 550 проб. В каждой пробе определялись: рН, сульфат-ион, хлор-ион и тяжелые металлы (никель, медь, кобальт, свинец и цинк). Последние определялись по методике, разработанной Е. А. Сергеевым и Л. С. Марголиным<sup>1</sup>.

Часть определений меди проводилась колориметрически по методу, разработанному в ВИТре Л. С. Марголиным. Сущность этого метода заключается в разрушении карбамата железа и других металлов, исключая медь, раствором иодида ртути с иодистым калием в присутствии цитрата калия и последующим сравнением экстракта, окрашенного карбаматом меди с эталоном. Разрыв между отбором и анализом проб не превышал 1—2 суток.

Основными элементами-индикаторами изученных ореолов рассеяния оказались никель и медь, в некоторых пробах обнаружен кобальт, но какой-либо закономерности в поведении этого элемента отметить не удалось. Свинец и цинк ни в одном случае не дали четких результатов и в большинстве проб вообще не установлены.

Из двух указанных элементов-индикаторов наилучшие результаты дает никель; аномальные содержания его в подавляющем большинстве случаев располагались над рудными телами. Лишь на одном профиле второго месторождения четкая аномалия по никелю приурочена к безрудной ультраосновной интрузии. Аномалии меди имеют пятнистый характер и встречаются не только над рудными телами, но и сравнительно далеко от них.

Фоновные значения никеля и меди в грунтовых водах обоих месторождений — от нуля до 2 *мкг/л*, аномальные значения — от 6 до 150 *мкг/л* и выше. Наиболее интенсивные аномалии установлены на первом месторождении, на участках с наиболее богатым оруденением, причем мощность рыхлых отложений над рудными телами в этих случаях составляла 1—2 м. На втором месторождении, при мощности морены 5—7 м, аномальные значения никеля достигают 32 *мкг/л* и меди 4 *мкг/л*. При мощности морены 15—18 м аномальные значения никеля — 6 *мкг/л*, меди — 8 *мкг/л*. Наконец, при мощности морены 20—27 м аномальные значения никеля снижаются до 3 *мкг/л* и меди до 2 *мкг/л*.

Что касается косвенных поисковых признаков — сульфат-иона и величины рН, то по первому из них получены неплохие результаты. Аномальные содержания тяжелых металлов (никеля, меди) обязательно сопровождаются повышенными содержаниями сульфат-иона, но величина рН определенной фиксации аномалий не дают. На обоих месторождениях грунтовые воды имеют слабокислую реакцию: значения рН колеблются от 5 до 7, без ясно видимой взаимосвязи с фоновыми и аномальными значениями элементов-индикаторов.

<sup>1</sup> Е. А. Сергеев, Л. С. Марголин. Определение микроэлементов в природных водах со спектроаналитическим окончанием, 1957.

На рис. 1—3 приведены характерные графики содержаний элементов-индикаторов, сульфат-иона и рН по профилям обоих месторождений.

На рис. 1 отчетливо видно совпадение аномальных значений всех трех элементов-индикаторов — никеля, меди и кобальта. Ме-

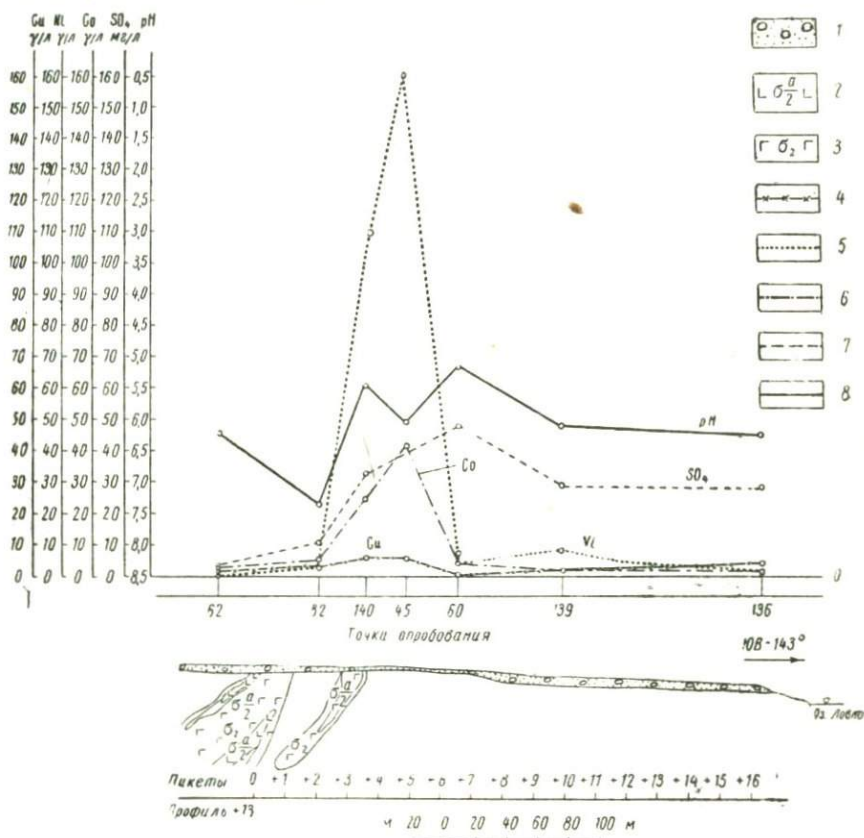


Рис. 1. Графики содержаний никеля, меди, кобальта, сульфат-иона и рН в грунтовых водах первого месторождения

1—четвертичные отложения (нечетвертичные); 2—нориты и габбро-нориты рудные; 3—нориты и габбро-нориты безрудные; линии значений: 4—меди, 5—никеля, 6—кобальта, 7—сульфат-иона, 8—рН

нее четко выражены аномалии сульфат-иона и рН, причем они несколько более смещены по отношению к коренным рудным выходам по сравнению с аномальными содержаниями никеля, меди и кобальта.

Характерно резкое отличие количественных содержаний элементов-индикаторов в рудах и водных ореолах рассеяния. Так, если по данным бороздowego и кернового опробования соотношение никеля с медью в руде равно в среднем 2, то на прилагаемом графике оно возрастает до 30—35. В рудах содержание меди

в сотни раз превышает содержание кобальта, однако, в водном ореоле данного профиля это соотношение составляет всего 7—8.

Для поверхностных вод (рис. 2) отмечается отчетливое совпадение аномалий никеля, меди и кобальта, однако, по значению рН рудное тело совершенно не фиксируется. По-прежнему остаются резко повышенными соотношения никеля и кобальта с медью.

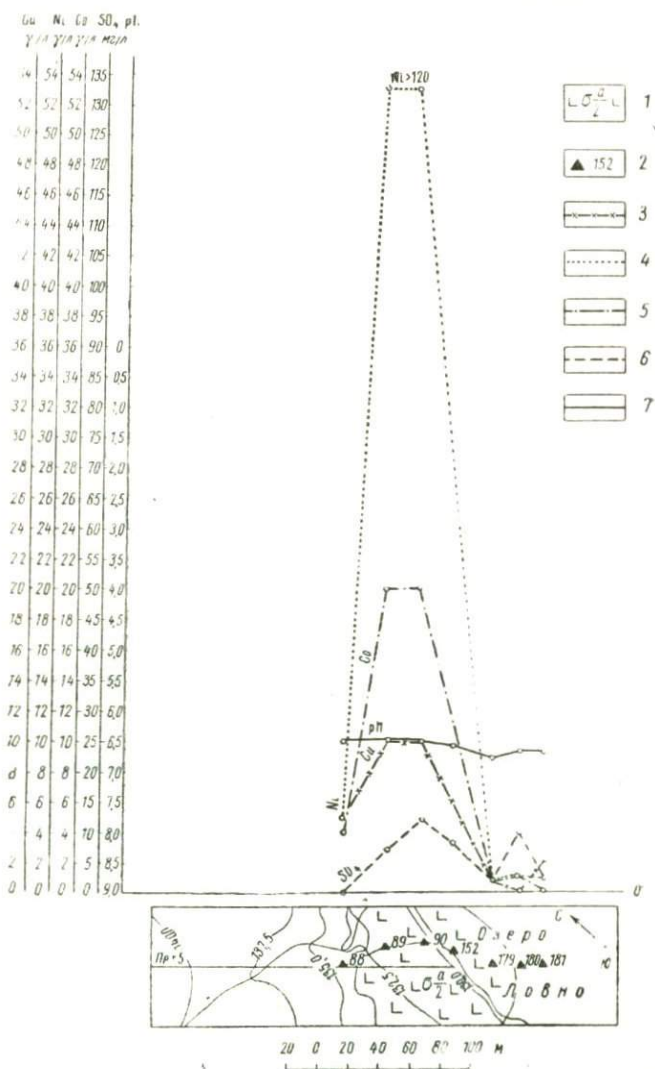


Рис. 2. Графики содержания никеля, меди, кобальта, сульфат-иона и рН в поверхностных водах первого месторождения

1—нориты и габбро-нориты рудные; 2—точка опробования и ее номер; линии значений: 3—меди, 4—никеля, 5—кобальта, 6—сульфат-иона, 7—рН

Боле сложное геологическое строение рудного поля второго месторождения отчетливо отражено на графиках содержаний элементов-индикаторов (рис. 3). Серия пластовых тел ультраосновных пород в юго-западной половине профиля фиксируется повышенными значениями никеля и сульфат-иона, но максимум

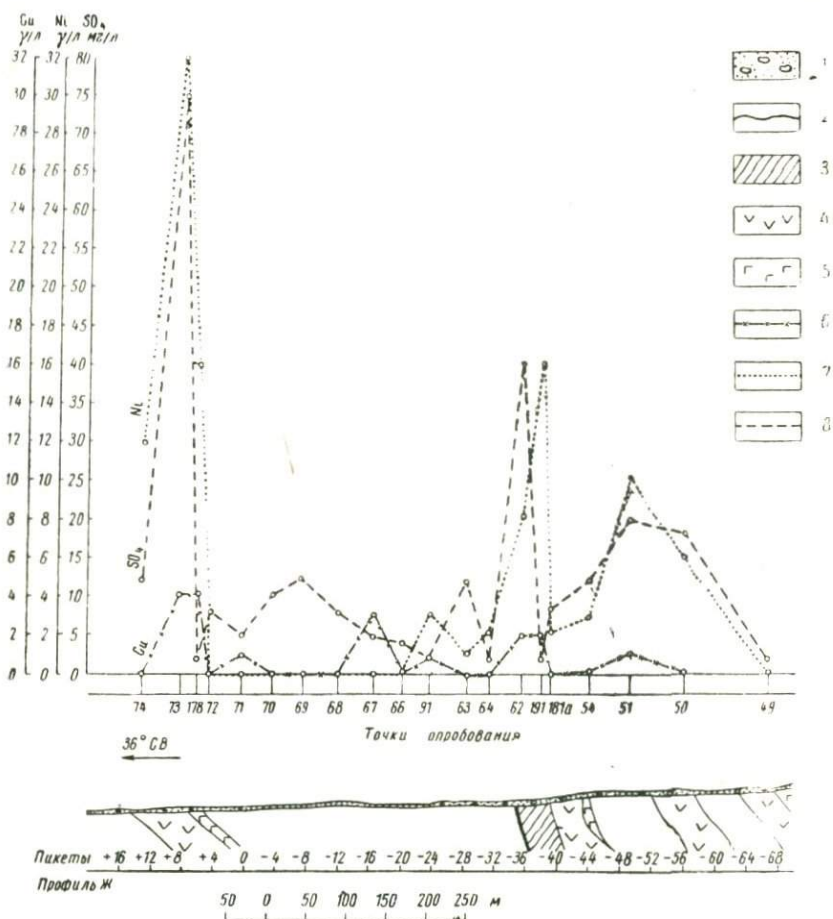


Рис. 3. Графики содержаний никеля, меди и сульфат-иона в грунтовых водах второго месторождения

1—четвертичные отложения; 2—брекчиевидная руда; 3—перидотиты серпентинизированные оруденелые; 4—нерасчлененные ультраосновные породы, безрудные и с некондиционным оруденением; 5—габбро; линии значений: 6—меди, 7—никеля, 8—сульфат-иона

по этим двум индикаторам расположен над рудным телом. Далее к северо-востоку, на интервале вмещающих пород, отмечается изменчивый (пилообразный) характер всех трех кривых, причем содержания меди местами (проба № 67) превышают те, которые отмечались над рудным телом (пробы № 62, 191). Интрузия

ультраосновных пород с некондиционным оруденением, находящаяся в северо-восточной части профиля, четко устанавливается по никелю, меди и сульфат-иону, причем абсолютные содержания никеля и сульфат-иона в данном случае выше, чем над рудным телом. Удовлетворительного объяснения этому факту пока не найдено.

Как и на первом месторождении, соотношение никеля с медью в водных ореолах значительно выше по сравнению с соотношением в руде.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие предварительные выводы:

1) в условиях Кольского полуострова гидрохимический метод поисков медно-никелевых месторождений по грунтовым водам может дать положительные результаты; пригодность для этих целей поверхностных и трещинных вод пока не выяснена из-за недостаточного количества фактического материала;

2) основными элементами-индикаторами при поисках указанных месторождений могут служить никель и медь, вспомогательным индикатором — сульфат-ион;

3) смещение ореолов никеля и меди от рудных тел невелико — первые десятки метров, что вынуждает применять густую сеть пробоотбора;

4) содержание элементов-индикаторов в грунтовых водах зависит не только от их концентрации в рудах, но и от мощности наносов над рудными телами; по грунтовым водам аномалии могут фиксироваться при мощности наносов не более 10—15 м;

5) достаточно производительный метод концентрирования тяжелых металлов с помощью диэтилдитиокарбамата натрия позволяет анализировать пробы воды, содержащие 1 мкг/л тяжелых металлов;

6) допускаемая погрешность спектрального анализа (до 200—300%) при незначительной разнице между фоновыми и аномальными содержаниями тяжелых металлов в водах затрудняет выявление аномалий, что особенно проявляется при большой мощности наносов; это вызывает необходимость разработки более точных методов определения тяжелых металлов;

7) в общем комплексе геологопоисковых работ в условиях Заполярья гидрохимический метод можно с успехом применять при детальном исследовании участков, перспективных по медно-никелевому оруденению.

ВИТР

К. Е. ПИТЬЕВА

## К МЕТОДИКЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В 1956 г. кафедрой гидрогеологии Московского государственного университета и Централизованной поисково-ревизионной экспедицией геологоразведочного треста были проведены опыт-

ные работы с целью выяснения возможностей использования гидрохимических методов при поисках редкометалльных месторождений в районе Ловозерского щелочного массива; работы дали положительные результаты.

Ловозерский массив, расположенный в центральной части Кольского полуострова, представляет собой изрезанную речными долинами и ледниковыми цирками горную область, возвышающуюся на 800—900 м над болотистой равниной. В структурном отношении — это сложная интрузия щелочных пород, залегающая среди гнейсов и гранито-гнейсов архея, а также осадочных, эффузивных и туфогенных пород девона. Интрузивные породы сильно трещиноваты, причем преобладают трещины, полого падающие внутрь массива под углами от 4 до 15°, вследствие чего породы отчетливо расслоены и напоминают стратифицированную толщу.

Гидрогеологические условия Ловозерского массива определяются его структурными особенностями, характером и степенью трещиноватости пород, размерами и положением областей питания и разгрузки подземных вод, а также климатическими факторами (количеством осадков, длительностью отрицательных температур, замедленным таянием снега и ранним наступлением заморозков).

Подземные воды являются преимущественно трещинными. По условиям их залегания и приуроченность к породам различного петрографического состава различают грунтовые и пластовые воды (последние, как правило, являются напорными). Для гидрохимических поисков наибольшее значение имеют грунтовые воды, образующие поток, направленный от водоразделов к полого-наклонной равнине. Источниками питания грунтовых вод являются атмосферные осадки, поверхностные воды озер, рек и временных горных потоков. Области питания атмосферными осадками приурочены к платообразным водоразделам и пологим участкам на склонах гор. Поверхность грунтовых вод в областях питания характеризуется высшими абсолютными отметками (от 880 до 550 м) и наибольшими глубинами залегания (более 250 м). По мере их движения по склонам гор отметки поверхности грунтового потока постепенно снижаются до 250—200 м, а глубины залегания уменьшаются до 50 м и менее. Склоны гор представляют собой область, где наряду с питанием осуществляется дренирование грунтовых вод долинами рек и ключей.

Химический состав подземных вод тесно связан с минералогическим петрографическим составом интрузивных пород. Последние содержат много щелочей (калиево-натриевых полевых шпатов, эгирин, альбита, нефелина, содалита), а также минералы, богатые цирконием, титаном, бериллием, ниобием. Такой состав пород обуславливает гидрокарбонатно-натриевый характер подземных вод, незначительные количества кальция и магния, повышенное

содержание фтора и, кроме того, наличие в водах редких и рассеянных элементов.

Проведенные гидрохимические исследования позволили:

а) выяснить некоторые особенности миграции титана, циркония, бериллия и ниобия в условиях интенсивного подземного и поверхностного стока в районе с избыточным увлажнением;

б) определить для перечисленных элементов фоновые и аномальные значения в природных водах;

в) оконтурить участки пород с повышенными концентрациями редкометалльных минералов.

Прямыми гидрохимическими поисковыми признаками редкометалльного оруденения являются повышенные содержания в природных водах титана, циркония, бериллия и ниобия. Наибольшую миграционную способность эти элементы имеют в грунтовых водах, гораздо меньшую — в поверхностных водах, что объясняется значительным разбавлением поверхностных вод атмосферными осадками, а также, по-видимому, интенсивностью окислительных процессов, которые вызывают выпадение из раствора ряда элементов (марганца, бериллия).

Характер миграции элементов в грунтовых водах на различных участках неодинаков и зависит главным образом от мощности зоны аэрации. Поэтому площади ореолов повышенных содержаний титана, циркония, бериллия и ниобия в областях питания больше, чем в областях одновременного питания и разгрузки.

Размеры ореолов повышенных содержаний элементов в природных водах Ловозерского массива следующие: в поверхностных водах — бериллия 350—400 м, титана 700—750 м, циркония 700—800 м, ниобия 100—150 м, в грунтовых водах — бериллия 700—750 м, титана 1000—1300 м, циркония 800—1100 м, ниобия 350—400 м.

К косвенным поисковым признакам отнесены:

1. Для бериллия:

а) содержание стронция и бария, элементов геохимически родственных бериллию;

б) содержание марганца как элемента, характерного для минералов пегматитовых жил и не характерного для большинства других пород Ловозерской интрузии (по данным О. А. Воробьевой, среднее содержание марганца в породах 0,36%);

в) отношение  $\frac{\text{Cl}}{\text{HCO}_3}$ ; в связи с относительно большим содержанием хлора в некоторых минералах пегматитовых жил и пойкилитовых нефелиновых сиенитов на участках редкометалльного оруденения гидрокарбонатно-натриевые воды становятся хлоридно-гидрокарбонатно-натриевыми.

2. Для циркония — содержание в водах ванадия, фосфора и олова.

3. Для ниобия — содержание фосфора и ванадия.

4. Для титана — содержание циркония.

Фоновые и аномальные значения прямых и косвенных поисковых признаков приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Элементы	Содержание, <i>мкг/л</i>		Группы по интенсивности проявления аномалий, <i>мкг/л</i>
	фоновое (макс.)	аномальное (миним.)	
Цирконий . . . . .	До 1,0	>1,0	Группа а 1,1—100 б 100—500 в >500
Титан . . . . .	5,0	>5,0	
Бериллий . . . . .	0,05	>0,05	
Ниобий . . . . .	1,0	>1,0	а 0,051—1,0 б 1,0—10,0 в >10,0
Стронций . . . . .	20	>20	
Барий . . . . .	10	>10	
Марганец . . . . .	10,0	>10,0	Не установлены
Ванадий . . . . .	0,5	>0,5	
Фосфор . . . . .	20,0	>20,0	
Мышьяк . . . . .	2,0	>2,0	
Олово . . . . .	0,1	>0,1	
Отношение $\frac{Cl}{HCO_3}$	0,3	>0,3	

В качестве фоновых значений для гидрохимических поисковых признаков на территории Ловозерского массива приняты содержания элементов в водах, химический состав которых не подвержен влиянию рудных тел и зависит от характерных для района геологических и гидрогеологических условий.

Аномальные или повышенные значения поисковых признаков связаны с изменением химического состава подземных вод под влиянием рудопроявлений.

Средние фоновые и аномальные содержания титана, циркония, бериллия и ниобия (в *мкг/л*) приводятся в табл. 2.

Приведенные данные позволяют сделать следующие выводы:

1. Средние фоновые значения бериллия, титана, циркония и ниобия в подземных и поверхностных водах Ловозерских тундр почти одинаковы. Наибольшие фоновые значения имеет титан, меньшие — ниобий и цирконий и минимальные — бериллий, что объясняется, очевидно, различной растворимостью минералов, в состав которых входят эти элементы. Следовательно, наибольшей способностью к накапливанию в природных водах обладает титан; цирконий и ниобий имеют небольшую способность к накапливанию; бериллий — минимальную.

2. Наибольшее среднее аномальное значение характерно для титана, минимальное — для бериллия.

3. Средние аномальные значения всех указанных элементов в подземных водах значительно выше, чем в поверхностных.

Т а б л и ц а 2

Элементы	Среднее фоновое содержание	Среднее аномальное содержание
----------	----------------------------	-------------------------------

**В поверхностных водах**

Бериллий . . . . .	0,028	0,126
Титан . . . . .	1,72	25,4
Цирконий . . . . .	0,523	7,27
Ниобий . . . . .	0,684	3,6

**В подземных водах**

Бериллий . . . . .	0,022	2,25
Титан . . . . .	1,57	255,1
Цирконий . . . . .	0,554	138,8
Ниобий . . . . .	0,7	14,4

Гидрохимические исследования имели целью: 1) выявление по водным ореолам рассеяния бериллия, титана и ниобия пегматитов с бериллиевой и титано-ниобиевой минерализацией; 2) поиски эвдиалитовых люавритов с повышенными концентрациями эвдиалита по ореолам рассеяния циркония.

В табл. 1 выделены три группы гидрохимических аномалий по содержанию в водах бериллия. В геологическом отношении они интерпретируются следующим образом:

а) аномалии первой группы (с содержанием бериллия от 0,051 до 1,0 *мкг/л*) свидетельствуют о принадлежности пегматитовых жил к эвдиалитовым люавритам;

б) аномалии второй группы (содержание бериллия от 1 до 10 *мкг/л*) характерны для пегматитовых жил с бериллиевым оруденением, приуроченных к породам лопаритоносного комплекса;

в) аномалии с наибольшим содержанием бериллия (10, иногда 40—50 *мкг/л*) указывают на бериллиевое оруденение в пегматитовых жилах среди пойкилитовых нефелиновых сиенитов.

В целом проведенные гидрохимические исследования доказали целесообразность гидрохимических поисков редкометалльного оруденения в условиях избыточного увлажнения с незначительной общей минерализацией природных вод.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИОБИЯ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ И ВЫТЯЖКАХ ИЗ РЫХЛЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ ПЕГМАТИТОВ

В настоящей статье излагаются результаты разработки методики концентрирования микроэлементов в природных водах путем соосаждения с карбонатом кальция. Концентрирование водных проб производилось непосредственно у точек водоотбора и при переходе от одних точек отбора проб к другим.

Принцип метода ускоренного соосаждения, протекающего в течение 20—25 мин. вместо прежних 2—2,5 час., состоит в принудительной коагуляции взвешенных частиц карбоната кальция добавкой (после всех компонентов) небольшого количества соли железа, которая образует золь гидроокиси железа, знак заряда частиц которого противоположен знаку заряда частиц карбоната. Скоагулированный при ускоренном методе осадок не пристает к стенкам и дну сосуда, как при неускоренном соосаждении, и почти полностью опускается вниз; что дает возможность проводить соосаждение в бутылке и собирать осадок в небольшой пробирке, соединенной с бутылкой посредством резиновой муфты, аналогично тому как это производится при соосаждении с сульфидом кадмия.

Была проверена количественная сторона процесса соосаждения для всех микроэлементов, которые прежде соосаждались по неускоренной методике, и оказалось, что в новых условиях полнота соосаждения не уменьшается. В частности, для ниобия она остается в пределах 90—100%.

Техника отбора проб и соосаждения микроэлементов с карбонатом кальция следующая: в пробирки стандартного размера (внутренний диаметр 22—23 мм равен или немного больше внутреннего диаметра горлышка бутылки) заранее разливают по 10 мл 2 н. раствора хлорида кальция, закупоривают их резиновыми пробками и сохраняют до момента отбора проб. В маршрут берется столько пробирок, сколько намечается отобрать проб. Кроме этих пробирок и бутылки необходимо иметь склянку с раствором соды, скляночку с раствором хлорного железа и два маленьких мерных цилиндра.

Бутылку ополаскивают анализируемой водой и заполняют до метки, соответствующей 1 л. Затем выливают в нее раствор  $\text{CaCl}_2$  из пробирки, приливают 5 мл раствора  $\text{FeCl}_3$  (1 мг  $\text{Fe}/\text{мл}$ ) и добавляют в три приема раствор соды той же концентрации, что и  $\text{CaCl}_2$ . После добавления каждого раствора содержимое бутылки перемешивают 5—10 сек. Первая порция соды 3 мл, вторая 5 мл и третья 5 мл. Соду добавляют с интервалами 1—2 мин., после добавления всей соды приливают еще 2 мл раствора

$\text{FeCl}_3$ <sup>1</sup>, к муфте присоединяют вплотную с горлышком бутылки пробирку, освободившуюся от хлорида кальция, и содержимое бутылки энергично встряхивают в течение 2 мин. (минута встряхивания, минута покоя и снова минута встряхивания).

Энергичное встряхивание способствует коагуляции и быстрому осаждению карбоната. По окончании встряхивания устанавливают бутылку дном вверх (слегка наклонно) и оставляют в таком положении 20 мин., давая осадку собраться на дне пробирки. В это время можно переходить к следующей точке отбора проб. По истечении 20—25 мин. пробирку отсоединяют, закупоривают пробкой и сохраняют осадок  $\text{CaCO}_3$  с соосажденными микроэлементами до момента анализа.

Подготовку концентрата к химическому анализу производят следующим образом: воду осторожно сливают с осадка карбоната кальция. Растворяют осадок в минимальном количестве концентрированной  $\text{HCl}$  (1,5 мл). Переносят раствор из пробирки в делительную воронку и споласкивают в ту же воронку, далее производят определение ниобия экстракционно-роданидным методом.

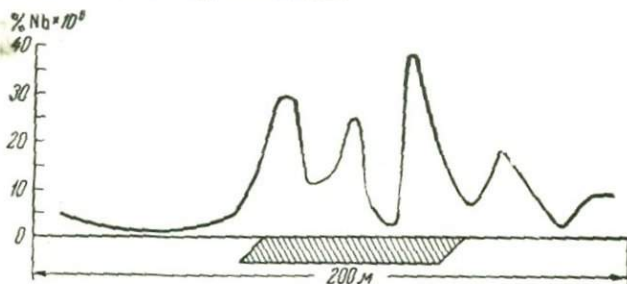
Определяемый минимум ниобия в пробе, при использовании наиболее чувствительного варианта роданидного метода (с эфирной экстракцией роданидного комплекса), — 2 мкг. Как было указано выше, микроколичества ниобия почти полностью соосаждаются с карбонатом кальция, поэтому при соосаждении из 1 л воды все количество ниобия попадает в анализируемый осадок и чувствительность определения в пересчете на первоначальный объем составит 2 мкг/л.

Недостаток водонесточников в районе месторождений может явиться причиной пропуска аномальных концентраций, а следовательно и месторождений, поэтому нами была разработана методика вытяжек ниобия из рыхлых отложений.

Известно, что ниобий образует хорошо растворимые комплексы с винной кислотой. Поэтому была применена водно-виннокислая вытяжка. Количество винной кислоты было подобрано такое, чтобы оно не мешало последующему концентрированию ниобия соосаждением с карбонатом кальция. Большой вес пробы (400 г в 2 л воды) обеспечивал хорошее усреднение и устранял необходимость трудоемкой операции фракционирования. Отстаивание ускорялось добавкой солей алюминия. В аликвотной части отстоя (1 л) соосаждали ниобий с карбонатом кальция, так же как в пробах вод, и анализировали коллектор  $\text{CaCO}_3$  на ниобий. Большой вес пробы обеспечивал высокую чувствительность, в пересчете на исходный материал, порядка  $10^{-6}\%$  Nb.

<sup>1</sup> Ранее нами было найдено, что в добавление необходимого количества соли железа в процессе осаждения  $\text{CaCO}_3$  способствует более полному соосаждению ряда микрокомпонентов. Вторичная добавка железа (после смешения всех реагентов) ускоряет коагуляцию и осаждение  $\text{CaCO}_3$  с 1,5—2 час. до 20—25 мин.

Результаты полевого опробования. Проведенные в 1956 г. при участии авторов полевые работы показали на редкометальных пегматитовых месторождениях присутствие ниобия в поверхностных водах над жилой в количестве 5—10 мкг/л и в шурфах над жилой до 17 мкг/л. Водосточники для отбора проб выбирались в соответствии с общими положениями гидрохимического метода поисков.



График, характеризующий зависимость извлекаемого ниобия от расстояния до жилы. Заштриховано схематическое положение жилы

С удалением от жилы концентрация ниобия в водах резко падает, поэтому водный ореол рассеяния может быть прослежен лишь на небольших расстояниях от рудных тел. Опробование рыхлых отложений по описанной методике вытяжек и концентрирования показало возможность выявления локальных ореолов рассеяния редкометальных пегматитов. Содержание извлекаемого водно-виннокислой вытяжкой ниобия в пробах, отобранных по профилям, ориентированным вкrest простирания жилы (см. рисунок) колебалось от  $5 \cdot 10^{-6} \div 7 \cdot 10^{-6} \%$  (фоновые значения до  $15 \cdot 10^{-6} \div 40 \cdot 10^{-6} \%$  (аномальные значения). Аномальные значения превышают фоновые в три-шесть раз и легко выявляются описанным методом.

Таким образом, комбинацией анализа вод и водных (водно-винно-кислых) вытяжек при одном и том же методе концентрирования можно получить взаимно дополняющие данные для уверенного оконтуривания ореолов рассеяния редкометальных месторождений.

Бесплатно

1211

30x