АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ РСФСР
БУРЯТСКОЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Сибирская секция Междуведомственного совета по проблеме «Научные основы геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых»

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СИБИРИ И НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ

Иркутск
1973

Академия наук СССР
Сибирское отделение
Институт геохимии

Министерство геологии
РСФСР
Бурятское территориальное
геологическое управление

550.8+550.4

Сибирская секция Междуведомственного совета по проблеме "Научные основы геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых"

1020

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СИБИРИ И НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ



Иркутск
1973

УДК 550.84

Редакционная коллегия:

В.В.Поликарпочкин (главный редактор),
Г.М.Гундобин, Р.И.Лубов, Л.М.Шиманский

Предисловие

В 1972 г. в г.Улан-Удэ состоялась II сессия Сибирской секции Междуведомственного совета по проблеме "Научные основы геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых". Она была посвящена вопросам литогеохимических поисков рудных месторождений. Выбор этого направления работы сессии определился тем, что литогеохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния широко применяются на практике, на них расходуются значительные средства и поэтому необходимо убедиться в результативности используемых методов и принять меры для дальнейшего повышения их эффективности. Уже вышел из печати сборник, содержащий часть рассмотренных сессией докладов*). Настоящая книга представляет собой второй сборник, составленный на основе доложенных материалов.

В нем приняты те же подразделения, что и в предыдущем. В первом разделе характеризуется применение геохимических методов поисков по вторичным ореолам рассеяния в территориальных геологических управлениях и дается оценка получаемых при этом результатов. Этому вопросу посвящены 4 статьи. Авторы отмечают, что рудные месторождения обнаруживаются применяемыми методами литогеохимических съемок, но вместе с тем на площадях, характеризующихся развитием закрытых ореолов дефлюкционного вида, эффективность литогеохимических поисков резко снижается (это отмечается по Иркутскому, Бурятскому и Читинскому геологическим управлениям).

Во втором разделе помещены статьи, касающиеся характеристики вторичных ореолов рассеяния и процессов их образования. Авторы придерживаются различных точек зрения, но довлеют материалы, которые можно истолковать как указывающие на широкое развитие ореолов дефлюкционного (или диффузионно-дефлюкционного) вида. Одна из статей посвящена теории таких ореолов, рассматриваемой на основе математической модели. Так как образование вторичных ореолов рассеяния тесно связано со склоновыми процессами, к участию в сборнике привлечены геоморфологи. Это направление открывается статьей известного специалиста по склоновым процессам профессора МГУ С.С.Воскресенского.

---

*) "Вторичные ореолы рассеяния и их использование при поисках рудных месторождений на территории Сибири". Бурятское книжное издательство, Улан-Удэ, 1973.

В третьем разделе сгруппированы статьи, в которых рассматриваются вопросы методики поисков месторождений по вторичным ореолам рассеяния. Строгое разделение статей по тематике невозможно, так как в ряде их излагаются как характеристика ореолов, так и описание методов их выявления. Отнесение каждой из таких статей ко второму или третьему разделу определялось тем, какой материал в них преобладает. В методических статьях рассмотрен вопрос о плотности опробования при площадных геохимических съемках и приемы литогеохимических съемок применительно к особенностям конкретных территорий. Одна из статей посвящена вопросу, непосредственно не связанному с геохимическими поисками, - геологическому картированию в условиях слабой обнаженности, проводимому в значительной степени по высыпкам, но включение ее в данный сборник оправдывается тем, что при картировании по высыпкам необходимо учитывать те же особенности обломочных ореолов, что и при геохимических поисках. Имея в виду широкое развитие закрытых ореолов, специальное внимание уделено поисковым приемам, основанным на выявлении ореолов путем так называемого сорбционно-солевого метода, использовании связи элементов с органическими веществами и методе частичного извлечения металлов. По этой же причине в сборнике, посвященном литогеохимическим поискам, помещена статья по гидрохимическим поискам в Красноярском крае, где при применении этого метода достигнуты существенные результаты.

Чрезвычайно большое значение в настоящее время имеет развитие методов обработки поисковой геохимической информации, в особенности с применением различных математических приемов. Этого вопроса касается ряд статей. Изложение материала в них, как правило, доступно лицам, не имеющим специальной математической подготовки. Исключение составляет статья В.Н.Евдокимовой и Н.А.Китаева, которая рассчитана главным образом на специалистов, имеющих математическую подготовку, но с общей, очень интересной постановкой вопроса в этой статье, данной в доступном виде, полезно ознакомиться всем читателям сборника. Наконец, в двух последних статьях затрагиваются вопросы, связанные с изготовлением стандартных образцов, использование которых весьма важно в геохимических методах поисков. Читатель может с пользой для себя почерпнуть из них сведения о требованиях, предъявляемых к стандартным образцам, трудностях, возникающих при их изготовлении, и способах преодоления этих трудностей.

В сборнике помещено также решение II сессии Сибирской секции СГПМ по вопросам применения литогеохимических поисков месторождений полезных ископаемых по вторичным ореолам рассеяния.

Мы надеемся, что настоящий сборник, как и ранее опубликованный, представит интерес для лиц, занимающихся геохимическими методами поисков и окажет им помощь в решениях вопросов, которые могут стать перед ними при проведении работ.

Редколлегия

I. ПРИМЕНЕНИЕ ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ И ТУВИНСКОЙ АССР

М.Н.Афанасьев

Литогеохимический метод поисков по вторичным ореолам (металлометрия) применяется в Красноярском крае с 1942 г и до настоящего времени является основным из геохимических методов в системе Красноярского геологического управления. Он широко используется при геологосъемочных и поисковых работах масштабов I : 50 000 – I : 25 000 и ставится на площадях с разнообразными ландшафтно-геохимическими условиями с целью поисков месторождений цветных и редких металлов, золота, фосфоритов и марганца. В Норильском районе поиски медно-никелевых руд в последние годы проводятся на площадях с мощной (до 120м) толщей ледниковых отложений, вследствие чего металлометрия и "донное" опробование не используются. Здесь с успехом применяется гидрохимическое опробование.

При литогеохимических съемках отбор проб в большинстве случаев производится из-под гумусового горизонта, с глубины 0,15–0,40 м, иногда глубже, а при наличии хорошо выраженного подзолистого горизонта – из иллювиального, с глубины 0,5–0,7 м. На восточном склоне Кузнецкого Алатау в 1953 – 1962 г.г. при одновременном проведении металлометрической и эманационной съемок масштабов от I : 100 000 и крупнее металлометрические пробы отбирались из бурок с глубины 0,8 м, если позволяла мощность рыхлых образований.

Для спектрального анализа берется в основном фракция – I мм. Расшифровка спектрограмм при работах масштаба I : 50 000 производится на 15–20 элементов, а 10% от общего числа отобранных проб, как правило, подвергаются более полному анализу. При детальных работах комплекс анализируемых элементов сокращается. Обработка

результатов анализа геохимических проб производится с применением вариационной статистики (обычно без использования ЭВМ).

В результате литогеохимических поисков по вторичным ореолам выявлено множество геохимических аномалий. Так как обобщение материалов по геохимическим поискам в целом по краю пока не проведено, точная цифра выявленных ореолов не определена (по-видимому, она составит не менее 5 тысяч). Не представляется возможным дать и цифру рудопроявлений и месторождений, найденных по геохимическим аномалиям. В качестве примера приведем данные по Енисейскому кряжу за период с 1961 по 1965 г. 45 партиями Ангарской экспедиции выявлено более 600 литогеохимических аномалий, из них около 200 аномалий являются перспективными. После проведения детализационных и горных работ в процессе поисков и съемки переведены в разряд перспективных рудопроявлений 93 аномалии и в разряд месторождений - 1 аномалия. Число выявляемых аномалий больше числа проверяемых, и фонд непроверенных и неоцененных аномалий из года в год растет.

Критериями для разбраковки аномалий на рудные и нерудные, перспективные и неперспективные являются их комплексность, величины содержания элементов и контрастность, размеры аномалий, геолого-структурная обстановка и ландшафтно-геохимические условия. Оценка перспективных ореолов производится обычно путем проведения комплексных детальных исследований, в основном 1 : 10 000 масштаба, редко крупнее, состоящих из геологических наблюдений, металлометрии, геофизических методов, поверхностных горных, а при необходимости и буровых работ.

В качестве факта, имеющего значение для суждения об эффективности металлометрических съемок на территории Красноярского края и Тувинской АССР, отметим, что преобладающее большинство известных месторождений цветных, редких металлов и золота фиксируется по вторичным ореолам. Ниже приводятся данные об эффективности металлометрии по отдельным регионам.

Южная часть Красноярского края

Ведущими полезными ископаемыми здесь являются железо, молибден, вольфрам, медь, свинец, цинк, золото, алюминий (нефелиновые сиениты), фосфориты, барий. Имеются рудопроявления и мелкие месторождения кобальта, сурьмы, мышьяка, марганца и редких элемен-

тов.

В настоящее время значительная часть этого региона покрыта геологической и металлометрической съемками.

В пределах площадей известных месторождений и некоторых крупных рудопроявлений, как правило, проведены детальные металлометрические съемки (масштаба I : I0 000 и крупнее), обычно в комплексе с геофизическими и геологическими исследованиями.

Металлометрическая съемка применялась в высокогорной, гольцовой, горно-таежной, горно- и лесо-степной зонах региона.

В целом металлометрическая съемка оказалась здесь эффективной - подавляющее большинство выявленных вторичных ореолов связано с рудными проявлениями. Этой съемкой открыты месторождения молибдена, полиметаллов, первичных и вторичных фосфоритов, ряд крупных и мелких рудопроявлений молибдена (оценка двух из них в настоящее время проводится бурением), свинца и цинка, ртути, марганца, бария, золота. Установлены новые для данной территории типы оруденения: молибдено-ванадиевый и редкометальный, характеризующийся повышенной радиоактивностью. Расширены перспективы ранее известных месторождений молибдена, меди, свинца и цинка, кобальта.

Большое число вторичных ореолов молибдена, меди, мышьяка, кобальта, свинца и цинка, сурьмы, бария, фосфора и др. осталось не проверенным.

Вторичные ореолы молибдена, связанные с месторождениями штокверкового типа, расположенными в различных ландшафтных зонах, в разных частях рельефа (водораздел, верхняя, средняя и нижняя части склонов) и при различных экспозициях характеризуются крупными размерами (2-I0 км^2), большой контрастностью (содержания до нескольких сотых долей процента) и фиксируются даже при сети опробования I000 х I00 м и 500 х I00-I20 м. Для детализации таких ореолов достаточна сеть I00 х 20-40 м. Месторождение молибдена скарнового типа, расположенное в горно-таежной зоне, на участке со значительной (до 20 м) мощностью рыхлых образований при опробовании по сети I00 х 20 м и 50 х I0 м отметилось только точечными аномалиями молибдена, а при сети I000 х I00 м ореолы молибдена не зафиксированы. В обоих случаях отмечены слабые ореолы меди.

Известные медные месторождения скарнового и гидротермального типов довольно четко фиксируются широкими ореолами меди (по изоконцентрате 0,003%) даже при сети опробования I000 х I00 м. Кон-

трастность ореолов меди над скарновыми месторождениями ниже, чем над гидротермальными. Применение сети 500 х 50-100 м гарантирует от пропуска медных месторождений гидротермального типа, а детализация в масштабе I : 10 000 дает возможность рационально р спола-гать горные выработки для вскрытия оруденения в коренном залегании.

Полиметаллическое оруденение при металлометрической съемке по сети 1000 х 100 м отмечается точечными аномалиями, иногда с высокими содержаниями свинца, цинка и меди, а при сети 500 х 120 м оконтуриваются площадные ореолы этих элементов. Барит-полиметаллический тип месторождений дополнительно фиксируется ореолами бария. Рудные тела, сопровождаемые доломитизацией при проведении детальных работ, отметились ореолами магния. Учитывая, что некоторые полиметаллические месторождения металлометрической съемкой масштаба 1:100 000 выявляются плохо, поиски их уже на первом этапе целесообразно вести в масштабе 1:50 000.

Ра[illegible] на золото велись главным образом в пределах Саралинской группы золоторудных месторождений (Кузнецкий Алатау), расположенной в высокогорной таежной зоне с участками гольцовых зон. Месторождения представлены золотокварцевыми жилами с сульфидной минерализацией. Распределение сульфидов и золота неравномерное, часто в виде гнезд и столбов. Металлометрическая съемка проводилась в масштабах 1:25 000 и крупнее. Пробы анализировались обычным приближенно-количественным спектральным методом на элементы-примеси (медь, вольфрам, висмут, цинк, свинец, мышьяк), а на золото - с предварительным обогащением химическим путем. В целом эти месторождения хорошо выявляются металлометрическими съемками. Было обнаружено много вторичных ореолов, приуроченных к различным частям склонов, обычно носящих комплексный характер (присутствуют золото, мышьяк, медь, иногда цинк). Детальными работами иногда отмечались отдельные рудные столбы. Наряду с этим в единичных случаях кварцево-сульфидные жилы с промышленным содержанием золота не были зафиксированы ореолами.

Месторождение вторичных карстовых фосфоритов с содержанием P_2O_5 до 35% отмечается вторичными ореолами фосфора с содержаниями 0,6-1%; месторождение первичных фосфоритов, представленное пластовыми телами с содержанием пятиокиси фосфора до 3%, - ореолами фосфора интенсивностью 0,3-0,6%, редко до 1%.

Проверка вторичных ореолов с концентрациями фосфора 0,3-1%, выявленных при металлометрической съемке масштаба 1:10 000, привела к открытию перспективного проявления апатитовых руд. Проявление пластовых карбонатных руд с содержанием марганца до 15% отобразилось ореолами марганца с содержанием до 0,6%.

Енисейский кряж

Литогеохимические поиски по вторичным ореолам проводятся в Саангарской части кряжа, характеризующейся типичными горно-таежными ландшафтами с абсолютными высотами в пределах 400-1000 м при значительных относительных превышениях (порядка 400-600 м, иногда до 750 м). Почти повсеместно развит покров делювиально-элювиальных образований мощностью 1-3 м, иногда до 5-10 м. Встречаются участки многолетней мерзлоты.

Ведущими полезными ископаемыми на территории кряжа являются золото, полиметаллы, сурьма, медь, молибден, редкие и редкоземельные элементы, железо, алюминий (бокситы), магний (магнезиты), вероятно нахождение ртути. Литогеохимическими поисками в пределах кряжа выявлено несколько полиметаллических, одно сурьмяное месторождение и ряд полиметаллических рудопроявлений. Месторождения в настоящее время оцениваются горно-буровыми работами.

Полиметаллические месторождения и крупные рудопроявления сопровождаются значительными по размерам и контрастными вторичными ореолами свинца, цинка, часто бария и обычно небольшими по размерам ореолами сурьмы, мышьяка и серебра. Сурьмяное месторождение обозначилось значительными и контрастными ореолами сурьмы и мышьяка. В отдельных пробах установлено золото.

Некоторые золоторудные месторождения четко отмечаются по ореолам золота и мышьяка. Местами ореолы мышьяка оконтуривают участки распространения кварцево-золоторудных жил.

Весьма эффективно металлометрия используется для проверки гидрогеохимических аномалий. Имеется ряд примеров, когда данные металлометрии подтвердили гидрогеохимические аномалии, а заверка выявленных вторичных ореолов горными и буровыми работами привела к открытию полиметаллического оруденения.

Большие затруднения при проверке геохимических аномалий в пределах кряжа связаны с широким развитием мощных кор выветривания и зон окисления, проникающих на глубину 100 м и более. В этих ус-

ловиях оценка рудопроявлений требует проведения значительных объемов горных и буровых работ.

Сибирская платформа

На платформе среди отложений верхнего кембрия металлометрическими съемками выявляются горизонты, обогащенные медью. Содержание меди достигает в них 1% и более. Кроме того, в них содержится серебро.

Тувинская АССР

Ведущими полезными ископаемыми на территории Тувы являются: кобальт, ртуть, полиметаллы, золото, медь, молибден, висмут и ряд других редких элементов. Металлометрией охватываются высокогорная гольцовая, средне - и низкогорные таежные и горностепная зоны. Литогеохимические методы на данной территории применяются с 1951 г. Ведущим был метод поисков по потокам рассеяния. Однако эффективность работ этим методом оказалась низкой, и с 1958 г эти работы практически прекращаются. Ведущая роль среди геохимических методов переходит к площадным металлометрическим съемкам по вторичным ореолам рассеяния.

Металлометрической съемкой открыто полиметаллическое месторождение, отметившееся ореолами цинка, свинца и меди с максимальными содержаниями металлов соответственно 0,6; 0,3 и 0,07%.

Кроме того, найден ряд рудопроявлений свинца и цинка, кобальта, ртути. Большое количество выявленных вторичных ореолов указанных и других элементов (в частности, висмута) ожидает проверки. Расширены перспективы кобальтового месторождения.

В последние годы на юго-западе Тувы отбор проб при металлометрической съемке проводился по изогипсам рельефа. Эти работы дали положительные результаты, подробно они характеризуются в статье Ю.Л.Савви.

Основные недостатки в проведении работ по геохимическим методам поисков в Красноярском крае заключаются в следующем.

1. На большей части территории края и Тувинской АССР не проведено ландшафтно-геохимическое районирование (мелкомасштабная карта районирования составлена только для восточного склона Кузнецкого Алатау, и в 1971 г начато составление карты по Енисейскому кряжу).

2. Не проводятся, за отдельными исключениями, опытно-методические работы на площадях известных месторождений и крупных рудопроявлений различных типов и в пределах различных ландшафтно-геохимических зон. Это не позволяет выяснить механизм образования вторичных ореолов, установить критические мощности рыхлого покрова для эффективного проведения геохимических поисков и изучить ряд других вопросов, имеющих значение для повышения эффективности поисковых работ.

3. Недостаточен объем работ по изучению первичных ореолов.

4. Имеет место большой разрыв во времени между отбором проб и их анализом.

5. Отстают работы по обобщению данных геохимических съемок, частично выполнены эти работы лишь по Восточному Саяну и восточному склону Кузнецкого Алатау.

Устранение этих недостатков будет способствовать повышению эффективности поисковых геохимических работ. Для улучшения качества аналитических работ целесообразно обеспечить спектральные лаборатории Красноярского геологического управления спектрографами ДФС-8. Обработка проб и подготовка их к анализу существенно облегчается при применении полуавтоматического вибрационного истирателя конструкции Ю.А.Копейкина (образец изготовлен в Центральной лаборатории КГУ). Этот истиратель характеризуется высокой производительностью и хорошим качеством истирания.

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ В ЧИТИНСКОЙ ОБЛАСТИ

И.Р.Заворотных, Э.В.Мазур, Р.Н.Волосиков

Читинское геологическое управление проводит поисково-разведочные работы на золото, олово, вольфрам, редкие элементы, полиметаллы и другие полезные ископаемые. Все поисково-съемочные партии управления, многие поисково-разведочные и разведочные партии ведут площадное геохимическое опробование в масштабе 1:50 000 и крупнее с целью поисков руд названных элементов.

Область отличается разнообразием ландшафтно-геохимических условий: распространены ландшафты от горнотаежных с многолетней мерзлотой на севере до степных на юге, со всевозможными переходами между ними, что значительно усложняет проведение площадных геохимических поисков.

Геохимическими поисками различного масштаба охвачено около 85% всей территории области. Наиболее детально изучены юго-восточная, центральная и восточная ее части. Объемы геохимических исследований в последние годы стабилизировались и находятся почти на одном уровне. Контроль и методическое руководство за ведением этих работ осуществляется группой кураторов Центральной геохимической партии.

В результате проведения литогеохимических поисков было обнаружено 526 аномалий и перспективных участков. При проверке 390 из них было выявлено восемь промышленных месторождений, в том числе три - полиметаллических, одно - молибденовое, одно - оловорудное, одно - вольфрамовое. Остались непроверенными 136 аномалий.

Из анализа результатов металлометрической съемки вытекает вывод о том, что эффективность ее во многом зависит от конкретных

ландшафтно-геохимических условий, в которых проводится опробование. Эти же условия в известной мере определяют и общую эффективность поисковых работ, что может быть проиллюстрировано на примере пространственного размещения большой группы месторождений.

С данной целью была произведена выборочная проверка местоположения по 51 месторождению и рудопроявлению. При этом осуществлялась привязка каждого месторождения и рудопроявления на карте ландшафтно-геохимического районирования, составленной М.П.Безверхним (1961).

В целом довольно отчетливо фиксируется определенная приуроченность большей части месторождений и рудопроявлений к склонам южной (юго-западной и юго-восточной) экспозиции. Из 51 месторождения - 23 расположено на склонах южной экспозиции, что составляет 46% от общего числа. К северным склонам приурочено 26%, к восточным и западным 16% и к водораздельным частям 12% месторождений.

Приуроченность большей части известных месторождений и рудопроявлений, особенно полиметаллов, вольфрама и флюорита, к склонам южной экспозиции может быть объяснена в частности, тем, что в результате солифлюкционных процессов, протекающих интенсивно на северных склонах, находящиеся здесь рудные тела, а также их механические ореолы рассеяния элементов перекрываются движущимся по склону сверху безрудным материалом. Поэтому не все месторождения и рудопроявления на северных склонах могут быть обнаружены при площадных литогеохимических поисках.

Говоря о повышении эффективности площадных геохимических поисков, в том числе и о выявлении месторождений на северных склонах, можно отметить следующее.

1) По всей вероятности, месторождения, расположенные на северных склонах, более эффективно могли бы быть обнаружены по потокам рассеяния. Но, к сожалению, предварительные данные по геохимическим поискам месторождений по потокам, полученные некоторыми производственными партиями нашего управления, оказались неудовлетворительными. В этом направлении необходимо проводить дальнейшие опытно-производственные работы.

2) Не все геохимические аномалии, выявленные в процессе поисково-съемочных работ масштаба 1:50 000, в том числе и на северных склонах, подвергаются проверке (оценке) в этот же полевой сезон. Это ведет к накоплению масси непроверенных аномалий, что затруд-

няет последующую отбраковку заведомо бесперспективных геохимических аномалий и не дает возможности сосредоточить внимание на наиболее интересных из них.

3) То, что выявленные геохимические аномалии часто не удается проверить во время поисково-съемочных работ масштаба I : 50 000, является следствием задержки результатов спектральных анализов геохимических проб. Нередки случаи, когда при двух-трехлетнем цикле поисково-съемочных работ этого масштаба результаты спектрального анализа проб выдаются только перед написанием окончательного отчета.

4) На эффективность площадных геохимических работ отрицательно сказывается и изъятие из проектов поисково-съемочных работ масштаба I : 50 000 объемов детализационного геохимического опробования масштаба I : 10 000 и крупнее.

5) При проведении площадных геохимических работ в районах распространения многолетней мерзлоты и особенно на северных склонах следует шире применять геохимическое опробование пятен - медальонов и бугров пучения незначительных размеров, в которых благодаря специфичности протекающих в них физических процессов нижележащие рыхлые породы, содержащие рудные элементы, выводятся на поверхность. Это повысит эффективность площадных геохимических поисков вообще и в пределах северных склонов в частности.

6) Для повышения эффективности площадных геохимических поисков следует принять глубинное геохимическое опробование. Но ввиду того, что стоимость глубинных геохимических поисков в настоящее время значительна, такие работы следует применять только на хорошо обоснованных участках незначительных размеров. Это ограничение приходится вводить несмотря на то, что по данным М.П.Безверхних, 22,3% всей площади Читинской области относится к площадям с закрытым типом ореолов.

Все вышеизложенное позволит повысить эффективность площадных геохимических поисков и поможет выявить крупные месторождения, расположенные на закрытых северных склонах.

ПОИСКИ ПО ВТОРИЧНЫМ ГЕОХИМИЧЕСКИМ ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ В ЯКУТСКОЙ АССР

Н.П.Чибисов, В.Н.Макаров, Г.П.Лапаев, В.А.Тимченко

Геохимические методы поисков при геологическом изучении территории Якутии начали применяться в 1956 г. В настоящее время они сопровождают почти все поисково-съемочные и геологоразведочные работы. При этом основные объемы приходятся на литогеохимические съемки по вторичным ореолам рассеяния.

Анализ результатов геохимического опробования, проводимого на территории ЯТТУ различными организациями и районирование ее по условиям ведения геохимических поисков (масштаб I : 2 500 000) показали, что геохимические методы, в частности опробование по вторичным ореолам рассеяния, весьма эффективны на большей части площади Якутии.

Естественно, что мелкомасштабное районирование громадной территории (3,I млн.кв.км) дает лишь самое общее представление о применимости тех или иных геохимических методов при поисковых работах в различных районах. Основой для районирования явилась составленная Центральной геохимической партией карта геохимических ландшафтов, где обобщены разрозненные данные о физико-географических, геолого-геоморфологических, почвенно-растительных и других особенностях территории. Выделенные 34 геохимических ландшафта были объединены в четыре категории, различные по условиям ведения геохимических поисков. Основными критериями для выделения категорий явились расчлененность рельефа, генезис и мощность рыхлых образований, характер мерзлой зоны, состав коренных пород. Территории с весьма благоприятными и благоприятными условиями для геохимических поисков составляют несколько более 55% площади Яку-

тии (рисунок). Заметим, что все наши сведения о результатах проведенных геохимических поисков ограничиваются районами именно этих категорий. В их пределах располагаются все известные перспективные на различные полезные ископаемые металлогенические зоны. Для указанной территории характерно соответствие элементного состава геохимических аномалий в почвах и потоках рассеяния металлогенической специализации районов.

Так, в золотоносных районах Северо-Восточной и Южной [illegible] широко распространены ореолы золота, серебра, мышьяка, меди, свинца, цинка. Для геохимических полей Верхоянской золото-полиметаллической зоны помимо того характерными элементами-индикаторами являются олово, сурьма, ртуть, кобальт, а для геохимических полей Центрально-Алданского района - молибден, бор, элементы группы железа.

Как показывает практика, наиболее надежными индикаторами золоторудных и золото-сурьмяных тел являются вторичные ореолы рассеяния золота, мышьяка и сурьмы, реже серебра. Ширина ореолов в десятки раз превышает ширину выхода рудного тела, протяженность - в несколько раз больше протяженности рудного тела в плане.

Оловоносные районы характеризуются полями рассеяния олова, серебра, мышьяка, ртути, вольфрама, молибдена, меди, свинца, цинка, кобальта, никеля. В литохимических потоках рассеяния оловянно-редкометальные месторождения фиксируются аномалиями олова, вольфрама умеренной контрастности и большой протяженности (от трех до десяти километров), а оловянно-полиметаллические месторождения - аномалиями олова, цинка, свинца, меди, никеля, кобальта и марганца.

В районах развития полиметаллической минерализации наблюдаются поля рассеяния свинца, меди, цинка, серебра, мышьяка, вольфрама, олова, в редкометальных районах - тантала, ниобия, редких земель, в районах распространения мусковитовых пегматитов - ниобия, редких земель, циркония, олова.

Площади распространения алмазоносных тел характеризуются вторичными ореолами рассеяния хрома, никеля, кобальта, галлия, свинца, цинка и других элементов. В плане вторичные ореолы более чем в 1,5-2 раза превышают размеры известных кимберлитовых трубок. Тектонические зоны, контролирующие распространение известных кимберлитовых трубок, зачастую фиксируются в рыхлых образованиях повышенными содержаниями свинца, меди, хрома, никеля, серебра, реже

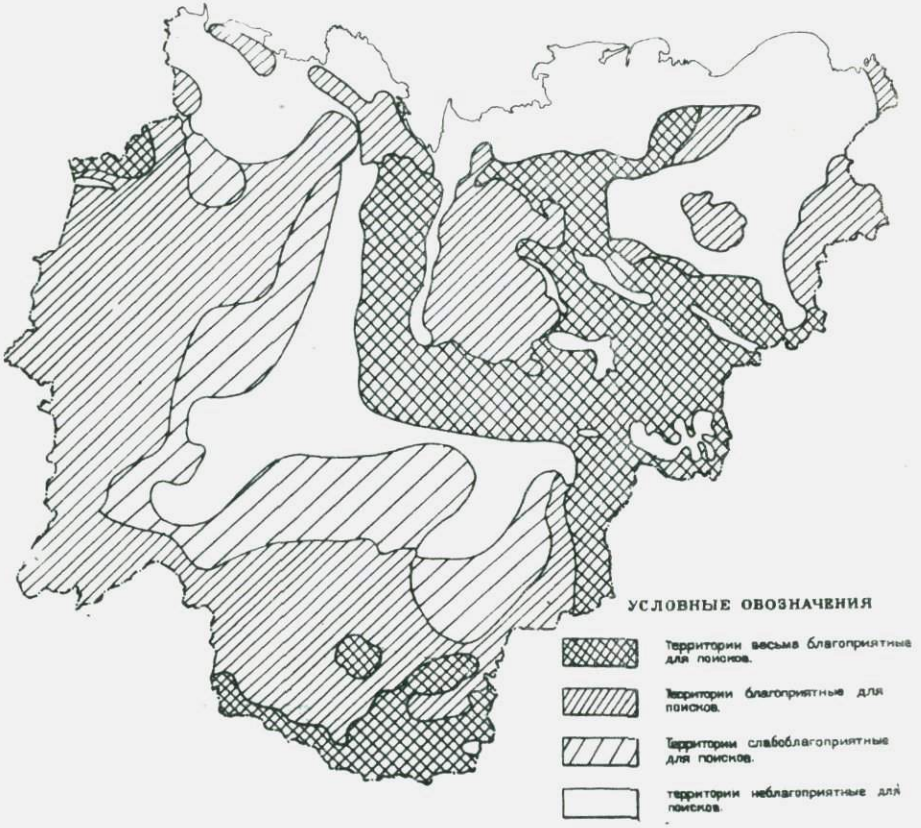
схема

районирования территории ЯАССР по условиям ведения геохимических поисков

масштаб 1:10.000.000

Составили: Морозов В.Р., Морозова И.А.,
Чибисов Н.П.

1971 год



золота, ниобия, мышьяка, сурьмы.

Всего на территории Якутии выделено более 3500 геохимических аномалий. Представилось возможным оценить потенциальную перспективность аномалий по степени достоверности выделения аномальных концентраций и по комплексу методов их выявления. Такие аномалии составляют около 30% от общего количества. Они могут быть рекомендованы для дальнейшего изучения. К сожалению, оценка не только ранее выявленных, но и ежегодно выявляемых 150–200 геохимических аномалий проводится с большим опозданием и очень медленными темпами. В большинстве случаев литохимические аномалии лишь констатируются в геологических отчетах, но нередко и это не делается из-за хронического запаздывания результатов спектрального анализа. Вместе с тем даже незначительные объемы заверочных работ позволяют резко повысить эффективность литохимического опробования. Положительные результаты получены в ряде экспедиций ЯТГУ.

Верхне-Индигирской экспедицией при проходке канав по контурам вторичных ореолов рассеяния золота, сурьмы, мышьяка и ряда других элементов зафиксированы окварцованные зоны дробления с антимонитом и небольшие линзы последнего. Янской экспедицией на участке, где ранее не было установлено оловянное оруденение, получены контрастные вторичные ореолы рассеяния олова и его спутников, на основании которых планировались горные работы. Обнаруженные в этой же экспедиции на фланге весьма перспективного золото-сурьмяного проявления вторичные ореолы золота, мышьяка и сурьмы позволили проследить богатые рудные зоны под автохтонными образованиями мощностью до 5 м. В алмазоносных районах совмещение площадей развития шлиховых ореолов минералов-спутников алмазов с вторичными ореолами рассеяния хрома, никеля, кобальта, марганца, титана позволяет с большей надежностью прогнозировать нахождение кимберлитовых тел.

В Тимптоно-Учурской экспедиции с успехом применяется метод суммирования в ореоле группы наиболее характерных для золотого оруденения элементов, что усиливает контрастность вторичного поля их рассеяния и повышает надежность оценки площадей для постановки детальных исследований. Вскрытие одного из таких ореолов привело к открытию весьма интересного рудного тела кварц-лимонит-гематитового состава с высокими концентрациями золота.

Естественно, что этим немногочисленных примеров успешного при-

менения прикладной геохимии явно недостаточно для того объема литохимического опробования, которое проводится в процессе геолого-съемочных и поисковых работ. Представляется, что, если геологи будут получать своевременно результаты анализов геохимических проб, можно будет обеспечить качественную обработку аналитических данных и своевременную проверку выявляемых аномалий. Поэтому лабораторная служба, на наш взгляд, становится решающим звеном геохимической службы ЯТТУ.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ ТЕРРИТОРИАЛЬНОМ ГЕОЛОГИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ

Л.А.Павлюченко, Л.Н.Пляшкевич, М.В.Филимонов

Территория Северо-Востока СССР имеет сложное гетерогенное геологическое строение. В пределах ее выделены три мезозойских складчатых области (Яно-Колымская, Чукотская, Охотская), ряд структур древней консолидации (Колымо-Омолонский, Охотский и более мелкие массивы, сложенные преимущественно породами палеозоя) и мезо-кайнозойский Охотско-Чукотский вулканогенный пояс. Металлогеническая характеристика указанных структур определяется широким распространением золотого оруденения, имеющего сквозной (по возрасту) характер и являющегося главным для Яно-Колымской складчатой области. Для Чукотской складчатой области важное значение имеет также оловянная и вольфрамовая минерализация, а для Охотской - ртутная и хромитовая. В пределах вулканогенного пояса золото повсеместно ассоциирует с серебром. Широко распространены оловянная и ртутная минерализация, а также молибденовое оруденение. Для структур древней консолидации, кроме золота, характерны полиметаллы, медь, железо и редкие металлы.

Территория Северо-Востока СССР обладает специфическими географо-климатическими условиями (холодный климат, развитие многолетней мерзлоты, обусловливающей процессы солифлюкции и т.д.).Здесь распространены преимущественно среднегорные тундровые, реже - таежные ландшафты, характеризующиеся активным протеканием денудации и преобладающим развитием процессов физического выветривания. Многолетняя мерзлота препятствует почвообразованию. Междуречные пространства обычно покрыты чехлом элювиально-делювиальных отложений мощностью I,5–3, реже до 5 м с примитивными почвами. Мощность активного слоя мерзлоты колеблется в широких преде-

лах (от 15-20 см до 1,5-2,0 м).

Коры выветривания имеют крайне ограниченное распространение. Они почти не изучены. На различных породах отмечаются маломощные коры выветривания палеогенового и неогенового возраста. В их составе преобладают гидрослюды и каолинит. Характерны линейные коры выветривания, связанные с ослабленными минерализованными зонами.

В пределах рудных полей устанавливаются зоны окисления, распространяющиеся на глубину до 150-200 м. В их составе имеются не только обычные водные окислы металлов, но также и сульфаты, в том числе водно-растворимые. Известно, что наличие последних составляет специфику зон гипергенеза субарктических областей.

Геохимические поиски, главным образом по вторичным ореолам рассеяния, входят в общий комплекс геологопоисковых работ, ведущихся в разных районах Северо-Востока. Наибольшую эффективность они дают при поисках золото-серебряных месторождений близповерхностного типа в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса и других вулканогенных структур при работах среднего и крупного масштаба. Поиски по вторичным ореолам рассеяния включают "мелкоземное", реже "сколковое" опробование в расчете на открытые остаточные ореолы.

Кварцевые, адуляр-кварцевые, карбонат-адуляр-кварцевые жилы золото-серебряных месторождений близповерхностного типа приурочены к зонам и полям пропилитизированных пород, массивам вторичных кварцитов и сопровождаются околотрещинными калиевыми метасоматитами. Яркая оранжево-бурая окраска, характерная для метасоматитов рудных полей, обусловленная наличием в них, наряду с гидрослюдами, дисперсных окислов железа и ярозита, способствует их выявлению и использованию в качестве одного из важных поисковых признаков. Выбранные по ряду прямых и косвенных геологических данных районы, благоприятные для обнаружения золото-серебряных руд, становятся объектами средне- и крупномасштабных поисков и геологических съемок. На основе типоморфных особенностей, общего геологического и металлогенического анализа и прямых признаков выбираются объекты для поисков оловорудных, олово-вольфрамовых и ртутных месторождений в различных геолого-структурных и географических условиях. В процессе поисковых работ, наряду с обычными методами поисков, как правило, выполняется и литогеохимическое опробование.

При средне- и крупномасштабных съемках производится опробование мелкого илисто-глинистого или песчано-гравийного материала по профилям и сеткам, рекомендуемым инструкцией по геохимическим методам поисков. На участках широкого развития средне-крупноглыбового делювия применяется сколковое опробование. За полевой период партии в зависимости от масштаба работ набирают от 2000 до 8000 проб. Все пробы подвергаются спектральному анализу на Ag , Pb , Zn , Sn , W , Mo , Sb , As , Bi , Cu , Hg , Mn . Около 10% проб проходят полный спектральный анализ. В потенциально золотоносных районах все пробы анализируются на золото по широко известной методике золотоспектрометрии (с концентрированием на активированном угле). Пробы с более высоким содержанием Au и Ag исследуются пробирным анализом.

В результате проведения геохимических поисков во многих случаях четко выделяются ореолы повышенных концентраций главных полезных компонентов (Au , Ag , Sn , Hg)и их спутников, фиксирующие места нахождения рудоносных жил и минерализованных зон. Аномальные концентрации элементов в ореолах зачастую на 3-4 порядка превышают фоновые. Элементами-спутниками золота и серебра, которые могут использоваться и отчасти используются при поисках рудных участков и прослеживании рудных зон и тел среди вулканитов, являются: Mn , Hg , Pb , Mo , Ba , As , Sb , Tl . В оловоносных районах среди вулканогенных образований отмечены следующие характерные элементы-спутники: B , F , Pb , Zn , As , W . По данным Е.П.Кима, в различных по своим особенностям рудных полях ртутных месторождений Северо-Востока обнаружен своеобразный комплекс элементов-спутников ртути: Sb , As , W , Ge , Ni .

Остановимся на некоторых примерах применения геохимических методов поисков по вторичным ореолам на золото-серебряных месторождениях.

Хаканджинское рудное поле сложено верхнемеловыми вулканогенными породами преимущественно липаритового и липарито - дацитового состава, с подчиненным значением андезитов и андезито-дацитов. В области контакта пород среднего и кислого состава, в приподошвенной части тела липаритов размещается сложно построенная рудная зона. Она включает в себя мощные кварцевые и адуляр-кварцевые жилы и участки пропилково-метасоматического окварцевания. Вмещаю-

щие породы в околожильном пространстве окварцованы и адуляризованы. По составу руды являются убогосульфидными, содержат неравномерно распределенную вкрапленность минералов серебра, золота и сульфидов. Одной из особенностей минералогии руд этого месторождения является широкая распространенность гипергенных и, в меньшей степени, гипогенных минералов марганца. Рудное поле четко очерчивается по наличию золота в аллювии.

Район расположен в пределах умеренно расчлененного среднегорья. Местами задернован и залесен. Мощность рыхлых образований, представленных мелко - и крупнообломочным материалом составляет 1-3, реже 10 и более метров.

Металлометрия была проведена на первом этапе изучения месторождения по сетке 100 х 20 м. Ее своевременная обработка существенно помогла в определении ориентировки рудной зоны и размещении горных выработок. В опытных целях были проанализированы не только тонкая фракция, но и щебенка из этих же проб. По данным анализов каждой из этих двух фракций были составлены карты ореолов серебра, золота и марганца. В обоих случаях ореолы указанных металлов четко фиксируют рудные тела. Единственным отличием карт, построенных по анализам щебенчатой фракции, являлась несколько большая схематичность в конфигурации ореолов. На этом примере была подтверждена высокая эффективность металлометрии при поисках золото-серебряных руд и применимость "сколковой" металлометрии при отсутствии тонких фракций в рыхлых отложениях. Кроме того, была доказана возможность поисков золотых месторождений рассматриваемого типа по элементам-спутникам, в частности марганцу.

Менее эффективными были металлометрические работы на площади Карамкенского золото-серебряного месторождения. Для него характерны адуляр-кварцевые убогосульфидные жилы, местами с карбонатом, которые секут вулканогенные породы среднего и кислого состава. Район характеризуется резко расчлененным рельефом. Мощности рыхлых образований местами достигают 8-10 м. На первом этапе его изучения геохимическое опробование было проведено с поверхности по сетке 250х50м. На участках с крупноглыбовым делювием опробование не проводилось. Количество выявленных значащих проб составляло всего около 3%. Лишь опытное геохимическое опробование рыхлого материала на небольшом участке, проведенное по сетке 25х10 м А.В.Горелышевым, позволило выявить ряд четких ореолов золота над

скрытым, ранее не обнаруженным, продолжением рудного тела Главного. В последнем случае успех определился более высокой чувствительностью анализа на золото (10^{-7}%), в то время как основная часть геохимических проб анализировалась с чувствительностью 10^{-5}%.

Дважды литогеохимическая съемка проводилась на Агатовском рудном поле. Оно сложено преимущественно пропилитизированными андезитами покровной и субвулканических фаций, с развитием в пределах жильных зон окварцевания, гидрослюды или адуляра. Здесь установлены карбонат-кварцевые жилы с галенит-сфалерит-пиритовой ассоциацией и золотом, а также убогосульфидные жилы кварца с золото-серебряным оруденением. На этапе детальных поисков и в начале разведки месторождения металлометрия, проведенная в 1962 г. по сетке 200х50 м на площади около 25 кв.км, не дала положительных результатов. После некоторого перерыва на площади месторождения была повторно поставлена литогеохимическая съемка по сетке 100х50 и 100х20 м. При этом выявились четкие ореолы серебра, золота и несколько более крупные смешанные ореолы свинца, меди и отчасти цинка. Чувствительность определений золота и серебра были на порядок выше, чем при более ранних работах (Au -10^{-6} и Ag -10^{-4}%).

В целом опыт геохимических поисков золото-серебряных месторождений и выявления отдельных рудных тел показывает, что этот метод высоко эффективен в условиях умеренно расчлененного рельефа и умеренных мощностей рыхлых отложений (первые метры). Необходимым условием является достаточно высокая чувствительность определений: золота - 10^{-6} - 10^{-7}%, серебра - 10^{-4} - 10^{-5}%. Несоблюдение этих условий приводит к отрицательным результатам, получаемым на заведомо золотоносных участках, где выявлены механические ореолы золота с помощью лоткового опробования, а также - богатые руды.

Положительные результаты применения литогеохимических поисков получены при поисках месторождений олова касситерито-сульфидной и касситерито-силикатной формаций. В качестве первого примера можно привести работы на площади Мало-Кэнского месторождения, расположенного в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Оловянное оруденение, приуроченное к вытянутым зонам окварцованных пиритизированных пород, ассоциирует с галенитом, сфалеритом, халькопиритом. По результатам литогеохимического опробования эти зоны четко фиксируются ореолами Sn , Pb , Zn , As . Ореолы

и элементов-индикаторов в зависимости от крутизны склонов смещены вниз от указанных зон на несколько десятков метров. Примером применения геохимических методов при поисках месторождений касситерито-силикатной формации могут служить работы на площади месторождения Звонкое на Чукотке (Чукотская складчатая область). Месторождение находится в эндоконтакте гранитного массива среди триасово-юрских терригенно-сланцевых пород. Оруденение приурочено к кварц-турмалиновым жилам и прожилкам. На участке проведено опробование мелкоземного песчано-глинистого материала по сетке 200-500 х 25-150 м. Выявлены ореолы рассеяния Sn длиной до 50 м, которые часто смещены от рудоносных зон вниз по склону. В результате заверки одной аномалии канавой, пройденной в 40 м выше по склону, вскрыты зона дробленых пород с промышленным оловянным оруденением.

Успешно применяются литогеохимические поиски для выявления ртутных месторождений. Совместно с другими видами поисков по вторичным ореолам рассеяния четко выделяются рудоносные зоны. На Западно-Полянском месторождении ртутоносные зоны фиксируются по ореолам Hg, As, Ba (по О.В.Вершковской и др.), а на Пламенном - Hg, As, Sb. На месторождении Пламенном на участке механического и солевого ореолов ртути вскрыты рудные тела.

В практике геологических исследований имеются примеры успешного применения геохимических методов на редкие и рассеянные элементы. В одном из районов Яно-Колымской складчатой области, на участке развития пегматитов в контактовых частях мелких массивов гранитоидов встречено оловянное и тантало-ниобиевое оруденение. Проведенным опробованием мелкоземного материала по сетке 200х50м выявлены ореолы Ba, Y.

В процессе производства поисковых работ, ведущихся с применением геохимических методов, полевыми партиями ежегодно выявляется в среднем 20-30 участков развития полей метасоматитов, содержащих золотоносные кварцевые, адуляр-кварцевые и кварц-карбонатные жилы и зоны брекчированных пород. Геохимические поиски совместно с другими видами поисковых работ способствовали открытию и изучению золото-серебряных близповерхностных месторождений Хаканджа, Карамкен, Лукат, Бургагылкан и других. Метод весьма эффективен при поисках оловянных месторождений касситерито-силикатной и касситерито-сульфидной формаций, а также месторождений рту-

ти, редких и рассеянных элементов. Поиски обычно ведутся по ведущему металлу, элементы-спутники при этом имеют подчиненное значение.

Одним из основных недостатков при производстве геохимических поисковых работ является большая задержка в поступлении анализов. Частично этот недостаток компенсируется планированием многолетних работ. В дальнейшем своевременное обеспечение анализа геохимических проб будет достигнуто за счет проводимого в настоящее время расширения аналитической базы управления.

В целом для повышения эффективности геологосъемочных, геологопоисковых и геологоразведочных работ в текущем пятилетии предусматривается значительное расширение литогеохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния, внедрение новых методов, проведение опытно-методических исследований, а также применение более точных и чувствительных методов анализа.

II. ОСОБЕННОСТИ ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ И ПРОЦЕССЫ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИФФУЗИОННО-ДЕФЛЮКЦИОННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ

В.В.Поликарпочкин, А.В.Полянцын

Дефлюкционный процесс (медленное движение рыхлых масс по уклону, в основе которого лежит механизм течения) широко распространен на склонах в различных географических зонах, и поэтому рассмотрение образующихся в этом процессе ореолов представляет большой интерес. Но дефлюкция практически никогда не осуществляется в природе в чистом виде. Одновременно с дефлюкционным движением в массе рыхлых образований происходит беспорядочное блуждение составляющих их частиц, то есть протекает процесс диффузионного характера*). Поэтому в общем случае следует говорить о диффузионно-дефлюкционных ореолах рассеяния.

Представим себе склон, покрытый рыхлым материалом, образованным за счет выветривания местных (залегающих на склоне) горных пород и рудных тел. Пусть соответственно сказанному, рыхлые образования испытывают медленное движение вниз по уклону и одновременно в их массе происходит беспорядочное перемещение частиц и обломков различного размера. Возникающее в результате указанных движений распределение концентраций того или иного вещества в рыхлых образованиях может быть описано на основе уравнения конвективной диффузии:

---

*) Под диффузией в широком смысле слова понимается любое выравнивание концентраций путем беспорядочного блуждения элементов системы. – Физический энциклопедический словарь, т.I, стр.621. Изд-во "Сов.энциклопедия", 1960.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial (u_x C)}{\partial x} + \frac{\partial (u_y C)}{\partial y} + \frac{\partial (u_z C)}{\partial z} = \frac{\partial \left(D \frac{\partial C}{\partial x}\right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(D \frac{\partial C}{\partial y}\right)}{\partial y} + \frac{\partial \left(D \frac{\partial C}{\partial z}\right)}{\partial z}, \quad (I)$$

где C – концентрация вещества; t – время; D – коэффициент диффузии (он не вынесен из-под знака дифференциала, так как величина его может изменяться в пространстве); u_x, u_y и u_z – проекции скорости дефлюкции на пространственные координатные оси.

Уравнение (I) описывает диффузионно-дефлюкционный процесс в самом общем виде, но оно не решается в конечной форме, что представляется весьма желательным, так как такое решение позволяет не только исследовать создаваемые процессом ореолы (это может быть сделано и другими способами), но и вывести формулы, которые могут быть использованы в практических приложениях. Приняв некоторые допущения, не затрагивающие существа процесса, можно значительно упростить уравнение, но и в упрощенном виде решение его встречает значительные трудности. Это заставляет избрать иной путь для составления математической модели.

Ореолы рассеяния в рыхлом покрове образуются в результате переноса веществ от мест их первоначального залегания, и характеристики ореолов существенным образом определяются способами этого переноса. Можно полагать, что в огромном большинстве случаев, при наличии даже небольших уклонов (порядка $3\text{–}5^0$, а нередко 1^0 и менее), перенос твердых веществ путем движения масс по уклону определенно преобладает над диффузионным переносом, что имеет следствием резкую выраженность тех черт ореолов, которые обязаны этому движению. Поэтому мы рассмотрим сначала модель дефлюкционных ореолов, а затем наложим на нее диффузионный процесс и определим, к каким следствиям это приводит. Одна из моделей дефлюкционных ореолов исследовалась нами ранее /3/; здесь предлагается более совершенная модель. В заключение мы коснемся вытекающих из моделей выводов, имеющих значение для практики геохимических поисков.

Дефлюкционный ореол

Образование рыхлого покрова из материала местных пород можно представить в виде двух взаимодействующих процессов:

а) выветривания коренных геологических тел, сопровождающегося рас-

падением их на обломки и частицы того или иного размера; б) транспортировки этих дезинтегрированных продуктов выветривания. В соответствии с существом модели будем считать, что транспортировка осуществляется путем течения рыхлых масс, подобно вязкой жидкости, вниз по уклону, а другие виды переноса (диффузия, перенос водой, ветром и т.п.) отсутствуют. Из рассмотрения баланса вещества в элементарном объеме рыхлых образований, выделенном таким образом, как это показано на рис.I, выводится следующее уравнение:

$$\frac{\partial(h\bar{q})}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{u}h\bar{q})}{\partial x} + \frac{\partial(z_к q_к)}{\partial t} = 0, \qquad (2)$$

где h - вертикальная мощность рыхлых образований; q - их плотность ($\bar{q}$ - средняя по вертикальному сечению величина плотности); u - горизонтальная составляющая скорости течения рыхлых образований ($\bar{u}$ - ее средняя по вертикальному сечению величина); $z_к$ - отметка поверхности коренных пород; $q_к$ - плотность коренных пород; x - расстояние от водораздельной точки по направлению уклона (в горизонтальном проложении); t - время.

Уравнение (2) описывает взаимосвязанные процессы выветривания и транспортировки продуктов выветривания в общем виде. Чтобы получить возможность решения его, введем некоторые, приемлемые по геологическим соображениям, допущения. Величина плотности рыхлых образований q изменяется по их вертикальному профилю, она может изменяться также во времени и в направлении уклона. Но эти изменения сравнительно невелики, и мы можем, не впадая в существенную ошибку, принять величину q постоянной. Тогда уравнение (2) примет вид:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{u}h)}{\partial x} + K_р \frac{\partial z_к}{\partial t} = 0, \qquad (3)$$

где $K_р = \frac{q_к}{\bar{q}}$ - коэффициент разрыхления пород при выветривании.

Мощность рыхлых образований в каждой точке склона в общем случае изменяется во времени. Но, как известно, от этой мощности зависит скорость выветривания коренных пород (поскольку рыхлый покров защищает их от действия выветривания). Если величина h уменьшается с течением времени, то это вызывает увеличение скорости выветривания коренных пород, то есть увеличение количества материала, поступающего в рыхлый покров, в результате чего уменьшение мощности рыхлых образований в конечном счете прекращается.

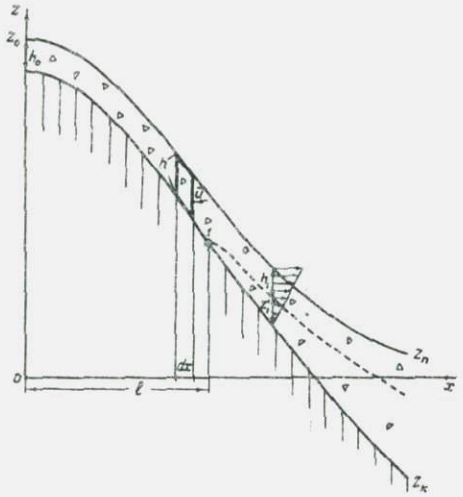


Рис.I. Вертикальный разрез склона

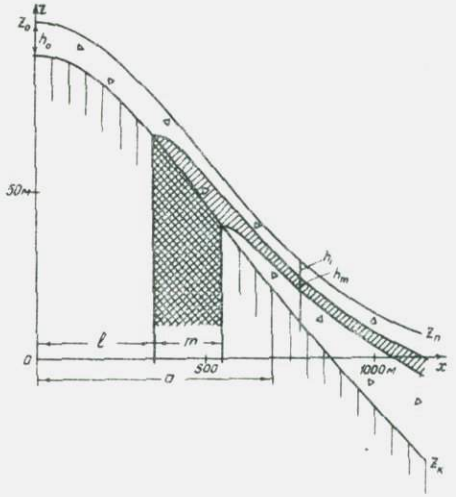


Рис.2. Вертикальный разрез дефлюкционного ореола.

Построения выполнены для величин параметров: z_0 = 100м; a = 700м; h_0 = 1м; ℓ = 350м; m = 200м.

Если величина h увеличивается с течением времени, то скорость выветривания коренных пород и количество поступающего в рыхлый покров материала уменьшаются, что также ведет к прекращению изменения мощности рыхлого покрова. Иными словами, процессы выветривания и транспортировки стремятся к равновесному состоянию, когда удаляется такое же количество продуктов выветривания, какое образуется, и мощность рыхлого покрова в каждой точке склона остается неизменной. По-видимому, мы можем в качестве характерного случая рассматривать это равновесное состояние.

Тогда $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$.

Величина $\frac{\partial z_к}{\partial t}$ представляет собой скорость понижения поверхности коренных пород, то есть скорость выветривания. Обозначим эту скорость выветривания через $V = -\frac{\partial z_к}{\partial t}$ (знак " - " берется потому, что скорость удобнее характеризовать положительной величиной, а $\frac{\partial z_к}{\partial t}$ есть величина отрицательная).

Для такого стационарного (сбалансированного по количеству образуемого и удаляемого рыхлого материала) процесса скорость выветривания в каждой точке склона не изменяется во времени. По направлению уклона скорость выветривания в общем случае изменяется, так как в этом направлении изменяется мощность защитного покрова рыхлых образований, которая в нижних частях склона, как правило, больше, чем в верхних. Но в первом приближении мы можем пренебречь этим изменением или взять такой **частный случай**, когда оно не имеет места (форма склона и конфигурация поверхности коренных пород не изменяются во времени).

С учетом неизменной во времени мощности рыхлых образований и постоянной как во времени, так и по склону, скорости выветривания, уравнение (3) сводится к следующему:

$$\frac{d(\bar{u}h)}{dx} - K_p V = 0. \qquad (4)$$

Решение этого уравнения дает:

$$h = K_p \frac{V}{\bar{u}} x. \qquad (5)$$

Выражение для средней скорости $\bar{u}$ можно получить из следующих соображений. Так как рыхлые образования склонов движутся лишь с

очень малой скоростью, вязкость их велика, а мощность (глубина потока), как правило, не превышает нескольких метров, то согласно критерию **Рейнольдса** можно полагать, что течение их является ламинарным. Если принять, что движущаяся среда является однородной (вязкость ее всюду одинакова), то эпюра скоростей течения будет представлять собой параболу с осью, расположенной на поверхности потока. В этом случае, основываясь на известных выражениях /I/, можно написать следующую приближенную формулу для горизонтальной составляющей средней по вертикальному профилю скорости течения (при условии, что уклон ложа не является слишком большим - не более 20–30°):

$$\bar{u} = \frac{g i h^2}{3\nu},$$

где g – ускорение силы тяжести, ν – кинематический коэффициент вязкости среды, i – уклон ложа.

Примем, что рассматриваемый склон является выпуклым (выпуклые склоны широко распространены в природе и можно полагать, что эта форма склонов характерна именно для тех случаев, когда ведущим способом удаления продуктов выветривания является самопроизвольное перемещение их масс). Положим, что форма склона может быть аппроксимирована кривой Гаусса:

$$z_n = z_0 e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^2}, \qquad (6)$$

где z_n – высота поверхности склона на расстоянии x от водораздела; z_0 – высота водораздельной точки; a – параметр, определяющий длину склона и, следовательно, при данной величине z_0, угол уклона. Никакого генетического смысла в эту формулу не вкладывается. Она принята лишь по той причине, что качественно правильно отображает форму выпуклого склона: наличие водораздельной точки, где угол уклона равен нулю, постепенное увеличение уклонов на выпуклом участке и уменьшение их в нижней части склона, где, как это бывает практически всегда, склон приобретает вогнутую форму.

Уклон i может быть выражен как тангенс угла наклона или как взятая с обратным знаком производная приведенной выше функции по x:

$$i = \frac{2}{a^2} z_0 x e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^2}.$$

Подставив найденные выражения в формулу (5), получим:

$$h = h_0 e^{\frac{1}{3}\left(\frac{x}{a}\right)^2}, \qquad (7)$$

где h_0 – мощность рыхлых образований в водораздельной точке, зависящая от целого ряда определяющих процесс параметров.

Но в большинстве случаев рыхлые образования склонов не могут рассматриваться как однородная среда: по направлению от коренных пород к дневной поверхности уменьшается крупность составляющего их материала, а соответственно уменьшается и вязкость их как текущей среды. Поэтому в нижних частях рыхлых образований скорости течения будут меньше, а в верхних – больше, чем определяемые параболической эпюрой: парабола второго порядка распрямляется, и эпюра скоростей приближается к линейной. Действительно, данные фактических наблюдений (см., например, /2/) показывают, что эпюры скоростей солифлюкции, являющейся частным случаем дефлюкции, близки к линейным. Решение задачи для линейной эпюры скоростей дает формулу:

$$h = h_0 e^{\frac{1}{2}\left(\frac{x}{a}\right)^2}. \qquad (7а)$$

Нетрудно видеть, что формулы (7) и (7а) различаются лишь коэффициентами в показателе степени. В общем виде формула мощности рыхлых образований может быть написана следующим образом:

$$h = h_0 e^{\frac{1}{n}\left(\frac{x}{a}\right)^2}, \qquad (8)$$

где n =2 для прямолинейной эпюры скоростей течения рыхлых масс и n =3 для параболы второго порядка (вероятны и промежуточные значения n).

Формулы (7) – (8) отображают обычно наблюдаемое в природе увеличение мощности рыхлых образований вниз по склону. Исследование формул показывает, что, как это отмечается и по фактическим данным, в верхней (выпуклой) части склона мощности изменяются сравнительно мало. Наибольшее увеличение мощности происходит в нижней части и у подножия склонов, где в результате выполаживания склона течение рыхлых образований резко замедляется. Относительное увеличение мощностей тем больше, чем меньше величина a ,то

есть чем круче склон. На пологих склонах мощности более постоянны.

Используя выражение для мощности, можно описать траекторию частицы, отрывающейся от коренных пород в любом месте, например, в точке I, находящейся на расстоянии ℓ от водораздела (см. рис. I). Передвинувшись в сечение, имеющее абсциссу $x > \ell$, каждая из таких частиц окажется расположенной на глубине h_1 от поверхности склона, меньшей, чем полная мощность рыхлых образований. Заметим, что принятая нами ламинарная модель течения исключает пересечение траекторий частиц, оторвавшихся от коренных пород склона на различных расстояниях от водораздела. Тогда, с учетом (5), уравнение неразрывности потока для слоя, лежащего выше рассматриваемой траектории, можно записать в виде:

$$h_1 \bar{u}_1 = K_p V \ell = const,$$

где $\bar{u}_1$ – средняя по сечению горизонтальная составляющая скорости течения вещества в этом слое. На том же основании для рыхлого покрова в целом должно быть справедливым выражение:

$$h \bar{u} = K_p V x .$$

Если эпюра распределения скоростей по вертикали линейна, то для каждого вертикального сечения, расположенного на расстоянии $x \gg \ell$ от водораздела

$$\bar{u}_1 = k\left(h - \frac{h_1}{2}\right) \quad \text{и} \quad \bar{u} = k\frac{h}{2},$$

где k – размерный угловой коэффициент линейной зависимости скорости от глубины, изменяющий свою величину от сечения к сечению, но постоянный в каждом фиксированном сечении. Таким образом, мы можем составить систему уравнений, которая выполняется повсюду при $x \gg \ell$:

$$\begin{cases} h_1 k\left(h - \frac{h_1}{2}\right) = K_p V \ell \\ h k \frac{h}{2} = K_p V x . \end{cases} \qquad (9)$$

Почленное деление уравнений дает: $\frac{h_1}{h} - 2\frac{h_1}{h} + \frac{\ell}{x} = 0,$ (10)

откуда $\frac{h_1}{h} = \sqrt{1 - \frac{\ell}{x}}$.

или $$h_1 = h - h\sqrt{1 - \frac{\ell}{x}} \quad . \qquad (II)$$

(из двух получаемых алгебраическим путем решений взято решение со знаком "-" перед радикалом, так как знак "+" не удовлетворяет физически очевидному условию $h_1 \leq h$). Та же траектория может быть определена через высоту точек над поверхностью коренных пород (т.е. через переменную вертикальную мощность слоя, лежащего ниже рассматриваемой траектории) z' . Очевидно (см. рис.I), $z' = h - h_1$. Используя (II), получаем:

$$z' = h\sqrt{1 - \frac{\ell}{x}} \quad . \qquad (I2)$$

В результате происходящего описанным образом процесса формируется слоистая структура рыхлого покрова, в которой каждому коренному геологическому телу соответствует свой слой рыхлых образований, *прилегающийся к нему* на выходе и распространяющийся на некоторой глубине ниже по склону. Если предположить, что дефлюкция *не сопровождается диффузией*, то каждый из таких слоев должен обладать резкими ограничениями и концентрации веществ в нем должны оставаться постоянными и соответствующими концентрациям в коренном геологическом теле, с изменениями, зависящими от происходящего на выходе коренного геологического тела и в рыхлом покрове выщелачивания. Распределение концентраций в этом случае полностью *определяется конфигурацией слоев*, которую можно построить по выведенным выше формулам.

На рис.2 показана конфигурация слоев для случая одного рудного тела (или любого геологического тела, залегающего в поле пород *однородного состава*), *рассчитанная по формулам* (5), (7а) и (I2). По мере продвижения вниз по склону слой рыхлых образований, *соответствующий рудному телу*, *приподнимается* над поверхностью коренных пород и одновременно уменьшается его мощность, так как, поднимаясь вверх, *он попадает во все более быстро движущиеся слои* рыхлых образований и поэтому испытывает растяжение. На вогнутом участке склона, вследствие замедления движения рыхлых масс, мощность слоя начинает увеличиваться, одновременно увеличивается мощность рыхлых образований, залегающих выше него, – глубина залегания слоя становится больше.

Важным свойством дефлюкционных ореолов является залегание их в рыхлых образованиях на некоторой глубине, зависящей от положения рудных тел на склоне. Непосредственно на поверхность или в приповерхностные слои выходят ореолы лишь тех тел, которые расположены при водоразделе и в верхней части склона. Геологические тела, находящиеся ниже по склону, дают ореолы, закрытые слоем материала, движущегося с вышележащих участков склона, причем чем ниже по склону расположено то или иное коренное тело, тем глубже в рыхлых образованиях залегает его ореол. Степень закрытости дефлюкционных ореолов (мощность перекрывающих их отложений) зависит также от крутизны склонов и характера эпюры скоростей движения в поперечном сечении рыхлых образований. На пологих склонах (I-5°) даже при одинаковой общей мощности рыхлых образований ореолы залегают в I,5-2 раза глубже, чем на склонах средней крутизны (I0-20°) и до 3-х раз глубже, чем на более крутых склонах (30°). Влияние эпюры скоростей движения выражается в том, что при линейных эпюрах, если прочие условия одинаковы, ореолы залегают глубже, чем при параболических, причем особенно велика эта разница (до 2-х раз) на пологих склонах. Из приведенных выше выражений получаются формулы, позволяющие оценивать положение рудных тел на склоне и их продуктивность по данным опробования ореолов в вертикальных сечениях.

Из формулы (I0) следует:

$$\ell = \left[2\frac{h_1}{h} - \left(\frac{h_1}{h}\right)^2\right]\cdot x \,. \qquad (I3)$$

Примем горизонтальную мощность вертикально залегающего рудного тела постоянной и равной m (рис.2). Изменяющуюся вниз по склону вертикальную мощность дефлюкционного ореола рассеяния обозначим h_m. Уравнение неразрывности для ореола в соответствии с высказанными выше соображениями будет иметь вид:

$$h_m \bar{u}_m = K_p V m = const \quad \text{или} \quad h_m k\left(h - h_1 - \frac{h_m}{2}\right) = K_p V m, \qquad (I4)$$

где $\bar{u}_m$ – средняя по сечению величина горизонтальной составляющей скорости течения вещества ореола.

Произведя в системе (3) почленное вычитание первого уравнения из второго и разделив (I4) на полученную разность, получим формулу:

$$\frac{2h_m}{h-h_1} - \left(\frac{h_m}{h-h_1}\right)^2 = \frac{m}{x-\ell} \quad .$$

Для рудных тел малой мощности и сечений, находящихся не в непосредственной близости к ним, первый член этого выражения многократно превосходит второй, и должно выполняться приближенное равенство:

$$\frac{2h_m}{h-h_1} = \frac{m}{x-\ell} \quad .$$

Умножим оба члена последнего уравнения на величину весовой концентрации вещества в рудном теле C_p:

$$\frac{2h_m C_p}{h-h_1} = \frac{m C_p}{x-\ell} \quad . \qquad (15)$$

Величина $m C_p$ представляет собой не что иное как линейную продуктивность рудного тела (М). Если дефлюкция протекает без диффузионного рассеяния, то весовая концентрация рассматриваемого вещества в дефлюкционном слое рыхлых образований соответствует таковой в рудном теле. Следовательно, произведение $h_m C_p$ является продуктивностью дефлюкционного ореола (М') и, так как она подсчитывается по вертикальному сечению, может быть названа вертикальной продуктивностью ореола.

Выполнив соответствующие подстановки и заменив ℓ через его выражение (13), из формулы (15) получаем:

$$M = 2M' x \frac{h-h_1}{h^2} \quad .$$

Так как часть вещества может выноситься из рудного тела и ореола в растворенном состоянии, продуктивность М следует считать не равной, а лишь пропорциональной полученному выражению. Введя коэффициент пропорциональности K, имеем окончательно:

$$M = KM' x \frac{h-h_1}{h^2} \quad . \qquad (16)$$

Диффузионно-дефлюкционный ореол

Наиболее простая модель диффузионно-дефлюкционного ореола может быть построена для случая тонкого рудного тела. Мы ограничим-

ся этим случаем, так как рассмотрение его достаточно для выявления тех особенностей ореолов, которые связаны с наложением диффузионного рассеяния на дефлюкционный процесс.

Если дефлюкционный перенос веществ преобладает, то мы можем принять, что в рыхлых образованиях формируется сложенный обломками рудного тела слой, от которого перпендикулярно его ограничениям (по градиенту концентраций) происходит диффузионное распространение "рудных" частиц. А **apriori** допустим, что распределение концентраций в этом направлении, а в случае не очень крутых склонов – и по вертикали приближенно соответствует функции Гаусса, т.е. фундаментальному решению уравнения теплопроводности и диффузии. Указанная функция успешно использовалась в теории механических ореолов рассеяния /4/ и в целом достаточно хорошо описывает природные распределения концентраций в ореолах. Тогда для каждого перпендикулярного к слою (или вертикального) сечения имеем распределение концентраций:

$$C = \frac{M'}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(z' - z'_{max})^2}{2\sigma^2}\right], \qquad (17)$$

где M' – вертикальная продуктивность ореола ; z' – высота произвольной точки над поверхностью коренных пород; z'_{max} – высота точки с максимальной концентрацией (высота тонкого рудного "дефлюкционного слоя") над поверхностью коренных пород; σ – коэффициент рассеяния.

Эта формула и может быть применена для исследования свойств диффузионно-дефлюкционного ореола. При этом z'_{max} рассчитывается по формуле (12), а M' – по формуле, выводимой из (16):

$$M' = \frac{1}{K} \cdot \frac{Mh}{x\sqrt{1 - \frac{l}{x}}} . \qquad (18)$$

Величина h находится из (8). Остается определить выражение для σ через величины, введенные нами ранее.

Коэффициент рассеяния σ является переменной величиной – он увеличивается вниз по склону соответственно со временем, прошедшим с момента отделения частиц вещества от коренного тела до передвижения их в данное сечение. Из теории диффузии можно принять, что $\sigma = \sqrt{2DT}$, где T – указанное время.

Время T мы можем найти, пользуясь скоростью дефлюкционного

движения. За время dT данная порция вещества переместится на расстояние dx по уклону и одновременно поднимется над поверхностью коренных пород на высоту dz'_{max}. Применяя это соображение к движению по линии максимальных концентраций, получим:

$dT = \frac{dx}{u_x} = \frac{dz'_{max}}{u_z}$. Не приводя детальных выкладок, укажем, что с учетом выражений для u_x и u_z, выводимых из дефлюкционной модели, время T определяется из этого уравнения в виде:

$$T = \frac{h}{2K_p V} \ell n \frac{\sqrt{x} + \sqrt{x-\ell}}{\sqrt{x} - \sqrt{x-\ell}} . \qquad (19)$$

Для смысловой оценки влияния основных параметров процесса на возникающее поле концентраций, описываемое выражением (17), удобно, произведя некоторые алгебраические преобразования, представить его в виде:

$$C = C_{max} \cdot exp\left[-\frac{(z' - z'_{max})^2}{2\sigma^2}\right],$$

где

$$C_{max} = AM'\left[\frac{\nu e^{\left(\frac{x}{a}\right)^2}}{i_{max}}\right]^{\frac{1}{2n}} \cdot \left[Dx(x-\ell)\ell n \frac{\sqrt{x} + \sqrt{x-\ell}}{\sqrt{x} - \sqrt{x-\ell}}\right]^{-\frac{1}{2}}$$

задает величины максимальных концентраций в каждом вертикальном сечении ореола (A – некоторая постоянная, зависящая от величин коэффициента разрыхления, скорости выветривания и т.д.; i_{max} – – величина уклона поверхности в точке перегиба склона) и

$$\sigma = B\left[\frac{\nu e^{\left(\frac{x}{a}\right)^2}}{i_{max}}\right]^{\frac{1}{2n}} \cdot \left[D \cdot \ell n \frac{\sqrt{x} + \sqrt{x-\ell}}{\sqrt{x} - \sqrt{x-\ell}}\right]^{\frac{1}{2}},$$

где

B – другая постоянная, зависящая от тех же величин, что и A.

Рассчитанные по выведенным формулам (6,7а,12,18) контуры ореолов, изображены в виде изоконцентрат на рис.3. Диффузия приводит к тому, что четкие ограничения дефлюкционных слоев исчезают, концентрации свойственных этим слоям веществ уменьшаются и одновременно происходит расширение ореолов в стороны. Вид ореола в попе-

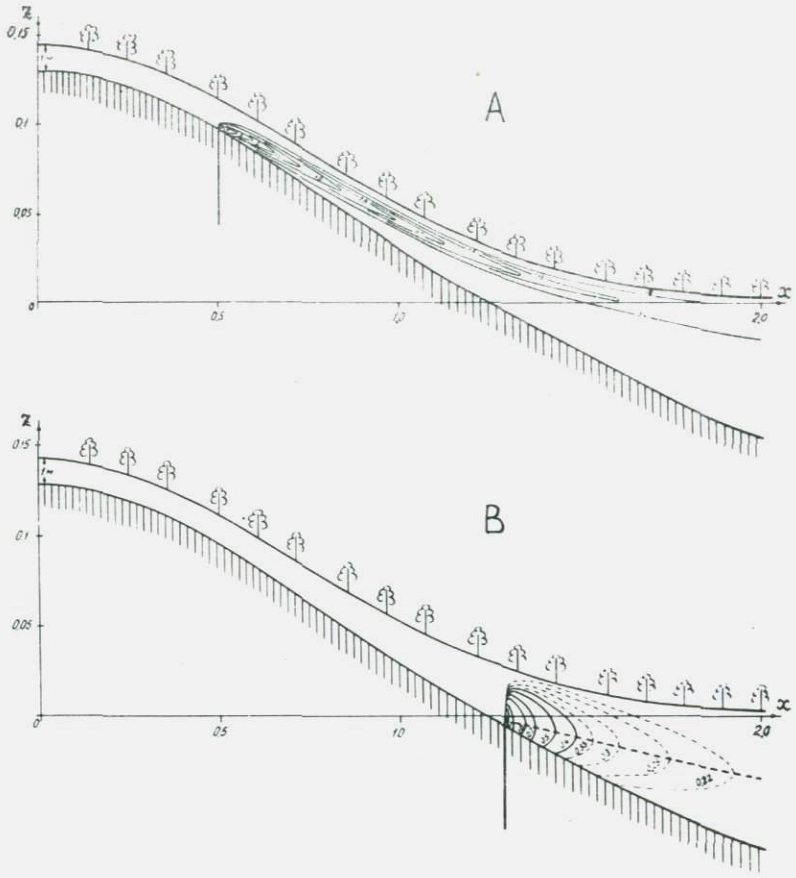


Рис.3. Вертикальные разрезы диффузионно-дефлюкционных ореолов:
А – при малых значениях величин D и ν,
В – при больших значениях величин D и ν.

речном сечении зависит от относительной роли диффузионного и дефлюкционного переноса веществ, то есть, как это выражено в формулах, от соотношения коэффициента диффузии и скорости дефлюкции, определяемой вязкостью среды и уклоном местности. При малой роли диффузии ореолы, аналогично чисто дефлюкционным, протягиваются далеко вниз по склонам, в их вертикальных сечениях концентрации на небольшом расстоянии от центральной линии испытывают быстрый спад, и вниз по склону концентрации изменяются сравнительно мало (рис.3А). Если роль диффузии увеличивается, ореолы резко расширяются в вертикальных сечениях и быстро теряются вниз по уклону (рис.3Б). При преобладающей роли диффузионного переноса ореолы изображаются по приведенным выше формулам неточно (это заметно на рис.3Б, где искажена конфигурация части ореола, примыкающей к рудному телу).

Вследствие диффузии закрытые дефлюкционные ореолы могут достигать дневной поверхности и при применении соответствующих методов анализа обнаруживаются здесь, но линия максимальных концентраций остается расположенной на некоторой глубине. Такие ореолы, проявляющиеся на дневной поверхности, но ослабленные вблизи нее и характеризующиеся расположением линии максимальных концентраций на глубине, могут быть названы полузакрытыми. Из рисунков, изображающих диффузионно-дефлюкционные ореолы, следует, что при проведении опробования на той или иной постоянной глубине график концентраций может иметь максимум, смещенный относительно рудного тела по уклону, но это смещение нельзя принимать за истинное смещение ореола, так как ореол в виде более или менее размытого слоя распространяется гораздо дальше вниз по склону.

Практические выводы

Из рассмотренной модели ореолов, в двух ее разновидностях, следуют выводы, имеющие значение для практики поисков месторождений и рудных тел по вторичным ореолам рассеяния в рыхлом покрове склонов. Очевидно, когда мы имеем дело с закрытыми и полузакрытыми дефлюкционными и диффузионно-дефлюкционными ореолами, усиливается опасность пропуска месторождений при проведении металлометрических съемок с неглубоким отбором проб. При таком опробовании будет обеспечиваться достаточно эффективное опоискование приводораздельных участков и верхних частей склонов. Ореолы залегающих здесь рудных тел имеют плащеобразный характер и покрывают весь

склон до подножия или значительную его часть. Но месторождения, расположенные в средних и нижних частях склонов, могут быть пропущены или обозначатся по неглубоко отобранным пробам ослабленными ореолами. Эти обстоятельства необходимо учитывать при интерпретации данных металлометрических съемок.

Обеспечение эффективного опоискования в условиях развития закрытых и полузакрытых ореолов указанного вида требует иных методических подходов. В этих условиях изменяется понятие о представительном горизонте опробования. Действительно, залегающий на той или иной глубине горизонт, представительный для верхних частей склона, в том смысле, что взятие проб из него обеспечивает обнаружение ореолов залегающих здесь рудных тел, может оказаться совершенно не представительным для рудных тел, выходящих ниже по склону. Единственным вполне представительным для всех частей склона является в таких случаях горизонт рыхлых образований, залегающий непосредственно на коренных породах. Но на большей части площадей дефлюкционных склонов мощность рыхлых образований составляет не менее 1,5-2 м и отбор проб с такой глубины вызвал бы резкое удорожание металлометрических съемок.

Учитывая особенность дефлюкционных и диффузионно-дефлюкционных ореолов, распространение их в толще рыхлых образований на значительные расстояния вниз по склону, измеряемые сотнями метров, следовало бы изменить методику металлометрических съемок и перейти от отбора проб более или менее равномерно по всему склону к взятию их по единичным профилям, расположенным у подножия склонов, а в случае длинных склонов - дополнительно и в средних их частях. В точках на этих профилях требуется отбор проб по всей мощности рыхлых образований с небольшим (порядка 10-20 см) интервалом, для чего необходимо проходить горные выработки (канавы, неглубокие шурфы или короткие буровые скважины). Таким образом могут быть обнаружены ореолы рудных тел, залегающих в различных частях склона, причем о положении рудных тел на склоне можно судить по глубине залегания ореолов. Можно применить и количественные расчеты с использованием формулы (13). Для определения вероятного расстояния рудного тела от водораздела достаточно знать соотношение между глубиной залегания ореола и полной мощностью рыхлых образований и координату точки, в которой произведено опробование.

Но этот вариант также дорог, он может быть применен на локальных перспективных участках, но непригоден для опоискования боль-

ших площадей. При широких поисковых работах, охватывающих значительные территории, трудности с выявлением закрытых и полузакрытых диффузионно-дефлюкционных ореолов обусловливают необходимость перехода к использованию ореолов иного вида, обеспечивающих эффективное опоискование при небольших затратах. Речь может идти в первую очередь о широком применении гидро- и биогеохимического метода поисков, вполне эффективных в этих условиях, с заменой ими площадных металлометрических съемок. Должно быть усилено внимание также к использованию речных потоков рассеяния, которые развиваются одинаковым образом независимо от закрытости ореолов в рыхлом покрове склонов. В дальнейшем на выявленных по потокам рассеяния перспективных участках можно переходить к гидро- и биогеохимическому опробованию на склонах и у их подножий.

Должна быть изменена в условиях дефлюкционных склонов и методика оценки рудных тел по их вторичным ореолам рассеяния. Подсчет продуктивностей ореолов на основе площадной металлометрической съемки, в виде м % или $м^2$ %, в данном случае неприемлем, поскольку получаемые при этом результаты в сильной степени зависят от положения рудных тел на склоне. Более характерными являются вертикальные сечения дефлюкционных ореолов, которые могут быть использованы для оценки продуктивности рудных тел по формуле (I6). Продуктивность рудного тела находится по этой формуле на основе подсчета вертикальной продуктивности ореола, определения полной мощности рыхлых образований и глубины залегания ореола. Коэффициент пропорциональности K, зависящий от химического состава рудного тела, индивидуальных свойств рассматриваемого вещества и физико-химической обстановки, можно определить эмпирическим путем.

Формула (I6) выведена из чисто дефлюкционной модели, но она может быть применена и к диффузионно-дефлюкционным ореолам. Очевидно, можно исходить из того, что вещество, сосредоточенное в дефлюкционном слое, рассеивается в результате диффузии по всему вертикальному сечению. Поэтому продуктивность можно определить, суммируя это вещество, по формуле:

$$M' = \sum_{i=1}^{n} \tau_i (C_i - C_\phi),$$

где τ_i – длины интервалов опробования, C_i – концентрации вещества на соответствующих интервалах, C_ϕ – фоновая концентрация, n – число проб, попадающих в ореол.

Все сказанное выше относится к таким процессам, когда перенос веществ на склонах в твердой фазе происходит только путем медленного движения рыхлых масс по уклону и диффузии. Обстановка меняется, если наряду с этими видами переноса имеет место плоскостная водная или эоловая эрозия. В этом случае ореолы становятся в той или иной мере открытыми и возрастает вероятность эффективного применения литогеохимической съемки с неглубоким пробоотбором.

Литература

I. Великанов М.А. Гидрология суши. – Гидрометеоиздат, Л.,I964.
2. Каплина Т.Н. Криогенные склоновые процессы. – М.,"Наука",I965.
3. Поликарпочкин В.В. Распределение концентраций рудообразующих элементов на склонах при самопроизвольном движении рыхлых масс и действии склоновых водных потоков. – В сб.: "Математические методы геохимических исследований". М., "Наука", I966.
4. Соловов А.П. Основы теории и практики металлометрических съемок – Алма-Ата, Изд-во АН Каз.ССР, I959.
5. Соловов А.П. Количественная интерпретация вторичных ореолов рассеяния рудных месторождений (краткое методическое пособие). – Алма-Ата,I966.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛОМОЧНОГО МАТЕРИАЛА В СКЛОНОВЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ ЗАДЕРНОВАННЫХ СКЛОНОВ

С.С.Воскресенский

В чехле склоновых образований, одевающих поверхность задернованных склонов, обломки коренных пород находятся в смещенном состоянии. Это неизбежно сказывается на получаемой в результате спектрометаллометрического опробования картине ореолов тех или иных элементов, входящих в состав коренных пород склона. Чтобы исключить вполне возможное искажение картины ореолов необходим учет особенностей строения чехла склоновых образований, а также типа и скорости перемещения материала вниз по склону.

В настоящей статье изложен опыт, полученный в течение ряда лет исследований в районах Южного Зауралья, Центрального Казахстана, Средне-Сибирского плоскогорья, Забайкалья, Малого Хингана, сопочных массивов по периферии Амуро-Зейской равнины, в бассейнах верхнего течения рек Колымы и Неры.

Обычно задернованные склоны имеют крутизну в пределах от 35 до 2 градусов. На них залегает чехол склоновых образований, почти целиком скрывающий горные породы, слагающие коренной массив склона. Задернованные склоны по крутизне делятся на очень отлогие (2--5^0), отлогие (5-I5^0) и средней крутизны (I5-35^0). Встречаются крутые задернованные склоны (35-50^0), но их очень немного.

В районах, перечисленных выше, за исключением гольцовых среднегорий и площадей плейстоценового оледенения, углы наклона склонов редко достигают угла естественного откоса - 35-37^0 и склоны редко бывают обнажены. Даже в низкогорьях, не говоря о сопочных районах и равнинах, задернованные склоны, прикрытые чехлом обломков, по площади решительно преобладают над крутыми или закурумленными склонами (в том числе и древними курумами, уже слегка за-

дернованными). Меньшие площади занимают ровные поверхности междуречий, покрытые чехлом элювия, и поверхности, выстланные аллювием или же озерными отложениями.

На денудационных склонах крутизной от 2 до 20–25° (если исключить закурумленные склоны) толщина склоновых образований в 99 случаях из 100 лежит в пределах 0,5–3,0 м, т.е. толщина чехла склоновых образований достаточно постоянна. Это постоянство – явление само по себе замечательное и, несомненно, закономерное. Оно отражает динамическое равновесие, вырабатываемое в результате относительного сбалансирования быстроты подготовки материала выветриванием с быстротой удаления его склоновыми процессами. При увеличении мощности чехла обломков темп выветривания коренных пород, залегающих в его основании, падает, а скорость движения обломочного материала, наоборот, возрастает (при прочих равных условиях). При уменьшении мощности чехла обломков возрастает интенсивность выветривания коренных пород, закрытых обломочным чехлом, уменьшается скорость смещения обломков склоновыми процессами.

В указанных районах задернованные склоны речных долин в ходе развития, продолжавшегося в течение нескольких миллионов лет, в условиях указанного выше динамического равновесия получили вполне определенный выпукло-вогнутый профиль. Крутизна уменьшена вверху, там, где склон переходит в вершинную приводораздельную поверхность междуречья, а также внизу – близ днища долины, где склоновые процессы постепенно изменяют морфологию поверхности речных террас. В конечном счете профиль склона определяется быстротой "стесывания" склоновыми процессами поверхности коренных пород. Профиль поверхности коренных пород с ничтожными отклонениями подобен профилю дневной поверхности.

В разных частях выпукло-вогнутого склона склоновые процессы различны. Различно вместе с тем и строение чехла склоновых образований. По разному распределяется в нем грубый обломочный материал, сравнительно недавно оторванный от коренной породы.

Чем ниже по склону, тем больше масса смещающегося материала, проходящая через единицу сечения склона. Вместе с тем возрастает увлажненность и доля мелкообломочных частиц, получающихся при дроблении и истирании крупных обломков. При увлажнении склоновых образований меняется их консистенция, а вместе с нею и вид массового движения склоновых образований. В указанных районах природные условия различны, и доля склонов (по их профилю) с разным видом

движения далеко не одинакова. В Приамурье доля склона медленной солифлюкции гораздо больше, чем в Южном Зауралье. Зато в Зауралье выше доля дефлюкционных склонов.

Исключая из рассмотрения частные моменты, хотя и усложняющие картину, но не меняющие ее существа, склон вдоль профиля можно разделить на три части: дефлюкционную (прилегающую к вершинной поверхности), конжелифлюкционную и медленной солифлюкции (примыкающую к днищу долин). Не повторяя того, что нами уже излагалось /I/, дадим краткую характеристику указанных частей склонов (таблица).

Таблица

Характеристика особенностей выпукло-вогнутого склона длиной 500 м с относительным превышением I00 м

	Дефлюкционная часть	Конжелифлюкционная часть	Часть с движениями типа медленной солифлюкции
Длина каждой части склона (м)	I00	200	200
Средний угол наклона (град.)	5-20	I5-25	4-I0
Консистенция	вязкопластичная	вязкопластичная и вязкотекучая	вязкотекучая
Скорости движения (средние, мм/год)	I-3	5-I0	I0-40
Мощность склоновых образований (м)	0,8-2,0	2-2,5	2,5-3,0

Хотя мы различаем виды склонов по типу движения, судить о том, к какому виду отнести тот или иной склон, приходится по его строению и морфологии. Если наблюдения за скоростью движения не многочисленны, то строение склоновых отложений можно было наблюдать в сотнях случаев. Для этого использовались канавы и расчистки, пройденные с различными задачами при поисковых и геологоразведочных работах. Канавы и шурфы имеются в настоящее время во всех районах.

Горные выработки приходится специально и тщательно зачищать с помощью специального скребка или ножа. Зачистка стенки лопатой или кайлой обычно не дает возможности увидеть структуру склоновых

образований. Во многих случаях стенки зарисовывались, для чего проводилась разграфка стенок на квадраты 20 х 20 см. Подобных разрезов в разные годы и в разных районах изучено сотни. Образцы зарисовок (в черно-белом варианте) приведены на рис.I,2,3.

Во всех разрезах склоновых образований – дефлюкционных, конжелифлюкционных и медленной солифлюкции – можно выделить верхний горизонт с вертикальной микроотдельностью, слоеватый горизонт, горизонт кос ("завернутых" вниз по склону раздробленных слоев и прожилков) и, наконец, уже частично раздробленную, но несмещенную коренную породу.

В разрезах достаточно отчетливо видно, что крупные обломки мало раздробленной горной породы могут встречаться во всех горизонтах. Следовательно, наряду со смещением вниз по склону обломки испытывают перемещение в толще склоновых образований от их подошвы в верхние горизонты. В вертикальном сечении получается "веер рассеивания" с волнистыми, а иногда и рваными краями.

На склонах с различным видом движения склоновых образований этот "веер рассеивания" различен. О виде движения материала и строении чехла приходится судить по морфологии склона – внешним особенностям его поверхности, коррелируя получаемые представления по небольшому (для данного склона) числу вспомогательных шурфов или канав. Таким образом, появляется возможность судить и о быстроте срезания поверхности склона и о поступлении материала из коренных пород в склоновые образования, которые надлежит опробовать на предмет выявления тех или иных рудопроявлений, не выходящих на дневную поверхность.

Остановимся подробнее на подмеченных закономерностях распределения материала по профилю склона на различных его участках, отличающихся видом движения материала.

На дефлюкционных склонах (рис.I) мощность склоновых образований относительно невелика, поток направляется сюда только с лежащих выше элювиальных поверхностей и с самого дефлюкционного склона. Материал здесь движется медленно, консистенция его вязкопластичная. Она не способствует пучению и трещинообразованию. Если бы не малая мощность склоновых образований, не было бы оснований ожидать быстрого появления на поверхности обломков коренной горной породы из нижней части склоновых образований. При мощности склоновых образований 0,8–I,I м и $\angle = 20^{\circ}$ обломки, отделенные от кварцевой жилы, как показывают наблюдения, достигают поверхности в

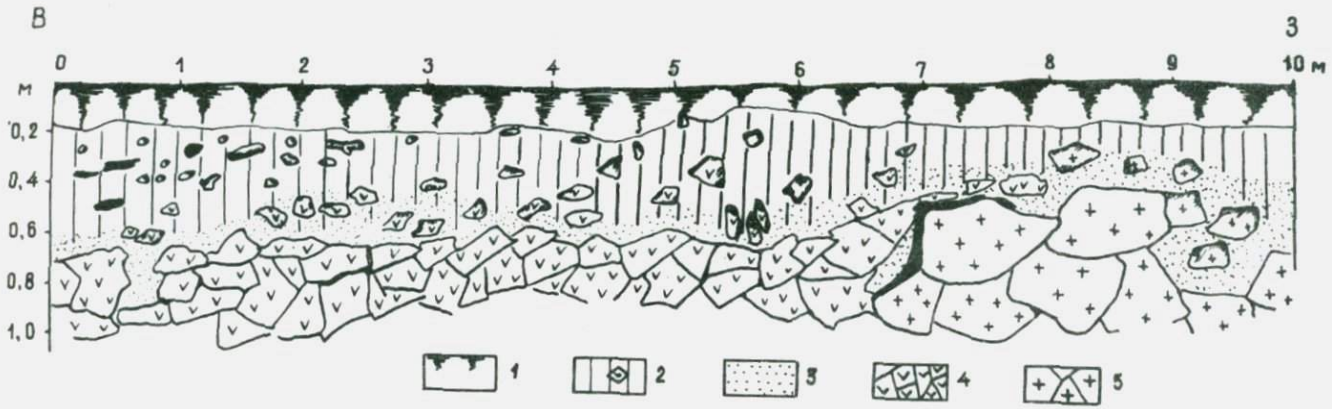


Рис.I. Строение отложений дефлюкционного склона (разрез вдоль горизонтали)

I - почвенный слой; 2 - суглинок с щебенкой и валунами; 3 - дресва с щебенкой и валунами; 4 - разборная скала липарита; 5 - трещиноватый гранит.

8–10 м ниже по склону от места коренного залегания жилы.

Корневые системы деревьев и некоторых травянистых растений пронизывают насквозь всю толщу склоновых образований до коренных пород. По корневым системам поднимается некоторое количество растворов. Поэтому есть основание ожидать, что особенности состава коренных горных пород, хотя и в сглаженной форме, могут проявиться при спектральном анализе образцов, взятых с поверхности или вблизи нее.

С другой стороны, в составе склоновых образований еще мало иловатых и глинистых частиц (0,01–0,001 мм и менее), и выпадающая влага быстро фильтруется в глубину. Это не способствует быстроте движения склоновых образований, а также процессам пучения и возникновению морозобойных трещин и трещин усыхания.

Исходя из этих положений, можно предположить, что спектральный анализ образцов с глубины 20–40 см должен показывать сглаженные ореолы, смещенные вниз по склону на 10 метров (и более) от места действительного положения выходов рудных тел.

На конжелифлюкционных склонах (примыкающих снизу по профилю склона, рис.2) поток медленно смещающегося склонового материала нарастает, больше стесывается и материала коренных пород, выше влажность грунтов. Вместе с тем слоеватая структура конжелифлюкционных склоновых образований указывает на медленное проникновение обломков от подошвы к кровле. Особенно сильно это обстоятельство сказывается, если конжелифлюкционный склон длинный – протягивается на 200–400 м. В таком случае возрастает мощность, а слоеватая структура склоновых образований выражена особенно отчетливо.

Обломки пород, соприкасающихся с движущимся склоновым материалом, появляются в поверхностных горизонтах в 20–40 м ниже по склону. Иногда их нет в верхних частях склоновых образований и в 50м ниже по склону от места залегания коренных тел. Чем круче склон, тем при прочих равных условиях слабее перемешивание материала в толще конжелифлюкционных склоновых образований.

Относительно распределения обломочного материала в склоновых образованиях на склонах медленной солифлюкции данных сравнительно мало. Дело в том, что на этих склонах грунт всегда насыщен водой и имеет вязко-текучую консистенцию, а поэтому относительно подвижен. Канавы и шурфы немедленно заливаются водой и через несколько месяцев совершенно заплывают. Поэтому разрезы удается наблюдать лишь в благоприятных случаях искусственного дренажа или

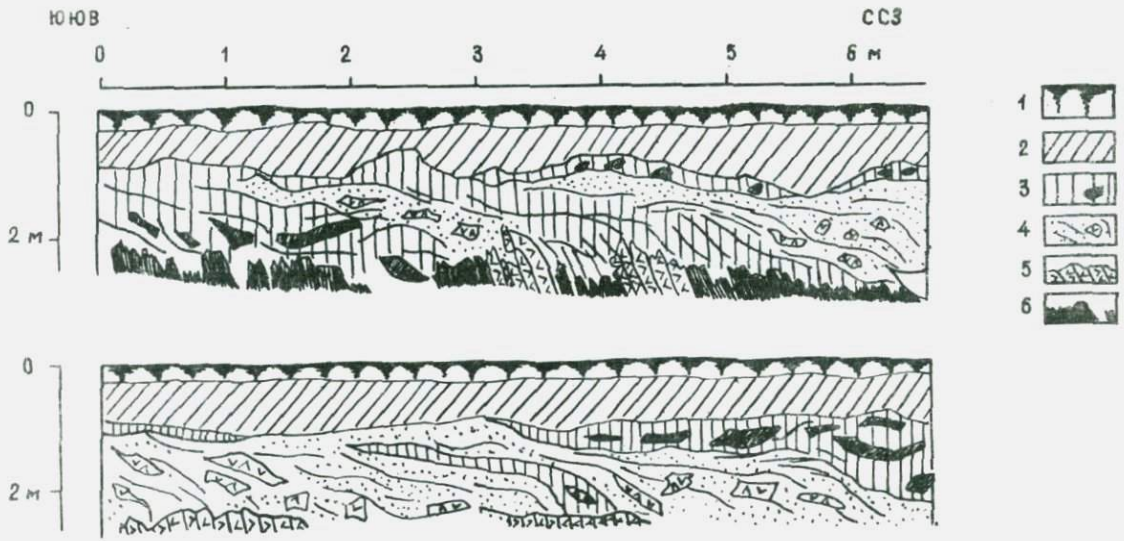


Рис.2. Строение отложений конжелифлюкционного склона.
Сопочный массив в пределах Амуро-Зейской депрессии (наклон на ЮЮВ, 17°)
I - почва; 2 - суглинок вертикально трещиноватый с малым количеством дресвы и редкой щебенкой; 3,4 - суглинок дресвяный со щебнем; видна слоеватость; 5 - сланец кристаллический; 6 - гранит.

же в зимнее время.

Медленная солифлюкция в большинстве свойственна нижним частям склонов, куда поступает весь материал с вышерасположенных склонов (и куда сбегает вода). Здесь примешаны обломки всех горных пород, слагающих склон выше (дефлюкционная и конжелифлюкционная части профиля склона). Материал сильно глинистый. На поверхности склона отчетливо видны следы пучения в виде бугров, а иногда натеки недавно выдавленного грунта. Слоеватая структура не всегда характерна. Во многих случаях наблюдаются клиновидные эпигенетические льды или клиновидные грунтовые жилы. Во многих случаях удается наблюдать примесь аллювиального материала - гальку, включенную в толщу склонового щебнистого суглинка (аллювиальный материал поступает за счет разрушения надпойменных террас).

В этих условиях при спектрометаллометрическом опробовании следует ожидать наиболее пеструю картину. В небольшом числе случаев вблизи поверхности оказывается материал из слоя кос, расположенных непосредственно под буграми пучения. Тогда появляется возможность судить о минералогическом, петрографическом и химическом составе подстилающих горных пород. В соседних пробах вполне может оказаться материал "дальнего переноса", то есть из аллювия, принесенного из верхних частей бассейна реки. В отдельных случаях, когда склоновыми процессами разрушается террасовая аллювиальная россыпь, могут выявиться резкие "пики" в содержании рудных компонентов. Во многих случаях примесь аллювиального материала только осредняет общую картину. В большинстве же случаев спектральный анализ будет фиксировать достаточно полное смешение материала, снесенного со всего вышележащего склона, аллювиальная составляющая совсем незаметна.

Пока речь шла об отложениях денудационных склонов. Но в нижней части склонов долин, особенно на поверхности террас, может происходить и аккумуляция материала. Здесь можно рассмотреть ряд случаев, когда коренные породы скрыты под чехлом склоновых и аллювиальных отложений. Поэтому спектрометаллометрия мало что может дать на аккумулятивных склонах.

Как известно, долины рек часто формируются вдоль зон повышенной трещиноватости, которые могут быть рудоносными. В перечисленных выше районах на две долин врезание неоднократно сменялось аккумуляцией аллювия. Новое врезание большей частью пространственно не совпадает с древней, и наиболее интересные рудоносные зо-

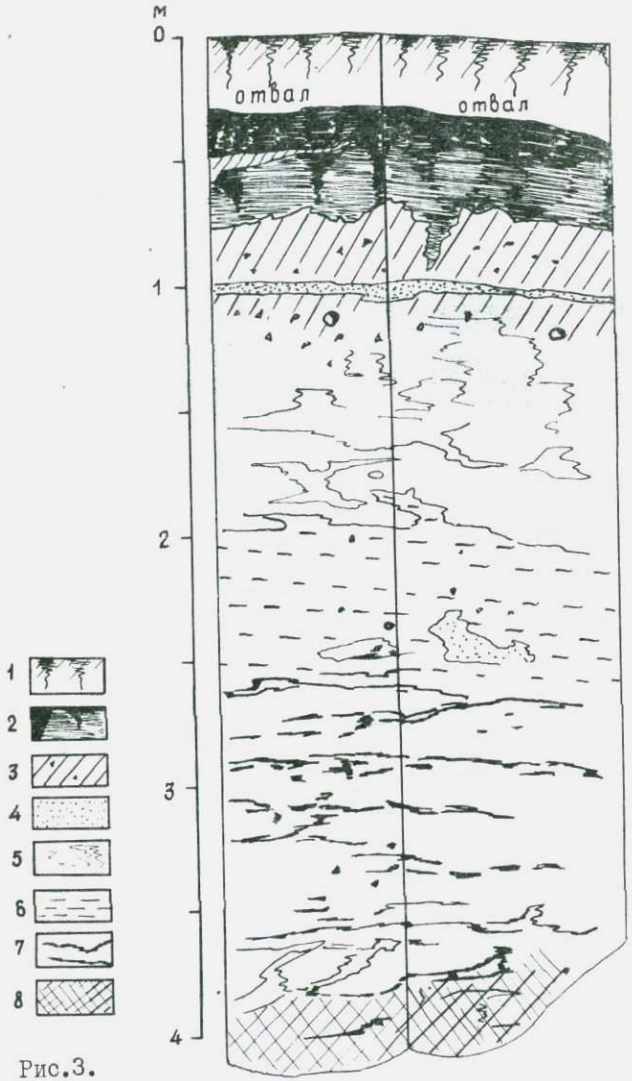


Рис.3.

Разрез отложений склона медленной солифлюкции (лицевая и боковая стенки выработки) Малый Хинган

I – отвал; 2 – суглинок гумусированный с языками гумуса; 3 – суглинок вертикально трещиноватый; 4 – дресвяный прослой; 5 – суглинок с включением мелкой дресвы; 6 – щебнистый сильноглинистый суглинок; 7 – прослойки ожелезненного суглинка в толще дресвы, обогащенной суглинистым материалом; 8 – сильновыветрелый гнейс, трещиноватый. Лицевая и боковая стенки выработки.

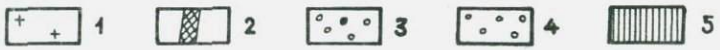


Рис.4. Связь долины с зоной брекчированных пород
I - коренные породы; 2 - оруденелые брекчированные зоны; 3 - древний аллювий;
4 - современный аллювий; 5 - склоновые образования.

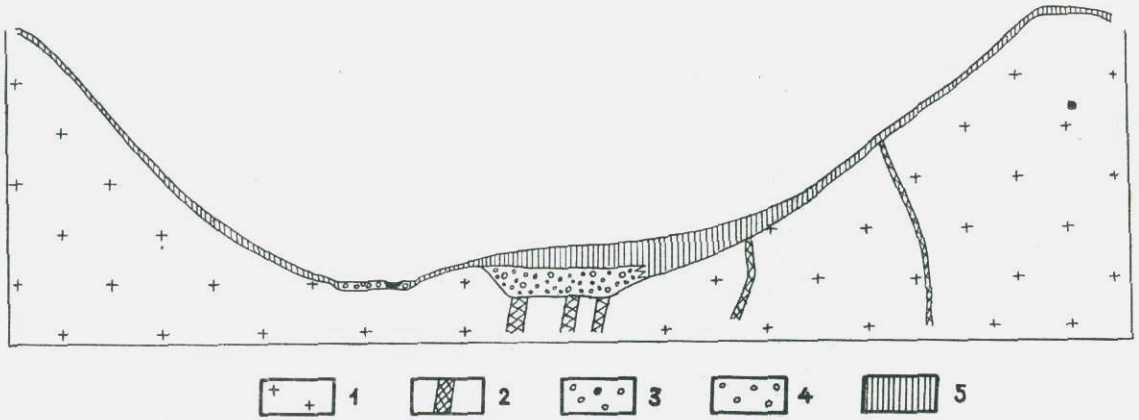


Рис.4. Связь долины с зоной брекчированных пород
I – коренные породы; 2 – оруденелые брекчированные зоны; 3 – древний аллювий;
4 – современный аллювий; 5 – склоновые образования.

ны вполне могут оказаться вне пределов современного русла или поймы, т.е. в стороне, под террасоувалом. Это показано на рис.4. Тогда опробование выходов коренных пород вдоль русла реки может создать неправильное представление о наличии рудоносной зоны на дне долины.

Иногда бывает и иначе. Прочные рудоносные зоны, например участки, интенсивно пронизанные кварцевыми жилами, выступают в рельефе склона. Если такие зоны протягиваются вниз по склону, они отчетливо выступают в виде гребней. Если же они ориентированы по нормали к линии максимального уклона склона или под углом к нему, они образуют уступы. В верхней части склона, где поток рыхлого материала еще не велик, возникают уступы, хотя и перекрытые склоновыми образованиями, но отчетливо наблюдаемые. На конжелифлюкционных склонах эти уступы едва заметны, а на склонах с вязкотекучим движением материала выходы прочных пород обычно совершенно не выражены в микрорельефе склона, хотя мощность рыхлых отложений над ними иногда и уменьшается в полтора-два раза.

В микрорельефе склона при внимательном наблюдении можно заметить слабовыраженные безрусельные ложбины - делли. Они подчеркиваются хорошим увлажнением почвы. Лучше всего делли заметны на склонах медленной солифлюкции. По деллям смещение материала (благодаря лучшему увлажнению) происходит быстрее, а материал смешивается в наибольшей степени. В пределах днищ деллей взятие образцов для спектрометаллометрии мало результативно.

Изложенные выше соображения вытекают из материала, полученного при изучении разрезов склоновых образований. Изучение склонов проводилось не специально для потребностей геохимических исследований. Постановка комплексных методических работ с участием геохимиков и геоморфологов дало бы точный материал для выяснения закономерностей распределения рудных минералов в толще разнообразных склоновых образований.

Литература

1.Воскресенский С.С. Динамическая геоморфология. Формирование склонов. М., Изд-во МГУ, 1971.

К ВОПРОСУ О РОЛИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДЕНУДАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД В ОБРАЗОВАНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ НА ПОЛОГИХ СКЛОНАХ

Э.Ф.Жбанов, В.Ф.Белоголовов

При проведении крупномасштабных геологосъемочных и поисковых работ геологическая и геохимическая информация в значительном объеме поступает из точек наблюдения и опробования, расположенных на склонах. Так, только на площади Бурятской АССР ежегодно обрабатываются данные геологических, радиометрических, шлиховых, нейтронно-активационных и различного вида геохимических съемок в объеме около миллиона точек наблюдения, расположенных большей частью на различных склонах, среди которых пологие являются наиболее распространенными и наименее обнаженными. Обнаружение многих геологических и рудных объектов при этих условиях начинается с выявления и оконтуривания механических (обломочных) ореолов. Очевидно, что для оценки разрешающей возможности перечисленных поисковых методов, а также и геологической съемки, проводимой по элювиально-делювиальным высыпкам, необходимо выявление закономерностей образования механических ореолов.

Изучение процессов формирования обломочных ореолов на склонах тесно переплетается с изучением генезиса самих склоновых отложений. Центральное место при этом занимает вопрос об особенностях механической миграции продуктов выветривания, наиболее важный практический аспект которого состоит в выяснении соотношения закрытых и открытых механических ореолов на пологих склонах. При изучении этого вопроса приходится учитывать различные факторы: ландшафтно-геоморфологическую и геохимическую обстановку, склоноформирующие процессы, генетические типы склоновых отложений и

их увлажненность, размеры геологических тел, гипсометрическое положение их на склоне относительно денудационной, транзитной и аккумулятивной части склонов; денудационную устойчивость пород и т.п. Теория некоторых типов механических ореолов для определенной геоморфологической обстановки разработана и апробирована на практике.

Теорию механических ореолов диффузионного типа разработал А.П. Соловов /6/. В последнее время в формировании механических ореолов выявлена очень важная роль склоновых процессов типа дефлюкции и крипа. Теория таких ореолов, развитая В.В.Поликарпочкиным, позволила по-новому оценивать разрешающую способность поверхностной металлометрической съемки /3/. Строение рыхлого покрова Забайкалья и некоторые вопросы ореолообразования в зависимости от типа склоновых отложений и геоморфологической обстановки рассмотрены С.С.Воскресенским /1/. Этими исследователями рассмотрены очень важные аспекты изучения склоновых отложений и ореолообразующих процессов на склонах. Однако механические ореолы и склоновые отложения Сибири, а также некоторые факторы, обусловливающие их сложность, остаются в целом еще мало изученными.

В порядке развития представлений В.В.Поликарпочкина /3,4/ мы проанализируем роль только одного из таких факторов: влияние относительной денудационной устойчивости петрографически разнородных пород на некоторые особенности механических ореолов.

Значение селективного выветривания и денудационной устойчивости пород в формировании литоморфного рельефа, а также различного рода дешифровочные признаки его широко освещены в литературе и используются на практике. При изучении же механических ореолов этим особенностям выветривания уделяется недостаточное внимание. Отсутствует классификация пород по признаку их сопротивляемости физическому выветриванию. Создание такой классификации вызывает определенные трудности. Трудно количественно оценить эту особенность пород, а применяемый иногда такой признак прочности как сопротивление пород раздавливанию не отражает сущности явления.

Основываясь на наблюдениях характера и интенсивности выветривания в различных районах Бурятской АССР, коснемся некоторых аспектов классификации. Сравнительная оценка сопротивляемости различных геологических тел выветриванию и денудации позволяет на территории БурАССР различать в первом приближении три категории пород: устойчивые, умеренно устойчивые и неустойчивые.

Устойчивые породы при физическом выветривании образуют грубый, в основном глыбовый и щебенисто-глыбовый материал, который на всем этапе склонового транзита очень медленно подвергается десквамации и дает в небольшом количестве мелкозем: дресву и более мелкий материал. На участках, целиком сложенных этими породами, отношение щебня и глыб к мелкозему обычно $\geqslant 4$. Это свойство в некоторой мере уже может служить отличительным признаком денудационной устойчивости пород. Значительные площади (до 500 кв.км) устойчивых пород на территории БурАССР слагаются мезозойскими, нередко окварцованными, иногда редкометальными гранитами и апогранитами, раннепалеозойскими никеленосными плагиоперидотитами. Еще более мелкие тела, обычно линейной формы, сложены кварцевыми жилами и дайками позднепалеозойских и мезозойских интрузивных комплексов. Среди осадочных и осадочно-метаморфических образований к этой группе можно отнести некоторые породы верхнего протерозоя (кремнистые пачки, кварциты, кварцевые песчаники).

Устойчивым породам свойственны денудационные останцы и литоморфные уступы на поверхностях выравнивания и склонах. На площадях их развития часто встречаются курумы и перлювиальные образования. На аллювиальном этапе миграции породы этой группы разрушаются также медленно и хорошо выдерживают длительную транспортировку, обнаруживаются в эрозионной системе в 50–150 км от своего коренного источника, что обеспечивает эффективное применение обломочно-речного и валунного методов поисков.

Высвобождение породообразующих и рудных минералов при выветривании устойчивых пород на склоновом и аллювиальном этапе транзита незначительное. Вторичные ореолы устойчивых рудных тел наиболее эффективно выявляются при опробовании крупной фракции склоновых отложений. Эпигенетические изменения (ожелезнение, омарганцевание и обызвесткование) наблюдаются в виде тонких пленок на поверхности глыб и щебня. Зональные ландшафтно-геоморфологические факторы (мерзлота, количество осадков и т.д.) на характере выветривания устойчивых пород в сравнении с умеренно устойчивыми и неустойчивыми сказываются значительно слабее.

Умеренно-устойчивые породы в результате выветривания уже у коренного выхода дают продукты иной размерности: кроме глыб и щебня в большом количестве присутствуют дресва и более мелкие продукты выветривания – песок и пыль (криопелит). Отношение глыб к мелкозему в продуктах разрушения этих пород на начальном этапе скло-

нового транзита ≤ I. Вокруг скальных обнажений этих пород иногда полностью отсутствуют глыбовые осыпи, сразу формируется дресва и песок. Последнее особенно характерно для широко распространенных в южной части Бурятии ранне- и среднепалеозойских гранитоидов, слагающих массивы площадью до I000 кв.км и более. За счет их продуктов выветривания образовалась, по-видимому, основная масса песка, широко развитого в составе четвертичных отложений указанного района /5/. К породам этой категории относятся также протерозойские и нижнепалеозойские метаморфические терригенные и карбонатные породы.

В процессе миграции продуктов выветривания этих пород на склоне происходит заметное (до I0% и более) высвобождение породообразующих и рудных минералов. В делювиальных отложениях наблюдается сортировка продуктов дезинтеграции по удельному весу. Оруденелые умеренно - устойчивые породы склонны к образованию россыпей не только в аллювиальных, но и в склоновых отложениях. Бедные россыпи могут образовываться и за счет акцессорных минералов, что имеет место в бассейне р.Кыджимит, где убогие и небольшие россыпи касситерита образовались за счет акцессорного касситерита в гранитоидах. Выявление вторичных ореолов в зависимости от размерности продуктов выветривания возможно по различной фракции; чаще представительна фракция 0,5-0,I мм. На выветривание умеренно-устойчивых пород существенно влияют зональные ландшафтные факторы: климат, количество осадков, а также характер и интенсивность криогенных и почвообразовательных процессов.

Неустойчивые породы уже в коренном залегании избирательно и интенсивно выветриваются на глубину до 20 м и поставляют в рыхлый покров склона преимущественно мелкозем: дресву, а также глинистый или суглинистый иногда пылеватый материал и в резко подчиненном количестве обломки и щебень. Отношение грубой обломочной части к тонким продуктам выветривания менее 0,I. Характерно, что неустойчивые породы обычно встречаются в виде линейных геологических тел, часто приурочиваясь к зонам интенсивной трещиноватости и дробления, зонам сапролитов ("рыхляков"), малоустойчивым дайкам керсантитов и т.п. пород. Мощность таких тел обычно колеблется в пределах 0,5-I0,0 м. К этой же категории пород относятся участки слюдитов во вторичных кварцитах, некоторые зоны окисления и лимонитизации полиметаллических месторождений, горизонты фосфоритов в вендских карбонатных толщах. Наиболее крупные зоны дезинтегра-

ции шириной 50-150 м наблюдаются в протерозойских апатитоносных диоритах, сиенито-диоритах икатского комплекса. Известно, что неустойчивые породы занимают отрицательные формы рельефа. Но нередко палеомикро- и мезоформы оказываются погребенными под склоновыми отложениями и на современной поверхности не фиксируются.

Ландшафтные факторы накладывают глубокий отпечаток на характер и степень выветривания этих пород. В пределах Витимского плоскогорья в результате крупномасштабных поисковых работ все чаще выявляются зоны интенсивной монтмориллонитизации по измененным и трещиноватым кислым эффузивам, участки окисления и глубокого выщелачивания по тектоническим зонам различных пород.

Различная размерность продуктов механического выветривания пород, отличающихся различной денудационной устойчивостью, является одним из факторов, обусловливающих их дифференцированную подвижность на склоне. Мелкая частица с размерностью песка и пыли предрасположена к делювиальному, эоловому переносу, а также и к другим типам передвижения на склоне /I/. Миграция мелкой частицы на склоне в сравнении с крупным обломком сложнее и многообразнее. Мелкая частица характеризуется большей предрасположенностью к подвижности. В благоприятной ландшафтно-геоморфологической обстановке, когда наряду с дефлюкцией и солифлюкцией проявляются делювиальный смыв и эоловая деятельность, эта предрасположенность реализуется, и скорость движения мелкой частицы на склоне становится в несколько раз большей, чем крупной частицы. Различен и вектор механической миграции частиц разного размера. У тонкой частицы он может быть направлен от коренного источника не только вниз по уклону. За счет развеивания вектор миграции может иметь практически любое направление вплоть до противоположного уклону склона. Анализ подвижности частиц разного размера и конкретной ландшафтной обстановки на склоне позволяет выяснить некоторые особенности (дальность, темп, направление) миграции продуктов выветривания и строения механических ореолов пород с различной денудационной устойчивостью.

Получить соответствующую информацию, оперируя данными о характере механического ореола только на поверхности склона, невозможно. Необходимо детальное изучение вертикального разреза, стратификации склоновых отложений, прослеживание и оконтуривание горизонтов обломков пород однородного петрографического состава, металлометрическое опробование рыхлого покрова на всю его глубину.

На рисунке представлены фрагменты характерных размеров склоновых отложений таежных средневысотных гор (хр.Хамар-Дабан и Малханский). Мерзлота в верхних частях рассматриваемых склонов не отмечается. Длина склонов 300-800 м. Уклоны 5-15°. Мощность рыхлого покрова в верхней части склона 1,0-1,5 м. Горизонт промерзания - 0,5-1,0 м. В генетическом отношении отложения верхней части склона ближе всего соответствуют делювиально-дефлюкционным и аллювиально-дефлюкционным. В разрезе, не считая верхней трещиноватой "разборной" части коренных пород, выделяются два горизонта.

Первый горизонт снизу мощностью 0,5-1,0 м - "горизонт кос".В нем обломки пород расположены довольно упорядоченно. От каждого геологического тела, залегающего в коренных породах, четко прослеживается свой ореол обломков определенного петрографического состава. Мощность обломочных ореолов однородного состава у коренного источника соответствует мощности ореолообразующих геологических тел, но далее уменьшается. Форма обломочных ореолов устойчивых геологических тел в этом горизонте в целом однообразна и на различных участках напоминает косу. Эту особенность нижних горизонтов определенных склоновых отложений Сибири впервые описал С.С.Воскресенский /1/. "Косы" обломков устойчивых пород создают хорошо видимую текстуру нижнего горизонта склоновых отложений, особенно при наличии контрастной окраски геологических тел (магнетитовые тела, амазонитовые граниты, бокситы, кварциты, зоны ожелезнения и т.п.).

Второй горизонт мощностью 0,5 м охватывает приповерхностную часть склоновых отложений, т.е. деятельный слой. В нем увеличивается количество мелкозема,происходит усиленное температурное разрушение обломков умеренно-устойчивых пород, формируются примитивные почвы. При участии одних и тех же процессов (в рассматриваемом случае дефлюкционных и делювиальных) относительная роль их в формировании структуры механических ореолов геологических тел с различной денудационной устойчивостью неодинакова в значительной мере из-за различной миграционной подвижности продуктов выветривания разной размерности. Смещение крупных обломков от устойчивого геологического тела, залегающего в коренных породах,в "горизонте кос" происходит за счет крипа и составляет 2-20 м.Косы крупных обломков имеют вид крутой параболы. Косы тонких продуктов выветривания более пологие и несколько замыты в межглыбовые пустоты. В формировании их сказывается роль делювиального про-

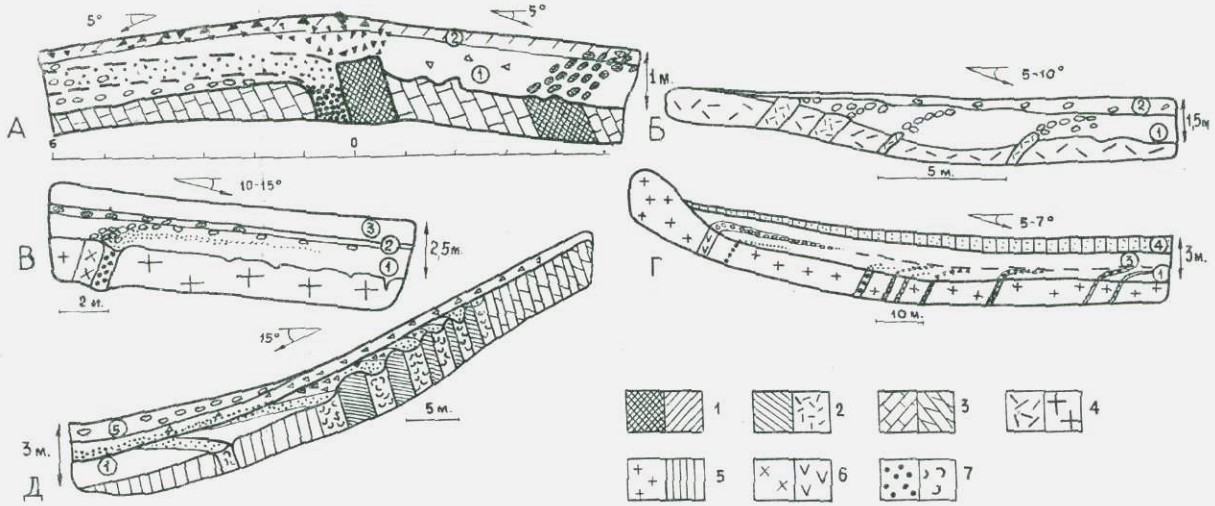


Рис. Обломочные ореолы в рыхлом покрове пологих склонов Бурятской АССР

А,Б,В,Г,Д – фрагменты отдельных частей склонов: А – приводораздельная, Б – верхняя, В – средняя, Г – средняя и верхняя, Д – средняя и нижняя; 1-7 геологические тела различной денудационной устойчивости: 1-2 – устойчивые, 3-6 – умеренно-устойчивые , 7 – неустойчивые. Цифры в кружочках: 1 – горизонт кос, 2 – второй горизонт, 3 – третий горизонт, 4 – горизонт эолово-делювиальных песчаных отложений, 5 – горизонт ледниковых суглинков.

цесса (рисунок А, Б).

Во втором горизонте отличия в механических ореолах устойчивых и неустойчивых геологических тел более существенны. Нарушается косовое строение. Проявляется дифференцированный по скорости характер дальнейшего смещения частиц разного размера по склону. Крупные обломки не вовлекаются в делювиальный процесс, двигаясь под действием медленных дефлюкционных и аблювиальных процессов. Обломочные ореолы их выходят на поверхность склона и прослеживаются на ней визуально. Крупные обломки устойчивых пород в дополнение к смещению в горизонте "кос" по полевым наблюдениям смещаются во втором горизонте еще на 5-20 м.

Тонкие продукты выветривания, легко подвергаясь смыву, уносятся вниз по склону на 100-200 м и постепенно перемешиваясь с продуктами выветривания других геологических тел, залегающих ниже по склону, становятся заполнителем глыбового материала нередко иного петрографического состава. Мигрируя между глыб и по ложбинам стока, они увеличивают размеры ореола, придают ему вытянутую шлейфообразную форму и создают сложные фестончатые очертания его окраин.

Если неустойчивые породы залегают среди устойчивых, тонкие продукты замываются между глыбами и в трещины коренных пород ниже по склону. В этом случае механический ореол неустойчивых геологических тел при мощности склоновых отложений 0,5-1,0 м может оказаться закрытым на всем своем протяжении от коренного источника /2,3,4/.

Морфологическая характеристика и строение ореолов неустойчивых рудных тел во втором горизонте с помощью визуальных наблюдений затруднительна и основывается чаще на данных радиометрического и металлометрического способа оконтуривания его по стенкам горных выработок.

В средней части пологих склонов разрез усложняется. Вышеописанный горизонт "кос" обычно сохраняется и прослеживается в основании склоновых отложений. Второй горизонт иногда фиксируется в погребенном состоянии в виде реликтов. Мощность склонового покрова в средней части склона возрастает до 2 м за счет появления третьего приповерхностного горизонта транзитных дефлюкционно-солифлюкционных и солифлюкционно-делювиальных образований. Основной объем материала третьего горизонта состоит из продуктов выветривания неустойчивых и умеренно-устойчивых геологических тел, зале-

гающих в верхней части склона. В этой связи большое значение имеет анализ не только денудационной устойчивости, но и учет размеров геологических тел, их удельной площади в сравнении с площадью склона и относительных размеров мощности линейных геологических тел и длины склона.

Для методики поисковых геологических работ важно и другое обстоятельство, вытекающее из строения склоновых отложений. Третий горизонт или горизонт транзита продуктов выветривания верхней денудационной части склона перекрывает механические ореолы всех геологических тел, мощностью 0,5–1,0 м, залегающих в средней части склона (рис. В).

В нижней, аккумулятивной части склона мощность третьего горизонта возрастает до 2–3 м. Разрез склоновых отложений и вытекающие из него последствия для методики поисковых работ в принципе те же, что и в средней части склона. Однако, если в основании склона формируется врез, в его уступе вскрываются закрытые механические ореолы геологических тел, залегающих в нижней части склона.

На Ухагольском месторождении фосфоритов (Восточный Саян) главный рудный пласт представлен пачкой переслаивания кремнистых фосфоритов, фосфатных сланцев и доломитов. Первые устойчивы, возвышаются в микрорельефе и дают преимущественно крупнообломочный малосмещенный материал, вторые неустойчивы к выветриванию еще в коренном залегании, при дезинтеграции дают тонкие продукты, которые избирательно выносятся к нижней части склона и часто выявляются в погребенном состоянии под горизонтом ледниковых отложений. Третьи, гипсометрически залегающие выше, поставляют в склоновые отложения мелко- и крупнообломочный материал примерно в равном соотношении. В результате мелкая фракция вторичного механического ореола непосредственно над рудным телом фосфоритов обеднена фосфатом и представлена в основном мелкообломочными продуктами разрушения безрудных доломитов, залегающих выше по склону. Продуктивность и контрастность вторичного механического ореола, выявленного по мелкой фракции над этим рудным телом, в десятки раз ниже контрастности рудного тела при мощности рыхлых отложений 1,5–2,0 м (рис. Д).

Когда на склоне преобладают устойчивые породы, поставляющие в склоновые отложения крупноглыбовый материал, тонкие продукты выветривания неустойчивых и умеренно-устойчивых тел, мигрируя внутри глыбовой "трубки", нередко разгружаются также в основании скло-

на, что приводит к формированию механических ореолов, часто именуемых "оторванными". Опробование заполнителя глыбовых отложений на полную мощность показывает, что многие из таких "оторванных" ореолов непрерывно прослеживаются в погребенном состоянии до коренного источника. Подобные примеры известны также из практики радиометрических поисков.

Все рассмотренные выше примеры касались некоторых зависимостей строения механических ореолов склоновых отложений на пологих склонах, геологическое строение которых характеризуется сочетанием пород с различной денудационной устойчивостью. В районах развития батолитов умеренно-устойчивых раннепалеозойских гранитоидов, когда состав продуктов выветривания отличается аномальным количеством дресвы, песка и пыли, в формировании склоновых отложений и механических ореолов существенную роль начинают играть местные эоловые процессы. Такая обстановка характерна, например, для юго-восточной части Бурятии. При этом важно учитывать почти равную податливость тонкого песка и пыли как к развеиванию, так и к смыву. Очевидно, что расстояние эолового переноса более значительное. По границе распространения песка с гранитов на поля развития устойчивых эффузивов оно определяется в 5-10 км и более. Неоднократное чередование двух процессов (развеивание песка и смыв его со склонов в течение одного года) наблюдается при современном климате. Сочетание указанных процессов привело к формированию эолово-делювиального покрова, который выделяется в виде четкого горизонта. Мощность его 1-6 м и увеличивается к подножью склона (рис.Г). Вторичные ореолы на этой площади отличаются очень низкой контрастностью, особенно на средних и нижних частях склонов, низких междуречьях, с отметками 900-1300 м - там, где формируется эолово-делювиальный покров. На современных денудационных формах рельефа- узких водораздельных гребнях, приводораздельных крутых частях склонов с отметками 1300-1500 м, где происходит энергичный смыв эоловых осадков, фиксируются вторичные ореолы нормальной интенсивности. При опробовании местной крупной дресвянистой фракции достигается большая контрастность вторичного ореола. Естественно, что подавление, "приглушивание" вторичных ореолов в этих условиях происходит на очень больших площадях.

В районах развития горно-долинного оледенения в Восточном Саяне и на севере Бурятии на пологих склонах нередко формируется

покровный горизонт, заполнитель которого представлен переотложенным суглинком и супесью моренного происхождения (рис.Д).

На основании вышеизложенного представляется возможным сделать следующие выводы:

I.Различная относительная денудационная устойчивость пород предопределяет различную размерность образующихся продуктов механического выветривания. Неодинаковая миграционная способность обломков различного размера на склоне существенно сказывается на строении, морфологии, смещении, "закрытости" механических ореолов и может быть использована как дополнительный классификационный признак механических ореолов.

2. В случае, если в геологическом строении склона принимают участие породы различной денудационной устойчивости, склоновые отложения чаще становятся сложными полигенными: дефлюкционно-делювиальными, солифлюкционно-дефлюкционно-делювиальными. Механические ореолы неустойчивых и умеренно-устойчивых линейных геологических и рудных тел, залегающих в устойчивых породах, часто развиваются по закрытому типу уже при относительно небольшой мощности (I-2м) склоновых отложений.

Литература

I. Воскресенский С.С. Динамическая геоморфология. Формирование склонов. Изд-во МГУ,1972.

2. Убанов Э.Ф. Механические ореолы рассеяния в рыхлом покрове склонов на территории Бурятии. - В кн.: Ежегодник-1971 СибГЕОХИ, Иркутск, 1972.

3. Поликарпочкин В.В. - В кн.:Математические методы геохимических исследований. М.,"Наука", 1966.

4. Поликарпочкин В.В., Зукова Р.И. Особенности вторичных ореолов рассеяния Жапчерангино-Любавинского района и процессы их образования. - В кн.: Ежегодник-1971 СибГЕОХИ. Иркутск,1972.

5. Симонов Ю.Г. Региональный геоморфологический анализ. Изд-во МГУ, 1972.

6. Соловов А.П. Основы теории и практики металлометрических съемок. Изд-во АН Казахской ССР. Алма-Ата,1959.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ СКЛОНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕЛЕНГИНСКОГО СРЕДНЕГОРЬЯ И УСЛОВИЯ ВЕДЕНИЯ ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ

И.Н.Резанов, Д.Б.Базаров

При проведении геохимических поисков и крупномасштабной геологической съемки в центральной и южной частях Бурятии приходится встречаться с существенными затруднениями, вызванными значительной "закрытостью" больших участков территории довольно мощными рыхлыми отложениями.

Четвертичные, особенно склоновые отложения, являются той средой, в которой развиваются вторичные ореолы рассеяния, и поэтому знание истории формирования, генезиса и закономерностей их строения и состава имеет большое значение.

Плиоцен-четвертичная история формирования рыхлых отложений Селенгинского среднегорья распадается на пять крупных этапов, обусловленных особенностями неотектонического развития и палеоклимата: плиоценовый, нижне- и среднеплейстоценовый, поздне-среднеплейстоценовый, верхнеплейстоценовый и голоценовый.

В плиоцене рельеф бассейна р.Селенги уже имел облик подобный современному. Долины крупных рек были глубокими (глубже современных) и хорошо разработанными. В начале этапа по долинам происходит накопление мощных галечных толщ, ныне погребенных под руслами рек. В конце плиоцена повсеместно (по долинам и межгорным впадинам Западного Забайкалья) сформировались красноцветные образования тологойской свиты: суглинки, глины. В настоящее время они обнажаются в основании разрезов мощной толщи четвертичных осадков.

В нижнем и среднем плейстоцене по межгорным впадинам и крупным речным долинам происходит интенсивная аккумуляция мощной толщи слоистых полигенетических песков и делювиально-пролювиальных суглинков и лессовидных образований. Они слагают высокие увалы (80-

-120 м) и слабонаклонные равнины.

Во второй половине среднего плейстоцена по всем долинам наблюдается интенсивное врезание, в ходе которого реки углубили свое ложе на 60-80 м, после чего сформировались песчаные отложения IУ надпойменной террасы.

В верхнем плейстоцене по долинам и межгорным впадинам формируется целая серия низких аккумулятивных террас и соответствующих этому времени шлейфов и конусов выноса. Площадь аккумуляции разрастается, покрываются рыхлыми отложениями не только нижние части склонов, но и средние.

В результате интенсивной эоловой деятельности значительные участки склонов северной и северо-западной экспозиции оказались покрытыми эоловыми песками. Более тонкие частицы ветром уносились дальше и осаждались на междуречьях и низких водоразделах, даже на склонах южной экспозиции, образуя сплошной покров лессов и лессовидных образований мощностью от 2-3 до 10-15 метров.

Вторичные механические ореолы рассеяния, доступные существующим методам геохимических поисков, связаны преимущественно с верхнеплейстоценовыми осадками различного генезиса. Поэтому ниже приводится более детальная характеристика этих отложений с учетом их геоморфологических условий.

В вершинном поясе среднегорья, в пределах абсолютных высот от 1000 до 1500 м, сохранился реликтовый нивально-гольцовый рельеф, в котором выделяется два плейстоценовых яруса. Более древний распространен у нижней границы древней гольцовой зоны, а наложенный, более молодой, - на максимальных его высотах.

В древней гольцовой зоне рельеф имеет мягкие, куполовидные очертания. Выравненные гольцовые поверхности покрыты щебнисто-крупноглыбовыми россыпями, мощность которых составляет 1,5-2,5 м. Здесь, как правило, нет мерзлоты, интенсивные процессы пучения прекратились, пространство между глыбами курума заполнено мелкоземом, образовавшимся за счет выветривания крупноглыбового элювия. Курумы задернованы, на их поверхности развивается почва и распространен горно-таежный ландшафт. В разрезе рыхлых образований нередко наблюдается два маломощных горизонта ископаемых лесных почв. Верховья долин в гольцовой зоне представляют собой широкие плоские ложа транзита отмерших земляных глетчеров, где глыбовые образования погребены под более поздними солифлюкционными и делювиальными отложениями. Вблизи рек склоны массивны, расчле-

ены слабо, но крутизна их значительна (от 20 до 30°). Профиль склонов – выпуклый в верхней части и прямой – в нижней. Долины 3го и 4го порядков глубоко врезаны, склоны их в верхней части круты, днища долин перекрыты отложениями коллювиального ряда.

Средние и нижние, более крутые части склонов также перекрыты щебнисто-глыбовым коллювием, испытавшим значительные перемещения действием мерзлотного крипа и солифлюкционных процессов, но он часто бывает погребен под мелкоземистыми делювиальными склоновыми отложениями. Эти части склонов в большинстве своем лишены мерзлоты, задернованы и покрыты таежной древесно-кустарниковой растительностью. В разрезах склоновых образований фиксируется до 2-х горизонтов ископаемых почв.

В настоящее время на склонах северных экспозиций при вершинном поясе средневысотных гор, охваченном сезонной мерзлотой, наблюдается солифлюкционное перемещение почвогрунтов и снос мелкозема и дресвы водами надмерзлотного стока, увлекающего самые верхние части слоев плейстоценовых отложений.

Низкогорный рельеф занимает переходную ступень от среднегорья к предгорьям. Он распространен в пределах абсолютных высот 800-1000 м и имеет более пологий профиль склонов, иное строение и состав склоновых образований. Это эрозионные, большей частью – крутосклонные горы (крутизна склонов достигает 10-20°). Густота расчленения рельефа – 1,6-1,8 км на 1 кв.км, глубина вреза средних частей долин 2-3-го порядков равна 200-250 м. Узкие гребни водоразделов имеют маломощный (до 1,5 м) слой дресвяно-щебнистого элювия; здесь, особенно вблизи речных долин, нередко встречаются выходы скальных пород. Склон в этой полосе независимо от экспозиции делится на две зоны: денудационную (верхняя часть склона) и аккумулятивную (средняя и нижняя части /3/). В денудационной зоне склонов видны следы склонового смыва в виде ложков и борозд. В средней и нижней частях основную роль в формировании склоновых образований играли делювиальные процессы. В строении склоновых отложений отчетливо видна последовательность стадий их накопления: в начале по всему склону формируется щебнистоглыбовый коллювий сползания или дефлюкций, который вниз по склону и вверх по разрезу переходит в ритмично-слоистый делювий. Нижний грубый слой частично мог отложиться более сильными селеподобными потоками. Мощность рыхлых отложений возрастает вниз по склону от 1-2 до 10-12 и более метров. В разрезах делювия встречаются солифлюкционная текстура и другие свидетельства о похолодании климатичес-

ких условий периода накопления склоновой толщи. На поверхности шлейфов часто можно видеть реликты тетрагональных почв. Но все же в строении и генезисе отложений склонов южной и северной экспозиции имеются некоторые различия. Отложения, распространенные вдоль склона южной экспозиции, своим формированием связаны с процессами физического выветривания, гравитационного сползания и плоскостного смыва. Эти отложения в основном относятся к делювиальным образованиям с участием коллювия. Склоны северной экспозиции развивались под действием несколько иных процессов. Здесь наряду с плоскостным смывом все большую роль играли солифлюкционные и дефлюкционные процессы.

Верхней денудационной части соответствуют открытые вторичные ореолы рассеяния, средней и нижней аккумулятивной части - полузакрытые и закрытые.

Приведенное выше строение склоновых отложений относится к районам, находящимся вне сферы проявления эоловой деятельности. В районах интенсивного развития эоловой деятельности разрез рыхлых отложений на склонах сходен с приведенным выше лишь в нижней части. Верхнюю и среднюю части разреза составляют покровные образования, не обнаруживающие никакой связи с породами коренного склона. Они сформированы посредством склонового смыва продуктов эоловой деятельности - песка и пыли, а потому имеют текстуры делювия.

На поверхности таких склонов и в разрезах покровных отложений встречаются довольно крупные обломки скальных пород, доставленные сюда преимущественно с самых верхних частей склонов посредством аблювиального эффекта. Напомним, что этот эффект смещения связан с обмывом грунта вокруг обломка и скатыванием его в результате подмыва при нарушении равновесия /2/. Такая форма движения крупных обломков вниз по склонам в районах распространения покровных образований развита весьма широко, поэтому при картировании и поисках коренных источников полезных ископаемых ее нельзя не учитывать. Наблюдения на разрезах показывают, что возникновение слоя обломков на поверхности средних и нижних частей склонов обусловлено периодическим размывом покровной толщи склоновым стоком, поскольку следы мерзлотного выпучивания отсутствуют, да и сам грунт неблагоприятен для проявления реологических движений. В толще обломки находятся в виде включений. Аблювиальный эффект действует при углах наклона от 3 до 28^0, свыше 28^0 он затушевы-

вается гравитационными процессами.

По этим причинам для существующих методов геохимических поисков (с приповерхностным отбором проб) огромные территории неблагоприятны (северные склоны(частично-водоразделы) хребтов Хамар-Дабан, Улан-Бургасы, Цаган-Дабан, Барского, Худунского, Цаган-Хуртея, Заганского, Бичурского, бассейн рек Куйтунка, Илька, все междуречье Хилок - Чикой - Селенга). Эта территория закрыта эоловыми песками, лессами, лессовидными отложениями. Здесь глубина представительного пробоотбора должна быть значительной. Опробование возможно при применении ручного шнекового бурения или станка УПБ-25. Но в этих районах все же имеются небольшие участки, где условия пробоотбора будут благоприятными - это верхние части склонов с незначительным покровом рыхлого чехла и выходами коренных пород.

Для литогеохимической съемки в целом благоприятны районы,расположенные вне зоны интенсивной эоловой деятельности. К таким районам относятся левобережье Селенги, бассейн р.Джиды, правобережье Уды, В этих районах склоны чаще оголены или имеют неглубокое залегание коренных пород.

В последние годы большое внимание уделяется условиям формирования склоновых отложений. В связи с этим, естественно, появилось и много разных толкований генезиса склоновых образований. Это вызвано прежде всего трудностью диагностики их генетических типов.

Несколько слов о распространении дефлюкционных отложений на юге Западного Забайкалья.

В схеме, составленной С.С.Воскресенским /I/, все южное Забайкалье включено в зону распространения дефлюкционно-солифлюкционных отложений, что, как нам кажется, не вполне обосновано. Южное Забайкалье в настоящее время относится к области семиаридного климата. Изучение генетических типов четвертичных отложений и палеогеографических условий их накопления свидетельствует о том, что засушливые климатические условия господствовали здесь и в течение всего четвертичного периода. Эти условия редко сменялись кратковременными эпохами увлажнения. Поэтому здесь господствующим типом склоновых отложений явился делювий, образованный склоновым смывом в разных его модификациях в условиях степного и сухостепного ландшафта. Нет сомнения, что среди склоновых отложений имеются солифлюкционные, дефлюкционные и другие генетические разновидности,но они не являются главными или определяющими типами при формирова-

нии склоновых отложений этого района. Возможно, в окраинных горных районах среднегорья, где господствуют таежные условия и распространены многолетнемерзлые породы, могли преобладать дефлюкционные и солифлюкционные процессы.

В последние годы при геохимических исследованиях значительное внимание исследователи уделяют вопросам ландшафтно-геохимического районирования территории. При этом в большинстве случаев районирование производится по современным ландшафтам. Однако вторичные механические ореолы рассеяния находятся в отложениях, сформировавшихся не в современную эпоху, а тысячи лет назад. Даже на очень крутых склонах низкогорий образовались толщи склоновых отложений с двух-трехслойным строением (местами – разновозрастные), мощность которых, в зависимости от рельефа коренного склона, достигает 3-5 м. Особенности гипергенеза в ходе накопления склоновых толщ в различных ландшафтных условиях предопределили соответственную геохимическую обстановку внутри каждого из этих отдельных горизонтов делювия. Поэтому, на наш взгляд, воссоздание палеогеографических условий накопления и изучение строения вмещающих склоновых толщ должны приобрести первостепенное значение при геохимических методах поисков рудопроявлений и месторождений.

Подводя итог изложенному выше, можно заключить, что при дальнейшей постановке геохимических поисков необходимо учитывать особенности вещественного состава и геологии четвертичных образований и осуществлять районирование по степени надежности выявления вторичных ореолов рассеяния. Для успешного решения этих вопросов мы считаем необходимым выполнять следующее.

I. Производить среднемасштабное районирование территории по условиям ведения поисковых геологосъемочных работ с учетом генезиса и мощности склоновых образований, выделяя площади распространения:

а) маломощного чехла коллювиальных, дефлюкционно-делювиальных отложений,

б) мощных толщ преимущественно делювиальных отложений,

в) эоловых отложений мощностью 5-10 и более метров,

г) эоловых лессов и лессовидных образований.

2. Районировать территорию по устойчивости слагающих ее горных пород.

3. Детально изучать разрезы склоновых отложений.

4. Составлять крупномасштабные карты условий ведения поисковых и геологосъемочных работ, опираясь на детальные геоморфоло-

гические карты в хроно-генетической легенде на морфоструктурной основе, с указанием генетических типов склоновых образований.

Наиболее успешное решение этих задач возможно лишь в тесном сотрудничестве специалистов-геохимиков с геологами-четвертичниками и геоморфологами.

Литература

1. Воскресенский С.С. Динамическая геоморфология. Изд-во МГУ, 1971.
2. Маккавеев Н.И., Калинин А.А. Смещение крупных обломков и блоков пород в результате аблювиального эффекта. В сб.:"Экспериментальная геоморфология", вып.П, Изд-во МГУ, 1969.
3. Шанцер Е.В. Склоновый смыв как фактор морфогенеза и литогенеза суши.-В сб.: Генезис и литология континентальных антропогеновых отложений. К УП конгрессу ИНКВА (США, 1965), М., "Наука", 1965.

ВТОРИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ И ПОТОКИ РАССЕЯНИЯ ИТАКИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ

Г.В.Нестеренко, С.Р.Осинцев, Б.А.Воротников, В.Л.Фишер

В настоящей статье излагаются результаты работ по выяснению поведения золота в процессе разрушения рудного выхода и условий формирования вторичных ореолов и потоков рассеяния золота и основных элементов-спутников, проведенных на Итакинском золоторудном поле в Северо-Восточном Забайкалье. С этой целью изучалось распределение элементов и формы нахождения золота в рудах, рыхлых отложениях и водах. Работы проводились главным образом на двух основных участках Итакинского месторождения: "Сурьмяная горка" и Малеевском, а также на развитых здесь золотоносных россыпях по р.Итаке и кл.Алексею (рис.I). Более детально изучены отложения северного и южного склонов – на первом участке и северного склона – на втором. В пределах этих склонов по отдельным магистральным канавам, ориентированным по наклону склонов, проведено детальное опробование рыхлых отложений. Расстояние между опробованными колонками, по мере удаления от рудной зоны, увеличивается от I до 20м (рис.3,4,5). В среднем в одной колонке-разрезе отбиралось по 4-5 проб. В меньшем объеме опробованы коренные породы и руды, аллювиальные отложения, а также поверхностные и подземные воды. В процессе изучения золотоносности коренных пород и речных отложений использовались материалы Восточной экспедиции Читинского геологического управления и Ксеньевского прииска треста "Забайкалзолото".

Пробы анализировались на золото спектрохимическим и на широкий круг элементов-спутников – спектральным полуколичественным методами в лаборатории ЧГУ. Содержание золота в мономинеральных пробах, в гранулометрических фракциях и в концентратах из вод определено спектрохимическим методом /8,IO/ в ИГиГ СО АН СССР В.Г.Цим-

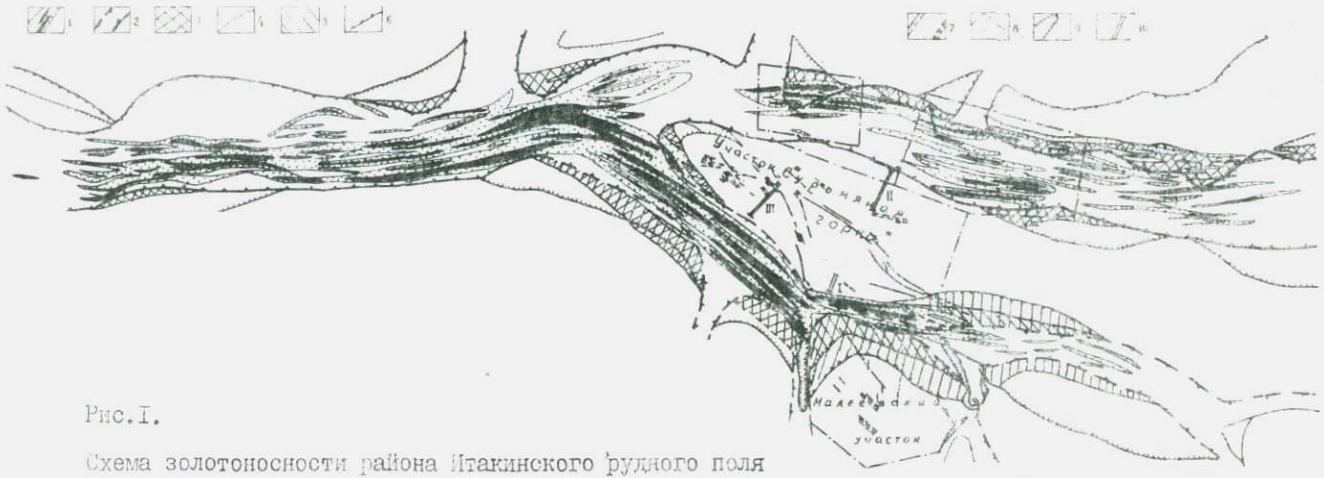


Рис.I.

Схема золотоносности района Итакинского рудного поля
I – золотоносные струи в пределах долинных россыпей, 2 – границы поймы, 3 – наиболее золотоносные участки в пределах I-й террасы, 4 – контуры I-й террасы, 5 – наиболее золотоносные участки в пределах II-й террасы, 6 –*контуры* II-й террасы, 7 – рудные жилы и зоны окварцевания, 8 – границы участков золоторудной минерализации, 9 – старательские отработки, I0 – геохимические профили по склонам и их номера.

балист. При минералогическом описании шлихов особое внимание уделялось золоту. Вещественный состав отложений изучался с привлечением количественных методик петрографического и гранулометрического анализов, анализа форм обломков, степени их минерализованности и выветрелости.

Природные условия и геологическое строение

Район Итакинского месторождения, расположенного в приводораздельной части Олкмо-Шилкинского междуречья в зоне тайги, характеризуется холодным континентальным климатом /I/, развитием островной мерзлоты, средне- и низкогорным рельефом и приуроченностью к бортовой части Итакинской депрессии, выполненной вулканогенно-осадочными толщами среднеюрского-нижнемелового возраста. Основную роль в составе рудовмещающих толщ играют изверженные породы кислого и среднего состава палеозойского и мезозойского возрастов /6,7/, а также метаморфические образования архейской группы. Широко распространены здесь разнообразные по составу малые интрузивные тела и дайки верхнемезозойского возраста /3,4,7,9/. Рудовмещающие породы нередко изменены гидротермальными процессами: серицитизированы, карбонатизированы, хлоритизированы, окварцованы и пиритизированы. В пределах рудного поля широко развиты зоны трещиноватости, дробления, брекчирования и милонитизации пород, обусловившие блоковое строение рудного поля.

Золотое оруденение на месторождении представлено кварц-сульфидными метасоматическими жилами и зонами окварцованных пород. Рудные кварцы обычно скрытокристаллические темно-серые за счет содержащихся в них тонкораспыленных сульфидов: пирита, арсенопирита и марказита. В подчиненном количестве развиты прожилки и жилки выполнения, сложенные белым, нередко гребенчатым кварцем с примесью пирита, галенита, сфалерита, халькопирита и сульфосолей, а также кварц-антимонитовые и кварц-карбонатные прожилки. Большинство исследователей /2,5,6,7/ выделяет здесь две продуктивные минеральные ассоциации: первую - кварц-пирит-арсенопиритовую, лучше проявленную в центральной части и на западном фланге участка "Сурьмяная горка" и вторую - кварц-пирит-полиметаллическую с сульфосолями, интенсивнее развитую на восточном фланге "Сурьмяной горки" и на Малеевском участке. На последнем по отдельным тектонически ослабленным и минерализованным зонам до глубины 150м развита дочетвертичная зона окисления.

Склоны и вершины водоразделов на изученных двух участках покрыты сплошным, но маломощным чехлом рыхлых отложений. Выходы коренных пород наблюдались лишь в двух случаях: на водораздельном гребне Сурьмяной горки и у подножья ее выпуклого южного склона, где он подмывается кл.Алексеем. Южный склон отличается от северных большей крутизной, меньшим развитием мерзлых пород, ограниченной обводненностью и слабой залесенностью. Северные же склоны имеют средние и малые углы наклона, залесены, нередко обводнены. На них развиты солифлюкционные терраски. Мощность делювиально-элювиальных образований на северных склонах больше, чем на южных, колеблется обычно в пределах 2 м, возрастая над зонами дробления и минерализации до 3-4-х метров.

Рыхлые отложения склонов представлены щебнисто-дресвянисто-суглинистыми образованиями с примесью того или иного количества глыбового, песчаного и глинистого материала (рис.3-5). Цвет их чаще серо-бурый. На участках развития зон минерализации он нередко становится красноватым и пятнистым. Для большинства изученных разрезов склоновых отложений характерно четырехгоризонтное строение (сверху вниз): почвенный, щебнево-суглинистый, щебневый и глыбовый (элювий). На южном склоне Сурьмяной горки элювий чаще представлен дресвяником. Обломочный материал отложений слабо окатан.

Намечаются некоторые различия в составе отложений северного и южного склонов, а также участков склонов, сложенных разными породами. Так, например, гранитоиды на северных склонах дают преимущественно щебнево-глыбовый материал, а на южном - дресвяный. Рыхлый покров северного склона Малеевского участка содержит прослои почв, погребенных под солифлюкционными наплывами. Над рудными зонами в обоих случаях повышается содержание мелких классов. Имеющиеся данные позволяют считать, что на формирование отложений северных склонов существенное влияние оказали солифлюкционные процессы. Рыхлый покров изученного южного склона формируется, вероятно, под воздействием плоскостного смыва, гравитационного оползания и осыпания грунта.

Проведенное исследование показало, что крупнообломочный материал на склонах довольно интенсивно разрушается, сменяясь на некотором удалении от коренного выхода материалом более мелких классов. По устойчивости пород к современному выветриванию выявляется следующая последовательность: кварц, эффузивы, гранитоиды

Таблица I

Гранулометрический состав золота из руд и рыхлых отложений

Тип породы	Участки	Содержание невидимого золота (г/т)	Содержание самородного золота (г/т)	Гранулометрический состав золота в рудах (в %)					Содержание золота (в г/т) в гранулометрических фракциях рыхлых отложений				
				видимое самородное				невидимое дисперсное					
				-0,1-+0,05 мм	+0,1-0,25 мм	+0,25 мм	всего		-0,001* мм	+0,001 -0,005* мм	+0,005 -0,01* мм	+0,1 -1,0 мм	+1,0 -30,0 мм
Руды, в том числе разрушенные	Сурьмяная горка	$2 \cdot n$	$n \cdot 10^{-1}$	3,7	0,4	0,1	4,2	95,8	1,3	0,7	0,2	0,3	2,0
Руды окисленные	Малеевский	n	$2n \cdot 10^{-1}$	3,7	12,0	11,0	26,7	73,3	6,3	0,5	0,9	0,9	1,0
Склоновые отложения	Сурьмяная горка	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-3}$	8,5	5,5	1,0	15,0	85,0	0,3	0,3	0,2**	0,1	0,1
										0,03		0,03	0,02
	Малеевский	$2n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$	10,7	16,7	8,0	35,4	64,6	0,4	0,2	0,4	0,4	0,2
										0,3		0,2	0,05
Аллювий золотоносный	р.Итака	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-1}$	0,7	11,1	79,2	91,0	9,0	0,3	0,1	-	-	-
	кл.Алексей	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-1}$	0,2	11,4	79,1	90,7	9,3	0,6	0,3	-	-	-

Примечание. * - фракции выделены отмучиванием из небольшого количества проб (3-4 по каждому типу пород)
** - в числителе содержание в расситовках проб надрудного делювия, в знаменателе - всех проб.

и гнейсы, габбро. Присутствие сульфидов ускоряет процесс выветривания.

Аллювиальные отложения выполняют очень широкую (до I км по днищу) долину р.Итака и менее широкую (до 300-350 м) долину кл. Алексея. Последняя отличается значительно большим (до 0,012) продольным уклоном. Мощность долинных аллювиальных отложений равна 3-5 м. Верхняя часть аллювия сложена обычно песчано-илистыми отложениями пойменных фаций, а нижняя - галечниками с примесью валунов (русловая фация). Состав галечников полимиктовый, окатанность средняя. Значительно слабее в долинах (особенно по кл.Алексей) развиты аллювиальные отложения первых трех надпойменных террас.

Золото и элементы-спутники в породах и водах

Золото и его спутники в рудных выходах, склоновых отложениях, аллювии и водах распределены следующим образом.

Золото в свежих и окисленных рудах развито в виде тонкодисперсной примеси в различных минералах (от 73% в окисленных рудах Палеевского участка до 90-95% в полуокисленных и свежих рудах участка"Сурьмяная горка") и в самородной видимой форме (табл.I). Результаты опробования на золото мономинеральных фракций, довольно хорошо согласующиеся с аналогичными данными Е.И.Громовой /2/, приведены в табл.2.

Таблица 2

Содержание золота	десятки, первые сотни г/т	десятки г/т	граммы на тонну	0,I-0,2 г/т
Минералы	арсенопирит-пиритовый концентрат	кварц серый рудный	кварц светлый, сфалерит, галенит, пирит, гематит (гипергенный), окислы марганца, скородит, ярозит	кварц гребенчатый и мелкозернистый светлый второй продуктивной ассоциации, антимонит

Заметное обогащение золотом глинистых (-0,001 мм) фракций элювия рудных выходов (табл.I, графы I0 и II) свидетельствует о том, что существенная часть его выделений имеет размер менее микрона. На присутствие небольших количеств соленых и слабосорбированных форм золота указывает наличие последнего в водных сливах (0,05-I,5

первоначального количества), полученных при длительном отмучивании окисленных руд Малеевского участка.

Содержание видимого (шлихового) золота в рудных образцах участка "Сурьмяная горка" составляет в среднем около 4% от общего его количества, а Малеевского участка - около 27% (табл.I). Последнее связано с развитием здесь кварц-полиметаллической ассоциации, а также с укрупнением золота в древней зоне окисления. Минимальное содержание подобного золота (менее I%)-в кварц-пирит-арсенопиритовых рудах. Преобладающими формами видимого золота в рудных образцах обоих участков являются комковидная, угловато-ксеноморфная, пластинчато-таблитчатая, ветвистая, агрегативная. В окисленных рудах Малеевского участка отмечаются, кроме того, натечные (почковидные и "сталагмитовидные") формы золота. Преобладающий цвет золотин золотисто-желтый и ярко-желтый. Пробность колеблется от 728 до 980. В золоте устанавливается присутствие серебра, железа, марганца, мышьяка, меди, свинца, висмута и сурьмы. В рудах участка "Сурьмяная горка" спутниками золота являются мышьяк и серебро, а в рудах Малеевского участка - мышьяк, сурьма, серебро и свинец.

В рыхлых склоновых отложениях содержание золота колеблется от тысячных долей до первых десятков граммов на тонну. Как правило, наибольшая их золотоносность устанавливается в непосредственной близости от рудных зон. При удалении от них общее содержание золота (как видимого, так и шлихового) падает (табл.I) на два порядка при некотором возрастании доли шлихового. Золотоносность отложений Малеевского участка заметно выше таковой участка "Сурьмяная горка" (табл.I и 3).

Золото по гранулометрическим фракциям распределено неравномерно (рис.2, табл.I). Значительно чаще и в больших количествах оно обнаруживается в мелкоземистом материале (-0,25 мм). Вместе с тем характер распределения золота в гранулометрическом спектре разных склонов и участков неодинаков. В надрудном делювии Сурьмяной горки наибольшее содержание золота отмечается в глинисто-пылеватых фракциях, в то время как в подобных отложеных Малеевского участка оно максимально в песчано-алевритовом и глинистом материале и несколько снижается в пылеватом (рис.2а). В отложениях северного склона участка "Сурьмяная горка" процент невидимого золота выше, чем в отложениях южного. В последних в месте ложбинообразного понижения (профиль I, рис.3) шлиховое золото обнаруже-

но в большей части отобранных здесь шлихов. Отмеченное различие можно объяснить разным ходом поверхностных процессов на склонах разной экспозиции: на южных, более прогреваемых, склонах интенсивнее проявляется вымывание и выщелачивание вещества.

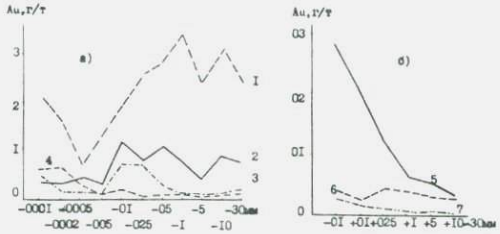


Рис.2. Кривые содержания золота в гранулометрических фракциях склоновых отложений (а - по надрудным пробам, б - по всем пробам)

I - элювий участка "Сурьмяная горка" (n =3), 2 - элювий Малеевского участка (n =4), 3 - делювий Малеевского участка (n =6), 4 - делювий участка "Сурьмяная горка" (n =2), 5 - склоновые отложения Малеевского участка (n =I90), 6 - отложения северного склона участка "Сурьмяная горка" (n =II0), 7 - отложения южного склона участка "Сурьмяная горка" (n =90).

Изучение характера распределения золота в разрезе склоновых отложений (табл.3) показывает, что на участке "Сурьмяная горка" заметно обогащен золотом подпочвенный горизонт, а на участке Малеевском нижние горизонты рыхлых отложений.

Шлиховое золото в склоновых отложениях по своей форме и цвету аналогично таковому из рудных образцов, отличаясь от последнего довольно слабой окатанностью. Характерно, что золотины со следами вмятин, а также с остаточными пленками гидроокислов железа и марганца, наблюдаются значительно реже, чем неизмененное золото.

Таким образом, в изученных склоновых отложениях отмечаются ореолы рассеяния золота, превышающие фон на один - два порядка (рис.3-5). Параметры вторичных ореолов определяются размерами и продуктивностью рудных зон, положением их в рельефе, крутизной и экспозицией склонов. На северных склонах развиты ореолы рассеяния золота длиной I20-I50 м (при содержании 0,02-0,05 г/т). В плане они имеют слабо вытянутую форму и неровные контуры. На южном, более крутом склоне вторичные ореолы короткие (до 25 м), контрастные. Ореолы в обоих случаях чаще приурочены к средней и нижним

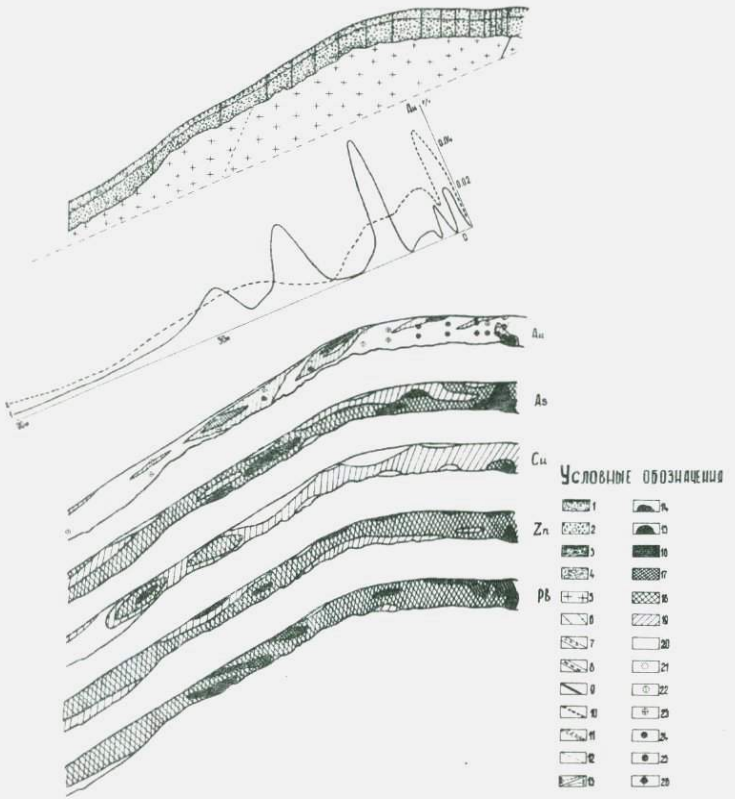


Рис.3. Распределение золота и элементов-спутников в рыхлых отложениях южного склона участка "Сурьмяная горка" по профилю I.

I - почва и подпочвенный горизонт; 2 - древесно-обломочный горизонт; 3 - щебневый горизонт (верхняя часть); 4 - щебневый горизонт (нижняя часть); 5 - гранитоиды; 6 - гнейсо-граниты, кристаллические сланцы; 7 - дайки эффузивов различного возраста; 8 - дайки гибридных порфиров; 9 - кварц-золоторудные жилы; I0 - зоны дробления; II - зоны каолинизации и гидротермальных изменений; I2 - разрывные нарушения; I3 - кривые средних содержаний золота по разрезам в различных пробилях (I-невидимое золото, 2-шлиховое); I4-20 - содержания золота и элементов-спутников во вторичных ореолах рассеяния (интервалы содержаний для золота (г/т): I4-I,0; I5-I,0-0,5; I6 -0,5-0,2; I7 - 0,2-0,I; I8 - 0,I-0,05; I9 - 0,05-0,0I; 20 - 0,0I; для мышьяка, меди, цинка, сурьмы (%) соответственно: I,0-0,I; 0,I-0,05; 0,05-0,02; 0,02-0,0I; 0,0I-0,005; < 0,005; для свинца (%) соответственно: I,0-0,I; 0,I-0,0I; 0,0I-0,005; 0,005-0,002; 0,002-0,00I; 0,00I-0,0005; < 0,0005.

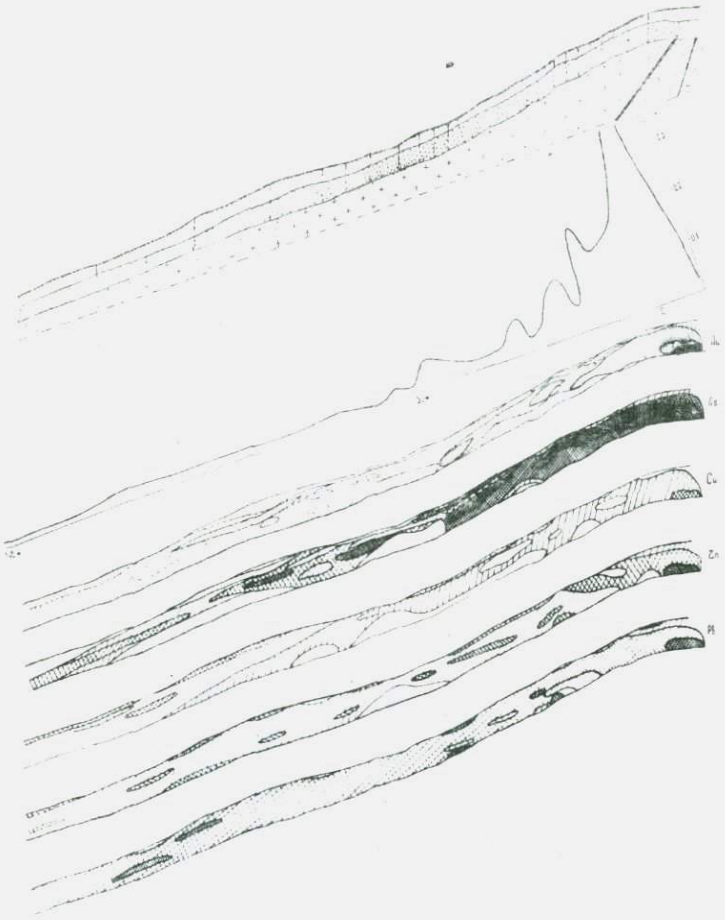


Рис.4. Распределение золота и элементов-спутников во вторичных ореолах по южному склону Сурьмяной горки (профиль II). (Условные обозначения см.на рис.3).

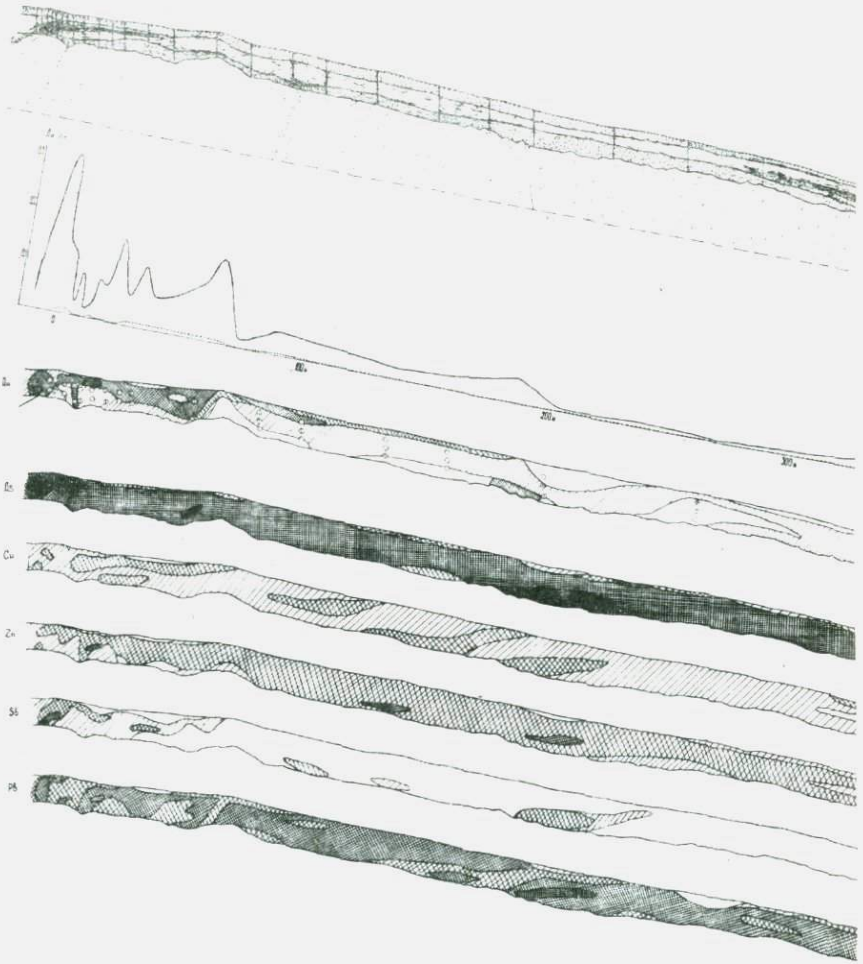


Рис.5.
Распределение золота и элементов-спутников во вторичных ореолах по северному склону Сурьмяной горки (профиль III). (Условные обозначения см.на рис.3).

Таблица 3

Распределение золота по горизонтам склоновых отложений Итакинского рудного поля

Горизонт отложений	Глубина распространения	Кол-во анализов	Среднее содержание золота по горизонту (г/т)	Колебания в содержании (г/т)
уч. Малеевский				
подпочвенный	0,I5 - 0,45	36	0,I3	0,0I-I,0
щебневый (верхняя часть	0,45 - I,0	48	0,I5	0,I -I,I
щебневый (нижняя часть)	I,0 - 2,0	42	0,I75	0,I -I,0
уч. "Сурьмяная горка"				
а) южный склон				
почва	0 - 0,I5	44	0,0I4	0,0I-0,3
подпочвенный	0,I5 - 0,6	I05	0,04	0,0I-0,3
щебневый	0,6 - I,4	96	0,03	0,0I-0,3
б) северный склон				
почвенный	0 - 0,20	27	0,04	0,0I-0,3
подпочвенный	0,20 - 0,6	80	0,066	0,0I-0,5
щебневый	0,65 - I,5	60	0,055	0,0I-0,5

частям разреза склоновых отложений. Небольшие "оторванные" вторичные ореолы иногда наблюдаются в отложениях ниже перегибов склонов. В изученных склоновых отложениях, кроме золота, установлены повышенные содержания As, Sb, Cu, Zn, Pb. Наиболее контрастные и протяженные ореолы характерны для мышьяка. Ореолы рассеяния всех элементов на северном склоне более протяженные (рис. 5), а на южном - более контрастные (рис.3,4). Совместное обнаружение аномальных количеств перечисленных элементов указывает на близость рудного выхода. Малоконтрастные ореолы рассеяния элементов характерны для зон рассеянной минерализации.

В аллювиальных отложениях, по сравнению со склоновыми, содержание шлихового золота повышается на I-2 порядка, достигая уровня концентрации его в коренном источнике (табл.1).

При этом доля крупного золота (+0,25 мм) резко возрастает, а доля мелкого (-0,I мм) столь же резко сокращается. Это свидетельствует о концентрации в речном потоке наиболее крупного золота и выносе тонких его частиц. Основываясь на приведенных в таблице I цифрах, можно заключить, что в аллювиальной россыпи остается около 5-I0% от общего количества золота, содержащегося в эродированной части источника. Следует лишь помнить, что долинная россыпь есть результат неоднократного перемыва золотоносных отложений, в том числе нижнемеловых толщ депрессии. Аллювиальное золото имеет примерно ту же пробность (740-900), что и рудное. Отмечается повышение его пробности в нижних частях россыпи. Количество очень тонкого и невидимого золота (-0,05 мм) в золотоносном аллювии составляет около I0% от общего его содержания. Золото крупностью свыше 0,I мм приурочено к основанию галечного горизонта и образует в плане струйчатые потоки (рис.I). Анализ струйчатости показывает, что россыпь кл.Алексея, начинаясь в пределах известных рудных структур, продолжается в долину р.Итаки, образуя единую Алексей-Итакинскую россыпь. От нее несколько "оторвана" Верхне-Итакинская россыпь. В нижней половине этой россыпи развиты золотокварцевые жилы. Источниками верхней части россыпи служат нижнемеловые конгломераты и, вероятно, невыявленные рудные тела. Связь россыпей с определенными рудными зонами подтверждается морфологией россыпного золота, изменением крупности и пробности золота по течению, распределением сростков.

В песчано-илистых отложениях верхних частей разреза аллювия шлиховым методом золото часто не обнаруживается, в то время как литохимическое (электрохимическое) опробование их выявляет относительно выдержанные малоконтрастные потоки рассеяния золота. Нередко они сопровождаются аналогичными потоками рассеяния элементов-спутников. Влияние золотой эндогенной минерализации на состав поверхностных и подземных вод района проявляется очень слабо. В основном оно сказывается в повышении минерализации воды за счет сульфат - и хлор-ионов, а также в появлении аномальных содержаний некоторых микрокомпонентов, например As, Cu, Sb, Ag, Ba и др. Содержание золота в большинстве водных проб равно тысячным долям мкг/л. Более высокие количества его (до 0,3 мкг/л) обнаружены в водах, дренирующих драглные отвали. Согласно данным экспериментальных исследований на ионообменных смолах золото в водах находится в виде отрицательно и положительно заряженных частиц. Гидрогеохи-

мические исследования в районах с близкими ландшафтно-геохимическими условиями показали, что основная часть золота в водах мигрирует в ионнорастворимой форме (а не в коллоидной и тонковзвешенной).

Изложенные результаты позволяют сделать некоторые дополнительные рекомендации к методике проведения поисковых работ на эндогенное золотое оруденение.

Перед началом поисков следует тщательно проанализировать все имеющиеся материалы по размещению и строению золотых россыпей, что с учетом истории континентального развития региона поможет выбрать наиболее перспективные площади. В первый этап поисков с той же целью целесообразно проводить среднемасштабное опробование донных осадков на золото, используя спектрохимическую методику с чувствительностью не ниже $5 \cdot 10^{-7}$%. Одновременно следует определять содержание элементов-спутников. Поиски рудных выходов наиболее эффективно вести путем крупномасштабного литохимического опробования склоновых отложений (фракции - 0,1 или - 0,25 мм) на золото с попутным определением возможных спутников. На южных склонах сеть опробования следует сгущать. Кроме того, здесь в некоторых случаях может оказаться эффективным шлиховое опробование.

Литература

1. Алисов Б.П. Климаты СССР.М., "Высшая школа",1969.
2. Громова Е.Н., Эролова В.И. Минералогический состав руд и стадии минералообразования одного золоторудного месторождения Восточного Забайкалья. - В кн.: Вопросы геологии и изучения вещественного состава руд. Научные труды ИРГИРЕДМЕТ, вып.22.М., "Недра",1971.
3. Константинов Р.М.,Томсон И.Н. Возрастная последовательность формирования рудных формаций Восточного Забайкалья. - В кн.: Новые данные по магматизму и минерализации в рудных районах Востока СССР, М., "Наука",1971.
4. Кормилицин В.С. Основные черты мезозойской металлогении Восточного Забайкалья. - Сов.геология, 1959, № II.
5. Ломакина Г.В. Парагенетические минеральные ассоциации эндогенных руд Итакинского золоторудного месторождения (Восточное Забайкалье). Тр.ЦНИГРИ, вып.96, ч.I. М.,1971.
6. Мельникова К.М., Крюков В.К. Закономерности локализации оруде-

нения на Итакинском золоторудном месторождении (Восточное Забайкалье). Изв.ВУЗов. Геология и разведка,1970, № 2.
7. Мельникова К.М., Стафеев Л.П., Шевырев И.А., Алкин В.С. Особенности геологического строения Итакинского золоторудного месторождения. Изв.ТПИ. Томск,1970.
8. Попова Л.М. Применение спектрохимического метода определения золота при гидрогеохимических исследованиях. – Геология и геофизика, 1971, № 55.
9. Финер В.Л. Методы выявления золоторудных месторождений в условиях Северо-Восточного Забайкалья.-В кн.: Вопросы геологии месторождений золота Сибири. Изв.ТПИ, т.134. Томск,1968.
10. Цимбалист В.Г. Спектрохимический метод определения ультрамалых количеств золота. – В кн.: Анализ и технология благородных металлов. М., Металлургиздат, 1971.

ОСОБЕННОСТИ ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛОВ МОЛИБДЕНА НА СКЛОНАХ МАЛОГО ХАМАР-ДАБАНА

А.А.Карбаинов, В.Ф.Барский, Е.С.Пигарев

Геохимические поиски, сопровождающие крупномасштабную геологическую съемку, осуществляются в настоящее время с учетом природных условий их проведения. В пределах хребта Малый Хамар-Дабан поисковые площади делятся на открытые, полузакрытые и закрытые. Открытые площади благоприятны для проведения поверхностных геохимических поисков. Для полузакрытых площадей такие поиски менее результативны, а на закрытых площадях применимы только глубинные методы. По характеру рельефа и растительного покрова выделяются три типа ландшафтов: горнотаежный, лесостепной и степной.

Нами изучались вторичные ореолы, сформировавшиеся за счет молибденоносных штокверковых зон в рыхлом покрове склонов трех экспозиций: юго-восточной, северо-западной и северо-восточной.

Склоны юго-восточной экспозиции лесостепного ландшафта представляют собой открытые площади. Крутизна склонов 20-30^0, длина в пределах I,0 км. Мощность рыхлых отложений не превышает I,0-I,5 м. Они представлены слаборазвитым почвенно-растительным слоем (0,I м) и залегающими ниже грубообломочными отложениями с незначительным количеством суглинка. Вторичные ореолы здесь открытые, незначительно смещены вниз по склону. Содержания молибдена в литогеохимических пробах (0,03-0,06%) сопоставимы с содержаниями в коренных породах. Распределение молибдена в разрезе рыхлых отложений для этого типа площадей приведено на рис.I.

На склонах северо-западной экспозиции имеются все три типа площадей по условиям ведения поисков.

Крутые склоны этой экспозиции с мощностью рыхлого покрова в пределах 2 м представляют собой открытые для геохимических поис-

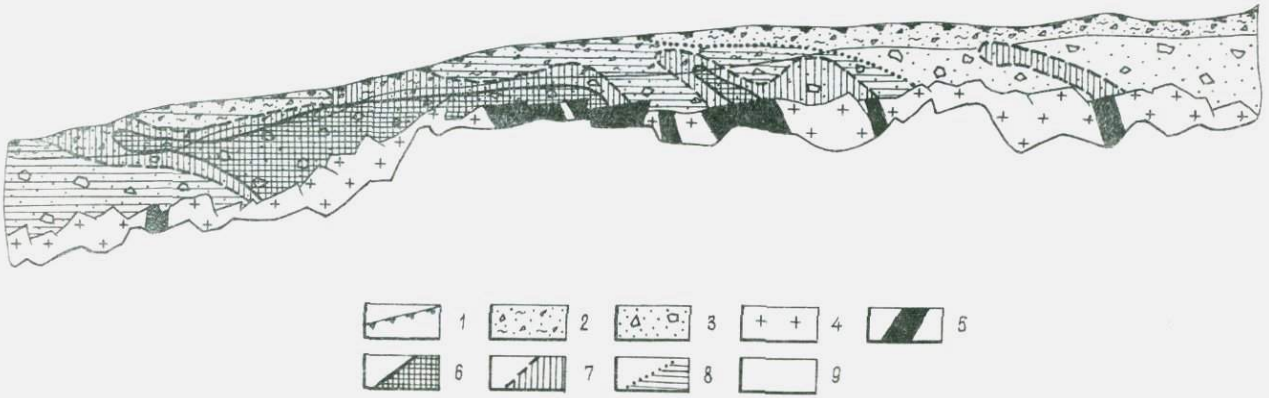


Рис.I.

Литолого-геохимический разрез четвертичных отложений участка "Усть-Урминский" по канаве I0I. I - Почвенно-растительный слой; 2 - крупнообломочные образования с суглинком; 3 - крупнообломочные образования; 4 - крупнозернистые порфировидные дробленые граниты; 5 - кварцевые жилы с молибденовым оруденением; 6-9 - концентрации молибдена в рыхлых отложениях (в %): 6 - 0,05-0,I; 7 - 0,03-0,04; 8 - 0,0I-0,02; 9 - 0,005-0,008.

ков площади. Ландшафт горнотаежный, лесной. Длина склонов в пределах 1,5 км, крутизна - 10-15°. Отложения дефлюкционно-солифлюкционные. Рыхлые образования имеют следующее строение: а) хорошо развитый почвенно-растительный слой мощностью 0,2-0,4м; б) крупнообломочные рыхлые образования с суглинком мощностью 1,6-1,8 м. Для этого типа площадей характерно уменьшение содержаний молибдена на поверхности на порядок в сравнении с содержанием его в средней части разреза склоновых отложений.

Выположенные склоны в нижние части крутых склонов северной и северо-западной экспозиции являются полузакрытыми площадями. Они пользуются самым большим распространением среди горнотаежного ландшафта. Здесь широко развиты делювиальные и солифлюкционные отложения. Для этого типа площадей характерно следующее строение рыхлого покрова: а) хорошо развитый почвенно-растительный слой мощностью 0,2-0,4 м; б) мелкообломочные суглинистые образования мощностью 0,3-0,5 м; в) крупнообломочные отложения - 1,0-2,0 м. Для вторичных ореолов рассеяния характерно значительное (до 100м) смещение вниз по склону и резкое ослабление к дневной поверхности. А на площадях развития солифлюкционных отложений вторичные ореолы частично перекрыты. Распределение молибдена в разрезе рыхлых отложений, соответствующих типу полузакрытых площадей горнотаежного ландшафта, дано на рис.2.

На склонах северо-восточной экспозиции лесостепного ландшафта (длина склонов около 0,8 км, крутизна - 6-8°) формируются солифлюкционные отложения мощностью в 2-3 м. Вторичные ореолы не фиксируются на поверхности, а развиваются в толще склоновых отложений на глубине более 0,5 м.

Для вторичных ореолов молибдена, выделяемых по второму и третьему аномальным значениям (0,001-0,06) при фоновом содержании 0,0005-0,0008%, характерной особенностью во всех случаях является вытянутость их вниз по склону.

Результаты оценки литогеохимических ореолов рассеяния позволяют нам сделать следующие рекомендации.

1. Ввиду того, что при площадном опробовании масштаба 1:50 000 ореолы над разобщенными рудными телами сливаются в единый контур, для их вскрытия требуется большой объем горных работ, поэтому изучение ореолов необходимо начинать с контрольного металлометрического опробования по сгущенной сети (100х20 м), которое позволяет сократить объемы горных работ.

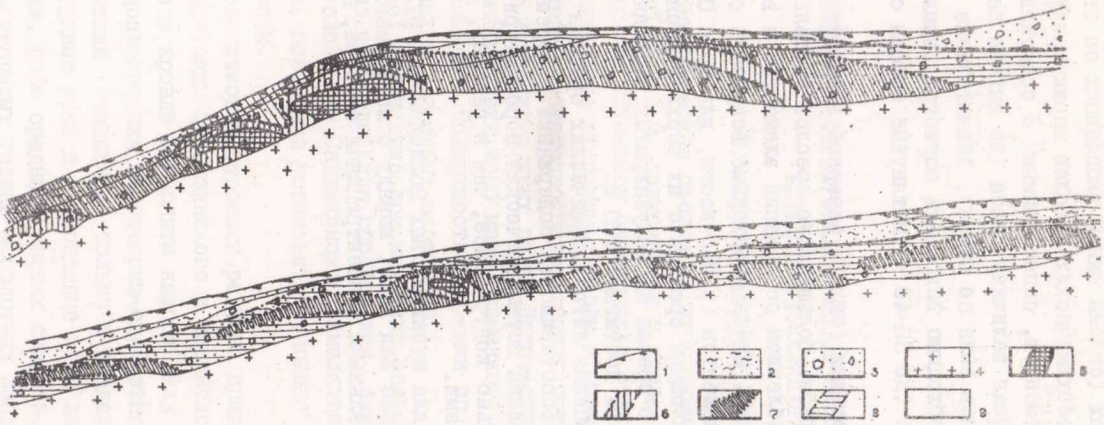


Рис.2. Литолого-геохимический разрез четвертичных отложений участка "Урминский" по линиям канав.
I - Почвенно-растительный слой; 2 - суглинок с дресвой и щебнем; 3 - крупнообломочные образования с суглинком; 4 - розовые мелкозернистые порфировидные граниты;
5-9 - концентрации молибдена в рыхлых отложениях (в %): 5-0,I-0,05; 6 - 0,04-0,03;
7 - 0,02-0,0I5; 8 - 0,0I-0,005; 9 - 0,004-0,00I.

2. На открытых площадях (склоны южной экспозиции со степным ландшафтом) большинство геохимических ореолов характеризуется высокими концентрациями элементов, сопоставимыми с содержаниями в коренном источнике. Учитывая величину сноса (до выхода на поверхность) механических ореолов вниз по склону, значительные по площади ореолы рассеяния необходимо вскрывать магистральными канавами с их середины, а узкие (до 30–40 м) вытянутые ореолы с верхней кромки.

3. На полузакрытых площадях (склоны северной экспозиции с лесным и лесостепным ландшафтом) большинство ореолов рассеяния характеризуется резким ослаблением содержаний элементов в верхних горизонтах рыхлых отложений. Здесь необходимо вскрывать ореолы с низкими концентрациями элементов (в частности, для Mo с 0,002–0,003%) и независимо от площади ореолов с их верхней кромки. Величина сноса механического ореола на полузакрытых площадях до выхода на дневную поверхность достигает 100 м.

4. При разбраковке и оценке литогеохимических ореолов необходимо учитывать, что при сопоставимости содержаний в коренных источниках на площадях развития метаморфических пород вторичные ореолы рассеяния значительно контрастнее, чем в районах, сложенных эффузивами или гранитами.

В заключение отметим, для штокверковых молибденовых рудопроявлений характерно образование над ними, наряду с молибденовыми, ореолов рассеяния с незначительными концентрациями серебра, ниобия.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ ОЛОВА НА ВИТИМСКОМ ПЛОСКОГОРЬЕ

В.К.Хрусталев, И.Я.Кузьмин

Литогеохимическая съемка по вторичным ореолам с глубиной пробоотбора 0,2-0,4 м, применяемая в последние годы,при поисках оловянных руд на Витимском плоскогорье отличалась низкой эффективностью. Выявляемые вторичные ореолы и аномальные точки,как правило, не поддаются достаточно определенной интерпретации на стадии детального изучения рудных полей.Количественная обработка анализов металлометрических проб мало изменяет общую низкую информативность площадной поверхностной съемки по вторичным ореолам, особенно крупных и детальных масштабов.

Данные, полученные при изучении разрезов склоновых отложений, характера распределения касситерита, ландшафтных и геоморфологических условий на Сайжеконском, Амалатском и Хортякском рудопроявлениях, позволили установить основные причины такой низкой эффективности.

В геологическом строении региона принимают участие палеозойские гранитоиды баргузинского и зазинского комплексов (75%), содержащие в кровле ксенолиты кембрийских эффузивнотерригенных пород. Рудопроявления касситерит-силикатной и касситерит-сульфидной формаций установлены только в пределах ксенолитов.

Все рудные тела и оловоносные зоны выявлены на водоразделах и в верхних, реже средних, частях склонов.Большая часть их расположена в закрытых таежно-мерзлотных ландшафтах с кислым и глеево-кислым классом водной миграции в деятельном слое склоновых образований. В средних и нижних частях склонов развиты мерзлотно-таежные обычные и глеевые почвы, в верхних - подзолистые почвы. Рельеф эрозионно-денудационный расчлененных средневысотных склад-

чато-блоковых гор. Крутизна склонов от 2-10 до 20°. На склонах развиты смешанные (полигенетические) солифлюкционные и дефлюкционно-солифлюкционные отложения, формирование которых началось еще в верхнем плейстоцене. Разрезы рыхлых отложений имеют сложное строение /1/. Выделяется три основных типа разрезов.

Для первого типа разрезов, развитых, как правило, на водоразделах, в целом устанавливается сравнительно небольшая мощность (1-2,5м) рыхлых образований. В верхней части разреза они сложены суглинком с примесью щебня, дресвы, а в нижней - крупными обломками разрушенных коренных пород. Смещение обломочного материала в рыхлом покрове небольшое - порядка первых десятков метров. В этих условиях формируются несмещенные диффузионные открытые вторичные ореолы, имеющие простую, близкую к изометричной, форму /2/. Касситеритом обогащены низы разреза (содержание до 600 г/м^3). Связь их с коренными источниками прослеживается достаточно определенно.

Второй тип разрезов склоновых отложений характерен для выпуклой верхней и плоской средней части склонов с уклонами 5-15°. В разрезах дефлюкционно-солифлюкционных отложений этого типа местные породы подстилающего коренного субстрата в виде обломков присутствуют только в нижней части рыхлого покрова. В верхней части разреза, судя по петрографическому составу обломков, присутствуют транзитные породы, т.е. продукты выветривания пород, расположенных гипсометрически выше и на значительном удалении. Отношения мощностей транзитного рыхлого чехла и материнских рыхлых образований 1:1 и реже 1:2. Дифференциация материала в обоих горизонтах отсутствует. Общая мощность колеблется в значительных интервалах от 1 до 4,5 м. Знаковые содержания касситерита по вертикальным разрезам рыхлых отложений распределены достаточно равномерно. На этом фоне встречаются отдельные незакономерно расположенные точки с аномальными его содержаниями (25-50 г/м^3).

Со шлиховыми ореолами касситерита, как правило, совмещаются геохимические ореолы олова /3/. Содержания олова в ореолах колеблются в широких пределах (от 0,0003 до 0,1%), что, вероятно, связано с преобладанием механической формы рассеяния. Характерным является на фоне низких содержаний (0,0008-0,001%) присутствие единичных "беспорядочно" разбросанных в пределах ореола аномальных точек с содержанием олова 0,01-0,1%. Шлиховые ореолы кассите-

рита и геохимические ореолы олова имеют чрезвычайно сложную конфигурацию. Очень часто наблюдаются ленточные, сложно ветвящиеся формы. Ореолы сильно вытягиваются вниз по склону с удалением от рудных тел на расстояние 200–1000 м.

Третий тип разрезов характерен для подгорных слабонаклонных делювиально-пролювиальных шлейфов, залегающих в пределах нижних вогнутых частей склонов. Отложения, слагающие шлейфы, представлены щебнисто-глыбовым материалом с супесчаным и суглинистым заполнителем. Мощности транзитного и местного материала имеют отношения 4:1 и 4:2. Для рыхлых отложений подгорных шлейфов закономерным является резкое обогащение их касситеритом в транзитном покрове, что связано с наличием рудных тел выше по склону.

На примере Малояровского рудопроявления, где поставщиком касситерита в рыхлый чехол являются залегающие в средних и верхних частях склонов слабо минерализованные зоны (содержание олова 0,008%), установлено, что последний может накапливаться в отложениях подгорных шлейфов с содержаниями, в десятки, иногда даже в сотни раз превышающими концентрации коренного источника.

Механические ореолы касситерита и вторичные ореолы олова, фиксируемые в отложениях делювиально-пролювиальных шлейфов, являются, как правило, полузакрытыми сильно смещенными (до 1,2–1,8 км) и у поверхности значительно ослабленными.

Таким образом, для описанного района создается чрезвычайно сложная ситуация. Игнорирование факторов, определяющих механизм формирования ореолов, может привести к дезориентации поисков олова. В определенных условиях могут формироваться высоко контрастные аномалии, связанные с слабо минерализованными зонами, не имеющими промышленного значения.

Литература

1. Жбанов Э.Ф. Механические ореолы рассеяния в рыхлом покрове склонов на территории Бурятии. Ежегодник – 1972 СибГЕОХИ. Иркутск, 1971.
2. Соловов А.П. Основы теории и практики металлометрических съемок. Алма-Ата, Изд-во АН Каз.ССР, 1959.
3. Хрусталев В.К., Кременецкий И.Г., Жбанов Э.Ф. К вопросу разбраковки вторичных ореолов рассеяния олова в верховьях реки Кидэмит (Западное Забайкалье). Материалы по геологии и полезным ископаемым БурАССР, вып. XIУ, Улан-Удэ, 1971

ОТКРЫТЫЕ ВТОРИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ СВИНЦОВО-ЦИНКОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ИХ СВЯЗЬ С ФАЦИАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ СКЛОНОВОГО ЧЕХЛА
(на примере Центрального Забайкалья)

Е.П.Сорокина

В настоящее время в практике геохимических поисков большое внимание уделяется количественной оценке перспективности гипергенных литохимических аномалий. Широкое распространение получили различные параметры, характеризующие концентрацию металла во вторичном ореоле, продуктивность ореолов и т.д. Однако получаемые параметры нельзя использовать механически без учета условий формирования ореола.

Как известно, гипергенное рассеяние во многом определяется свойствами вмещающей среды литохимических ореолов, т.е. рыхлых отложений. Это позволяет рассматривать генетические особенности вмещающих рыхлых отложений в качестве важного классификационного признака вторичных ореолов. Так, Ю.В.Шарков /3/ определяет элементарный (т.е. генетически однородный) вторичный литохимический ореол как часть вторичного ореола, заключенную в генетически однородных осадочных континентальных образованиях или остаточных корах выветривания. С этой точки зрения единые общие ореолы месторождений построены из взаимосвязанных элементарных ореолов, к оценке параметров которых может потребоваться дифференцированный подход. Необходимость расчленения литохимических ореолов на элементарные составляющие особенно очевидна для горных районов с их сложно построенным склоновым чехлом. Здесь основой такого разделения может служить фациальный анализ склоновых отложений.

Методические исследования, проводившиеся в Забайкальской экспедиции МГУ, позволили определить склоновую фацию как участок склона, характеризуемый единым типом строения рыхлой толщи. От-

дельные горизонты склонового разреза представляют собой более простые единицы - микрофации (структурные элементы склоновой фации). Микрофация характеризуется глубиной залегания от дневной поверхности, углом наклона, определенным объемом и отражает один тип, стадию выветривания и один тип смещения /2/.

Работами Забайкальской экспедиции МГУ установлено, что разграничение склонового чехла по качественным признакам (тип коры выветривания, текстура) подтверждается количественными характеристиками вещественного состава поверхностного горизонта, т.е. находит отражение в составе минеральной части почвы. Представляет большой интерес проверка этой закономерности для распределения микроэлементов в склоновых почвах при формировании ореолов рассеяния рудных месторождений.

Изучалось распределение группы микроэлементов в почвах и рыхлых отложениях на территории полиметаллического месторождения и в аналогичных образованиях фонового участка. Исследуемые объекты расположены на юге Центрального Забайкалья в лесостепном среднегорье. Абсолютные высоты междуречий 1200-1400 м, максимальная глубина расчленения 200-250м. Водораздельные пространства представляют собой систему останцовых хребтов с узкими (10м ширины) ровными или слабо волнистыми гребнями. В профиле склоны имеют выпукло-вогнутую форму; крутизна их в средней, наиболее протяженной части составляет 22-27°. В строении склонового чехла выделяются две основные фации: 1) слабо дифференцированные дефлюкционные фрактолитовые образования, приуроченные к выпуклой части склонов; 2)заметно дифференцированные дефлюкционные суглинисто-щебнистые образования на фрактолитовом дефлюкционном основании, распространенные в средней прямой и нижней вогнутой части склонов.

Для детальных работ на территории месторождения выбрана часть склона, выпуклая в профиле и в плане (рис.1). Зона окисления одного из рудных тел выходит на поверхность в виде узкой полосы (ширина 2-10м), вытянутой вниз по склону в его "гребневой" части. Вмещающими породами являются филлитовидные сланцы. Фоновый участок расположен за пределами рудного поля в области развития аналогичных пород без признаков рудной минерализации.

Фоновое содержание микроэлементов в коренных породах определялось по выборке из 120 образцов, отобранных из шурфов и поверхностных прикопок на фоновом участке; фоновое содержание в гумусовом горизонте почв - по выборке из 90 образцов, отобранных с той же

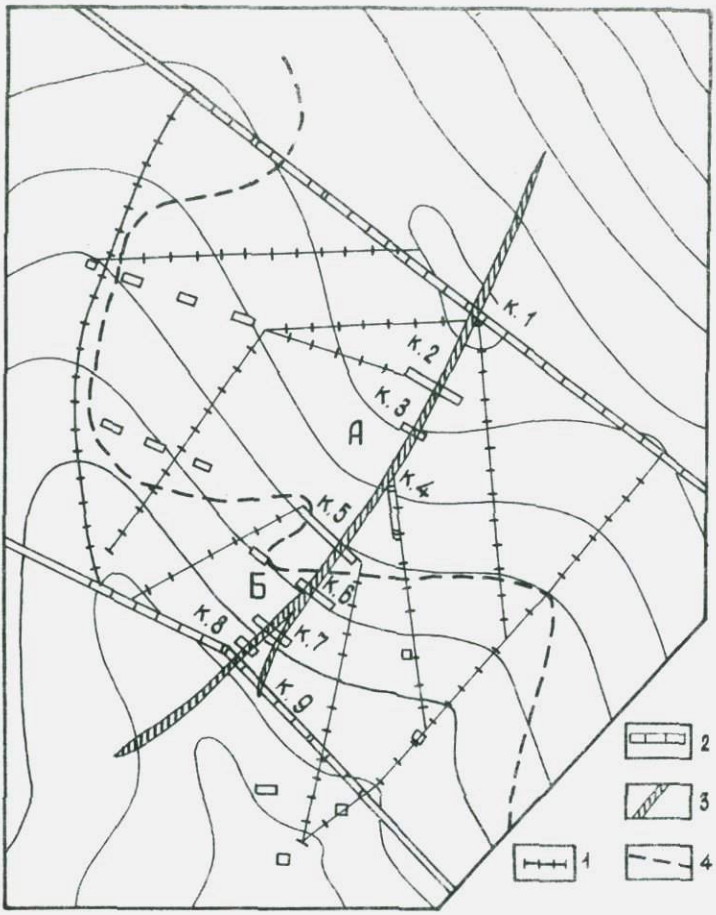


Рис.I. Участок детальных работ на месторождении.
А – фация слабо дифференцированных дефлюкционных фрактолитовых образований (верхняя часть склона).
Б – фация заметно дифференцированных дефлюкционных сутлинистощебнистых образований на фрактолитовом дефлюкционном основании (нижняя часть склона).
I-профиль с точками опробования; 2-разведочная канава;
3-контур рудного тела; 4-граница между склоновыми фациями.

площади. Проведенный анализ показал, что распределение большинства рассматриваемых элементов в коренных породах и почвах фонового участка отличается незначительным изменением (коэффициенты вариации не превышают 50%). Выявлена близость фоновых характеристик Cu , Ni , Cr , Pb , As , Nb в гумусовом горизонте к значениям соответствующих показателей в коренной породе. Явное накопление Ba, Sr в гумусовом горизонте носит, по-видимому, биогенный характер, что подтверждается высокими содержаниями Ba и Sr в золе растений.

На участке месторождения проводилось опробование разрезов склоновой толщи в разведочных канавах и шурфах. Результаты опробования сгруппированы по горизонтам толщи. При анализе нижний горизонт разреза (несмещенная кора выветривания) рассматривался как выветрелая поверхность коренных пород.

При сопоставлении результатов опробования коренных пород участка месторождения с фоновым выявлены аномалии в содержании рудных элементов Pb и Zn и их спутников Cu , Ag , As . Аномалии связаны с выходом окисленного рудного тела и прилегающей к нему областью первичного ореола, ширина которого на данном срезе составляет 10-15м по обе стороны от рудного тела. При этом аномалии свинца и цинка совпадают между собой более чем на 80%, что позволяет говорить о едином свинцово-цинковом ореоле. Аномалии элементов-спутников лежат внутри этого ореола, причем аномалии меди меньше по размерам, чем ореолы серебра и мышьяка. Таким образом, в строении ореола прослеживается поперечная зональность, неоднократно описанная для подобных месторождений /1/.

Содержание элементов убывает от центра к периферии ореола. В этом же направлении уменьшается число ореолообразующих элементов в составе аномалии. В результате отмечается прямая зависимость между содержанием свинца в зоне ореола и числом элементов-спутников с аномальной концентрацией (таблица). Это позволяет ввести особую комплексную характеристику ореола - уровень аномальности " Q ", определяемую номером разряда, соответствующим числу элементов, содержание которых в пробе превышает верхний предел фона. Удобство этого показателя в том, что он дает представление сразу о содержании нескольких элементов в ореоле; кроме того, обобщенный характер показателя нивелирует резкие скачки содержаний элементов внутри ореола, что позволяет более наглядно выявить основные закономерности его строения.

Таблица

Связь разрядного показателя " Q " с содержанием Pb в пробе

№ группы	Элементы, содержание которых в пробе аномально	Число проб в группе	Среднее содержание в группе (в усл.ед.)
I	Pb или Zn	I4	3,I4
2	Pb, Zn	9	4,44
3	Pb, Zn, Ag, As	33	5,25
4	Pb, Zn, Ag, As, Cu	8	7,00

Разрушение коренных пород и смещение продуктов выветривания вниз по склону привели к формированию над закономерно построенным первичным ореолом вторичного ореола в склоновом чехле и почвенном покрове участка. Пространственное распределение металлов в почвенных горизонтах отражает основные особенности распределения элементов в породе. При этом в обоих опробованных горизонтах почвы "А" и "В" (почва черноземовидная щебнистая бескарбонатная) значения аномального показателя " Q " обнаруживают достоверную связь с содержанием свинца и элементов-спутников в ореоле. Это свидетельствует о преимущественно механическом характере ореолов в почве, так как солевое рассеяние должно было вызвать заметное изменение их соотношений. Значения показателя " Q " в различных горизонтах разреза близки между собой, что является косвенным указанием на незначительный характер смещения вторичных ореолов по отношению к первичным.

В строении вторичного ореола рассеяния в гумусовом горизонте почвы выделяются две части: "остаточная", совпадающая с контуром рудного тела и первичного ореола, и смещенная, находящаяся за его пределами. Смещенная часть ореола прослеживается только в средней и нижней части склона, где слабо дифференцированные дефлюкционные отложения сменяются заметно дифференцированными.

"Остаточный" ореол в общем сохраняет неравномерность в распределении рудных элементов и спутников, свойственную первичному ореолу. Для него характерно близкое соседство аномальных точек с "пустыми", содержание в которых не превышает фоновых значений. Такая резкая неравномерность в распределении аномальных содержаний в почвах остаточного ореола свидетельствует, по-видимому, об от-

сутствии выравнивания концентраций в пределах склона, т.е. о слабом механическом перемешивании. Учитывая малую дисперсию в распределении микроэлементов, обнаруженную на метровой площадке фонового участка, можно предположить, что в процессе смещения перемешивание охватывает близлежащие сравнительно однородные участки чехла и почти не проявляется на больших расстояниях, равных шагу опробования (5–7м). Таким образом, в рассматриваемом масштабе рыхлая толща смещается как сплошное связное тело. Процесс более дальнего "диффузного" смещения отдельных частиц, видимо, не играет существенной роли в образовании вторичного ореола в изучавшихся условиях.

Анализ пространственного распределения аномальных точек показал, что в гумусовом горизонте затушевываются четкие различия, наблюдаемые в поперечном сечении первичного ореола. В то же время отмечается постепенная смена соотношений между содержаниями в первичном и вторичном ореолах: в верхней части склона содержание в почве явно понижено по сравнению с коренной породой; ниже, начиная с середины склона, количественные характеристики вторичного ореола превышают характеристики первичного ореола в соответствующих точках. Эта закономерность наглядно выявляется на графиках распределения значений разрядного показателя " Q " в гумусовом горизонте и в коренных породах (рис.2). При этом относительное нарастание концентраций в почве в пределах ореола пространственно совпадает с увеличением мощности мелкоземистого горизонта и изменением особенностей почвенного покрова. Подсчет некоторых ореольных параметров обнаружил достоверные различия между фациями верхней и нижней части склона по следующим геохимическим показателям: I) средним содержаниям Pb, Zn , Cu , As и средним значениям " Q " в гумусовом горизонте; 2) средним значениям $K_{эа}$ (элювиально-аккумулятивных коэффициентов) названных элементов. Причиной такой дифференциации вниз по склону можно считать относительно меньшее разубоживание концентраций в почвах нижней части склона за счет дополнительного притока материала из ореольной зоны верхней и средней части склона. Это измененные параметров в пределах единого вторичного ореола следует учитывать при разделении его на элементарные ореолы. Границы элементарных ореолов, по-видимому, должны проводиться в соответствии с границами склоновых фаций.

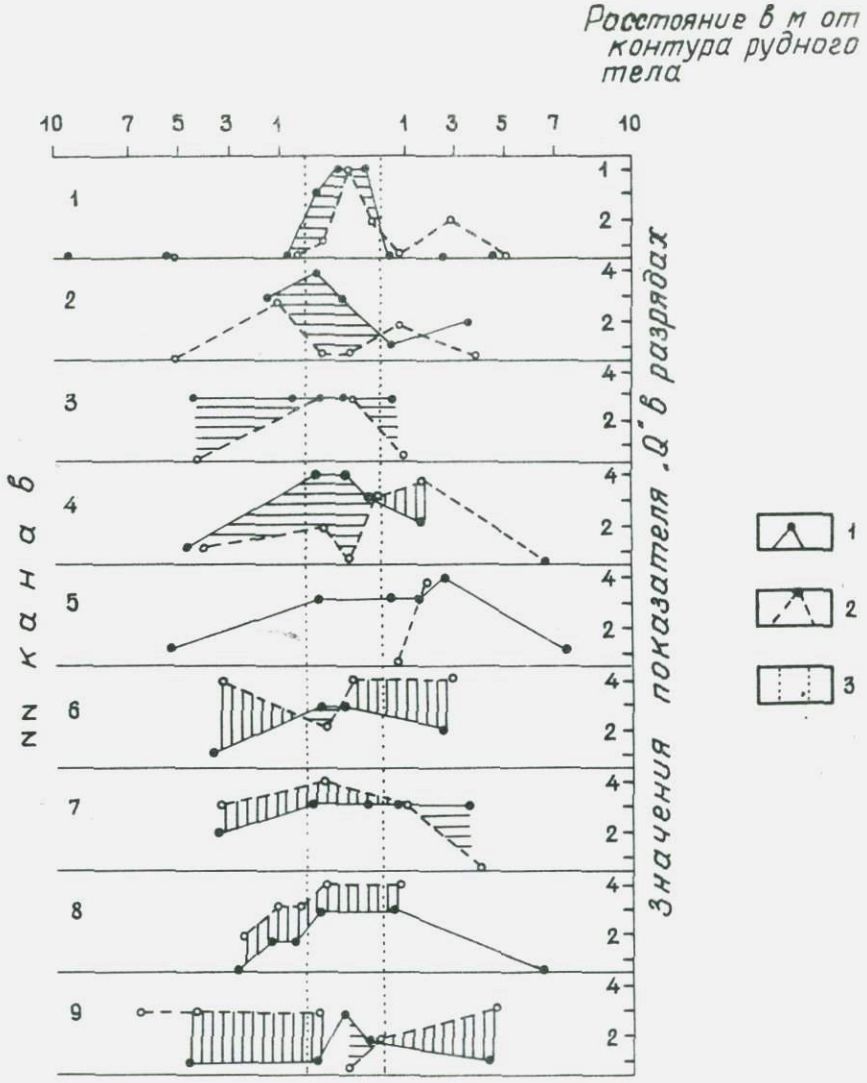


Рис.2. Значения разрядного показателя " Q " в гумусовом горизонте почвы и в коренной породе в пределах контура рудного тела и первичного ореола.
I - значения " Q " в коренной породе; 2 - значения " Q " в гумусовом горизонте; 3 - границы контура рудного тела.

Таким образом, намечается ряд закономерностей, которые могут быть использованы при интерпретации данных по вторичным ореолам.

I. Ореолы рассеяния исследованной группы полезных компонентов полиметаллического месторождения в рассматриваемых условиях носят преимущественно механический характер. В связи с этим, соотношения между рудообразующими элементами в составе вторичных ореолов отражают соответствующие связи в коренных породах и могут быть использованы при оценке особенностей эндогенных ореолов.

2. Биогенное накопление некоторых элементов (например, бериллия, бария, стронция) в гумусовом горизонте почвы может препятствовать выявлению их ореолов рассеяния, так как локальные аномальные концентрации этих элементов в породе маскируются общим повышением содержания в почве.

3. Механические ореолы рассеяния на крутых склонах формируются главным образом путем медленного дефлюкционного смещения рыхлой толщи на склонах, причем процесс перемешивания субстрата развиваются преимущественно на ближних расстояниях (около I-2м). В связи с этим протяженность подобных смещенных ореолов незначительна и в большой степени определяется крутизной склона.

4. Связь между геохимическими показателями смещенных ореолов и особенностями почвенного покрова на склонах позволяет рассматривать границы склоновых фаций в качестве возможных границ элементарных ореолов при подсчете характеристик гипергенных аномалий на крутых дефлюкционных склонах.

Литература

I. Григорян С.В., Лишевский Е.М. Эндогенные геохимические ореолы рудных месторождений и их использование при поисках скрытого оруденения. М., "Недра", I968.

2. Сорокина Е.П., Симонов Ю.Г. и др. Строение склоновых отложений Восточного Забайкалья. Материалы Моск.фил.Геогр.об-ва СССР. Геоморфология, вып.I, I967.

3. Шарков Ю.В. О генетической классификации вторичных литохимических ореолов месторождений. – Литология и полезные ископаемые, I97I, № 4.

ФОРМИРОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ
(бассейн верхнего течения р.Индигирки)

В.Н.Макаров, Н.П.Чибисов

В последние годы в бассейне верхнего течения р.Индигирка в больших объемах ведутся поиски месторождений золото-сурьмяного типа по вторичным литохимическим ореолам рассеяния. При проверке литохимических аномалий горными выработками почти во всех случаях зафиксированы зоны дробления с гнездами или небольшими линзами золотоносного антимонита. Полевые наблюдения и данные лабораторных исследований позволяют рассмотреть некоторые особенности формирования вторичных литохимических ореолов рассеяния основных элементов-индикаторов рудных тел данного типа на примере геохимически хорошо изученного участка кварц-антимонитовой жилы.

Рудное тело локализовано в зоне дробления и окварцевания мощностью 10-30 м в терригенных породах триасового возраста. Главные минералы рудного тела[x]) – кварц, антимонит, субмикроскопическое золото, более редкие – анкерит, арсенопирит, пирит, сфалерит, галенит и другие сульфиды. Вмещающие породы вблизи рудной зоны окварцеваны и серицитизированы. Руды относительно слабо окислены. Мощность зоны окисления превышает 300 м. Процессы гипергенеза развивались преимущественно на призальбандовых участках, а также вокруг небольших гнезд и отдельных зерен антимонита. Наиболее распространенными гипергенными минералами являются сера и сопутствующие ей сурьмяные охры. Отмечены гипс, гидротетит и другие гидроокислы железа, мелантерит, халькантит, скородит, гидрокарбонаты магния.

---

[x]При характеристике вещественного состава использованы материалы Л.Н.Индолева, И.М.Кошина, Ю.Я.Жданова.

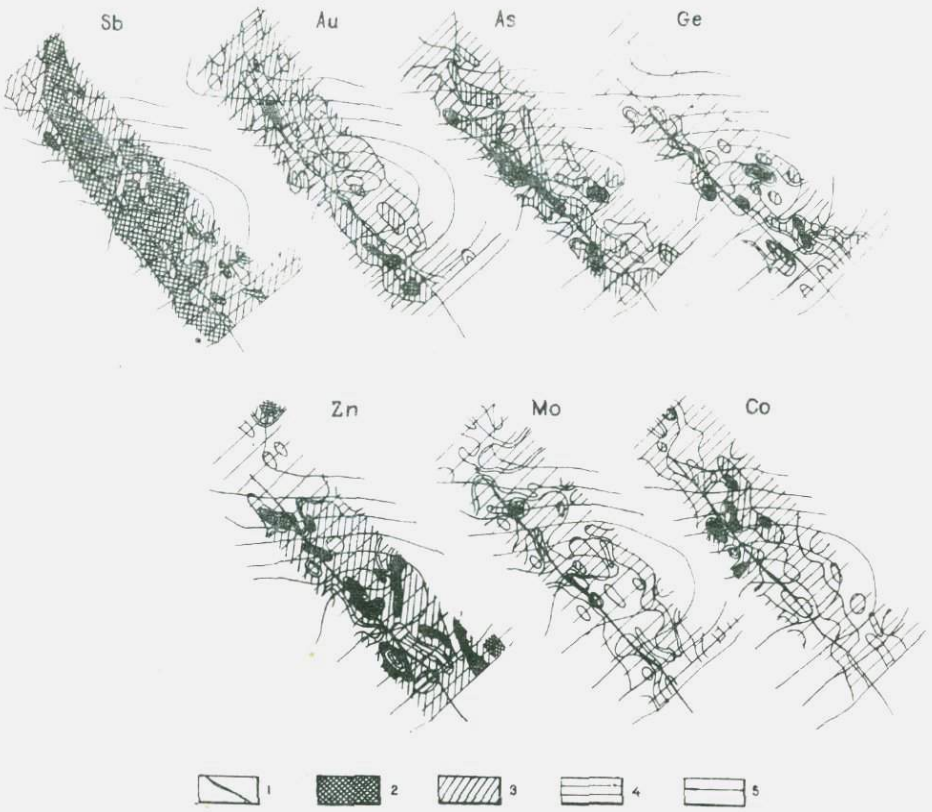
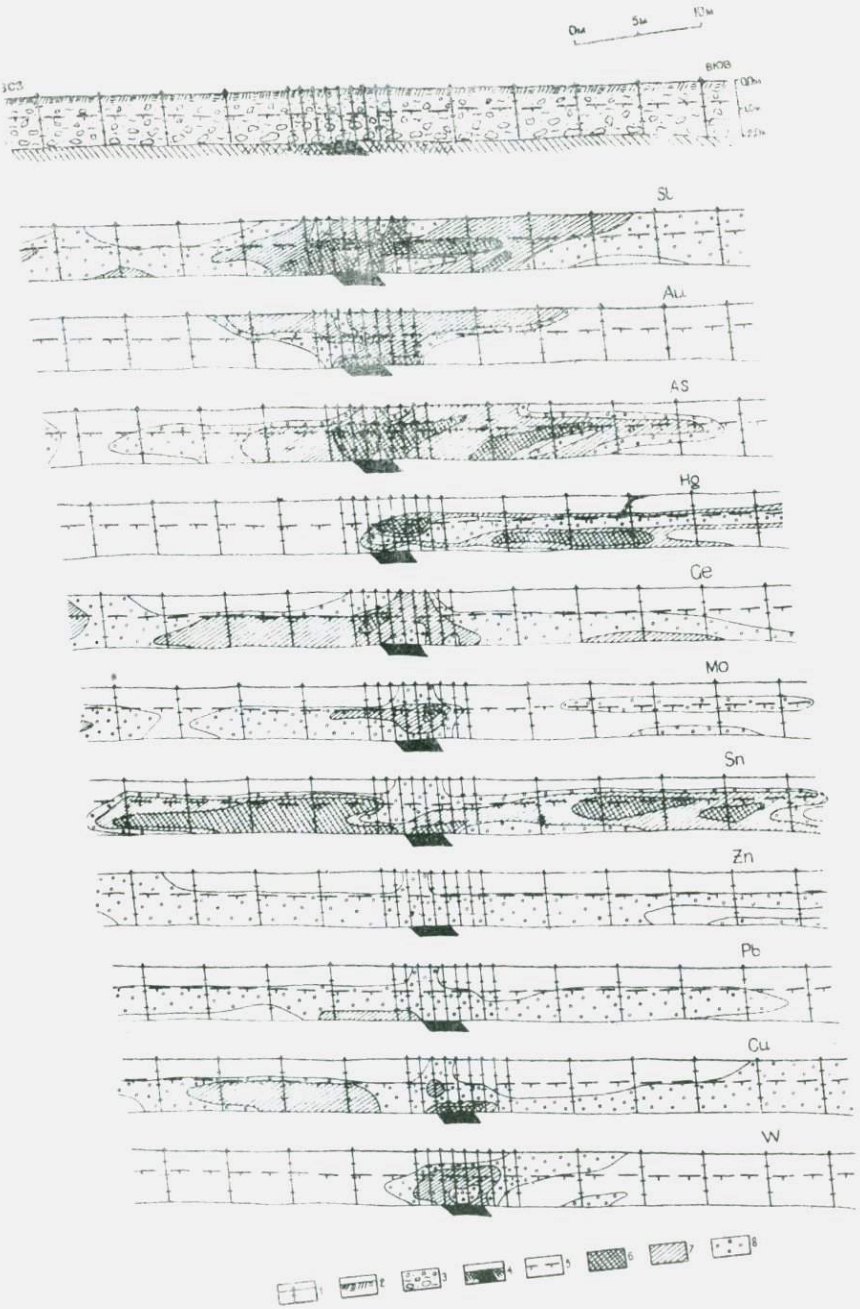


Рис.I. Планы вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов ...ьно-антимонитового рудного тела

I – выход рудного тела, 2–5 – концентрации элементов: 2 – сурьмы – $I \cdot 10^{-1}$%, золота – $n \cdot 10^{-5}$%, мышьяка – $I-6 \cdot 10^{-1}$%, германия – $3 \cdot 10^{-4}$%, цинка – $2 \cdot 10^{-2}$%, молибдена – $6 \cdot 10^{-4}$%, кобальта – $4-6 \cdot 10^{-3}$%; 3 – сурьмы – $I-8 \cdot 10^{-2}$%, золота – $n \cdot 10^{-6}$%, мышьяка – $5-8 \cdot 10^{-2}$%, германия – $2 \cdot 10^{-4}$%, цинка – $I \cdot 10^{-2}$%, молибдена – $4-5 \cdot 10^{-4}$%, кобальта – $2-3 \cdot 10^{-3}$%; 4 – золота – $n \cdot 10^{-7}$%, мышьяка – $3-40 \cdot 10^{-3}$%, германия – $I \cdot 10^{-4}$%, цинка – $6-7 \cdot 10^{-3}$%, молибдена – $2-3 \cdot 10^{-4}$%, кобальта – $5-8 \cdot 10^{-4}$%; 5 – кобальта – $2-4 \cdot 10^{-4}$%.


0км
5км
10км
ЮЗ
СВ
Sb
Au
As
Hg
Ce
Mo
Sn
Zn
Pb
Cu
W

Разрезы рыхлых образований и вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов кварц-антимонитового рудного тела

1 – линии опробования рыхлых образований, 2 – почвенно-растительный слой, 3 – элювиально-делювиальные образования, 4 – рудное тело в трещиноватых терригенных породах, 5–граница многолетней мерзлоты, 6–8 – содержания элементов: 6 – сурьмы – I–I0%, золота – $n \cdot I0^{-5}$%, мышьяка – $n \cdot I0^{-1}$%, ртути – $n \cdot I0^{-4}$%, германия – $4 \cdot I0^{-4}$% и выше, молибдена – выше $5 \cdot I0^{-4}$%, олова – выше $I \cdot I0^{-3}$%, меди – $I \cdot I0^{-2}$%; 7 – сурьмы – $n \cdot I0^{-I}$%, золота – $n \cdot I0^{-6}$%, мышьяка – $n \cdot I0^{-2}$%, ртути – $n \cdot I0^{-5}$%, германия – $2\text{-}3 \cdot I0^{-4}$%, молибдена – – $4\text{-}5 \cdot I0^{-4}$%, олова – $8\text{-}I0 \cdot I0^{-4}$%, свинца – $I \cdot I0^{-2}$%, меди – – $6\text{-}8 \cdot I0^{-3}$%, вольфрама – $n \cdot I0^{-2}$%; 8 – сурьмы – $n \cdot I0^{-2}$%, золота – $n \cdot I0^{-7}$%, мышьяка – $6\text{-}8 \cdot I0^{-3}$%, ртути – $n \cdot I0^{-6}$%, германия – $I \cdot I0^{-4}$%, молибдена – $2\text{-}3 \cdot I0^{-4}$%, олова – $5\text{-}7 \cdot I0^{-4}$% цинка – $I \cdot I0^{-2}$% и выше, свинца – $5 \cdot I0^{-3}$%, меди – $4\text{-}5 \cdot I0^{-3}$%, вольфрама – $n \cdot I0^{-3}$%.

В околорудном пространстве зафиксированы первичные ореолы сурьмы, мышьяка, ртути, германия, цинка, кобальта, олова, свинца, молибдена, меди. Установлено их зональное строение, причем ртуть, мышьяк, сурьма и германий накапливаются преимущественно в верхней части разреза рудных зон, остальные элементы в той или иной степени свойственны нижним горизонтам.

Выход рудного тела приурочен к небольшому водоразделу, в пределах которого развиты горно-таежные мерзлотные каменистые почвы. Элювиально-делювиальные образования, подстилающие почвы, представлены обломками терригенных пород с глинисто-суглинистым цементом и линзами льда. Особенностью их гранулометрического состава является преобладание грубообломочного и тонкозернистого материала /I/. Повышенные количества мелких и тонких классов характерны для почв и нижней части сезонноталого слоя, глубина залегания нижней границы которого в зависимости от экспозиции склонов варьирует от 0,6 до I,5 м.

Вторичные литохимические ореолы рассеяния элементов-индикаторов сурьмяной минерализации показаны на рис. I. Наиболее информативны по распределению в почвах золото, мышьяк, сурьма, менее-германий. Как правило, их вторичные ореолы достаточно локальны, в плане имеют извилистые очертания и вытянуты по простиранию рудного тела. Менее определенные результаты получаются при анализе вторичных ореолов рассеяния цинка, молибдена и кобальта, так как участки максимальных концентраций этих элементов встречаются не только над выходом рудного тела, но и в удалении от него.

Изучение распределения элементов-индикаторов по разрезу почв и элювиально-делювиальных образований, а также в классах и фракциях рыхлого материала показало следующее.

Для вторичных ореолов почти всех (за исключением золота и сурьмы) элементов характерно резкое уменьшение размеров и интенсивности ореолов в почвах и небольшое смещение их от выхода рудного тела вниз по пологому склону (рис.2). Максимальная ширина вторичного ореола по разрезу тяготеет к границе сезонноталого слоя. В мерзлых рыхлых породах нижняя часть вторичного ореола обретает форму веера, незначительно расширяющегося кверху. Наиболее асимметрична форма вторичного ореола рассеяния ртути, причем в почвах уловимых анализом концентраций этого элемента не отмечено. Вторичный ореол рассеяния золота веерообразный с максимальной шириной в почве, симметричен относительно выхода рудного тела.

Основная масса содержащихся в почвах сурьмы, мышьяка, германия, меди и цинка связана с обломочной фракцией мельче 0,25 мм, тогда как олово, молибден, свинец и вольфрам содержатся в более крупных классах.

В сезонноталых рыхлых образованиях мышьяк, молибден, свинец, медь и цинк связаны с материалом мелких и тонких классов, в которых они накапливаются в электромагнитной фракции; сурьма и германий концентрируются в более крупном материале (+0,5 мм и крупнее), причем в немагнитной фракции. Близкое последнему распределение имеют вольфрам и олово.

В мерзлых рыхлых образованиях повышенные содержания многих элементов характерны для крупных классов (крупнее 0,5 мм), лишь молибден содержится преимущественно в классе менее 0,I мм.В этой части разреза возрастает роль немагнитной фракции, содержания элементов в которой относительно выше, чем в электромагнитной.

Перечисленные особенности вторичных ореолов рассеяния позволяют отметить существенную роль солевого рассеяния элементов-индикаторов в зоне гипергенеза рудного тела. Наиболее значительна доля солевой составляющей для почвенного слоя, где вторичные соединения сурьмы, мышьяка, германия сорбируются почвенным комплексом или образуют органоминеральные соединения. Последняя форма рассеяния особенно характерна для мышьяка и цинка.

Необычная форма вторичного ореола рассеяния золота в разрезе может быть следствием относительной инертности в почвенном слое, где его соединения прочно удерживаются глинистыми минералами /9/. В элювиально-делювиальных образованиях этот элемент может накапливаться в самородном виде или иных формах. Следует иметь в виду, что основная масса золота (около 90%) в месторождениях золото-сурьмяного типа выносится в гидросеть, не образуя россыпей.

Особенности распределения рассмотренных элементов-индикаторов на площади участка в первичных и вторичных литохимических ореолах и природных водах подтверждают солевую форму рассеяния их из почв, хотя доля ее в общем количестве выносимого вещества для различных элементов различна.

Сопоставление рядов почвенной и водной миграции металлов (табл.I) позволяет предположить, что ртуть, мышьяк и сурьма могут рассеиваться в основном в солевой форме; свинец, цинк, медь, олово, германий, вольфрам – в солевой и механической; золото, молибден и кобальт – преимущественно в механической.

Таблица I

Ряды почвенной и водной миграции

Объект опробования	Интервалы показателей подвижности			
	Легко подвижные $\frac{0,35^{X}}{10n-n}$	Подвижные $\frac{0,35-0,7}{0,\ n}$	Слабо подвижные $\frac{0,7-1,4}{0,0n}$	Инертные $\frac{1,4}{0,00n}$
Почвы	сурьма, ртуть золото, вольфрам, германий, медь	мышьяк молибден, цинк	кобальт, свинец	олово
Природные воды	ртуть, мышьяк	олово, сурьма, свинец, цинк	вольфрам, медь, германий	золото, молибден, кобальт

[X] В числителе – величины элювиально-аккумулятивного коэффициента /6/, в знаменателе – коэффициента водной миграции /7/.

Необычная инертность молибдена в зоне гипергенеза месторождения, возможно, обусловлена сорбцией этого элемента гидроокислами железа и неблагоприятными условиями его водной миграции в насыщенных бикарбонатами кальция (24–55% Са $(HCO_3)_2$) водах рудного тела.

Интересные данные получены об ионном стоке сурьмы. Расчеты показали, что вынос этого элемента с участка рудного тела поверхностными водами и грунтовыми водами сезонноталого слоя весьма велик: суммарный модуль ионного стока сурьмы составляет 0,02 т/км^2 в год, что не только подтверждает преобладание солевой природы вторичных ореолов рассеяния элемента, но и свидетельствует о постоянном поступлении водорастворимых ее соединений из мерзлых пород к границе сезонного протаивания. По всей вероятности, подобный процесс в той или иной мере свойственен и рассеянию остальных элементов. Восходящие токи химически активного вещества в мерзлых почвах и горных породах – одно из характерных явлений криогенеза /8/.

Степень близости механизма гипергенных процессов для выделенных трех групп элементов иллюстрируется различной величиной корреляционных связей между некоторыми из них и сурьмой в первичных

и вторичных литохимических ореолах и природных водах (табл.2).

Таблица 2

Коэффициенты ранговой корреляции

Пары элементов	Ореолы		Природные воды
	первичные	вторичные	
Сурьма - золото	+ 0,52[X]	+ 0,2	Не рассчит.
Сурьма - мышьяк	+ 0,75	+ 0,82	+ 0,31
Сурьма-германий	- 0,8	Не рассчит.	Не рассчит.
Сурьма - олово	± 0,35	+ 0,4	+ 0,23
Сурьма - медь	+ 0,25	+ 0,7	Не рассчит.
Сурьма - сера	Не рассчит.	Не рассчит.	± 0,7

[X] Сплошной чертой подчеркнуты коэффициенты корреляции, значимые при всех уровнях, пунктиром - при 5%-ном уровне.

Усиление корреляционных связей мышьяка, олова и меди с сурьмой в почвах отражает отмеченную ранее (табл.I) близость поведения этих элементов в зоне гипергенеза рудного тела.

Сохранение количественных соотношений мышьяка и сурьмы не только в почвах, но и в природных водах позволяет предположить сходство их форм гипергенной миграции. Напротив, ослабление связей *золота и сурьмы во вторичных ореолах, по сравнению с коренной* минерализацией, отражает различные пути их миграции в рыхлом покрове. Таким образом, и эти расчеты согласуются с выводами о широком распространении *процессов солевого рассеяния микроэлементов в зо*не гипергенеза участка.

Формирование вторичных литохимических ореолов рассеяния в *условиях многолетнемерзлых пород зависит также и от количества по*ступающей солнечной энергии. Неравное поступление тепла на склоны различных экспозиций определяет неравнозначную степень развития *гипергенных процессов. Это явление, отмеченное для южных рай*онов геокриолитозоны /2,4,3/, характерно и для изученного участка. Концентрации большей части компонентов природных вод (сульфатов, хлора, натрия, кальция, магния) в водах сезонноталого слоя в пределах минерализованных участков на южных склонах в I,5-2 раза выше, чем на северных. Количества сурьмы, мышьяка, свинца, цинка, олова, меди в водах южных склонов в 2-4 раза выше, чем в се-

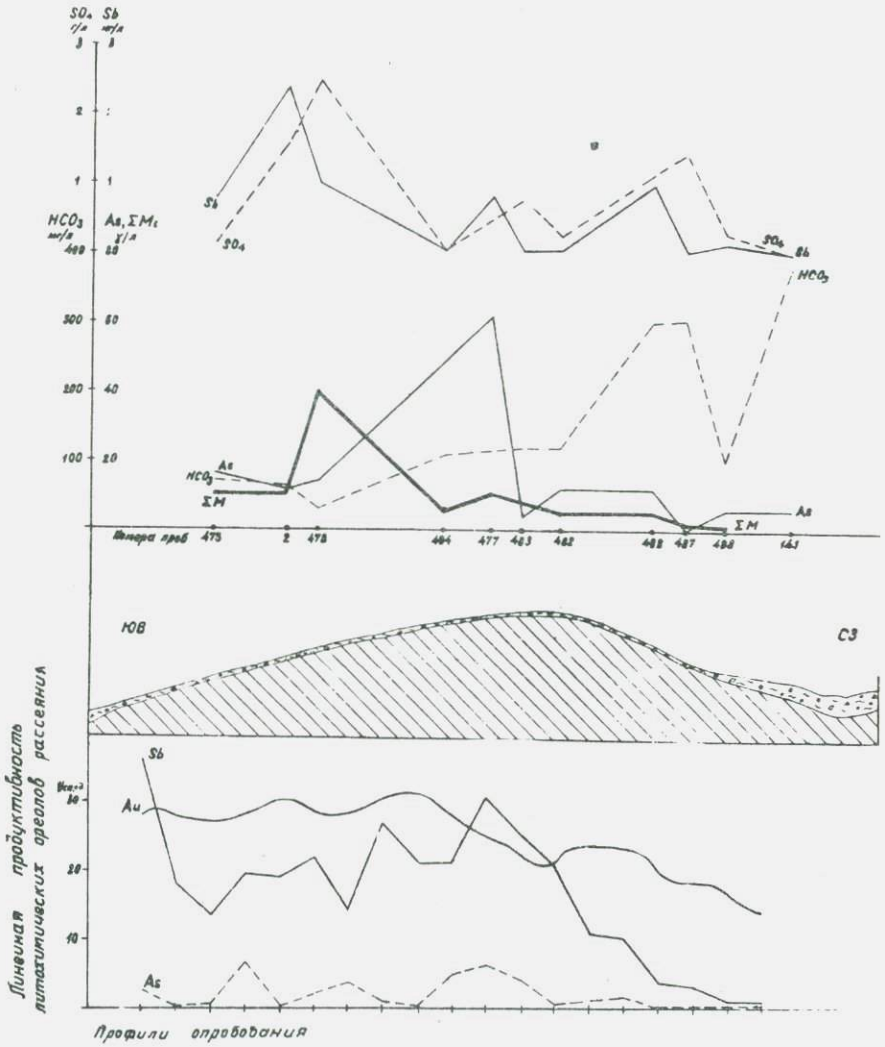


Рис.3. Графики изменения концентраций компонентов природных вод и линейных продуктивностей вторичных ореолов рассеяния на склонах различных экспозиций над рудным телом.

верных. Процессы гипергенеза на склонах различных экспозиций отражаются и на характере распределения элементов-индикаторов в почвах. Линейная продуктивность литохимических ореолов рассеяния сурьмы, мышьяка и золота на южном склоне в 2-4 раза выше, чем на северном (рис.3).

Выводы

В условиях геокриолитозоны бассейна верхнего течения р.Индигирки процессы вторичного рассеяния рудного вещества имеют и солевую и механическую природу. Рассеяние ртути, сурьмы и мышьяка - солевое ; свинца, цинка, германия, олова, вольфрама, молибдена - солевое и механическое; золота - преимущественно механическое.

Наиболее интенсивно металлы выносятся из почвенного горизонта. Максимальные размеры вторичных литохимических ореолов отмечены в элювиально-делювиальных образованиях на интервале нижней границы сезонноталых пород.

Основным средством формирования вторичных литохимических ореолов рассеяния в сезонноталом слое служат природные воды, которые транспортируют большую часть микроэлементов в растворенном или во взвешенном состояниях. Криогенное изменение горных пород и руд и восходящая миграция микроэлементов к подошве сезонноталого слоя обусловливают обогащение природных вод и рыхлых образований водорастворимыми формами микроэлементов.

Неравное поступление солнечной энергии на склоны различных экспозиций - одна из важных причин различной степени преобразования горных пород и руд при гипергенезе, а также неоднородного по интенсивности вторичного литохимического поля рассеяния рудного тела.

Литература

1. Боровицкий В.П., Квятковский Е.М., Крицук И.Н. Характеристика вторичных ореолов рассеяния одного из рудных полей Якутской АССР в зависимости от типа склоновых образований. - В кн.:Материалы II сессии Сибирской секции СПМ, вып.2, ч.I, Улан-Удэ, 1972.
2. Бугельский Ю.Ю. Гипергенная миграция рудных компонентов в различных климатических районах. - В кн.: Кора выветривания, вып. 4,1962.

3. Крицук И.Н. Оценка перспективности месторождений цветных и редких металлов Восточного Забайкалья по их вторичным ореолам рассеяния. Автореф. дисс. на соиск. уч.степ. канд.геол.-мин.наук. Ленинград,1964.
4. Кононова Р.С. Некоторые особенности формирования химического состава подземных вод в Сретенском районе Восточного Забайкалья. - В кн.: Опыт разработки гидрохимических методов поисков рудных месторождений. Москва, 1959.
5. Константинова И.М. Состав речных илов и распределение в них рудных элементов на участках потоков рассеяния в Восточном Забайкалье. Автореф. дисс. на соиск. уч.степ.канд.геол.-мин. наук. Иркутск,1970.
6. Михайлова Р.П. Закономерности распределения микроэлементов в почвах таежной зоны Урала в связи с геохимическими поисками. В кн.: Почвенно-географические и ландшафтно-геохимические исследования. М.,Изд-во МГУ, 1964.
7. Перельман А.И. Геохимия ландшафта, Изд-во "Высшая школа",1966.
8. Тютюнов И.А. Физико-химическое изменение горных пород на Крайнем Севере. - В кн.: Физико-химические процессы в промерзающих и мерзлых породах. М., Изд-во АН СССР, 1961.
9. Шпунт Б.Р.,Шамшина Э.А., Ким А.А. О распределении тонкодисперсного золота в аллювиальных россыпях. - В кн.: Новости геологии Якутии, вып.3. Якутск,1973.

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ОСТАТОЧНЫХ ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ (ЗАПАДНЫЙ СКЛОН) И УСЛОВИЯ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Ю.А.Новиков

В геологическом строении Кузнецкого Алатау принимают участие осадочные, осадочно-вулканогенные, метаморфические и интрузивные комплексы протерозоя, кембрия, ордовика и девона. Регион перспективен на золото, ртуть, молибден, вольфрам и другие полезные ископаемые.

Ореолообразующей средой являются элювиально-делювиальные образования различного возраста: от нижнечетвертичных до современных. Обнаженность территории слабая. Делювиальные и элювиальные образования склонов и плоских водораздельных пространств почти сплошным чехлом перекрывают отложения складчатого фундамента. Повсеместно на элювиально-делювиальных образованиях развиты почвы, которые и являются объектом литохимического опробования.

Почти вся территория Кузнецкого Алатау относится к южному семейству горно-таежных ландшафтов кислого класса водной миграции. Это в основном ландшафты черневой тайги (пихта, осина с примесью березы и кедра). Рельеф среднегорный, низкогорный, отчасти пологохолмистый.

Климат Кузнецкого Алатау и Горной Шории резко отличается от климата всех прилегающих к ним областей большим годовым количеством осадков и мощным снеговым покровом. Климат Кузнецкого Алатау прохладный и очень влажный. Средняя продолжительность безморозного периода около 100 дней. Среднегодовое количество осадков колеблется от 700 до 1200 мм, в среднем - 800-850 мм. Снеговой покров мощный - 60-200 см. Испаряемость с поверхности почв (в теплый период) - 300-400 мм.

Таким образом, горно-таежные ландшафты территории формируются

в условиях прохладного, влажного климата и низкой испаряемости с поверхности почв. Эти факторы, наряду с влиянием растительности, замедляющей движение поверхностных вод, обусловливают здесь промывной тип водного режима почв. Почвообразовательные процессы проникают на значительную глубину.

Основными формами склоновой денудации в ландшафтах черневой тайги Кузнецкого Алатау являются плоскостной смыв и растворяющее действие дождевых и талых вод.

Большое количество осадков и сильная промытость почв обусловили очень низкую общую минерализацию грунтовых вод ландшафтов черневой тайги. Грунтовые воды этих ландшафтов гидрокарбонатно-кальциевые и гидрокарбонатно-кальциево-магниевые, ультрапресные и пресные. Чаще всего общая минерализация равна ≈ 0,I г/л.Реакция грунтовых вод слабо кислая (5,5-6,5),а в поле развития карбонатных пород - нередко нейтральная.

В Кузнецком Алатау можно выделить два основных типа остаточных вторичных ореолов рассеяния:

I) остаточные вторичные ореолы рассеяния, ослабленные у поверхности (открытые) и выщелоченные из верхних горизонтов почв (закрытые);

2) открытые остаточные вторичные ореолы рассеяния нормальной интенсивности.

Открытые ослабленные ореолы являются в сущности переходными между двумя типами: открытыми нормальной интенсивности, с одной стороны, и выщелоченными из верхних горизонтов почв (закрытыми)- - с другой. Каждый из двух названных типов остаточных вторичных ореолов соответствует определенным типам геохимических ландшафтов.

I. Остаточные вторичные ореолы рассеяния, ослабленные у поверхности (открытые) и выщелоченные из верхних горизонтов почв (закрытые). Эти ореолы являются преобладающим типом вторичных ореолов рассеяния в среднегорных и низкогорных ландшафтах черневой тайги на горно-таежных сильно- подзолистых почвах. Указанные ландшафты, которые широко распространены в северной части Кузнецкого Алатау, формируются на элювиально-делювиальных образованиях небольшой мощности: от I,5-2 м до 4-5 м. По составу элювиально-делювиальные образования здесь представлены в основном суглинками, глинами, реже супесями.

Для ландшафтов черневой тайги на глубокоподзолистых почвах ха-

рактерно следующее сочетание элементарных ландшафтов. Здесь очень широко распространены автономные (элювиальные) ландшафты, представляющие широкие плоские или выположенные водоразделы. Трансэлювиальные ландшафты представляют участки пологих склонов и отчасти склонов средней крутизны.

Вертикальные разрезы почв и элювиально-делювиальных образований изучались на участках месторождений и рудопроявлений золота, меди, молибдена и вольфрама. В разрезе выделяются: слабо выраженный гумусированный горизонт (A_I); подзолистый горизонт - A_2, а также горизонты "В" и "С". Среда почв явно кислая. Наиболее существенной особенностью подзолистых почв является развитие в них мощного подзолистого горизонта - горизонта светлоокрашенных суглинков. Мощность его колеблется от 35 до 70 см, pH суспензий и вытяжек из этих суглинков - от 5,0 до 6,0.Образование сильноподзолистых почв обусловлено упоминавшимися климатическими особенностями. Можно добавить, что в этих ландшафтах отсутствует промерзание почв зимой, а нижняя корка снега систематически подтаивает, поэтому перемещение воднорастворимых и подвижных компонентов по профилю почв продолжается в течение всего года.

В ландшафтах рассматриваемого типа на ряде объектов изучались вторичные ореолы рассеяния, определены их параметры: линейные и площадные продуктивности ореолов; местные коэффициенты пропорциональности между продуктивностью рудного тела и продуктивностью соответствующего ему ореола; коэффициенты пропорциональности между продуктивностью вторичного ореола на уровне того или иного горизонта почв (гор. "A_I", и "A_2" или "В") и продуктивностью ореола на уровне горизонта "С" (рыхлый элювий или делювий, не затронутый процессами почвообразования); коэффициенты контрастности;размеры ореолов. Кроме того, вычислены значения местного геохимического фона и определены величины минимально-аномальных концентраций.

Закрытые нацело выщелоченные из верхних горизонтов почв ореолы вообще не проявляются у поверхности. Вторичные ореолы рассеяния золота, меди, сурьмы такого типа наблюдались на участках Натальевского золоторудного и Кундатского золото-вольфрамового месторождений, на участке рудопроявления меди "Красный Камень" и др.

Ослабленные (открытые) вторичные ореолы рассеяния - развиваются на уровне верхних горизонтов почв (A_I и A_2), но их размеры и интенсивность (а следовательно, продуктивность) во много раз мень-

ше, чем эти же параметры ореола на уровне горизонтов "В", "ВС" и "С" разреза почвенно-делювиальных образований. Именно таким является, например, ореол мышьяка уч.Кундатского месторождения.

В геохимических ландшафтах рассматриваемого типа представительным горизонтом опробования является горизонт "В", а там, где он морфологически не выражен, горизонт "ВС".

Глубина залегания представительного горизонта опробования колеблется от 0,45 до 0,7 м. Отбор литогеохимических проб из горизонтов "A_2" или "A_1" (здесь это равноценно) ведет к пропуску вторичных ореолов рассеяния и позволяет выявлять только часть ореолов, обладающих высокими и очень высокими значениями линейной продуктивности.

Формирование вторичных ореолов рассеяния, в частности выход их на поверхность, при прочих равных условиях решающим образом зависит от масштаба оруденения - его линейной продуктивности. На основании полученных результатов можно предварительно заключить, что в данных ландшафтно-геохимических условиях для рудных тел рассматриваемых металлов с линейной продуктивностью в единицы-первые десятки м% (для золота м·г/т) характерны либо ослабленные открытые, либо закрытые вторичные ореолы. Рудные тела с более высокой линейной продуктивностью, несмотря на развитие процессов выщелачивания, сопровождаются открытыми ореолами рассеяния.

Формирование ореолов рассмотренного типа объясняется интенсивным проявлением подзолообразовательного процесса. Подзолообразование представляет важный фактор химического и биогенного выветривания и рассеяния элементов. Этот процесс обусловливает вынос ореолообразующих элементов из верхней части разреза почв, в результате чего ореолы являются либо нацело выщелоченными, либо существенно ослабленными.

Для оценки степени воздействия подзолообразовательного процесса на разложение рудных минералов и вынос ореолообразующих элементов следует учесть следующее:

1) процесс разложения, растворения и выноса продуктов растворения осуществляется в течение длительного периода;

2) подзолообразование является процессом, осуществляющимся в условиях динамического равновесия между постоянным сквозным промыванием почв атмосферными осадками, с одной стороны, и денудацией, с другой;

3) вторичные ореолы большой группы элементов формируются пре-

имущественно за счет сульфидной минерализации рудных тел.

В заключение необходимо отметить следующее. На плоских водоразделах и пологих склонах, покрытых черневой тайгой, склоновая денудация в форме плоскостного смыва дождевыми и талыми водами замедлена. Здесь основная масса атмосферных осадков проникает в почвы и большее значение, чем плоскостной смыв, имеет растворяющее воздействие дождевых и талых вод. Поэтому на площадях с относительно замедленной склоновой денудацией интенсивно идет процесс подзолообразования и размываются подзолистые почвы с большой мощностью почвенных горизонтов. Другими словами, подзолообразование как фактор химического и биогенного выветривания и рассеяния здесь имеет большее значение, чем механическая денудация, следствием чего является формирование закрытых ослабленных ореолов.

2. Открытые остаточные вторичные ореолы рассеяния нормальной интенсивности. Они характерны для той части Кузнецкого Алатау, где наиболее активно проявлена склоновая денудация. Это территория наиболее расчлененной южной части Кузнецкого Алатау с высокогорными формами рельефа, а также площади с наиболее расчлененным рельефом среднегорья в северной части Кузнецкого Алатау. Здесь развиты ландшафты черневой тайги, формирующиеся на элювиально-делювиальных образованиях небольшой мощности (от I - до 3 м). По составу элювиально-делювиальный материал преимущественно суглинисто-супесчаный. Почвенный покров представлен горнотаежными сильноподзолистыми и среднемощными почвами, примитивными дерновыми, а также горнотаежными бурыми слабооподзоленными почвами.

Для геохимических ландшафтов территории характерно следующее сочетание элементарных ландшафтов: автономные ландшафты представляют крутые склоны и склоны средней крутизны (I8-20^{0}и более). Трансэлювиальные элементарные ландшафты распространены здесь неизмеримо шире, чем автономные. Поэтому открытые остаточные ореолы нормальной интенсивности развиты большей частью на площадях крутых и средней крутизны склонов, являющихся участками плоскостного смыва. На крутых склонах воды атмосферных осадков проникают на меньшую глубину, чем на плоских водоразделах и пологих склонах, поэтому подзолообразование здесь происходит слабее. С другой стороны, на крутых склонах наблюдается интенсивный смыв и размыв почв под влиянием склоновой денудации.

В ландшафтах данного типа плоскостной смыв дождевыми и талыми водами имеет гораздо большее значение, чем растворяющее воздейст-

вие этих вод. Можно считать, что открытые остаточные ореолы нормальной интенсивности развиты там, где подзолообразование (т.е. растворяющее воздействие атмосферных осадков и органических кислот) имеет гораздо меньшее значение, чем склоновая денудация под влиянием плоскостного смыва дождевыми и талыми водами. Ореолы данного типа мы наблюдали на участке рудопроявления меди и молибдена "Красный Камень" и на участке Верхотурского рудопроявления золота.

В зависимости от типа опробуемых почв глубина залегания представительного горизонта опробования колеблется здесь от 5 до 40 см.

Смещенность вторичных ореолов рассеяния, выявляемых на склонах, относительно рудных тел невелика: колеблется от первых метров до первых десятков метров.

Таким образом, формирование вторичных ореолов рассеяния того или иного типа в Кузнецком Алатау определяется состоянием подвижного равновесия между склоновой (механической) денудацией, с одной стороны, и химическим и биогенным выветриванием и рассеянием, с другой.

ОСОБЕННОСТИ ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛОВ БОРАТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ТАЕЖНО-МЕРЗЛОТНОГО ЛАНДШАФТА СИБИРИ

С.Л.Усова, Э.Ф.Жбанов, Б.К.Виноградов

Месторождение расположено на плоскогорье, в таежно-мерзлотном ландшафте Зап.Забайкалья. Абсолютные отметки в пределах месторождения 1250-1350 м, относительные превышения - 100-200 м. Коренные обнажения в районе отсутствуют. На заболоченных и залесенных пологих (2-15^0) склонах развиты солифлюкционные и грубослоистые дефлюкционно-солифлюкционные и делювиально-солифлюкционные отложения, полностью перекрывающие коренные породы, и коры выветривания. Склоновые отложения имеют мощность от 2-4 до 5-10 м и более. Многолетняя мерзлота сплошная, мощность ее 30-160 м. Почвы горные таежно-мерзлотные, над кислыми эффузивами и гранитами их pH = 4,8-6,0; над известняками и скарнами - 6,0-8,0. Развита густая таежная растительность, в которой преобладает даурская лиственница, багульник, заросли ерника. Годовая сумма осадков - 300-350 мм.

Месторождение залегает в ксенолите нижнекембрийских карбонатно-вулканогенных пород олдындинской свиты, прорванных средне-верхнепалеозойскими гранитоидами. Боратовое оруденение развивается вдоль висячего бока магнетитового рудного тела и приурочено к зоне глубинного разлома субмеридионального простирания протяженностью около 20 км. Боратовая линзообразная залежь локализована в крутопадающей пачке существенно карбонатных пород мощностью 250-270 м, которые подстилаются ороговикованными кислыми эффузивами и перекрываются вулканогенными породами. В основании пачки залегают доломиты, в средней части - известняки с прослоями кислых эффузивов и в верхней части - известняки. Карбонатные породы под влиянием гранитной интрузии преобразованы в кальцифиры, магнези-

альные скарны и скарноиды. В пределах боратовой залежи проявлена магнетитовая, сфалеритовая, молибденовая, вольфрамовая и оловянная минерализация.

Борное оруденение, имеющее очень сложный минеральный состав, представлено тремя минеральными типами: 1) железо-магниевыми и магниевыми боратами; 2) магний-кальциевыми и кальциевыми боратами; 3) кальциевыми боросиликатами. Первый тип оруденения, представленный людвигитом, ссабелеитом, котоитом, суанитом, флюоборитом и магнетитом, непосредственно примыкает к висячему боку магнетитового рудного тела и развивается по магнезиальным скарнам. Среднее содержание B_2O_3-3,5%.

Рудные тела второго типа, сложенные курчатовитом и сахаитом, локализуются в кальцифирах. Среднее содержание B_2O_3-8%. Этот минеральный тип эндогенных борных руд в Сибири выявлен впервые /2/. Третий тип оруденения представлен боросиликатами - датолитом и ботриолитом, развитыми среди обычных известковых скарнов и скарноидов в некотором удалении от первых двух типов оруденения. Среднее содержание B_2O_3 - 3,5%.

На месторождении была проведена металлометрическая съемка. В отдельных изолированных пробах были установлены повышенные содержания бора (до 0,001%), но борные рудные тела площадной поверхностной металлометрической съемкой при глубине отбора проб 0,2-0,4 м не выявились. С целью разработки более надежного метода для поисков боратов проведена биогеохимическая съемка и литогеохимическое опробование склоновых отложений в канавах. Биогеохимическое опробование проведено по профилям, расположенным вкрест простирания рудных тел, по сети 100х10 м. В пробу отбиралась кора даурской лиственницы, широко распространенной на месторождении. По отдельным профилям продублировано опробование по побегам лиственницы, березы и ивы.

Литогеохимическое опробование склоновых отложений проводилось по вертикали в стенках канав или шурфов. Расстояние по поверхности между вертикальными пересечениями склоновых отложений составляло 10-20 м, глубина пробоотбора 0,3-1,5 м.

Озоление биогеохимических проб проведено в полевых условиях в железных тиглях на костре и фарфоровых тиглях в электропечи. Бор в золе и пробах из склоновых отложений определялся количественным спектральным анализом.

Согласно полученным данным, бор отмечается во всех биогеохими-

ческих и большинстве литогеохимических проб, отобранных с глубины I-I,5 м. Закономерности изменения содержаний бора в растениях и почвах в зависимости от характера подстилающих пород рассмотрим на примере одного из наиболее детально изученных профилей. Повышенные содержания B_2O_3 в золе коры лиственницы отмечаются над борсодержащими магнетитовыми рудами, выщелоченными ссабелеит-людвигитовыми рудами и апомагнезиальными известковыми скарнами с концентрацией B_2O_3 порядка 0,I% и выше, при содержании 0,03-0,09% B_2O_3 над остальными породами разреза. График содержания B_2O_3 в золе побегов лиственницы повторяет график, полученный по содержанию в золе коры лиственницы, но содержания бора в побегах в целом несколько ниже.

В глубинных (I-I,5 м) пробах из рыхлых отложений повышенные содержания B_2O_3 отмечаются над бороносными скарнами (до 0,075-0,09% B_2O_3), магнетитовыми рудами (до 0,2% B_2O_3) и ссабелеит-людвигитовыми рудами (0,07% B_2O_3), при содержании 0,04-0,06% B_2O_3 над другими породами. По каждому слою из четвертичных отложений десятисантиметровыми секциями отобраны также пробы для гранулометрического и термического анализа.

Термограмма рыхлых отложений показывает существенно монтмориллонитово-гидрослюдистый состав глинистой фракции. Глинистые минералы составляют 40-60% объема рыхлых отложений, остальная часть представлена термоинертным материалом, состоящим в основном из кварца и полевого шпата. При изучении минерального состава рыхлых отложений из минералов бора в редких знаках обнаружен турмалин.

Каждая гранулометрическая фракция проанализирована количественным спектральным анализом. В относительно крупной фракции (размеры частиц 0,0I-0,I мм) содержания B_2O_3 составляют 0,008-0,02%, в глинистой - 0,02-0,06%. Максимальные содержания B_2O_3 (0,02%) в крупной фракции приурочены к интервалу 0,5-I,5 м, в глинистой - к интервалам 0,05-0,2 м и I,7-2,0 м (0,06% B_2O_3).

Характерно, что из приповерхностной части боратовых рудных тел, бороносных скарнов и магнетитовых руд бор сильно выщелочен. Вскрытые горными выработками в коренном залегании бороносные скарны содержат B_2O_3 только до 0,2%, магнетитовые, ссабелеит-людвигитовые руды и бороносные кальцифиры до 0,07-0,I% B_2O_3, при весьма незначительном (0,00I%) содержании его в других породах. Интенсивность выщелачивания ссабелеит-людвигитовых руд может быть охарак-

теризована по одному из разрезов. Считая от уровня коренных пород, перекрытых склоновыми отложениями двух-трехметровой мощности, в зоне выщелачивания выделяется три интервала. Первый интервал 0-9,5 м. В нем отмечаются минимальные содержания бора (среднее содержание B_2O_3 - 0,008%). Второй интервал 9,5-10,5 м. В нем наблюдается разрушение минеральных форм и слабая сорбция бора на продуктах разложения людвигита и ссабелеита, а также на лимоните и кальците (среднее содержание B_2O_3 - 0,34%). Третий интервал 10,5 -13,5 м. Он представлен свежими первичными ссабелеит-людвигитовыми рудами в кальцифирах (среднее содержание B_2O_3 - 2,9%). Ссабелеит-людвигитовые руды на глубине 60-70 м в некоторых разрезах сменяются сахаит-курчатовитовыми рудами.

Зона выщелачивания формировалась, по-видимому, в течение длительного времени и наиболее интенсивно могла развиваться в минувших более благоприятных для этого климатических условиях. Современное выщелачивание, накладываясь на уже выщелоченные боратовые руды, может активно протекать в основном в зоне деятельного слоя до глубины 2-3 м и менее. Эрозионно-денудационные процессы в конце четвертичного периода усилились, но не в той мере,чтоб достичь хотя бы на одном каком-нибудь участке месторождения свежих невыветрелых руд. Это объясняется тем, что плоскогорье, на котором находится месторождение, характеризуется слабыми новейшими движениями и в целом небольшим воздыманием. Поскольку коренной ореолообразующий источник сильно выщелочен, вторичные ореолы как отдельных боратовых рудных тел, так и всего месторождения отличаются низкими содержаниями бора. При детальном опробовании поверхности склонов рудные тела иногда отмечаются только единичными разрозненными точками с повышенным содержанием бора, часто не фиксируются совсем, так как вторичные ореолы развиваются в нижней части разреза склоновых отложений. Ведущим склоновым процессом в районе месторождения является солифлюкция, в той или иной мере сочетающаяся обычно с дефлюкцией, струйчатым смывом и внутригрунтовым подпочвенным переносом мелкозема талыми водами.

В этих условиях формируются закрытые или полузакрытые, вытянутые вдоль вектора движения склонового материала вторичные ореолы Указанные обстоятельства и прежде всего избирательное выщелачивание боратовых руд играют решающую роль при оценке разрешающей возможности таких традиционных методов поисков месторождений бора

как поверхностная крупномасштабная литогеохимическая съемка по вторичным ореолам и штуфное опробование глыбового материала в ходе поисковых маршрутов.

Эти методы недостоверны и не пригодны для поисков боратовых месторождений в рассмотренных ландшафтно-геоморфологических условиях. Показательна в этом плане история открытия борного месторождения. Впервые высокие содержания бора были установлены в скарноидах при ревизионном переопробовании керна буровых скважин, ранее пройденных для оценки магнетитового рудного тела.

Выводы

I. Бор из ссабелеит-людвигитовых руд и борсодержащих пород в приповерхностной части коренных пород до глубины 9,5 м выщелочен. Содержание его в этом интервале уменьшается в 350 раз, по сравнению со свежими рудами в интервале I0,5-I3,5 м. Формирующиеся за счет выщелоченных борных руд вторичные ореолы характеризуются низкими содержаниями бора.

2. В склоновых отложениях над боратовыми рудными телами и борсодержащими породами из борных минералов отмечается в редких знаках только турмалин. Установлены более высокие содержания B_2O_3 в тонкой фракции, по сравнению с крупной. Вторичные ореолы борного месторождения являются закрытыми и выявляются при глубине отбора проб I,5 м и более. Площадная металлометрическая съемка при глубине пробоотбора 0,2-I,0 м не эффективна в данных условиях.

3. Рудные борные тела удовлетворительно, а вся рудоносная зона четко выделяются при биогеохимическом опробовании. Опробование можно проводить по любому из растительных видов, широко развитых на месторождении. Опробование доминанта - даурской лиственницы можно проводить как по коре, так и по побегам.

Литература

I. Виноградов Б.К. Об отношении интрузии гранитов к скарнам и оруденению на месторождении Солонго (Зап.Забайкалье). - В кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым БурАССР. Вып.XУ. БГУ, Улан-Удэ, I972.

2. Малинко С.В., Цыденова Д.Э. - О новом типе эндогенных борных руд. - Разведка и охрана недр,I970, № 9.

3. Цыденова Д.Э.,Виноградов Б.К., Усова С.Л. Биогеохимические поиски месторождений бора в таежно-мерзлотных ландшафтах. – В кн.: Геохимические поиски в областях криогенеза (Тезисы докладов к конференции) .Л., 1970.

О ПРАВИЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ КОНСТАНТ НЕСТОЙКОСТИ ХЛОРИДНЫХ И БРОМИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЗОЛОТА (Ш), ВАЖНЫХ ДЛЯ ГЕОХИМИИ

А.Д.Миллер, Э.И.Фишер

Форма существования золота в природных водных растворах является одним из важнейших факторов, определяющих миграцию элемента и накопление его в различных материалах, что существенно важно для образования вторичных ореолов золота. Недавно нами показано, что возникающие в присутствии природных органических кислот золотофульватные и золотогуминдные комплексы накапливаются в почвах, образуя аномалии, не обязательно связанные с рудными телами /I/. С этой точки зрения, а также для геохимии золота вообще имеет значение и определение констант нестойкости золотогалогенидных комплексов. Соотношение между величинами констант при данных концентрациях хлорид- и бромид-ионов обусловливает соотношение между концентрацией хлоридного и бромидного комплексов. Кроме того, знание указанных констант и константы нестойкости гидроксо-комплекса позволяет рассчитать при заданном pH соотношение между галогенидными и гидроксоформами золота.

Константы нестойкости комплексных соединений трехвалентного золота $K_{AuCl_4^-} = 5 \cdot 10^{-22}$, $K_{AuBr_4^-} = 1 \cdot 10^{-25}$ и нормальный окислительный потенциал $E\,\mathring{}_{Au^{3+}/Au} = 1{,}42$, приводимые в литературе /2,3/, находились в соответствии со стандартным изменением энергии Гиббса $\Delta G\,\mathring{}_{Au^{3+}} = 98{,}2$ ккал /4/. Во втором издании книги Латимера /5/ приводится новое более точное значение свободной энергии иона Au^{3+}, равное 103,6 ккал и соответственно пересчитанное значение $E\,\mathring{}_{Au^{3+}/Au}$, равное 1,5 в. Однако значение константы нестойкости хлоридного комплекса $K_{AuCl_4^-} = 5 \cdot 10^{-22}$ приведено там без изменения и продолжает фигурировать в справочни-

ках и геохимической литературе /2,3,6,7,8/. В справочнике Д.Д.Дурье /6/ приводится новое значение константы нестойкости бромидного комплекса $AuBr_4^-$, равное $10^{-31,5}$, но оставлено старое значение константы нестойкости $AuCl_4^-$.

Имея в виду указанные выше приложения, мы считаем необходимым произвести расчет этих констант, исходя из значений стандартных свободных энергий (стандартных изменений энергии Гиббса), приводимых Латимером /5/ : $\Delta G^\circ_{Au^{3+}}$ = 103,6 ккал, $\Delta G^\circ_{AuCl_4^-}$ = -56,6 ккал, $\Delta G^\circ_{AuBr_4^-}$ = -38,1 ккал, $\Delta G^\circ_{Cl^-}$ = - 31,35 ккал, $\Delta G^\circ_{Br^-}$ = = - 24,574 ккал.

Для реакции $AuCl_4^- = Au^{3+} + 4\,Cl^-$ ΔG° реакции = $\Delta G^\circ_{Au^{3+}} + 4\,\Delta G^\circ_{Cl^-} - \Delta G^\circ_{AuCl_4^-}$ =34,4 ккал. По известному соотношению $\lg K = -\frac{\Delta G^\circ}{1,364} = -\frac{34,4}{1,364} = -25,2$ и константа нестойкости комплексного иона $AuCl_4^-$ $K_{AuCl_4^-} = 6,3 \cdot 10^{-26}$. Полученная величина константы нестойкости почти на четыре порядка ниже приводимой в литературе. Таким образом, следует пользоваться значением константы $6,3 \cdot 10^{-26}$, а не $5 \cdot 10^{-22}$, как это делали до настоящего времени большинство геохимиков.

Аналогичным расчетом для реакции $AuBr_4^- = Au^{3+} + 4\,Br^-$ ΔG° реакции =43,4 ккал.

$\lg K = \frac{43,4}{1,364} = -31,8$ и $K_{AuBr_4^-} = 10^{-31,8}$, что близко к значению, недавно приведенному в /6/. Последнее подтверждает правильность использования нового значения величины свободной энергии для расчета константы нестойкости хлоридного комплекса.

Литература

1. А.Д.Миллер, Э.И.Фишер, В.Л.Фишер. Исследование взаимодействия гумусовых кислот с золотом в связи с образованием вторичных ореолов и анализом проб. - Зап. Забайкальского филиала географ. об-ва СССР, вып. 88, Чита, 1973.
2. Яцимирский К.Б., Васильев В.П. Константы нестойкости комплексных соединений. М., Изд-во АН СССР, 1959.
3. Справочник химика. Том 3. М.-Л., "Химия", 1964.
4. Latimer W.M. The Oxidation States of the Elements and their Potentials in Aqueous Solutions. New York, 1950.
5. То же. Second Edition. 1952.

6. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М., "Химия", 1971.
7. Голева Г.А., Кривенкова В.А., Гудзь З.Г. Геохимические закономерности распространения и формы миграции золота в природных водах. - Геохимия, 1970, № 6.
8. Щербина В.В. Основы геохимии. М., "Недра", 1972.

АНАЛИЗ ПЛОТНОСТИ СЕТИ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ПРИ ПЛОЩАДНЫХ ПОИСКАХ МАСШТАБА 1:50 000

И.Р.Заворотных

Рекомендованная инструкцией по геохимическим поискам сеть площадных съемок не учитывает размеры искомых геохимических аномалий а обусловливаются только масштабностью поисковых работ /I/. Это приводит к удорожанию поисковых работ и усложнению интерпретации полученных результатов, так как наряду с крупными и контрастными ореолами, заслуживающими внимания, выявляется множество мелких ореолов, отвлекающих значительные усилия геологов на их оценку.

Автором статьи проведен анализ плотности поисковой сети геохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния, проведенных ранее на территории Восточного Забайкалья, и получен важный практический результат, позволяющий вдвое сократить объемы геохимического опробования. В основу исследований были положены статистически систематизированные данные о размерах вторичных ореолов рассеяния ряда известных месторождений и рудопроявлений Читинской области. Анализ плотности поисковой сети осуществлялся двумя методами:

I) вероятностным методом с помощью таблиц Савинского И.Д./2/;

2) методом разряжения поисковой сети.

По таблицам Савинского были определены вероятности обнаружения одной (P_1), двумя (P_2), тремя (P_3), восьмью (P_8) и более геохимическими пробами: I) каждого из ореолов данной группы в пределах рудного месторождения (узла), 2) каждой данной группы ореолов в пределах рудного месторождения (узла) и 3) рудного месторождения (узла) в целом по имеющимся в его пределах ореолам всех групп.

Для выяснения вероятностей обнаружения каждого из ореолог

данной группы в пределах рудного месторождения определенным количеством геохимических проб определялись:

b' – коэффициент сжатия, равный отношению ширины "в" ореола к его длине "а";

d – расстояние между профилями, выраженное в единицах длины ореола "а";

h – шаг опробования по профилю, выраженный в единицах " d "- расстояния между профилями.

При определении вероятности обнаружения ореола принимался случай, когда направление профилей не имеет связи с ориентировкой ореолов, т.е. когда

$$-90^0 \leqslant \vartheta < +90^0, \text{ где}$$

ϑ – угол между длинной осью ореола (эллипса) и направлением нормали к профилям опробования.

После определения вероятности обнаружения P_i каждого из ореолов данной группы производился расчет вероятности обнаружения данной группы ореолов одинакового размера $П_i$ в пределах рудного месторождения (узла) одной, двумя, тремя и восьмью пробами по формуле /2,3/ :

$$П_i = I - (I-P)^m, \text{ где}$$

m – количество ореолов в данной группе по размерам.

Производился расчет вероятности обнаружения рудного месторождения (узла) по имеющимся в его пределах ореолам всех групп "П" одной, двумя, тремя и восьмью пробами по формуле /2,3/

$$П=I-(I-P_I)^{m_1} \quad (I-P_2)^{m_2} \quad (I-P_3)^{m_3} \quad (I-P)^{m_i}, \text{ где}$$

P_I, P_2, P_3, ... P_i – вероятности обнаружения одного из m ореолов, входящих в каждую группу их по размерам, определенные отдельно по каждой группе на месторождении по таблицам И.Д.Савинского;

m_1, m_2, m_3,...,m_i – количество ореолов по размерам в каждой группе их на месторождении (рудном узле);

i – число классов ореолов по размерам.

Вероятности обнаружения одной,двумя, тремя, восьмью и более геохимическими пробами ореолов рассеяния свинца исследованных месторождений и рудопроявлений полиметаллов представлены в таблице.

Приведенные в таблице высокие вероятности обнаружения ореолов рассеяния свинца изученных полиметаллических месторождений и рудопроявлений свидетельствуют о чрезмерно плотной сети геохимичес-

Таблица

Вероятности обнаружения ореолов рассеяния свинца

Наименование участков	P_1	P_2	P_3	$P_{\geqslant 8}$	Число ореолов
Тарбазитуйский	I,000	I,000	0,9997	0,I40	60
Кадаинский	I,000	0,9998	0,904	0,000	54
Р-н Покровский № I и 2	I,000	I,000	I,000	0,720	23
То же № 7	I,000	I,000	I,000	0,934	I3
Тайнинский 2	I,000	I,000	0,993	0,080	I5
Бильбичан	I,000	I,000	I,000	0,9996	I0
Капчил I и 2	I,000	I,000	I,000	0,660	I3
Громовский	0,9998	0,999	0,99I	0,060	I6
Ильдиканский	I,000	I,000	I,000	0,I80	2I
Налимный I	I,000	I,000	I,000	0,859	20
То же 2	I,000	I,000	I,000	0,085	8
Алек-Заводской	0,9997	0,998	0,964	0,060	9
Козулинский	I,000	I,000	I,000	0,860	52
Поперечно-Зерентуйский I	I,000	I,000	I,000	0,620	8
Шивиинский	I,000	I,000	I,000	0,942	II
Явленский	I,000	I,000	0,998	0,I20	I3
Быстринский 2	I,000	I,000	I,000	0,880	2I
Акатуевский	I,000	I,000	I,000	0,640	98
Курулгинский	I,000	I,000	0,993	0,080	I5
Ново-Ивановский	I,000	I,000	I,000	0,I27	42
Чингарский	I,000	I,000	I,000	0,993	47
Сосновский	I,000	0,900	0,722	0,005	I3
Солкокон 2	I,000	I,000	I,000	I,000	5
Комсомолец	0,976	0,956	0,865	0,06	2
Аленгуйский	0,986	0,95	0,902	0,005	8
Гуньгунджа	I,000	I,000	I,000	0,986	44
Муравьиный	I,000	I,000	I,000	0,98	I
Резановский	I,000	I,000	I,000	0,098	26
Поперечный	I,000	I,000	I,000	0,667	II
Хапчерангинское рудное поле	0,999	0,970	0,549	0,000	27

кого опробования, рекомендованной инструкцией по геохимическим методам поисков для площадных поисков масштаба I:50 000 (500х50м) /I/.Она без ущерба для понижения поисковой ценности и эффективности может быть разряжена. Результаты обработки материалов по разряжению сети геохимического опробования (до 500хI00 м) подтверждают эти же выводы.

В заключение следует сказать, что площадные геохимические поиски полиметаллических руд в Восточном Забайкалье по ореолам рассеяния свинца следовало бы проводить по сети 500хI00 м,что сократит вдвое объемы геохимических поисков и даст значительную экономию средств.

Литература

I. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М.,"Недра", I965.
2. Савинский И.Д.Таблицы вероятностей подсечения эллиптических объектов прямоугольной сетью наблюдений. М.,"Недра",I964.
3. Соловов А.П. Поисковые и вероятные резервы оруденения в полузакрытых районах. - В кн.:Глубинные поиски рудных месторождений, вып.2. Изд.ВИМСа, I968.

О ПЛОТНОСТИ СЕТЕЙ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ

А.И.Бурдэ, А.В.Бабурин, С.А.Масютина

В настоящее время в практике геохимических поисков принято использовать стандартные плотности сетей, рекомендованные "Инструкцией по геохимическим методам поисков рудных месторождений"/2/. При их выборе руководствуются не размерами ожидаемых объектов (ореолов и потоков рассеяния от промышленных месторождений) и заранее заданной степенью опоискованности района, а числовым масштабом работ. Естественно, что в связи с этим используемые сети часто далеки от оптимальных. В таблице I приведены сведения о размерах объектов поисков (потоков и ореолов рассеяния) и средних плотностях сетей, необходимых для решения задач обнаружения и оконтуривания этих объектов при разных степенях опоискованности района. Плотность сетей рассчитана по методу, изложенному в/I/, причем принята необходимость подсечения объекта не менее чем тремя пробами. Как видно, в большинстве случаев следует использовать сети в 2–3 раза менее плотные, чем это рекомендуется /2/.

Результаты, полученные вычислением, были проверены для ряда районов методом разрежения сетей (таблицы 2–4). Разрежение проводилось двумя, а для некоторых районов тремя различными способами, для того чтобы имитировать случайность процесса поисков. Результаты разных разрежений принципиально не отличались, в связи с чем в таблицах 2 и 4 приведены сведения только об одном разрежении.

Разрежение сетей литогеохимического опробования проводилось путем исключения профилей. В связи с грубостью такого метода, кроме изменения размера ореолов, рассматривалось изменение общего их количества. Для района, характеризуемого таблицей 2, первоначальное количество ореолов олова составляло 30, после разрежения в 2 раза их осталось I4 и в три раза – I3. По свинцу аналогичные

Таблица I

Некоторые сведения о размерах объектов поисков и расчетных плотностях сетей поисков

Район	Полезное ископаемое или признак его	Вид объекта	Метод поисков	Размеры объекта			Расчетные плотности сетей опробования на I км² при вероятности обнаружения		
				длина (км)	ширина (км)	площадь (км²)	0,5	0,7	0,9
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Якутия	ртуть	ореол в рыхлых отложениях	литогеохимический	0,5-I,5	0,3-0,5		I,5-I2,5	2 -20	2,I-20
	медь			I,5-2,0	0,5-0,7		0,9-I,5	I,I-2	I,2-2,I
	олово	-"-	-"-	2,0-4,5	I,0-2,0		0,I5-0,9	I,I-2,2	I,2-2,4
	свинец	-"-	-"-	2,0-4,0	0,5-I,0		0,2-0,9	0,3-I,I	0,3-I,2
Сихотэ-	олово	-"-	-"-	I,0-3,0	0,5-3,0		0,3-3,0	0,5-4,4	0,5-5
Алинь	свинец	-"-	-"-	I,0-5,0	0,5-3,0		0,I-3,0	0,2-4,4	0,2-5
	олово	русловой	-"-	I,0-5,0			I-5	I,8-9	2,4-I2,I
	свинец	поток	-"-	I,5-6,0			0,9-3,4	I,5-6,0	2,0-8,0
Ц.Казах-	молибден	водный по-	гидрогеохи-	0,5-5,5			3,4-I0,I	6,0-20,0	8,0-30,2
стан	цинк	ток	мический	0,5-2,0			2,5-I0,I	4,5-I8	6,0-24,I
Сихотэ-	цинк	-"-	-"-	I,0-8,0			0,6-5,I	I,I-9	I,5-I2,I
Алинь	сульфат-ион	-"-	-"-	2,0-6,0			0,9-2,5	I,5-4,5	2,0-6,0
	сумма металлов (цинк, медь и др.)	-"-	-"-	2,0-6,0			0,9-2,5	I,5-4,5	2,0-6,0
Становой хр.	золото	механический поток	шлиховой	0,7-0,8 (минимальный)			6,8	I2	I6
Тунгусская сине-клиза	алмазы	ореол	-"-			3	I,7	3	4
	-"-	-"-	-"-			2	2,5	4,4	6
Якутия	олово	-"-	-"-			5	I	I,8	2,4
	золото	-"-	-"-	I,0-3,0			3,7-5,I	6-9,3	4-I2,5
	вольфрам	-"-	-"-			6-7	0,7-0,9	I,3-I,5	I,7-2,0
Сихотэ-	олово	-"-	-"-	I,0-I0,0			0,5-5,I	0,9-9,0	I,2-I2,I
Алинь	ртуть	-"-	-"-	2,0			0,9	4,5	6

Примечание: сведения о размерах водных ореолов для Сихотэ-Алиня при гидрогеохимических поисках заимствованы из /3/.

Таблица 2

Некоторые результаты разрежения сети опробования при поисках касситерит-сульфидных месторождений (Сихотэ-Алинь)

№№ перспективных участков	Кратность разрежения	Методы поисков							
		шлиховые поиски (количество проб)		гидрогеохимические поиски (количество проб)				литогеохимические поиски по вторичным ореолам	
				по сумме металлов		по сульфат-иону			
		всего	аномальных	всего	аномальных	всего	аномальных	олова км^2	свинца км^2
Весь лист	0	I0II	I64	763	74	763	I20		
	2	558	I0I	307	37	3I2	67		
	3	29I	44	2I6	25	2I6	45		
I	0	72	55	I8	9	I8	I4	II,75	II,5
	2	37	29	I8	4	8	6	7,5	I0,0
	3	26	I9	5	2	5	3	4,5	8,0
2	0	8	7	27	II	28	22	I0,75	I0,0
	2	4	3	I2	5	I2	I0	I0,0	9,25
	3	3	2	8	3	8	7	9,75	9,0
3	0	29	2I	I8	I0	I8	II	3,0	5,0
	2	II	7	8	7	9	6	2,0	5,0
	3	8	6	6	6	7	5	2,0	3,0
4	0	9	5	I8	I3	I8	4	I,5	I,25
	2	5	3	9	7	9	2	I,0	0,75
	3	3	I	7	6	7	I	0,75	0,5
5	0	I3	8	9	8	9	6	5,0	I2,5
	2	6	5	4	4	4	4	4,5	II,5
	3	5	3	2	2	2	2	4,25	II,5

цифры будут 67,32 и 25. Рассмотрение исчезнувших ореолов показало, что все они от мелких рудопроявлений, не имеющих практического значения.

Изложенные материалы показывают, что современные сети опробования сильно уплотнены, и при геохимических поисках м-бов I:25000 и мельче вполне допустимы разрежения сетей в 2-3, а иногда и

Таблица 3

Некоторые результаты разрежения сети шлихового опробования на золото (Южная Якутия)

№№ планшетов	№№ перспективных участков	№№ вариантов разрежения	Количество проб								
			исходное			разреженное в 2 раза			разреженное в 3 раза		
			всего	значащих с концентрацией		всего	значащих с концентрацией		всего	значащих с концентрацией	
				средней	высокой		средней	высокой		средней	высокой
I		I	I522	287	I6	786	I40	II	477	92	7
		2				736	I47	5	496	I0I	3
	I	I	27	I6	5	I3	8	3	8	5	–
		2				I4	8	2	8	6	2
	2	I	68	34	I	34	I8	–	22	8	–
		2				34	I6	I	22	I2	I
	3	I	I7	7	–	8	4	–	6	2	–
		2				9	3	–	6	2	–
	4	I	I3	II	I	6	6	–	4	4	–
		2				7	5	I	4	4	–
	5	I	2I	I6	5	II	7	4	7	5	2
		2				I0	9	I	7	5	2
	6	I	I6	8	2	8	2	I	6	4	–
2		I	I084	II8	23	55I	65	I4	332	38	2
		2				504	52	9	359	37	I0
	I	I	34	4	–	I7	2	–	I2	3	–
		2				I7	2	–	II	I	–
	2	I	206	65	8	93	34	3	62	I8	I
		2				98	30	5	65	22	4
	3	I	75	44	I5	40	25	II	24	I3	I
		2				35	I7	4	22	I2	6

более раз, чем предусмотренные /2/.

Приведенные соображения подтверждаются практикой зарубежных геохимических поисков. Так, например, для выявления месторождений в Канаде (работы, соответствующие поискам м-бов I:25 000–I:50 000

Таблица 4

Результаты разрежения сети донного опробования в Киргизии

Степень разрежения	Полезные ископаемые и № участков, количество проб												
	свинец				олово							бериллий	
	I	2	3	4	I	2	3	4	5	6	7	I	2
Начальные данные пустых проб	205	95	2	6	8	64	68	3	47	36	6	I2	28
значащих проб	I33	74	5	6	5	42	I7	4	I4	60	6	I3	55
Разрежение в 2 раза													
пустых проб	I2I	52	I	3	3	38	37	2	26	25	3	7	I7
значащих проб	77	42	2	4	3	25	II	2	6	34	4	5	28
Разрежение в 3 раза													
пустых проб	90	43	I	2	4	27	28	2	I9	I9	2	5	I2
значащих проб	55	29	2	3	I	I9	9	3	4	24	3	4	20

в СССР) П.М.Бредшоу и др./4/ рекомендуют проводить донное опробование с плотностью I,5-2,0 пробы на I км^2. Для выявления рудных районов и групп месторождений (работы, соответствующие поискам м-бов I:I00 000 и мельче в СССР) те же авторы рекомендуют плотность опробования в I донную пробу на 2-5 км^2.

Необходимо отметить, что приведенные рассуждения основывались на рассмотрении одного метода. при использовании комплекса методов разрежение может быть еще большим в связи с тем, что взаимодействие методов позволяет резко сократить ошибки и повысить надежность поисков. Этот вопрос подробно рассмотрен в /I/.

Уменьшение плотности сетей опробования позволяет значительно (иногда на 30-50%) сократить расходы на проведение геохимических поисков без ущерба для их эффективности.

Литература

I. Бурдэ А.И. Принципы и методика определения рационального комплекса методов. Методические указания по геологической съемке

м-ба I:50 000, вып.I3. Л.,"Недра", I972.
2. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М.,"Недра", I965.
3. Колотов Б.А., Губейкин В.З., Малоглавец В.Г. и др. Гидрогеохимические поиски в условиях Приморского края. Основные положения и методические рекомендации. Владивосток, I970.
4. Bradshaw P.M.D., Clews D.R., Walker J.W. Exploration geochemistry. Part 3. Regional Surveys. Mining in Canada, April, 1970, p.13-21.

ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ В УСЛОВИЯХ ЮГО-ЗАПАДА ТУВИНСКОЙ АССР

Ю.Я.Савва

Юго-запад Тувинской АССР характеризуется условиями резко расчлененного высокогорного рельефа и сложным геологическим строением. Ведущие полезные ископаемые - кобальт, висмут, полиметаллы. Меньшее значение имеют ртуть, олово, молибден, золото, редкие земли.

Природные ландшафты в основном представлены следующими группами: I) высокогорные субнивальные, 2) горнолуговые, 3) горностепные, 4) горнотаежные. Наиболее широко развиты высокогорные субнивальные ландшафты, занимающие до 80-90% характеризуемой площади. Рельеф здесь резко расчлененный. Рыхлые отложения автохтонные. Мощность их колеблется от 0 до первых метров. Почвы или отсутствуют вообще, или зачаточные - примитивные. Выше 2600-2700 м распространена многолетняя мерзлота. Обильная обводненность. Растительность: мхи, лишайники, низкорослые травы. Ореолы открытые. В горнолуговых ландшафтах рельеф умеренно расчленен. Почвы черные, коричнево-черные, перегнойные. Широко развита мерзлота. Сильная обводненность. Горностепные ландшафты характеризуются умеренно и слабо расчлененным рельефом. Почвы каштановые. Процессы испарения резко преобладают над процессами инфильтрации. Горнотаежные ландшафты развиты незначительно на северных и северо-западных склонах. Повсеместна многолетняя мерзлота.

В таких условиях основными методами поисков полезных ископаемых в настоящее время являются литогеохимические: метод опробования "донных" осадков, опробование рыхлых отложений, опробование по коренным породам. Каждый из методов решает определенную, поставленную перед ним задачу. Общая задача обнаружения оруденe-

ния в коренном залегании решается посредством применения комплекса методов.

Начиная с 50-х годов, территория юго-запада Тувы исследовалась геологическими работами с различными целевыми заданиями в масштабе от I:200 000 до I:I0 000. Основным литогеохимическим методом был метод "донных" осадков. Металлометрия по рыхлым образованиям широко применяется с I963 года и почти полностью вытеснила метод "донных" осадков. Гидрогеохимический метод использовался в очень малых объемах.

С I966 года геологические работы на юго-западе проводились с уклоном на поиски месторождений арсенидных кобальтовых руд с применением большого объема литогеохимического опробования, давшего положительные результаты.

Опробование "донных" осадков основных водотоков проведено по всему характеризуемому району с интервалом между пробами 300-450 м и частично I00-250 м. В пределах отдельных структур, вмещающих рудопроявления кобальта Джулукульское, Талайлыкское и Верхнетумзейское, "донное" опробование проводилось более детально, через 25-50 м. Опробованию подвергалась тонкая глинисто-илистая фракция.

В пределах хр. Цаган-Шибету был выявлен целый ряд потоков рассеяния кобальта (0,003-0,0I%), никеля (0,003-0,008%), меди (0,004-0,0I%), мышьяка (0,0I%), свинца и цинка (0,003-0,05%). При проверке выявленных потоков рассеяния обнаружены Верхнеталайлыкское (потоки с содержанием кобальта 0,006-0,0I%, единичные пробы с содержанием 0,I%) и Хурентайгинское (потоки с содержанием кобальта 0,003-0,005%) рудопроявления арсенидных никель-кобальтовых руд. Рудопроявления имеют небольшие размеры и сравнительно невысокие содержания металлов: кобальта - 0,3%-0,9%; никеля - 0,I-0,8%; меди - 0,5-I,2%. Однако основная масса рудопроявлений кобальта при наших работах в пределах юго-запада Тувы (всего их известно II) по потокам рассеяния не была отмечена. Более полно характеризовать рудоносность района, точнее привязывать выявляемые аномалии к их источникам, а также исключать возможность пропуска оруденения позволяет метод литогеохимического опробования по вторичным ореолам рассеяния.

Как правило, рудные тела имеют небольшие размеры. Мощность их не превышает метра для рудных жил и первых десятков метров для рудоносных зон. Г[illegible]а варьирует от первых десятков до первых со-

тен метров. Рудные тела практически не сопровождаются первичными ореолами рассеяния. Размеры вторичных ореолов рассеяния кобальта колеблются от 70х150 м до 300х600 м, чаще составляя 100х200 м. Вторичные ореолы элементов-индикаторов (никель, медь, мышьяк, серебро) имеют размеры, сопоставимые с параметрами ореолов кобальта, а зачастую и меньше и не создают условий для выбора более экономичной сети пробоотбора, чем это диктуется размерами ореолов кобальта. Отмечается прямая зависимость между размерами вторичных ореолов рассеяния кобальта и элементов – индикаторов и параметрами рудных тел и участков, их вызывающих. Например, на Каскашском рудопроявлении – параметры ореола 70х200 м, участка – 100х200 м; на Южном участке Западного рудопроявления – ореол 70х150 м, участок – 50х60 м; на Верхнеталайлыкском рудопроявлении – ореол 90х180 м, участок 20х100 м; на Центральном участке Кызыловского месторождения соответственно 400х800 м и 150х600м и др. Большинство мелких рудопроявлений было выявлено при применении сети опробования 100х20 м и 200х20 м. Учитывая то, что перед геологами ставится задача обнаружения не мелких жил, а поиски крупных месторождений, в дальнейшем (с 1969 г.) при производстве геологосъемочных работ масштаба 1:50 000 сеть пробоотбора была принята 50х200–300 м.

Кроме размеров сети опробования, важное значение имеет ее ориентировка. Общепринятым является опробование по маршрутам, ориентированным вкрест господствующего простирания геологических и рудоносных структур. В условиях же широкого развития высокогорных субнивальных ландшафтов, занимающих до 90% рассматриваемой площади, эта методика оказалась недостаточно эффективной в основном по двум причинам.

1. Значительные площади (днища каров, распадков, участки развития скалистого рельефа, водораздельные поверхности и верхние части склонов) засыпаны крупноглыбовым материалом, что делает практически невозможным отбор металлометрических проб. Естественно, что при литогеохимических поисках, ведущихся по строгой геометрической сети, значительные участки местности пробоотборщиками проходятся "вхолостую", что ведет к резкому понижению производительности пробоотбора и удорожанию работ.

2. Главное же значение имеет вытянутость ореолов вниз по склону. Учесть это положение при выборе определенной сети пробоотбора из-за разнонаправленности отдельных орографических единиц не-

возможно. Поэтому, чтобы исключить возможность пропуска рудных тел и участков, необходимо сгущение сети опробования, что экономически не целесообразно.

Чтобы избежать неэкономичного сгущения сети и пропуска оруденения, а также увеличить производительное использование времени бригад металлометристов, нами применялась методика отбора литогеохимических проб по профилям, ориентированным по изогипсам рельефа. Профили пробоотбора направляются вдоль склонов долин основных водотоков и более мелких гидрографических подразделений (ручьев, логов, распадков), грубо повторяя формы рельефа. Расстояние между профилями, с учетом ориентировки на поиски месторождений арсенидных никель-кобальтовых руд, составляет 200-300 м, иногда 150 м в зависимости от конкретных условий отбора проб (перспективность опробуемой структуры, характер рыхлых отложений, относительное превышение водораздела над долиной и т.д.). Обычно склон характеризуется 2-4 профилями, причем один из профилей необходимо ориентировать по подножью склона, по линии его перегиба. Выполнение этого условия оказалось необходимым по следующим причинам.

I. Чтобы избежать пропуска рудных тел и участков, располагающихся в нижних частях склонов.

2. Накопление рыхлого материала обычно происходит у подножья склона.

3. При невозможности опробования труднодоступных скалистых участков на склонах информацию о их рудоносности может дать коллювиальный материал.

Таким примером может служить обнаружение Акюкского никель-кобальтового рудопроявления. По двум профилям литогеохимических проб, отобранных по коллювию, зафиксирован комплексный ореол рассеяния кобальта, никеля и меди размером 150х800 м с содержанием кобальта - от 0,005 до 0,03%, никеля-до 0,006%, меди - до 0,03%. При проверке ореола на крутом скалистом склоне на площади 200х600 м было обнаружено 7 небольших карбонатных жил с содержанием кобальта от 0,I до 2,0%, никеля - 0,03-0,05%, меди - 0,8%.

Глубина отбора проб в горнодуговых, горностепных, горнотаежных и отчасти в высокогорных субнивальных (нижние части склонов) ландшафтах обусловливается мощностью почвенного покрова и составляет I5-30 см, редко больше. Представительным горизонтом в данных условиях (по результатам опытного опробования) является под-

почвенный слой. На склонах с примитивными скелетными почвами глубина отбора проб большой роли не играет и составляет 5–10 см (в данном случае в пробу отбирается супесчаный и суглинистый материал).

Пробы анализируются полуколичественным спектральным методом в Центральной лаборатории Тувинской геологоразведочной экспедиции. Анализ производится на 13 элементов – Co, Ni, As, Cu, Ag, Bi, Sb, Ba, Pb, Zn, Mo, Sn, W, частью на Hg и U. Результаты анализов подвергаются статистической обработке с учетом всех геохимических ландшафтов. Количество совокупностей природных ландшафтов (основных – 4 разновидности) и геологических субстратов, их обусловливающих, достигает 20–25.

Полученный в процессе проверки вторичных ореолов материал позволяет наметить ряд признаков для разбраковки ореолов на "рудные" и "нерудные", перспективные и бесперспективные. Для оценки ореолов используется вся совокупность признаков.

Ведущими критериями являются: комплексность ореолов, содержание металлов в них, размеры ореолов, контрастность.

Арсенидные никель-кобальтовые руды сопровождаются ореолами Co, Ni, Cu; As – не всегда; Ag, Bi – изредка. Содержание кобальта составляет от 0,005 до 0,03%, никеля – 0,005–0,01%, меди 0,009–0,03%, мышьяка – 0,02–0,05%. Комплекс элементов в ореолах может быть неполным (например, Co, Ni, Cu, As, или Co, Cu, Ni, или Co, Cu). Во всех случаях отношение содержаний кобальта к никелю > 1, иногда в десятки раз. При обратном соотношении (Co: Ni < 1) – ореолы увязываются с участками распространения лиственитизированных ультраосновных пород, не представляющих промышленной ценности. Самостоятельные, обособленные кобальтовые ореолы даже со значительным содержанием металла (0,02% и больше), как правило, связаны с зонами вкрапленного, прожилкового кобальтсодержащего пирита (содержание кобальта в мономинеральной фракции пирита достигает 0,1%).

Одним из признаков связи ореолов с оруденением является их контрастность (величина отношения среднего содержания металла в ореоле к его фоновому содержанию во вмещающей породе). Для "рудных" ореолов эта величина обычно больше 3.

При наличии комплексности ореолов, значительной контарастности высоких содержаний металла особое внимание обращается на ореолы с большими размерами.

Аномалии, определенные как "рудные" и перспективные, первоначально изучаются с помощью поисковых маршрутов. При этом учитывается, что в склоновых осыпях рудные обломки с массивными арсенидными рудами, как правило, смещены относительно коренного источника на расстояние до первых десятков метров; обломки с прожилково-вкрапленным арсенидно-кобальтовым и кобальтово-медным оруденением смещены на расстояние до 100-200 м. В аллювиальных и пролювиальных образованиях рудные обломки отмечаются в 1-2 км от коренного оруденения, в морене - до 3-3,5 км. Если положительных результатов в поисковых маршрутах не получено, то ореолы в дальнейшем изучаются с помощью горных выработок. При расположении горных выработок производится учет на возможное смещение ореола вниз по склону.

Литогеохимическими методами поисков по вторичным ореолам рассеяния на площади около 1500 кв км выявлено 150 аномалий кобальта и первые сотни аномалий никеля, мышьяка, меди, свинца, цинка. Изучению подверглись 80 аномалий. Обнаружено 6 рудопроявлений, зафиксированы также два ранее известных рудопроявления и одно месторождение медно-кобальтовых и арсенидных никель-кобальтовых руд. Обнаружен целый ряд зон кобальтсодержащих пиритов.

Подытоживая вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

1. Литогеохимический метод поисков по потокам рассеяния для характеризуемого района является рекогносцировочным мелкомасштабным методом и как правило позволяет выделять только перспективные площади для постановки детального литогеохимического опробования. Иногда помогает выявлять коренное оруденение.

2. Литогеохимическую съемку по вторичным ореолам с опробованием по определенной сети в условиях субнивальных ландшафтов целесообразно заменить давшим хорошие практические результаты методом опробования профилей, ориентированных по изогипсам рельефа.

3. Основными критериями для разбраковки ореолов на "рудные" и "нерудные" являются: комплексность, контрастность, размеры ореолов, содержания в них металлов.

4. Метод опробования по изогипсам рельефа позволяет несколько удешевить литогеохимические поиски и уменьшить затраты труда и времени.

В заключение хочется сказать, что при применении любого литогеохимического метода, соответствующего, конечно, конкретным условиям, основой является своевременная проверка выявляемых анома-

ней и обнаружение оруденения в коренном залегании. То обстоятельство, что геологические организации все больше "затариваются" неизученными литогеохимическими аномалиями, не позволяет увеличить эффективность литогеохимических методов поисков, сделать их на самом деле ведущими, какими они и являются для целого ряда металлов.

О РАЗРЕШАЮЩЕЙ ВОЗМОЖНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ПО ЭЛЮВИАЛЬНО-ДЕЛЮВИАЛЬНЫМ ВЫСЫПКАМ

Э.Ф.Жбанов, Б.И.Тарасов, И.Н.Резанов

В связи с неоднородностью ландшафтных, геоморфологических и структурно-геологических условий и широким развитием необнаженных участков результаты крупномасштабной геологической съемки, основанной на наблюдениях по элювиально-делювиальным высыпкам, имеют в различных районах Бурятской АССР различную достоверность. Низкая достоверность геологической съемки и малая эффективность визуальных поисков масштаба 1:50 000 характерны для участков, перекрытых определенным генетическим типом четвертичных отложений. Такие участки занимают в сумме от 10 до 50% площади трапеций масштаба 1:50 000 и, как показывает опыт их изучения, могут быть на основании ландшафтно-геоморфологических признаков с удовлетворительной точностью определены путем дешифрирования в проектный или подготовительный период геологосъемочных работ. На территории Бурятской АССР к таким площадям относятся следующие.

I. Пологие протяженные обычно нижние и средние части увлажненных фрагментарно в той или иной мере заболоченных склонов низких гор Витимского плоскогорья. В вертикальном разрезе их склонового покрова выделяются два-три слоя. Самый верхний слой мощностью 0,5–2,0 м представлен покровными солифлюкционно-делювиальными или солифлюкционно-пролювиальными отложениями. Обломочный и щебенистый материал и суглинистый заполнитель этого горизонта смещается от коренных источников на 100–500 м и является в дополнение ко всему пестрым, смешанным по петрографическому составу. Нижерасположенный второй слой, примерно такой же мощности, состоит из солифлюкционно-дефлюкционных, делювиально-дефлюкционных отложений, мало смещенных от коренного источника (10–50 м). На уровне второ-

го горизонта,т.е. на глубине около I,2-I,5 м от поверхности склона, наблюдения по обломкам достаточно представительны для геологического картирования. Иногда между первым и вторым слоем появляется еще один слой древянисто-суглинистого и глинистого состава неясного генезиса, который еще более усложняет обстановку. За счет фрагментарно развитой многолетней мерзлоты проходка даже легких картировочных горных выработок в летний период затруднена из-за обильного водопритока и в основном осуществима только зимой "на проморозку".

2. Пологие и средней крутизны склоны и низкие междуречья предгорий средневысотных хребтов южной и юго-восточной части Бурятской АССР (Хамар-Дабан, Улан-Бургасы, Заганский, Цаган-Хуртей и др.). Склоновый покров в этих местах также обычно двух-трехчленный. Первый с поверхности слой состоит из песка, супеси или легкого суглинка с примесью дресвы, щебня. В некоторых местах этот слой состоит из лессовидного суглинка. Мощность слоя возрастает от водораздела к основанию склона от 0,5 до 3,0 м и более. По генезису этот слой является эолово-делювиальным. Второй слой, погребенный под первым, представлен щебенисто-глыбовыми отложениями с супесчаным заполнителем и по генезису бывает разнообразным:дефлюкционно-делювиальным,солифлюкционно-делювиальным и т.п.На уровне второго слоя, щебенисто-глыбовый материал которого смещается от коренного источника на 20-I00 м,геологические наблюдения представительны. Разрез бывает более сложным. Ближе к водоразделу, к денудационным останцам появляется нередко щебенисто-глыбовый слой, перекрывающий сверху песчаные отложения. В нижней части склона под вторым слоем иногда вскрываются погребенные террасы. В районах развития мерзлоты на увлажненных песчаных отложениях развивается современная солифлюкция.

3. Часть склонов массивных средних гор с единичными коренными обнажениями и с широко развитым покровом курумово-солифлюкционно-делювиальных отложений мощностью 2-3 м.

4. Участки широких верховьев распадков с маревым ландшафтом, где мощность четвертичных полигенетических отложений составляет 2-5 м и более. Последние две категории площадей имеют относительно небольшие размеры, обычно от 0,5 до 3,0 кв.км и равномерно-фрагментарный характер распространения.

Суммарная мощность склоновых отложений во всех охарактеризованных случаях относительно невелика (I,5-5,0 м). Коренные обнажения

на этих участках отсутствуют или представлены единичными обнажениями устойчивых к денудации пород. Из опыта геологосъемочных работ крупного масштаба установлено, что эти отложения создают (без применения горных выработок) непреодолимые трудности для достоверного изучения коренных пород.

По какой же причине, кроме сложного разреза четвертичных отложений, геологическая съемка по элювиально-делювиальным высыпкам становится в указанных условиях недостоверной? Исчерпывающий ответ на этот вопрос дает изучение закономерностей формирования обломочных ореолов различных геологических тел. Самой характерной чертой обломочных ореолов, высыпки которых в данных обстоятельствах обычно и бывают геологическими точками наблюдениями, является следующая их особенность. Обломки от различных, особенно линейных геологических тел, транспортирующихся в охарактеризованных слоистых склоновых отложениях, часто оказываются погребенными или частично погребенными и в основном сосредоточиваются на определенной глубине от современной поверхности, согласуясь с общей субпараллельной склону слоистостью рыхлого покрова. Теория подобных механических ореолов разбирается В.В.Поликарпочкиным /IO/. Высыпки погребенных обломочных ореолов происходят на перегибах склонов и уступах солифлюкционных оплывин, но наблюдаются не всегда даже при относительно небольшой (I-2 м) мощности рыхлого покрова.

Очень трудоемким становится поиск обломков коренных пород на поверхности солифлюкционно-делювиальных и эолово-делювиальных отложений. На протяжении нескольких сотен метров маршрута можно не встретить ни одного достаточно крупного обломка. Геолог-съемщик вынужден осматривать все углубления от вывороченных деревьев и промоины, делать частые боковые "отходы" от направления маршрута, но и при этих условиях поиски делювиальных высыпок иногда оказываются безрезультатными или получаемая информация становится неоднозначной. В подобных условиях малочисленные обломки и щебень обычно относятся только к устойчивым породам. При наблюдениях, основанных на высыпках, в процессе геологической съемки всегда пропускаются геологические тела, неустойчивые к выветриванию, дезинтегрированные уже в коренном залегании до дресвы и частиц более мелкой размерности, визуально обычно неуловимых. В этом также проявляется сложность обнаружения на местности соответствующих по ус-

тойчивости геологических тел, отдешифрированных на аэрофотоснимках. Однако само по себе отсутствие обломков пород на поверхности склонов не является обязательным признаком закрытых обломочных ореолов. Достаточно часто в самом верхнем приповерхностном слое двух-трехчленных дефлюкционно-солифлюкционных отложений обломки различных пород составляют 20-50%. Приповерхностный слой характеризуется наибольшим смещением, но в настоящее время еще не разработаны способы, с помощью которых можно было бы достаточно точно определить смещение обломков от перекрытого коренного источника. Как показывают специальные наблюдения, лишь в случае маломощного (0,5-1,5 м) и простого по строению склонового чехла это смещение незначительно (10-15 м). Смещение же обломков в более сложных ландшафтно-геоморфологических условиях значительно больше и зависит от нескольких причин: увлажненности грунта, размерности обломков, крутизны и протяженности склонов, генетического типа склоновых отложений, сомкнутости корневой системы /2/. В солифлюкционных отложениях оно достигает нескольких сотен метров. Поиски и оконтуривание геологических тел по аллювиально-делювиальным высыпкам на пологих склонах Витимского плоскогорья и в районах развития эолово-делювиальных отложений в юго-западной части Бурятии вследствие этого являются малодостоверными.

Расчеты показывают, что при непрерывных наблюдениях и максимально-плотных маршрутах геологической съемкой масштаба 1:50 000 выявление геологических тел разных размеров ожидается со следующей вероятностью: с вероятностью 0,5 тела площадью 0,29 кв.км, вероятностью 0,7-0,51 кв.км, вероятностью 0,9-0,96 кв.км /1/. Анализ результатов геологосъемочных работ масштаба 1:50 000 и последовавших за ними поисковых и геологоразведочных работ свидетельствует, что в вышеуказанных типах районов геологические тела указанных размеров при съемке, основанной на аллювиально-делювиальных высыпках, в большинстве случаев пропускаются. Особенно это стало очевидным, когда после геологической съемки масштаба 1:50000 геохимическими и геофизическими методами поисков того же масштаба были выявлены аномалии, а при их проверке в процессе горных работ – существенные по размерам рудопроявления и геологические тела. Характерно, что под склоновым чехлом относительно небольшой мощности (1,5-3,5 м) часто устанавливаются геологические тела, ореолы которых развиваются на глубине, а аллювиально-делювиальные высыпки на поверхности очень редки. По мере расширения

детальных поисковых работ таких примеров становится все больше. Речь в данном случае идет о геологических телах, пропуск которых при геологической съемке масштаба I:50 000 приводит к потере важных геологических и структурно-тектонических сведений.

Кроме рассмотренных четырех типов закрытых площадей, имеются открытые и переходные (полузакрытые) площади, характеризующиеся иным строением рыхлого покрова и благоприятными условиями для проведения геологической съемки и визуальных поисков.

В целях упорядочения подобного подразделения необходимо уточнить понятие "закрытый район" и его признаки. В этой связи в качестве примера закрытых площадей воспользуемся характеристикой выше рассмотренных типов площадей. Характер распространения самих "элювиально-делювиальных высыпок" (частота встречаемости, размеры) для этой цели не пригоден. Это понятие употребляется в "Основных положениях организации и производства геологосъемочных работ масштаба I:50 000 (1:25 000) /9/ и в некоторых выпусках "Методических указаний" /8/. Однако по существу нигде этому понятию не дается определение. Известно, что четвертичные отложения разнообразны по своему генезису. Элювиальные и делювиальные отложения, к названию которых тяготеет генетический компонент данного понятия, являются одной из разновидностей рыхлого покрова. Надо учесть, что к делювиальным отложениям относятся образования, сформированные за счет склонового смыва. Таким образом, в понятие "элювиально-делювиальная высыпка" не заложено определенного содержания, хотя и обозначены ограничения. На практике же этот термин толкуется весьма широко, но наряду с ним часто вводятся и другие, подчас столь же неопределенные: "делювиальные обломки и глыбы" "делювиальная россыпь", "россыпь" и т.п. Само по себе понятие "элювиально-делювиальная высыпка" не обладает классификационными признаками для подразделения площадей на закрытые и открытые. Не может быть достаточным признаком для выделения закрытых и открытых районов и мощность четвертичных отложений, как это делается в Инструкции 1956 г., в которой за границу между открытыми и закрытыми районами бездоказательно берется мощность покрова рыхлых отложений в 10 м /I/. Не раскрывает полностью всех тех особенностей рыхлого покрова, которые рассмотрены выше, климатостратиграфический и хроностратиграфический принцип расчленения четвертичных отложений /I/.

Наиболее полно осветить разрешающую возможность геологической

съемки масштаба I:50 000 в слабообнаженных районах и обосновать понятие "закрытый район" можно с помощью характеристики обломочных ореолов геологических тел, формирующихся в генетически различных четвертичных отложениях. Наиболее важной в этом плане характеристикой обломочных ореолов является глубина их залегания относительно современной поверхности. Эти сведения включают необходимые классификационные признаки и позволяют дать определение закрытому району. К закрытым районам для геологической съемки масштаба I:50 000 следует, по нашему мнению, относить лишенные естественных обнажений площади с покровными смешанными (дефлюкционно-солифлюкционно-делювиальными, эоловоделювиальными и т.п.) отложениями мощностью более 2 м и господствующим развитием закрытых обломочных ореолов (рисунок).

Известно, что крупномасштабная геологическая съемка проводится в комплексе с различными видами поисков и использует различные приемы геологических исследований. Достоверность их в одинаковых ландшафтно-геоморфологических условиях, а также принципы выделения закрытого района для каждого из методов не всегда одинаковы. При выделении закрытого района для металлометрической съемки необходимо знать особенности не только обломочных, но и солевых ореолов. Солевые ореолы, например, многих сульфидных месторождений Бурятской АССР остаются открытыми в условиях, для которых характерны закрытые обломочные ореолы. Достоверность геологической съемки, основанной на наблюдениях по элювиально-делювиальным высыпкам, станет критической и снизится до неприемлемой раньше, чем, например, индикационная возможность аэрофотоснимков или металлометрической съемки. Тем не менее возникает необходимость выработки единого правила, общего приема выделения закрытых районов для геологических, геохимических и других методов исследований. В этом плане для определенного метода геологических исследований закрытым районом следует считать такую площадь, на которой этот метод не обеспечивает получения достоверных результатов.

Выводы

I. Основным фактором, позволяющим установить достоверность геологической съемки масштаба I:50 000 по элювиально-делювиальным высыпкам, является глубина залегания и закономерности формирования обломочных ореолов различных геологических тел в разных ландшафтно-геоморфологических условиях. Глубина залегания обломочных

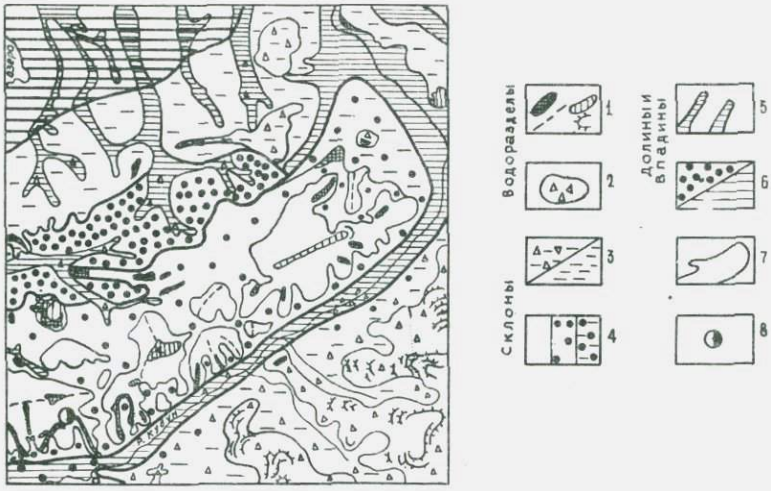


Рис.

Карта ландшафтно-геоморфологического районирования применительно к условиям ведения геологической съемки масштаба I:50 000
I - обнаженные участки: узкие водораздельные гребни, нагорные террасы; 2 - полузакрытые участки: выположенные водоразделы с элювиальными россыпями, курумово-солифлюкционными отложениями мощностью 0,5-I,5 м и малосмещенными открытыми обломочными ореолами, 3,4 - закрытые районы, 3 - комплекс солифлюкционно-дефлюкционно-делювиальных отложений, 4 - комплекс эолово-делювиальных, эоловых, эолово-делювиально-солифлюкционных отложений; 5-6 - максимально закрытые районы, 5 - днища долин и крупных распадков; 6 - аккумулятивные равнины мезо-кайнозойских впадин; 7 - границы морфоструктур; 8 - молибденовое рудопроявление, пропущенное при визуальных поисках.

ореолов зависит главным образом от следующих характеристик ландшафтно-геоморфологической обстановки и геологических тел: генетического типа и мощности склоновых отложений, размерности продуктов выветривания геологических тел (глыбы, обломки, щебень, дресва, песок и т.д.), размеров геологических тел, гипсометрического положения геологического тела по отношению к границе денудационной, транзитной и аккумулятивной частей склона. В зависимости от перечисленного формируются открытые, частично перекрытые и полностью перекрытые обломочные ореолы различных геологических тел (с разным смещением от коренного выхода). Соотношение этих типов обломочных ореолов геологических тел различно в разных ландшафтно-геоморфологических условиях. Перекрытые ореолы господствуют на площадях со смешанными двух-трехчленными солифлюкционно-делювиально-дефлюкционными, эолово-делювиальными и делювиальными отложениями.

2. Установленные закономерности формирования обломочных ореолов различных геологических тел в разных ландшафтно-геоморфологических условиях, а также характер и степень обнаженности коренных пород позволяют определить относительную разрешающую возможность геологической съемки и визуальных поисков масштаба 1:50 000 и наметить основные принципы соответствующей типизации закрытых и открытых площадей и районирования всей территории республики /3,4, 5,6,11/. Наряду с районированием по условиям ведения геохимических методов поисков, шлиховой и радиометрической съемки такой подход позволит выработать основные критерии оценки и методы повышения достоверности и качества как текущей, так и ранее проведенной геологической съемки масштаба 1:50 000, правильнее проводить размещение дорогостоящих поисковых методов и организовывать проверку геохимических аномалий, осуществлять обоснованный перевод закрытых районов в достоверно изученные. "Проблема районирования территории СССР и комплексирования различных методов поисков, а также комбинирования их с геологической съемкой для различных типов районов является основной проблемой, решение которой необходимо для поднятия эффективности поисковых работ" /7/.

На основании вышеизложенного в связи с расширением геологосъемочных работ масштаба 1:50 000 в закрытых районах следует обратить внимание на две рекомендации. Как показывает опыт работ ПГУ, в закрытых районах геохимическую съемку необходимо проводить в опережающем варианте. Анализ результатов геологосъемочных работ послед-

них лет показал, что параллельно с опережающей геохимической съемкой при обязательном использовании аэрофотоснимков следует составлять карту ландшафтно-геоморфологических условий ведения последующих геологосъемочных и поисковых работ. Очень актуально внедрение в практику геологосъемочных работ обязательное изучение склонового чехла при документации горных выработок.

Литература

1. Бурдэ А.И. – Принципы и методика определения рационального комплекса исследований. Методические указания по геологической съемке масштаба 1:50 000, вып.13. Л., "Недра", 1972.
2. Воскресенский С.С. – Динамическая геоморфология. Формирование склонов. М., Изд-во МГУ, 1972.
3. Ефремов Ю.Ф., Ушачев В.Ф. и др. К вопросу о строении механических ореолов, формирующихся на водораздельной части Хамар-Дабана. – В кн.: Материалы II сессии Сибирской секции СПМ по проблеме "Научные основы геохимических методов поисков полезных ископаемых", вып.2, ч.I. Улан-Удэ, 1972.
4. Жбанов Э.Ф., Пак А.С. – Типы механических ореолов рассеяния в склоновых отложениях Бурятии и причины, обусловливающие их образование. – В кн.: Материалы II сессии Сибирской секции СПМ по проблеме "Научные основы геохимических методов поисков полезных ископаемых" вып.2 ч.I. Улан-Удэ, 1972.
5. Жбанов Э.Ф., Базаров Д.Б., Резанов И.Н. – Геолого-геоморфологические условия геохимических поисков в Южной Бурятии. – В кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым Бурятской АССР. Вып.14. Улан-Удэ, 1971.
6. Кузьмин И.Я., Субботин Е.В. – К вопросу об особенностях механических ореолов олова на Витимском плоскогорье. Там же.
7. Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. ч.I.
8. Методические указания по геологической съемке масштаба 1:50000 вып.1.М., "Недра", 1966.
9. Основные положения организации и производства геолого-съемочных работ масштаба 1:50 000 (1:25 000). М., "Недра", 1968.
10. Поликарпочкин В.В. – В кн.: Математические методы геохимических исследований. М., "Наука", 1966.
11. Тарасов Б.Н., Жбанов Э.Ф. – Районирование территории БурАССР

по условиям ведения поисково-съемочных работ. - В кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым БурАССР, вып.I4.Улан-Удэ,I97I.

РОЛЬ СОЛЕВЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКАХ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩЕГО ОРУДЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА (НА ПРИМЕРЕ АТАСУЙСКОГО РАЙОНА)

Г.Ф.Ларионов, Т.М.Самохвалова

Для Атасуйского района характерны сложные геохимические условия, соответствующие следующим основным ландшафтам: сухих степей с мелкосопочником и натриево-кальциевым классом водной миграции; пустынного пенеплена с гипсовым классом водной миграции на эффузивно-осадочных образованиях; древних долин с соленосным классом водной миграции на аллювиально-пролювиальных отложениях. Практически вся рассматриваемая территория закрыта третичными дальнеприносными глинами и корой выветривания суммарной мощностью до 100 м и более. С поверхности они обычно перекрыты 2-7 - метровым чехлом слабо закрепленных и слабо обводненных эоловых песков.

В рыхлых отложениях небольшой мощности вблизи месторождений формируются сложные вторичные ореолы рассеяния, представленные механической, сорбированной, солевой, окисной и другими составляющими при преобладании механической формы. Ведущим эффективным методом поисков здесь является металлометрическая съемка (1:50 000) по открытым ореолам рассеяния.

В то же время на площадях, перекрытых мощными (более 20 м) дальнеприносными отложениями, в ореолах рассеяния преобладают солевая и сорбированная формы, а механическая практически отсутствует. Металлометрическая съемка в этих условиях не применима, а использование глубинных литогеохимических поисков не выгодно экономически. В этом случае наиболее перспективным, по нашему мнению, является сорбционно-солевой метод. С целью выяснения его возможностей и условий применения группой сотрудников Ленинградского университета с участием авторов в период с 1956 по 1971 г.г.

проводились полевые и экспериментальные исследования по изучению литогеохимических, гидрогеохимических и солевых (сорбционно-солевых) ореолов рассеяния. Водные ореолы рассеяния были рассмотрены ранее /1/. Настоящее сообщение посвящено некоторым результатам использования солевых ореолов рассеяния при поисках глубокозалегающих железо-марганцевых и барито-полиметаллических руд Атасуйского типа /2/, часто совмещенных в пространстве друг с другом.

Методика полевых и лабораторных работ сорбционно-солевым методом выглядит следующим образом. Объектом изучения являются рыхлые отложения. Опробование производится с помощью шнековых скважин или специальных задавливателей. При этом обычно отбирается глинистый и суглинистый материал на контакте с золовыми песками. Глубина опробования определяется наличием геохимических барьеров, особенностями диффузионного переноса микроэлементов и в каждом конкретном случае определяется опытно-методическими работами. Отобранная проба высушивается до воздушно-сухого состояния и просеивается через стальные или капроновые сита с ячейками 0.1 мм. Навеска 5 г заливается 50 мл раствора соляной кислоты концентрации 1:2,5 и кипятится в течение двух минут. После отстаивания пробы в течение 10-12 часов в аликвотной части раствора колориметрическим методом определяются Cu , Zn , ΣMe, Mn , Fe ; полярографическим методом – Pb, Cu , Zn . Из этой же вытяжки берется часть раствора (10 мл) для соосаждения микроэлементов с сульфидом кадмия и последующего спектрального анализа.

Результаты изучения солевых ореолов рассеяния на известных месторождениях иллюстрируются рис.1,2. Как видно из приведенных рисунков, при глубине опробования около 1,5 м от поверхности месторождения отчетливо фиксируются аномальными концентрациями марганца, бария, цинка в солевой составляющей рыхлых отложений при их мощности в несколько десятков (до 50 и более) метров. Для Атасуйского района характерен комплексный состав солевых ореолов рассеяния: в них повсеместно присутствуют элементы как железо-марганцевой, так и барит-полиметаллической формаций. При этом для барит-полиметаллических месторождений ведущими элементами солевых ореолов являются цинк, свинец, медь, барий, сопутствующими – марганец, йод, реже железо. Содержания бария в ореолах достигает 200 мкг/г, меди и цинка обычно не более 100 мкг/г. Кроме того, в небольших количествах встречается серебро, ванадий, никель, кобальт. Для

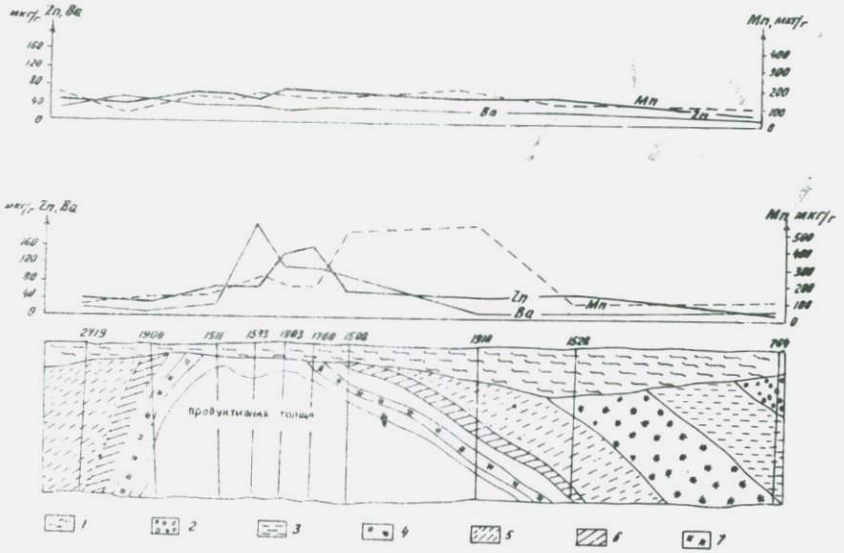


Рис. I Содержание цинка, марганца, бария в солевой составляющей рыхлых отложений месторождения Жайрем при глубине опробования 0,3 м (вверху) и около I,5 м (внизу).

I – глина, 2 – желваковистые безрудные известняки, 3 – углисто-кремнистые известняки, 4 – красноцветные известняки, 5 – серые кремнистые известняки, 6 – бедные железные руды, 7 – маркирующий горизонт.

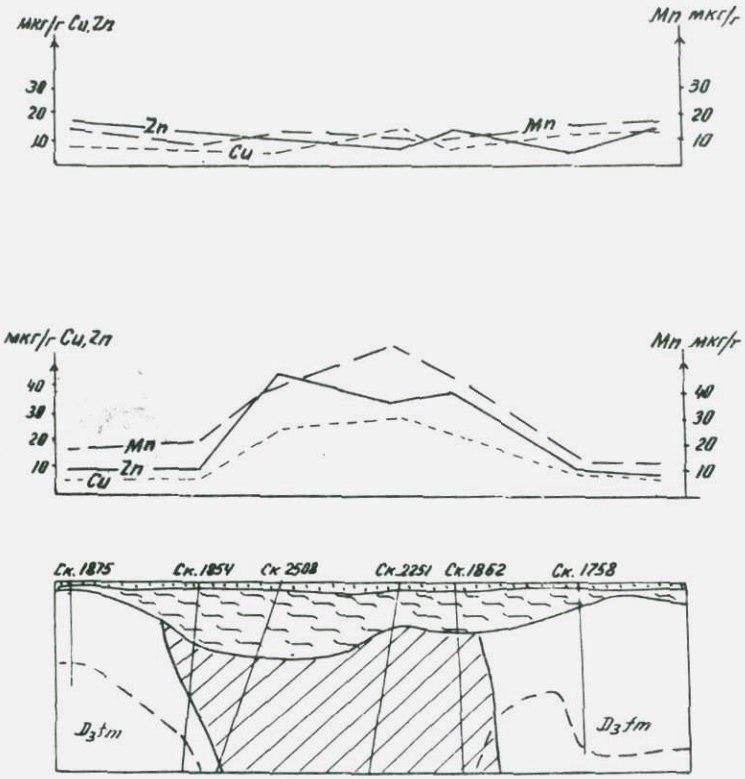


Рис.2. Содержание меди, цинка и марганца в солевой составляющей рыхлых отложений по профилю УП месторождения Ушкатын Ш при глубине опробования 0,2 м (вверху) и около I,5 м (внизу).

глубокозалегающих железо-марганцевых рудных тел ведущим элементом в солевых ореолах рассеяния является марганец. Содержание его обычно очень высокое. Так например, на участке Каманбулак оно достигает 5300 мкг/г. Марганец почти повсеместно сопровождается ореолами рассеяния свинца, меди, цинка в количествах не более 50–60 мкг/г; реже встречается ванадий, никель, кобальт. Кроме того, косвенным поисковым признаком этих месторождений может служить величина отношения $Fe^{+3} : Fe^{+2}$. Над глубоко залегающими рудными телами она обычно изменяется от 25 до 300, в то время как на фоновых участках не превышает 5–15.

Несомненный поисковый интерес для Атасуйского района представляет использование отношений Mn:Cu , Mn:Pb . На безрудных участках основная масса проб характеризуется их величинами порядка 20–30, а над рудными телами они достигают 80–100.

В зависимости от конкретных ландшафтно-геохимических условий и структуры рудных полей изменяются размеры и форма солевых ореолов рассеяния. Обычно наиболее локальные ореолы протяженностью 100–300 м образуют медь и свинец. Как правило, они почти полностью соответствуют проекции рудного тела, в то время как барий образует ореолы размерами до 300–500 м, а марганец до 700 м. Форма солевых ореолов обычно наследует форму рудных тел. Если последние приурочены к тектоническим зонам, то ореолы рассеяния имеют пятнистый характер. Эпицентр их в этом случае часто смещен по направлению водного потока. Величина смещения не превышает первых сотен метров (150–300 м).

Наиболее контрастные аномалии, превышающие величину фона в десятки раз, образует барий. Контрастность аномальных содержаний марганца и цинка обычно не выходит за пределы 10, а меди и свинца – 5–6.

В силу значительной изменчивости ландшафтно-геохимических условий и характера рыхлого покрова фоновые концентрации микроэлементов в солевой составляющей резко изменяются даже в пределах небольших площадей. Так, например, на участке Каманбулак верхний предел фона для марганца составляет 250 мкг/г, а на расположенном в 20 км участке Корсадыр эта величина достигает 400 мкг/г; для меди соответственно 12 и 4 мкг/г.

В процессе интенсивного испарительного соленакопления в приповерхностной части рыхлого покрова в понижениях рельефа могут образовываться ложные аномалии. Обычно они приурочены к солонча-

кам, прослеживаются на глубину, как правило, не более 1-2 м и легко отбраковываются в ходе полевых работ по вертикальному распределению элементов в солевом ореоле рассеяния. С этой целью в пределах выявленной аномалии проходят шнековую скважину глубиной 3-5 метров. Если при этом концентрация элементов с глубиной возрастает, то аномалия связана с погребенным оруденением; если убывает - с приповерхностным соленакоплением. Кроме того, истинные аномалии имеют комплексный состав, а контрастность их обычно значительно выше, чем у ложных. Наблюдаются резкие различия между солевыми ореолами, развивающимися в дальнепринесных глинах и коре выветривания. Содержание всех рудообразующих элементов в глинах до десятков раз выше, чем в коре выветривания. Так например, в скважине 3039 месторождения Кайрем концентрация марганца достигает 1100 мкг/г в глинах и лишь 70 мкг/г в коре выветривания. Для цинка эти величины соответственно равны 45 и 10 мкг/г.

В процессе исследований мы пришли к выводу, что сорбционно-солевую съемку наиболее рационально комплексировать с гидрогеохимическим опробованием и геофизическими работами (методами вызванных потенциалов (ВП) и естественного электрического поля (ЕП)). Исследования по рекомендуемой комплексной методике следует проводить по этапам. На первом этапе ставится гидрогеохимическая съемка по скважинам картировочного бурения из расчета две скважины на 1 кв. км /1/ и выявляются обширные площади водных ореолов рассеяния. На них с целью выявления конкретных перспективных участков осуществляется изучение солевых ореолов рассеяния путем опробования рыхлых отложений по сети 250х250 м (500х500 м). На следующей стадии работ детализируются ранее выявленные геохимические (сорбционно-солевые) аномалии с помощью сорбционно-солевой съемки по сети 100 х 100 м. Для уточнения места заложения поисковых скважин наиболее интересные участки пересекаются профилями ВП в модификации среднего градиента с разносами AB=2 000 м, MN =20 м.

После проверки на известных месторождениях указанная методика в опытном порядке была применена на ряде площадей Атасуйского района. В качестве примера положительного ее использования можно привести результаты работ на участке Жаманбулак (рис.3). В результате сорбционно-солевой съемки по сети 500х500 м здесь выявлена группа сопряженных аномалий Mn , Cu, Ba, Ag , образующих почти непрерывную зону, вытянутую с юго-запада на северо-восток. Ширина

зоны в среднем составляет 1,0-1,5 км, протяженность ее около 9км /3/.

Перспективность зоны была подтверждена детальными работами (метод ВП и сорбционно-солевая съемка), проведенными в 1969 году в пределах наиболее перспективного участка. Для проверки аномалий ВП и сорбционно-солевых ореолов была задана скважина 2347, которая в интервалах глубин 66-74 и 89-160 метров вскрыла богатое вкрапленное галенитовое оруденение со средним содержанием свинца 2,3%, а в отдельных интервалах до 11%. Пробуренная позднее скважина 2346 встретила гематитовое и браунитовое оруденение, а скважина 2348-вкрапленное галенитовое оруденение на глубине 183 метра.

Таким образом, по результатам работ, проведенных на известных месторождениях и некоторых площадях Атасуйского района, можно сделать следующие выводы.

1. Сорбционно-солевой метод позволяет фиксировать рудные тела при мощности дальнеприносных рыхлых отложений до 30-50 и более метров.

2. Сорбционно-солевые ореолы характеризуются большой контрастностью и широким комплексом элементов - индикаторов (Ba, Mn, Cu, Zn, Pb). При этом над барит-полиметаллическими рудами обязательно формируются ореолы рассеяния бария, которые над железо-марганцевыми рудами отсутствуют. Поиски месторождений железных руд без примесей марганца и полиметаллов по солевым ореолам рассеяния сильно затруднены.

3. Для солевых ореолов характерно небольшое смещение относительно источника сноса в горизонтальном направлении, что в значительной мере упрощает дальнейшие геологопоисковые работы. При этом наиболее локальные ореолы образуют Cu, Zn, Pb при относительно обширных ореолах рассеяния Mn и Ba.

4. Сорбционно-солевая съемка при сравнительно небольшом количестве проб позволяет получить достаточно полную геолого-геохимическую информацию для значительных площадей, что делает ее весьма производительной и экономически выгодной. В частности, в Атасуйском районе было подсчитано, что предложенная нами комплексная методика, включающая гидрогеохимическое опробование, сорбционно-солевую съемку и проверочные работы методом ВП, оказывается практически вдвое дешевле и в 5 раз производительнее применяемого в нас-

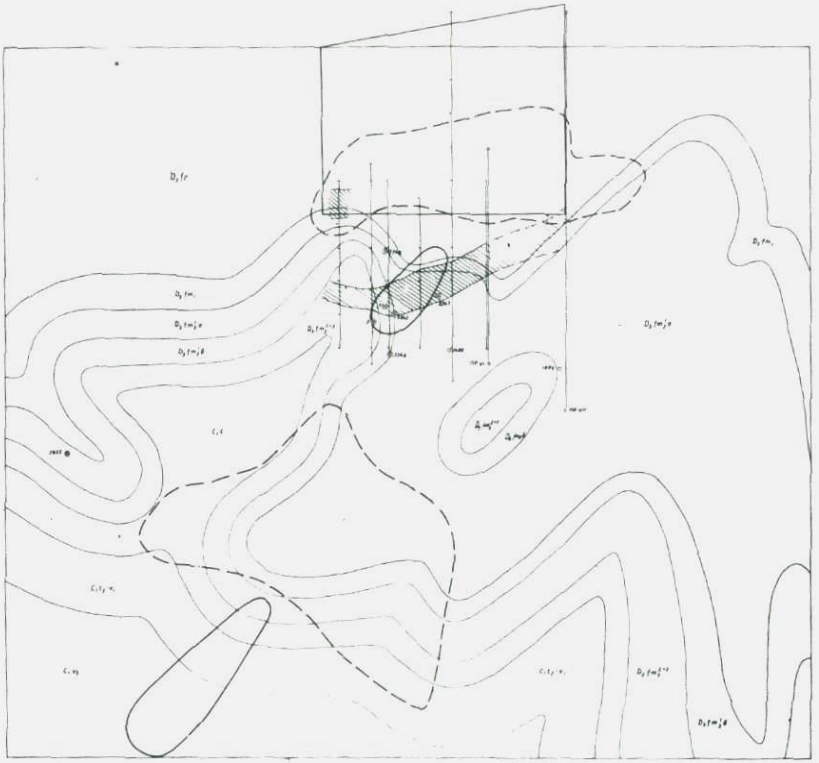


Рис.3.

Схематическая геологическая карта уч. Жаманбулак с результатами геохимических и геофизических работ (по материалам В.Я.Середы, А.А.Рожкова)
I - Средневизейский подъярус. Углистые аргиллиты и песчаники. 2 - Нижневизейский и верхнетурнейский подъярусы нерасчлененные. Карбонатно-кремнистые породы серой окраски. 3- Нижнетурнейский подъярус. Углисто-кремнисто-карбонатные породы черной окраски. 4 - Верхнефаменский подъярус - средняя и верхняя пачки нерасчлененные, породы черной окраски. 5 - Верхнефаменский подъярус. Рудный горизонт нижней пачки, чередование железных и марганцевых руд с прослоями кремнистых известняков. 6 - Верхнефаменский подъярус. Подрудный горизонт нижней пачки. Углисто-кремнисто-карбонатные породы с линзами трахитовых порфиров и их туфов. Органогенные известняки слоистой текстуры. 7 - Нижнефаменский подъярус. Мергелистые известняки черной и темно-серой окраски. 8 - Франский ярус. Вишнево-красные песчаники и алевролиты с линзами кислых и трахитоидных эффузивов и их туфов. 9 - Геологические границы. I0 - Солевые ореолы: а) комплексные, б) марганца. II - Буровые скважины пробуренные: а) мелкие картировочные, б) глубокие поисковые. I2 - Границы детального участка сорбционно-солевой съемки и профили ВП. I3- Область аномальных значений поляризуемости пород. I4 - Маршрутная съемка ВП 1968 г.

тоящее время комплекса геологопоисковых работ.

Литература

I. Ларионов Г.Ф., Свешников Г.Б., Тененбаум Л.Я., Иванова И.А. Гидрогеохимический метод поисков рудных месторождений в Центральном Казахстане. Л.,"Недра",I97I.

2. Щерба Г.Н. Некоторые особенности изучения месторождений Атасуйского типа. Изд.АН Казах.ССР, № 5, I964.

3. Свешников Г.Б., Ильин Ю.Т., Ларионов Г.Ф., Тененбаум Л.Я., Штерн Н.Л. Методика комплексных геофизических и геохимических работ при поисках рудных месторождений Атасуйского типа.Уч. зап.ЛГУ, № 36I, вып.2I, сб."Вопросы геофизики",I97I.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ ЗОН И МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Л.В.Антропова

Среди разнообразных форм нахождения элементов особое место занимают металлоорганические соединения почв /8,7/. Важным свойством гумуса почв является его способность аккумулировать тяжелые металлы.

При исследовании металлоорганических форм нахождения рудных элементов установлено высокое концентрирование металлов фульво- и гуминовыми кислотами с образованием фульватов и гуматов металлов /5,6,3,I/. Другие органические соединения почв (гумины и др.) также являются концентраторами металлов, хотя и в меньшей мере, чем фульво- и гуминовые кислоты.

Проведенные опытно-методические работы в районах с различными геоморфологическими условиями, при разной мощности перекрывающего рыхлого покрова, меняющемся составе рыхлых отложений, на разных типах рудных месторождений показали, что распределение металлов в почвах в форме гуматов и фульватов находится в тесной зависимости от источников металлов, располагающихся на глубине в коренных породах. Указанная закономерность, а также способность фульво- и гуминовых кислот к образованию устойчивых соединений с металлами и сравнительная простота их извлечения по сравнению с другими металлоорганическими соединениями были положены в основу метода поисков по металлоорганическим формам рудных элементов /2/.

Сущность метода заключается в следующем. По определенной сети (в зависимости от масштаба съемки и задач сеть меняется от 50х500 до 5–I0 х I00–200 м) отбираются пробы почв весом I00–200 г верхнего гумусового горизонта. Из проб (навеска 5-50 г) при воздействии пирофосфата натрия извлекаются гуматы и фульваты металлов, в

составе которых, после их разрушения, определяются искомые металлы (Ме), а также углерод (С).

При анализе используются высокочувствительные методики, позволяющие обнаруживать 0,5-I мкг металла в объеме исследуемого раствора.В ВИТР'е разработаны методики для определения микроколичеств свинца, цинка, кадмия, меди, никеля, кобальта, молибдена, железа и углерода.Последний является мерой стандартизации при сравнении проб с разным содержанием гумуса. По значениям Ме/С учитывается характер распределения в почвах гуматов и фульватов металлов,строятся графики по обследованным профилям или по какой-либо площади. Аномальные значения вычисляются по общепринятой методике. Результаты могут быть представлены также и в изолиниях.

Метод поисков по металлоорганическим формам рудных элементов был применен в условиях Кольского полуострова, Воронежской области,Центрального Казахстана, Рудного Алтая и других районов.Рассмотрим некоторые примеры.

На рис.I. приведены результаты определения металлоорганических соединений никеля в горно-тундровых почвах Кольского полуострова при мощности моренных отложений IO-I5 м.Над выходом рудного тела (мощность рудной зоны - первые единицы метров) наблюдается четкая контрастная аномалия Ni:Cгде аномальные значения относительного накопления Ni достигают I% при фоне в тысячные доли.

На рис.2 показаны результаты определения металлоорганических соединений меди и молибдена в пробах черноземных почв над золото-сульфидными телами в условиях Северного Казахстана. Над мелкими рудными телами, перекрытыми глинами мощностью 30 м,,отмечаются аномальные концентрации меди и молибдена в составе металлоорганических форм. По валовой концентрации меди и молибдена в пробах золото-сульфидные тела не выделяются.

В условиях Рудного Алтая над полиметаллическими рудами, залегающими под толщей дальнеприносных глин мощностью 80 м (рис.3), наблюдается контрастная аномалия по свинцу (Pb:C=0,6%) и меди (Cu:C =0,9%) в составе металлоорганических форм.

При определении металлоорганических форм на объектах с более сложными геологическими условиями, а именно при горизонтальном залегании рудных тел, не выходящих непосредственно под толщу рыхлых отложений, и при залегании вертикальных рудных тел на большой глубине получены следующие результаты.

При горизонтальном залегании рудных тел медистых песчаников в

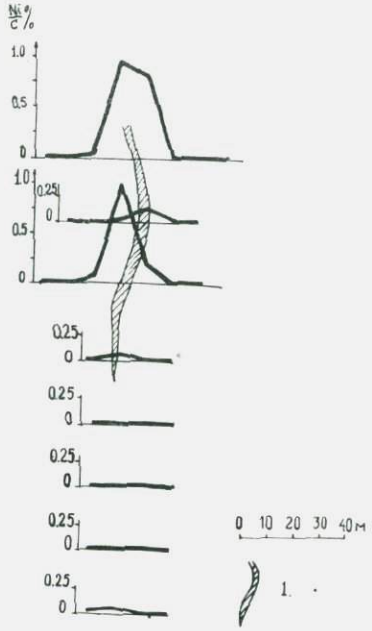


Рис.I. Никель в составе фульватно-гуматного комплекса почв над медно-никелевыми рудами (Кольский полуостров) I – проекция рудного тела на поверхность.

Центральном Казахстане (рис.4) по аномальным значениям Cu/C руды отмечаются при мощности перекрывающей толщи коренных пород от 20 до 50 м.

В случае глубоко залегающих рудных тел, приуроченных к крутопадающим структурам, когда, как правило, имеются сквозные относительно рудоносной толщи зоны трещиноватости и дробления, аномалии Pb:C, Cu:C, Fe:C отмечали полиметаллические руды, залегающие на глубинах до 500 м и перекрытые отложениями глин мощностью 90–100м.

Приведенные примеры, а также наблюдения на других месторождениях показали, что по гуматам и фульватам металлов в почвах можно прослеживать рудные тела различных типов месторождений (медно-никелевых, полиметаллических, свинцово-цинковых, золото-сульфидно-кварцевых, медистых песчаников и др.), расположенных в различных геоморфологических и климатических условиях и перекрытых рыхлыми отложениями большой мощности.

Установленные закономерности в распределении металлоорганических форм рудных элементов указывают на существование процессов, обеспечивающих подъем металлов в подвижных формах с больших глу-

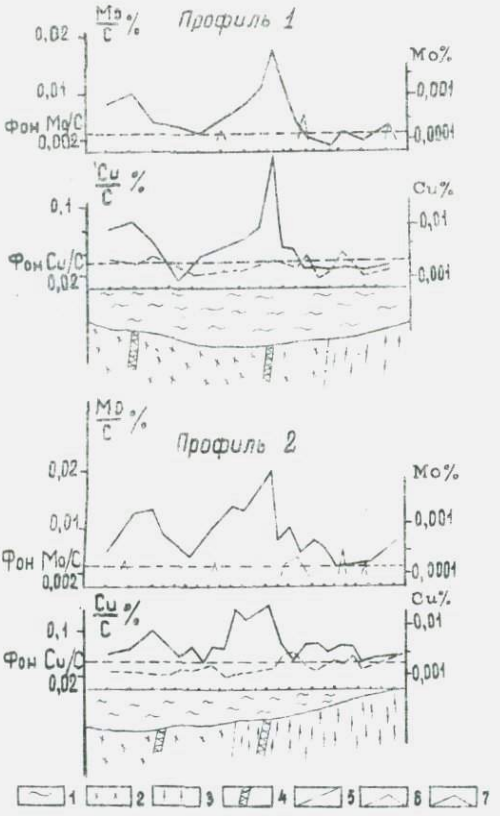


Рис.2. Медь и молибден в составе фульвато-гуматного комплекса почв над золото-сульфидно-кварцевыми рудными телами (Северный Казахстан, породы отобраны Н.П.Ивановым).
I - глины, 2 - сиенит-диориты, 3 - метаморфические сланцы, 4 - золото-сульфидные рудные тела, 5 - зоны тектонических нарушений, 6 - валовое содержание металлов, 7-Me:C в составе металлоорганических соединений.

бин на дневную поверхность. Фактически установленная мощность рыхлого покрова, через которую осуществляется миграция металлов, составляет 130 м, теоретически же, по данным В.С.Голубева и А.А. Гарибянца /4/, только за счет процессов диффузии миграция элементов может достигать первых сотен метров. Фактическая проницаемость через коренные породы в горизонтальных структурах пока установлена до 50 м и в вертикальных структурах - до 500 м. Для изучения состава форм, в которых происходит миграция элементов, необходимы дальнейшие исследования. По-видимому, главную роль в процессе миграции играют водорастворимые соединения элементов.

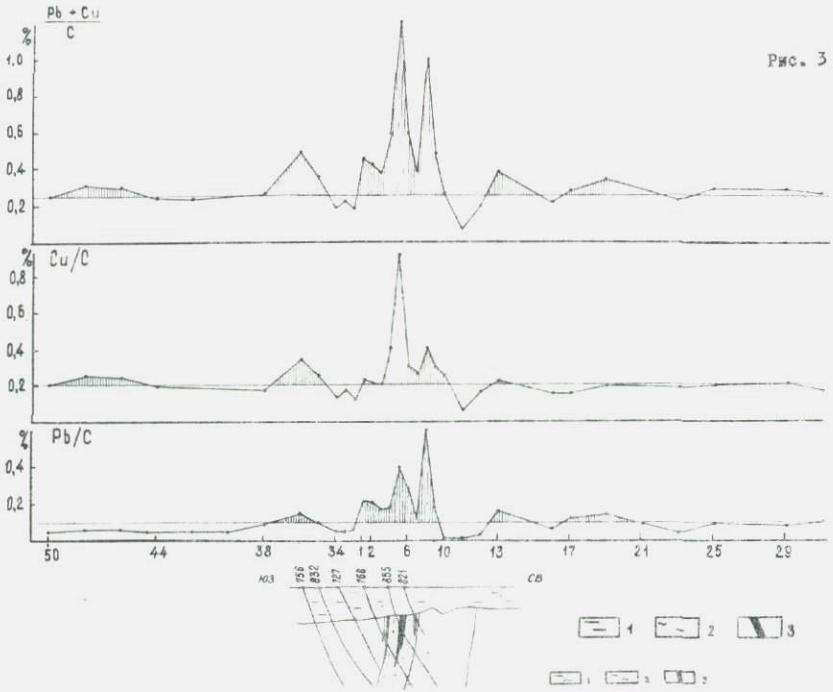


Рис. 3. Свинец и медь в составе гуматно-фульватного комплекса почв над полиметаллическими рудами Рудного Алтая.
I – рыхлые отложения, 2 – рудовмещающая толща, 3 – полиметаллические руды.

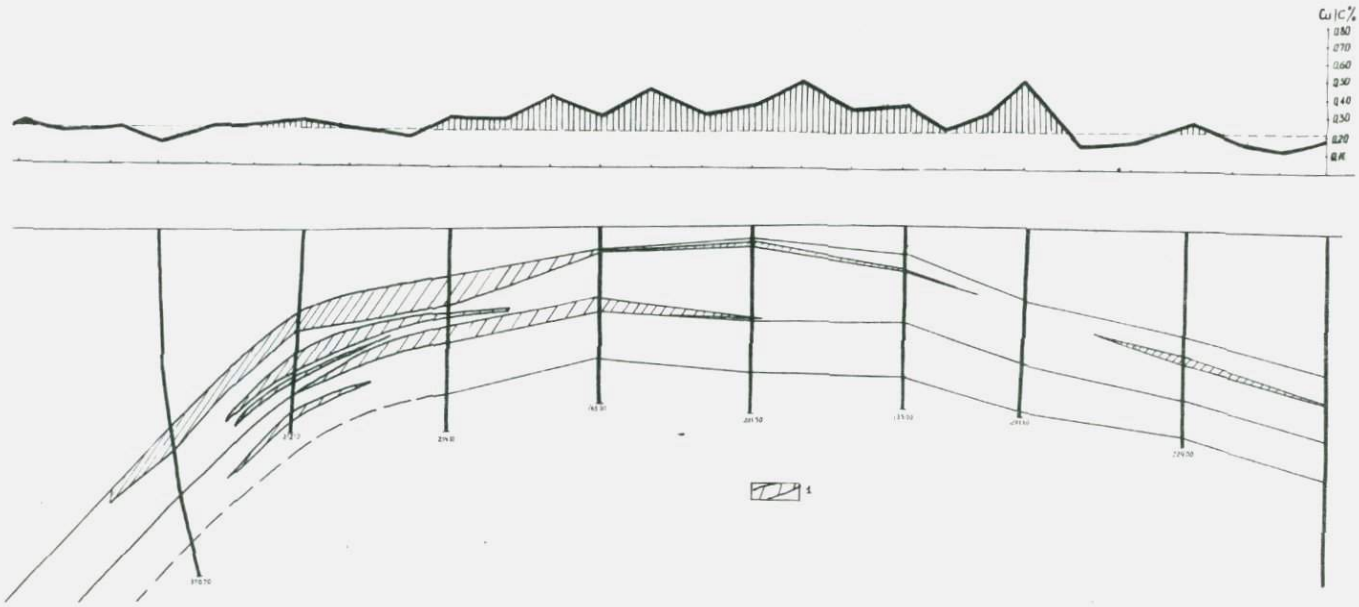


Рис.4. Медь в составе гуматно-фульватного комплекса почв над рудными телами медистых песчаников (Центральный Казахстан)
I - рудные тела.

Литература

1. Антропова Л.В.Формы нахождения свинца в потоках рассеяния Эстонии. – *Советская геология*, 1968, № 1.
2. Антропова Л.В. Поиски рудных месторождений по металлоорганическим формам нахождения элементов. – Методика и техника разведки, № 76, Л.,ВИТР, 1971.
3. Возбуцкая А.Е. Химия почвы. 1968.
4. Голубев В.С. Гетерогенные процессы геохимической миграции. М., "Недра", 1968.
5. Дроздова Т.В. Роль гуминовых кислот в геохимии почв. – Почвоведение, 1963, № 8.
6. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. 1963.
7. Манская С.М., Дроздова Т.В. Геохимия органического вещества. М., "Наука", 1964.
8. Щербина В.В. Основы геохимии. М.,"Недра", 1972.

МЕТОД ЧАСТИЧНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И ОПЫТ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕГО ДЛЯ ПОИСКОВ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ ТЕЛ

И.С.Гольдберг

Важной проблемой в повышении эффективности поисково-разведочных работ на рудное сырье является создание новых способов и технических средств, позволяющих оценивать присутствие полезных ископаемых, не выходящих на дневную поверхность. В качестве одного из возможных решений этой задачи может быть использован принцип геоэлектрохимического извлечения элементов /I/.

Воздействуя на горные породы постоянным электрическим током, можно вызвать в них различные электрохимические процессы. Большая группа процессов связана с электродными реакциями, протекающими на минералах при прохождении электрического тока через их границу с поровой влагой. Они приводят к растворению первичных и возникновению вторичных минералов. Другая группа процессов - межфазных, обусловленная сложным взаимодействием твердой и жидкой фаз при протекании тока в поровой влаге, приводит к растворению минералов, замещению одних минералов другими и ряду других явлений. Значительная группа электрохимических процессов заключается в миграции под действием тока растворенных веществ. За счет указанных процессов ионы химических элементов перемещаются в пространстве, преобразуют свойства растворов, что, в свою очередь, воздействует на межфазные и электродные процессы. Определенная группа электрохимических явлений обусловливает возникновение электрического тока в результате химических реакций, механического перемещения влаги в пористых средах и т.п.

Указанные процессы позволяют с помощью электрического тока растворять минералы, перемещать продукты их растворения и накапливать растворенные вещества в определенных точках пространства.

В сущности растворение, перемещение и накопление реализуют принцип извлечения вещества, необходимый для метода поиска и разведки.

Основной формой регистрации процесса извлечения компонентов является кривая накопления их количеств (m) во времени (t). Характер этих кривых в зависимости от положения источников, их сочетаний между собой может быть достаточно сложным. Приход компонента от каждого нового источника будет характеризоваться на кривой накопления появлением ступени с определенным углом наклона. Время появления ступени на годографе характеризует расстояние до источника, а угол наклона дает возможность судить о концентрации их в источнике. Присутствие нескольких источников в геологическом разрезе будет отражаться на кривой m-t соответствующими ступенями с определенными углами наклона. Такие кривые получили название геоэлектрохимических годографов. Возможность исследования процесса накопления во времени позволяет получать интегральную характеристику положения источников исследуемых компонентов в геологическом разрезе.

При всех усложнениях годографы в основных чертах представляют отражение двухэлементной структуры. А именно: начальная часть годографа отвечает извлечению элементов из вмещающей среды или точнее из ореола, находящегося во вмещающих породах, а последующая часть годографа соответствует извлечению элементов из самого исследуемого объекта. Таким образом, общий годограф делится на "ореольную" и собственно "рудную" части. Поскольку ореол связан с самим объектом полезного ископаемого, то для геологических поисковых целей может быть использован не только весь годограф, но и его начальная "ореольная" часть. Поэтому метод поисков, основанный на геоэлектрохимическом извлечении элементов, может быть осуществлен в "ореольном" варианте, когда исследуется начальная ступень годографа и в "основном", когда используется весь годограф.

В настоящее время методически и технически осуществлен "ореольный" вариант метода ВПМ и "основной вариант при наработке скважин. Использование "ореольного" варианта для исследования состава и концентрации металлов во вторичном ореоле рассеяния позволяет вести поиски оруденения с минимальными затратами. Используя начальную ступень геоэлектрохимического годографа, можно оценить по массе извлеченного металла концентрацию его в поверхностном

слое земли. Сравнивая данные по извлечению элемента по ряду геоэлектрохимических годографов из различных точек, расположенных по профилю или площади, может быть осуществлено выделение участка с повышенной концентрацией металла. Принцип поисков рудных месторождений по "ореольному" методу ЧИМ аналогичен геохимическим методам, и ему присущи все достоинства и недостатки геохимической ореольной съемки. Существенным отличием этого метода является большая глубинность в сравнении с обычными металлометрическими съемками, при которых определяется валовое содержание элемента в пробе. Разница в регистрации ореола по валовой концентрации и с помощью геоэлектрохимического извлечения связана с тем, что последнее обеспечивает накопление и селективное определение подвижных форм элементов, составляющих малую долю по отношению к другим закрепленным формам, массы которых, с одной стороны, больше чем подвижных, а с другой стороны, они более или менее одинаковы на больших площадях, при условиях значительного удаления от рудного объекта. В связи с этим при валовом определении элемента небольшие изменения его количеств, особенно на пределе чувствительности аналитических методов, практически не заметны, в то время, как данные изменения, усиленные накоплением (на чем и базируется метод ЧИМ), могут быть зафиксированы вполне отчетливо. Оставаясь косвенным методом, "ореольный" вариант метода ЧИМ позволяет выявлять вторичные ореолы, уходящие от источника на многие десятки метров. Принципиально возможно обнаруживать ореолы над объектами, удаленными на сотни метров. Другим свойством "ореольного" метода ЧИМ является выявление им подвижных форм элементов, т.е. таких, в которых осуществляется миграция из глубины. Тем самым обнаруженные по данным геоэлектрохимического извлечения ореолы более непосредственно связаны с рудными объектами, чем ореолы, установленные по валовому содержанию, которые могут меняться в своем распределении не только от процессов миграции, но также от процессов закрепления их в разных породах.

Для практического осуществления работ по методу ЧИМ институтом ВИТР совместно с Туймазинским заводом геофизического оборудования и аппаратуры создана станция ЧИМ-10 (станция частичного извлечения металлов, мощность 10 квт) и начато ее серийное производство. Станция работает следующим образом: от источника переменного тока через преобразователь подается постоянный ток на участок к системе, состоящей из электродов-заземлителей и специальных элект-

родов – элементоприемников. Элементоприемники устанавливаются на поверхности земли или в скважине. Станция ЧИМ-10 при наземных работах обеспечивает одновременное исследование профиля протяженностью до 540 м. Общее количество элементоприемников – 28. Стандартный интервал между ними – 20 м, но может быть любым. С помощью устройства трансформации подбираются необходимые режимы работы станции по напряжению и силе тока. В постоянном режиме при стабилизации величины напряженности поля станция работает в зависимости от физико-химических условий обследуемых участков в среднем от 10 до 50 часов. Сконцентрированные под действием электрического поля элементы анализируются в полевой химической лаборатории, входящей в состав станции. Важным условием концентрирования элементов является поддержание в элементоприемниках величины PH ниже их границы гидратообразования. Со станции ЧИМ-10 могут быть исследованы скважины. Длина обследуемого интервала по скважине зависит от количества работающих элементоприемников и расстояния между ними. Расстояние определяется конкретным решением геологической задачи. Обследование скважины занимает 5-10 часов. Опыт практического применения метода ЧИМ в настоящее время еще не велик. С помощью станции ЧИМ-10 осуществлялись поиски медно-никелевых руд на Кольском полуострове, полиметаллических руд на Рудном Алтае и Дальнем Востоке, оловорудных месторождений на Дальнем Востоке и Чукотке. Применение метода показало его эффективность в обнаружении глубокозалегающих рудных тел, перекрытых рыхлыми отложениями значительной мощности (порядка 100 и более метров). Приводимые ниже результаты наблюдений, характеризующие возможности метода, относятся к двум различным районам: Кольскому полуострову и Рудному Алтаю.

На рис. 1 приведены кривые извлечения Ni , Cu , Co на одном из медно-никелевых месторождений Кольского полуострова. Рудные тела небольшой мощности приурочены к межпластовым зонам дробления среди диопсидсодержащих амфиболитов. Они выходят под моренные отложения мощностью 10-12 метров. Участок месторождения занят низинным болотом. Геохимическое извлечение осуществлялось в течение 50 часов, за это время извлечено никеля из почвы непосредственно над верхней частью рудного тела – 150-250 мкг. Количество извлеченных меди и кобальта над рудным телом 40-45 мкг, при 10-15 мкг в удалении от него.

При проведении геоэлектрохимического извлечения металлов над

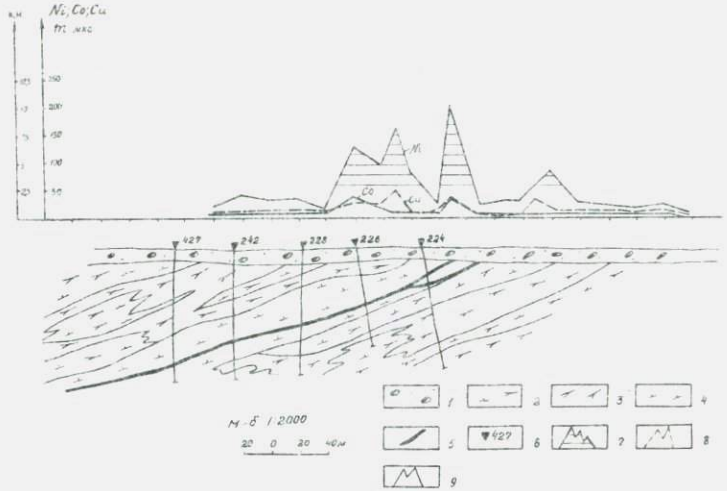


Рис.I. Результаты наблюдений методом ЧИМ на медно-никелевом месторождении (Кольский п-ов)
I - моренные отложения, 2 - мигматит плагио-микроклинового гранита по амфиболиту, 3 - плагио-микроклиновые граниты, 4-полевошпатовые амфиболиты, 5 - медно-никелевые руды, 6-номера скважин. Графики ЧИМ:7-никель,8-медь,9-кобальт.

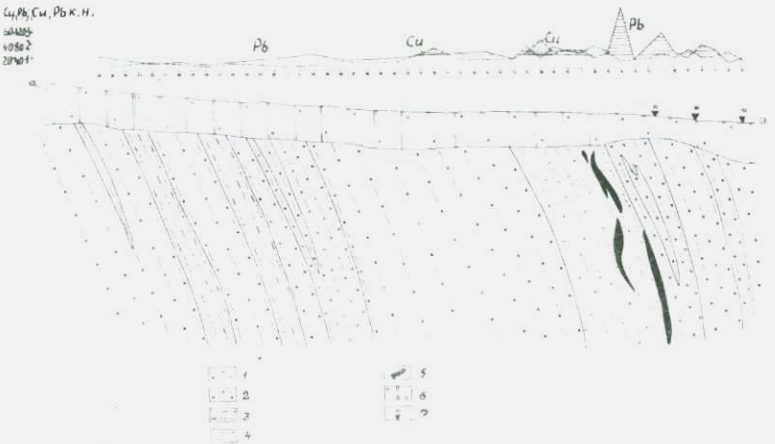


Рис.2. Результаты наблюдений методом ЧИМ на полиметаллическом месторождении I (Рудный Алтай)
I - рассланцованные диоритовые порфириты, микропорфириты,
2 - порфироиды, 3 - углисто-серицито-кварцевые сланцы,
4 - серицито-кварцевые сланцы, 5 - массивные руды,
6 - рыхлые четвертичные отложения, 7 - номера скважин.

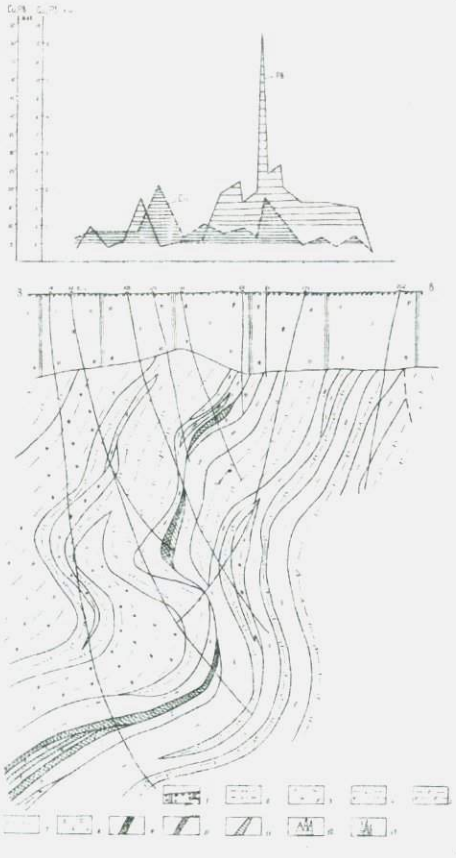


Рис.3. Результаты наблюдений методом ЧИМ на полиметаллическом месторождении П (Рудный Алтай)
1-глины и суглинки, 2-алевролиты, песчаники, 3-туфы среднего состава, 4-лавобрекчии кварцевых альбитофиров, 5-кварцевые альбитофиры, 6-хлоритизированные туфы, 7-окварцованные алевролиты, 8-вкрапленные полиметаллические руды с хлоритом, 9-массивные медно-колчеданные руды, 10-массивные полиметаллические руды, 11-прожилково-вкрапленные руды, Графики ЧИМ: 12-свинец, 13-медь.

полиметаллическими рудами на Алтае были установлены вторичные ореолы рассеяния при более значительной мощности рыхлых отложений. На рис.2 приводятся результаты извлечения металлов над рудными телами полиметаллического месторождения I. Рудные тела залегают среди гидротермально измененных пород на глубине 50 и более метров от дневной поверхности. По данным геоэлектрохимического извлечения непосредственно над рудными телами установлены аномалии свинца до 160 мкг (рис.2) при фоновом значении 40 мкг.

Сходные эффекты выявления аномалий с помощью метода ЧИМ на участках, где металлометрические аномалии отсутствуют, установлены над полиметаллическими рудами месторождения II, расположенного в степной части Алтая. Полиметаллические рудные тела залегают среди вулканогенно-осадочных хлоритизированных пород, перекрытых третичными глинами и суглинками мощностью 80-100 м. По рассматриваемому профилю оруденение располагается на 46 м ниже границы с третичными отложениями. Как видно из графика (рис.3), рудное тело фиксируется аномалией по свинцу. За 40 часов на участке, соответствующем проекции выхода рудного тела на дневную поверхность, извлечено до 45 мкг, при фоновом извлечении 5-10 мкг.

В настоящее время получены положительные результаты по выявлению методом ЧИМ вторичных ореолов рассеяния над золоторудными, оловорудными и некоторыми другими глубокозалегающими объектами в ряде районов Советского Союза. Имеется принципиальная возможность осуществлять поиски методом ЧИМ различных по составу руд.

Рассмотренный "ореольный" вариант метода ЧИМ может применяться при поисково-разведочных работах. Он позволяет: а) обнаруживать перспективные рудоносные зоны и рудные тела под рыхлыми отложениями мощностью 100 и более метров; б) выявлять по составу извлеченных элементов природу и характер геофизических аномалий.

Литература

I. Рисс Ю.С., Гольдберг И.С. Способ частичного извлечения металлов (ЧИМ) для поисков рудных месторождений - В кн.: Методика и техника разведки, № 84, Л., ОНТИ ВИТР, 1973.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ

Н.Г.Шубенин

Гидрогеохимические поиски на территории Красноярского края систематически начали проводиться силами производственных и тематических подразделений Красноярского геологического управления с 1958 года, и с каждым годом их роль в комплексе геохимических методов постоянно возрастает. Если на первом этапе исследований они проводились как опытно-методические работы специализированными отрядами и партиями, то в настоящее время, особенно в северных районах края, гидрогеохимический метод поисков взят на вооружение большинством поисково-съемочных партий.

В 1972 году объем отобранных проб превысил 10000. Основные объемы выполнены при проведении поисково-съемочных и гидрогеологических исследований масштаба 1:50 000 и 1:200 000 в горно-складчатых областях края (Алтае-Саянская область, Енисейский кряж и Норильский район). Для определения микрокомпонентов в природных водах используется метод концентрирования с гидроокисью алюминия (метод ТПИ) и в меньшей степени - метод "сухого остатка". Спектральный анализ концентратов и сухих остатков осуществляется в Центральной и Минусинской лабораториях Красноярского геологического управления.

Разнообразие ландшафтно-геологических условий в крае требует специфической методики и техники проведения гидрогеохимических поисков в каждом конкретном случае /6/. Особенности методики проведения гидрогеохимических поисков в разных природных условиях края достаточно хорошо разработаны благодаря усилиям работников производственных и тематических партий управления /1,3,4,2/. Гидрогеохимические исследования позволяют, с одной стороны, прово-

Таблица I

Средние содержания химических элементов в природных водах зоны свободного водообмена основных ландшафтно-геохимических районов Красноярского края (в мкг/л)

Районы	Число проб	Cu	Pb	Zn	Ag	Ti	Mn	V	Ni	Cr	Sn	Ba	Mo	Sb	Zr	Co
Енисейский кряж	10000	0,9	0,7	7,5	0,I	7	9	0,7	I,0	I,7	0,I	7	0,5	0,I	0,5	0,I
Кузнецкий Алатау	2000	4,7	I,4	2,8	0,I6	77	н/с	1,6	3,2	4,4	I,4	н/с	0,6	3,4	2,0	0,5
Восточный Саян	2200	0,3	0,2	I,3	I,3	60	н/с	2,6	0,6	I,0	0,I9	н/с	0,07	0,2	0,0I	0,0I
Западный Саян	430	I,3	I,2	9,2	0,08	43	н/с	I,3	2,0	4,3	0,02	н/с	0,4	0,2	0,I	0,07
Чадобедское поднятие	I50	3,5	0,6	7,4	0,2	I2	I2	2,8	I,4	5,2	I,2	26	0,06	-	4,I	0,4
Юго-Западная часть Тунгусского бассейна	300	4,5	0,8	3,4	0,I5	I2	I0	0,7	4,7	5,2	0,9	27	0,02	0,I	2,I	0,3
Минусинская котловина	I40	4,3	0,3	0,3	0,6	65	42	2,8	0,3	I,0	I,0	52	I,5	2,I	0,9	0,03
Восточная окраина Западно-Сибирской низменности	250	I,2	I,3	7,0	0,2	48	28	0,4	0,6	0,2	0,I	2I	0,03	0,5	3,0	0,05

н/с – нет сведений

дить общую оценку перспектив отдельных структур и регионов, а с другой, способствуют поискам цветных и редких металлов в горно-складчатых и платформенных областях.

К настоящему времени наиболее полно апробированы гидрогеохимические поиски цветных и редких металлов в горно-таежных районах (Кузнецкий Алатау, Енисейский кряж, Западный и Восточный Саяны), медистых песчаников и медно-никелевых руд в краевых частях Сибирской платформы (зона сочленения Сибирской платформы с Енисейским кряжем, Норильский район), титан-циркониевых россыпей в восточной части Западно-Сибирской низменности /5,1,2/. Проведенные гидрогеохимические исследования позволили рассчитать средние содержания химических элементов в водах для основных ландшафтно-геохимических зон Красноярского края (табл.I).

Как видно из таблицы I, средние содержания для ряда элементов достаточно сильно варьируют. Эти различия определяются в первую очередь металлогеническими и ландшафтно-геохимическими особенностями районов и отражают геохимические особенности водовмещающих пород. В пределах Алтае-Саянской области и Енисейского кряжа отмечается значительная неоднородность гидрогеохимических фонов, что находится в полном соответствии с геологическими и ландшафтно-геохимическими особенностями этих районов.

При анализе гидрогеохимических данных нами учитывалось качественное и относительное количественное соответствие химических составов в системе вода – порода. Качественное соответствие устанавливается по определенным ассоциациям химических элементов, характерным как для пород, так и для вод. Следует отметить, что на данном этапе исследований это соответствие может быть и неполным из-за низкой чувствительности анализа на ряд элементов (вольфрам, золото, редкие элементы и др.). Прямого количественного соответствия между содержаниями химических элементов в системе вода-порода нет да и не может быть в силу различной растворимости соединений разных химических элементов и их устойчивости в водных растворах. Однако, используя относительные показатели, можно по содержанию химических элементов в водах давать прогнозы об их относительных содержаниях в породах. В качестве эталонного показателя для сопоставления получаемых результатов используется величина гидрохимического фона. В зависимости от размеров исследуемых объектов следует различать региональный и локальный гидрогеохимический фон. Конкретные содержания элемента в водах отдельного водопункта (района, участка, месторождения и т.д.) рекомен-

дуется относить к вычисленному гидрогеохимическому фону для объектов соответствующего масштаба.В результате этого получаем набор коэффициентов аномальности, которые используются при дальнейшей интерпретации (выделение гидрогеохимических ассоциаций, выявление аномалий составление прогнозных карт и т.д.).

Опытно-методическими работами в пределах известных рудных полей определены основные ассоциации элементов, характерные для различных типов руд /5/.Полученные данные позволили выделить по степени аномальности три градации содержаний элементов в водах: минимальную,среднюю, максимальную (табл.2).Максимальная степень аномальности характерна непосредственно для вод рудных тел,средняя - для участков выклинивания рудных зон; минимальная - для флангов рудоносных площадей, где отмечаются лишь слабые гидротермальные изменения пород с несколько повышенными содержаниями рудных элементов.

Используя гидрогеохимические критерии,которые установлены для главных типов известных рудных месторождений, были сделаны региональные прогнозы о металлоносности основных ландшафтно-геологических районов. При этом наиболее надежным критерием следует считать выявленные ассоциации рудных элементов в природных водах. Важно подчеркнуть, что ассоциации элементов в водах меняются в зависимости от особенностей эрозионного среза и гидродинамических условий. Так, для месторождений с хорошо развитой зоной окисления ассоциация элементов намного шире по сравнению с ассоциациями элементов в водах месторождений со слабо развитой зоной окисления. Наиболее широкий круг элементов, встречаемых в аномальных концентрациях, отмечается для вод эксплуатирующихся месторождений, где резко нарушены естественные гидродинамические условия, и поэтому процессы окисления идут весьма интенсивно (Советское и Константиновское золоторудные, Норильское медно-никелевое, Юлинское свинцовое и др.месторождения). Для практического использования большое значение имеют гидрогеохимические материалы, полученные при опробовании естественных выходов природных вод в пределах рудных полей до начала эксплуатации месторождений, поскольку в слабо изученных районах приходится проводить гидрогеохимические поиски именно при таких условиях. В этой связи заслуживают внимания данные по Горевскому и Казымчанскому полиметаллическим и Талнахскому медно-никелевому месторождениям, опробование вод которых про-

Таблица 2

Коэффициенты разных степеней аномальности для различных типов рудных месторождений Красноярского края

Элемент	Коэффициенты для разных степеней аномальности ($К_{макс.}$-максимальной; $К_{ср.}$-средней; $К_{мин.}$ - минимальной)								
	Рудные поля								
	полиметаллические			сурьмяные			золоторудные		
	$К_{мин.}$	$К_{ср.}$	$К_{макс.}$	$К_{мин.}$	$К_{ср.}$	$К_{макс.}$	$К_{мин.}$	$К_{ср.}$	$К_{макс}$
Pb	I,0-2,3	2,3-I0,0	>I0,0	I,0-2,3	-	-	I,0-2,3	-	-
Zn	I,0-6,5	6,5-I4,0	>I4,0	I,0-6,5	-	-	I,0-5,0	5,0-7,0	>7,0
Cu	I,0-3,3	3,2-20,0	>20,0	I,0-3,3	-	-	I,0-3,0	3,0-3,5	>3,5
Ag	I,0-3,7	3,7-8,7	> 8,7	I,0-3,7	8,7-I5,0	>I5,0	I,0-4,5	4,5-I5,0	>I5,0
Sb	I,0-5,0	5,0-30,0	>30,0	I,0-I0,0	30,0-45,0	>45,0	I,0-8,0	8,0-I2,0	>I2,0
As	I,0-I,5	I0,0-20,0	>20,0	I,0-3,0	20,0-25,0	>25,0	I,0-I0,0	I0,0-40,0	>40,0
Mn	I,0-4,7	4,7-I0,0	>I0,0	-	-	-	-	-	-
Hg	-	-	-	I,0-3,0	3,0-I0,0	>I0,0	I,0-3,0	-	-
Bi	I,0	I,0-5,0	> 5,0	I,0-3,5	3,5-7,0	> 7,0	I,0-3,5	3,5-I0,0	>I0,0
Ba	I,0-3,5	3,5-25,0	>25,0	3,5-5,0	-	-	3,5-6,0	-	-

ведено до начала детальной разведки.

Прогнозная оценка главных рудоносных районов по гидрогеохимическим данным в целом согласуется с имеющимися металлогеническими представлениями. Однако в ряде районов были выделены новые площади, перспективные на поиски скрытого оруденения на глубинах 250–350 м. На восточном склоне Кузнецкого Алатау применение гидрогеохимии позволило повысить глубинность прогнозирования. Здесь выявлено несколько новых металлоносных зон, подтвержденных дальнейшими исследованиями /I/. На западной окраине Енисейского кряжа на основе гидрогеохимических поисков был сделан вывод о наличии в районе новых для него типов оруденения-колчеданно-полиметаллического и молибденового и намечены перспективы этой площади на данные типы оруденения /5/. В последствии эти прогнозы были подтверждены находками колчеданно-полиметаллической и молибденовой минерализации, оценка масштабов которых ведется в настоящее время.

В процессе проведения гидрогеохимических исследований на территории края в последние 10 лет было выявлено свыше 200 новых перспективных площадей с аномальным составом природных вод и проведена их разбраковка. Общие ассигнования на проведение этих работ составили менее I,0% от суммы затраченных на геохимические методы поисков. Наиболее эффективным явилось применение гидрогеохимических поисков при среднемасштабных работах для выявления и оконтуривания перспективных площадей в таежных районах с мощным развитием рыхлых отложений. В качестве примера на рис.I даны результаты среднемасштабных гидрогеохимических поисков в одном из районов Енисейского кряжа, проведенных под руководством автора в 1960–1962 г.г. До начала проведения данных работ эта площадь была заснята среднемасштабной геологической съемкой, сопровождавшейся шлиховым и литогеохимическим опробованием по вторичным ореолам и потокам рассеяния. В последующем (1962–1972 г.г.) на части этой площади проведены крупномасштабные съемочные и поисковые работы, в процессе которых частично были подвергнуты проверке и гидрогеохимические аномалии. Как видно из рис.I, в пределах ранее выявленных гидрогеохимических аномалий обнаружены проявления цветных металлов, оценка которых проводится в настоящее время.

Заверочные буровые и горные работы были проведены на 20 участках гидрогеохимических аномалий в Кузнецком Алатау, Енисейском кряже и Норильском районе. При этом в Енисейском

кряже на пяти участках вскрыты свинцово-цинковые и на одном – колчеданно-полиметаллические руды; в Норильском районе бурением установлено, что гидрохимические аномалии связаны либо с дифференцированными интрузиями габбро-долеритового и долеритового состава, либо с вкрапленным медно-никелевым оруденением в экзоконтактовых частях интрузивов.

Результаты проверки одной из гидрогеохимических аномалий показаны на рис.2. Эта аномалия выявлена при среднемасштабном гидрогеохимическом опробовании в 1962 г. Проведенные ранее среднемасштабные литогеохимические поиски по вторичным ореолам и потокам рассеяния положительных результатов не дали. Участок характеризуется типичным для Восточной Сибири горно-таежным ландшафтом. Обнаженность очень плохая. Мощность рыхлых отложений и древних кор выветривания составляет от 5 до 50 м.

Химический состав вод в пределах аномалии гидрокарбонатный кальциевый, минерализация 100–150 мг/л. Среда вод близка к нейтральной (pH 6,7–7,1). Судя по ассоциации элементов (табл.3), встречающихся в повышенных концентрациях в водах (максимальная и средняя степень аномальности), было сделано предположение о развитии в районе полиметаллического оруденения. В 1963 году проведено детальное опробование с поисковыми маршрутами и проходкой шурфов на аномальном участке, подтвердившее его перспективность. Шурфами в северной части аномалии на глубинах от 3 до 5 м выявлены развалы лимонитов, которые рассматривались как продукты зоны окисления. В лимонитах химическим анализом установлено: цинка до 1,5%, свинца и сурьмы до 1%, серебра до 200 г/т. В 1965 г. на площади развития развалов лимонитов проведено литогеохимическое опробование по вторичным ореолам рассеяния по сетке 100х20м. Положительных результатов получено не было. В 1969 году в южной части аномалии (район точки 153) расчистками крутого берегового обрыва среди окварцованных известняков вскрыто три рудных тела, которые выше по склону не выходили на дневную поверхность. Мощность известняков, перекрывающих рудные тела в береговом уступе, 10–40 м, т.е. рекой выведено на дневную поверхность скрытое оруденение. Эти данные позволили предполагать существование единой рудной зоны, включающей площадь развития развалов лимонитов и скрытые рудные тела. В 1970 году в небольшом объеме проведено глубинное литогеохимическое опробование, электроразведка, ВЭЗ, горные и буровые работы. По данным электроразведочных работ до глубины 100 м оконтурена

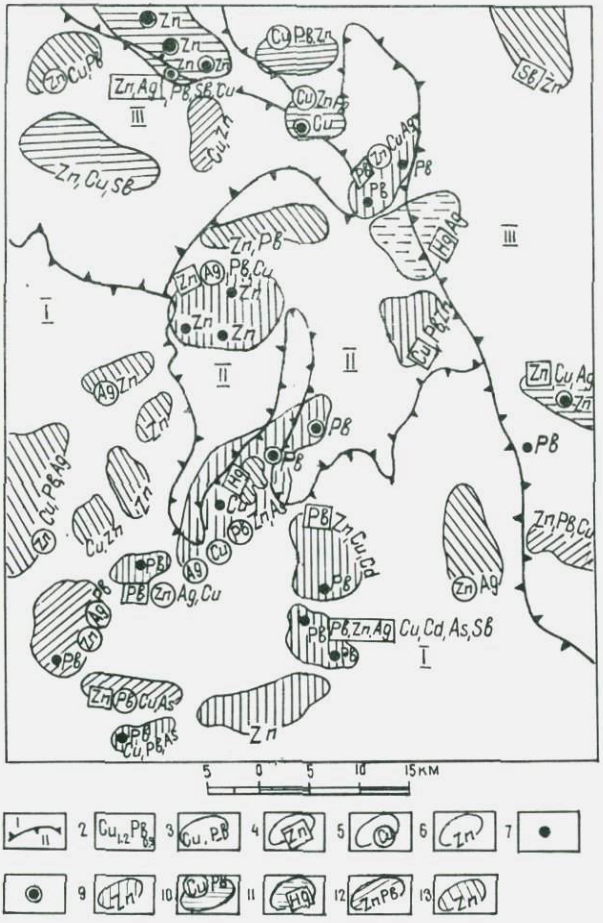

Zn
Cu,Pb,Zn
Zn,Cu,Pb
Zn,Ag
Pb,Sb,Cu
III
Cu,Zn
Zn,Cu,Sb
Cu,Zn,Pb
Cu
Pb,Zn,Cu,Ag
Pb
Sb,Zn
Zn,Pb
Hg,Ag
Zn,Ag,Pb,Cu
I
II
Cu,Pb,Zn
Zn,Cu,Ag
Ag,Zn
Cu,Zn
Zn,Pb,Ag
Cu,Pb
Hg
Cu,Ag
Pb,Zn,Cu,Cd
Zn,Pb,Cu
Ag,Cu
Pb,Zn,Ag
Cu,Cd,As,Sb
Zn,Pb,Cu,As
Cu,Pb,As
5 0 5 10 15км
1
2 Cu1,2 Pb0,3
3 Cu, Pb
4 Zn
5
6
7
8
9
10 Cu Pb
11 Hg
12 Zn Pb
13 Zn

Рис.I. Карта гидрогеохимических аномалий одного из горноскладчатых регионов Енисейского кряжа.

I – границы районов и их номера: I – район с развитием рыхлого чехла неогеновых и четвертичных отложений мощностью до 100 м. Коренные породы выходят на дневную поверхность только в руслах глубоко врезанных рек; II – район развития карбонатно-терригенных отложений верхнего протерозоя. Мощность рыхлых отложений до 30 м; III – район развития терригенных и терригенно-вулканогенных пород верхнего протерозоя. Мощность рыхлых отложений до I0 м; 2 – гидрогеохимический фон в отдельных районах. Цифра у символа элемента его фоновое содержание в мкг/л; 3 – контур площади гидрогеохимической аномалии. Символами показаны основные элементы, имеющие поисковое значение; 4–6 – степень аномальности элементов: 4 – максимальная; 5 – средняя; 6 минимальная; 7–8 – рудопроявления и месторождения: 7 – известные до проведения гидрогеохимических поисков; 8 – выявленные после установления гидрогеохимических аномалий; 9–I0 – площади, в пределах которых установлены литогеохимические аномалии по вторичным потокам и ореолам рассеяния: 9 – при среднемасштабном опробовании до проведения гидрогеохимических поисков; I0 – при крупномасштабном опробовании после проведения гидрогеохимических поисков; II – площади, на которых при проведении крупномасштабных работах выявлены шлиховые ореолы киновари; I2 – площади, на которых другие виды геохимических работ не дали положительных результатов; I3 – площади, не проверенные *другими видами геохимических работ.*

Таблица 3

Содержания микрокомпонентов в водах рекомендуемой для проверки аномалии (мкг/л)

№№ проб	Тип водопункта	Cu	Pb	Zn	Ag	Mn	Sb
ш-234	Шурф	I,9	I,9	29,I	9,7	9,7	-
24I0	Родник	0,8	0,8	278,0	0,I	I6,6	6,4
2407	Ручей	I,4	2,9	29,2	0,I	I4,6	4,8
ш-232	Шурф	0,2	0,4	I0,0	3,5	9,7	-
2406	Ручей	2,4	0,7	26,0	-	I7,I	-
888	Ручей	5,9	0,2	4,4	4,4	37,0	-
I235	Ручей	0,5	0,5	5,6	0,I	33,7	-
I234	Ручей	2,I	0,7	7,0	-	20,9	-
2403	Ручей	0,7	0,7	2I,6	-	2I,6	-
64	Родник	I,3	0,I	I20,0	0,4	4,3	-
870	Ручей	2,9	0,I	3,8	0,3	4,8	-
643	Родник	I,I	0,I	3,9	I,I	2I,8	-
I53	Родник	22,4	I2,0	50,0	0,3	22,4	-
I40I	Родник	0,6	0,6	6,4	0,I	I9,6	-
I23I	Ручей	0,7	0,7	7,4	0,I	22,0	-
Фон		I,3	0,7	7,0	0,I	I0,9	0,I

зона с высокими сопротивлениями (до 8000 см), которая представлена окварцованными и измененными карбонатными породами. По данным ВЭЗ, хорошо проводящие объекты залегают на глубинах I00-I50 м.

Скважинами глубиной до I00 м, пройденными в русле реки, рудные тела вскрыты в интервалах 0-I0 м и 45-55 м. Руды прожилково-вкрапленные. Рудные минералы: сфалерит, галенит, блеклые руды, пирит. Содержание цинка 5,5-28,0%, свинца I,5-2,5%. Исходя из превышения водораздела над урезом воды в реке (I50-200 м), рудные тела в северной части аномалии следует ожидать на глубинах 200-250 м. Оценка рудопроявления продолжается.

Таким образом, работы, проведенные Красноярским ГУ, показывают достаточно высокую эффективность гидрогеохимических поисков в таежных горно-складчатых и платформенных областях. Применение этого вида поисков эффективно на всех стадиях геологоразведочных работ, однако наибольшую отдачу он дает при среднемасштабных рабо-

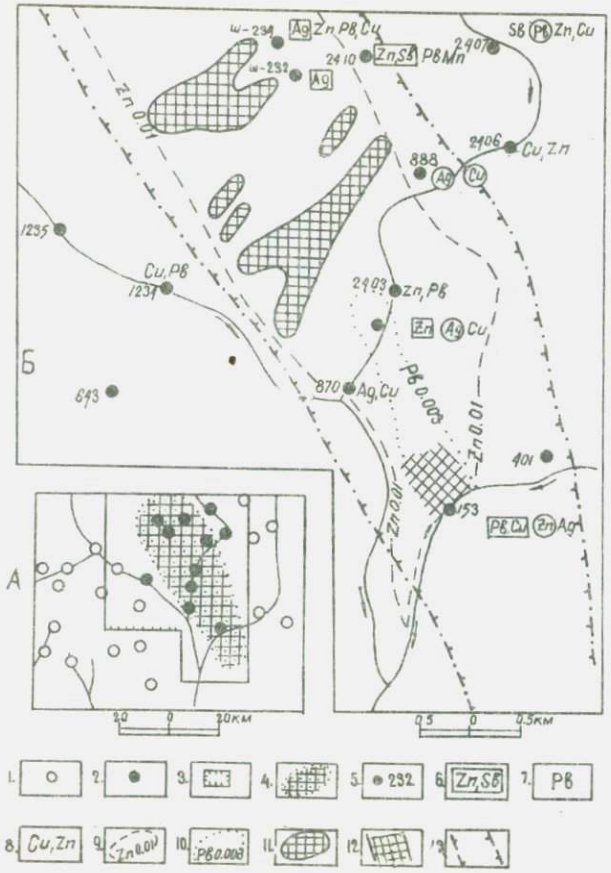


Рис.2.

Результаты проверки гидрогеохимической аномалии в одном из районов Енисейского кряжа. А) Схема выделения перспективной площади по данным среднемасштабного гидрогеохимического опробования: I – гидрогеохимические пробы с фоновыми содержаниями элементов; 2 – гидрогеохимические пробы с аномальными содержаниями элементов; 3 – площадь, рекомендованная для проведения поисково-оценочных работ; 4 – предполагаемый контур рудной зоны по гидрогеохимическим данным. Б) Результаты проверки рекомендованной площади: 5 – место отбора гидрогеохимической пробы и ее номер; 6–8 – степень аномальности химических элементов в пробах воды: 6 – максимальная; 7 – средняя; 8 – минимальная; 9–I0 – вторичные литогеохимические ореолы рассеяния: 9 – цинка; I0 – свинца; II – развалы лимонитов, вскрытые шурфами; I2 – рудная зона с промышленным содержанием свинца и цинка, вскрытая скважинами; I3 – контур зоны гидротермально-измененных пород по геофизическим данным.

тах для выявления перспективных площадей.

Литература

I. Карлова В.П. Геохимия природных вод восточного склона Кузнецкого Алатау в связи с поисками рудных месторождений. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд.геол.-мин. наук. Л.,1970.

2. Кузьмин Е.Е.,Посохов Е.В. О гидрохимических поисках сульфидных медно-никелевых руд в условиях многолетней мерзлоты.- В кн.: Геологические предпосылки поисков полезных ископаемых в Красноярском крае. Красноярское книжное изд-во,1969.

3. Шубенин Н.Г. Возможности применения гидрогеохимического метода поисков в Заангарской части Енисейского кряжа. - В кн.: Материалы геологической конф. Красноярск,1966.

4. Шубенин Н.Г. Гидрогеохимическое районирование центральной части Красноярского края для поисков полезных ископаемых.- В кн.: Геологические предпосылки поисков полезных ископаемых в Красноярском крае. Красноярское книжное изд-во, 1969.

5. Шубенин Н.Г. Интерпретация гидрогеохимических данных в условиях Енисейского кряжа. - В кн.: Труды межвузовской конф. по гидрогеохимическим и палеогидрогеологическим исслед. Томск, 1969.

6. Шубенин Н.Г., Карлова В.П. и др. Особенности формирования и гидрогеохимическая зональность подземных вод Красноярского края и Тувинской автономной республики. - В кн.: Вопросы гидрогеологии и гидрогеохимии, вып.IУ. Иркутск,1969.

О РАЗЛИЧИЯХ В МЕТОДИКЕ ПРОВЕДЕНИЯ ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА ФЛЮОРИТ В ЗАБАЙКАЛЬЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЛАНДШАФТНЫХ УСЛОВИЙ

П.А.Котов, А.И.Котова

Забайкалье является крупной флюоритоносной провинцией. На его территории известны сотни флюоритовых проявлений, а также промышленные месторождения. Высокое качество руд месторождений стимулирует проведение геологоразведочных работ в целях открытия и передачи промышленности новых объектов. Флюоритовая минерализация в виде жил и минерализованных зон развита в основном в пределах области верхнемеловой-нижнемеловой активизации, намеченной А.Д. Щегловым /4/.

Флюоритоносные узлы и районы находятся в различных ландшафтных условиях: горнотаежных с абсолютными отметками рельефа до 1800 и более метров, лесостепных и степных с менее расчлененным рельефом и меньшими абсолютными отметками (порядка 600–700 м). Климат резко континентальный, количество атмосферных осадков варьирует от 200 до 800 мм/год с максимумом в летние месяцы.

Методы поисков

I. Маршрутные поиски. До настоящего времени полностью не утратило своего поискового значения маршрутное "исхаживание" площадей на различных этапах геологоразведочных работ. За последние годы по выходам на дневную поверхность обнаружено немало флюоритовых месторождений и проявлений, причем выявлению их нередко предшествовали находки свалов – обломков жил не только рядом с коренными выходами, но и на удалении от них до 2–2,5 км. Косвенным индикатором флюоритового оруденения могут служить и проявления тонкозернистого кварца молочно-белого, кремового, шоколадно-коричневого, сургучно-красного цветов.

Вместе с тем при маршрутном "исхаживании" из-за больших расстояний между маршрутами (сотни метров– первые километры) значительные участки площади оказываются неопоискованными, поэтому возможность пропуска рудных тел и свалов вполне реальна.

2. Шлиховые поиски. В определенных условиях шлиховой метод достаточно эффективен и помогает обнаруживать флюоритовые тела, выходящие на поверхность. Вместе с тем необходимо учитывать и его ограниченность, обусловленную малой механической прочностью флюорита. Транспортируемые же на более далекие расстояния сростки флюорита с кварцем из-за малого объемного веса (2,7-3,0) обычно смываются при промывке шлиха. Поэтому с одной стороны, даже редкие находки флюорита в шлихах являются достаточным основанием для более тщательного опоискования площади, а с другой – его отсутствие не может служить достаточным основанием для отрицательной оценки изучаемой территории.

В условиях лесостепных и степных районов, отличающихся менее гористым рельефом и более засушливым климатом, эффективность шлиховых поисков ниже, чем в горнотаежных районах. Это объясняется меньшей крутизной склонов, большей мощностью рыхлых отложений, малым временем функционирования поверхностных водотоков, незначительным плоскостным смывом.

3. Литогеохимическая съемка. Применение литогеохимической съемки прочно вошло в практику поисковых работ. Используется она и при поисках флюоритовых месторождений. Следует иметь в виду возможность развития в рыхлых отложениях солевых, механических и смешанных ореолов фтора.

Солевые ореолы, в которых фтор находится в сорбированном состоянии, приурочены, как правило, к понижениям рельефа – долинам рек, падям. Фтор содержится в песчано-глинистых и глинистых пролювиально-аллювиальных и аллювиальных осадках, местами повышены его концентрации также в илах. По сравнению с другими типами ореолов солевые обладают наименьшей конкретностью: они указывают только на зараженность фтором окружающих положительных форм рельефа. При значительной ширине долин и падей с V – образным профилем далеко не всегда по солевым ореолам возможно уточнить, с какой стороны русла коренные породы склонов и водораздельных частей несут минерализацию фтора.

Механические ореолы рассеяния создаются примесью в делювии мелкообломочных (псаммитовых и алевритовых) продуктов разрушения ко-

ренных источников флюорита. Механические ореолы распространены на положительных формах рельефа. Повышенные концентрации обломочного материала из рудных тел наблюдаются также в пролювиально-делювиальных шлейфах долин и конусах выноса. При переходе от низкогорных к высокогорным районам сменяется и доминирующий тип вторичных ореолов рассеяния: наряду с солевыми появляются смешанные, а затем и механические ореолы, преобладающие в горно-таежных местностях. Как было показано ранее, механические ореолы дают возможность достаточно точно наметить площади распространения флюоритовой минерализации при поисково-съемочных работах масштабов 1:200 000-1:50 000 /2/. Достаточная крутизна склонов в горных районах обусловливает гравитационную миграцию обломков флюорита и сростков кварца с флюоритом от рудных тел и минерализованных зон дробления пород. При низкогорном и холмистом рельефе степных районов механические ореолы имеют локальное распространение, а на выположенных пространствах, где мощность рыхлого покрова достигает многих метров, не проявляются вообще. Здесь возможности применения площадной литогеохимической съемки ограничены.

Опытно-методические работы последних лет, проведенные при нашем участии во флюоритоносных районах Забайкалья Л.Е.Зарембо, позволили установить, что флюоритоносность изучаемых площадей может быть в достаточной мере оценена путем систематического опробования рыхлых пород делювиальных шлейфов подножий склонов и аллювиальных наносов в устьевых частях падей при отборе проб поперек падей через 200-50 м (в зависимости от ширины долины). Пробы отбирались по общепринятой методике - из-под почвенно-растительного слоя. Содержание фтора определялось спектральным анализом. При фоновых содержаниях фтора 0,1% по данным 284 проб получено следующее распределение концентраций этого элемента (частость): Сл. - 0,1-29%; 0,2-0,5-57%; 0,6-1,0-11%; более 1%-3% проб. Сопоставление результатов опробования из разных уровней рыхлого покрова (с глубины 0,2-0,3 и 0,5-0,6 м) в целом по профилю показало хорошую их сходимость, хотя в отдельных пробах из нижнего и верхнего уровней расхождения достигают 0,1-0,3%, иногда больше.

Таким образом, при поисковых работах потенциальная флюоритоносность площади может быть выяснена с помощью литогеохимического опробования падей, а также делювиальных шлейфов у подножья склонов долин основных водных артерий. При достаточной крутизне склонов и небольшой мощности наносов (до 3-5 м) флюоритоносные площади могут быть уточнены по результатам площадной литогеохими-

ческой съемки.

4. Гидрохимическое опробование. Этот метод, независимо от ландшафтных условий, может быть использован для выделения перспективных на флюорит площадей и тектонических зон во всех районах Забайкалья.

По имеющимся данным, подземные и поверхностные воды Забайкалья содержат фтора до 0,1-0,25 мг/л; в водах же отдельных водотоков, колодцев и скважин зоны сухих степей концентрация его достигает 0,5-4,0 мг/л /1/. Для речных вод приводятся следующие содержания фтора: в Бурятской АССР - 0,2-0,6 и в Читинской области - в среднем 0,3 мг/л /3/. По данным тех же авторов, в минеральных водах, включая азотные термы и их охлажденные дериваты, концентрации фтора достигают 7-10, даже 22 мг/л, а в водах щелочных карбонатно-натриевых солоноватых и соленых озер - от 3,0 до 150 мг/л.

Полученные нами результаты базируются на анализах поверхностных и подземных вод Таширского, Калангуй-Жетковского, Усугли-Улунтуйского и Бугутуро-Абагайтуйского флюоритоносных районов. Объем водных проб во всех случаях составлял 1-2 л. Двухлитровые пробы отбирались с целью изучения состава растворенных в воде газов. Изучение речных вод показало следующее.

1. Содержание фтора в водах колеблется от 0,2-до 1,1 мг/л.

2. В относительно крупных реках протяженностью до десятков километров поля флюоритовых месторождений площадью до десятков кв. км не фиксируются повышенными содержаниями элемента.

3. В водах небольших рек, берущих начало в флюоритоносных районах, повышенные концентрации фтора (0,6-0,8 мг/л) отмечаются на всем протяжении их следования через эти районы, а также на первых километрах за пределами последних. В местах впадения в реку мелких ручьев, пересекающих флюоритовые месторождения, содержание фтора достигает 0,9-1,1 мг/л.

При исследовании подземных вод пробы воды отбирались из источников на действующих рудниках, а также на выходе подземных вод на дневную поверхность в виде родников. Представление о фтороносности подземных вод флюоритовых рудников дает помещенная ниже таблица.

Содержание фтора в выходящих на поверхность подземных водах, вытекающих из тектонических зон, к которым приурочены флюоритовые или флюоритсодержащие рудные тела, следующее (в мг/л): Наранское месторождение -4,0; Букукинское - 7,4; Курайское - 2,0; Аба-

Таблица

Рудник	Горизонт, м	Содерж. в воде, мг/л
Абагайтуй	322	6,0
Калантуй	402	3,0
Усугли	700	3,5[x)]

x) Анализ А.К.Данилина

гайтуйское - 3,2. В водах источников Акатуевского района, для которого не характерна флюоритовая минерализация, содержание фтора падает до 0,13-0,93 мг/л /3/.

Характеристика фтороносности тектонических зон может быть получена по анализам льда из наледей в местах выхода на поверхность вод, промывающих тектонические зоны. Предварительное изучение наледей в районе Усуглинского месторождения показало, что в водах тектонических зон, заключающих в себе рудные тела, концентрации фтора (по анализам льда) составляют 1,2-1,6 мг/л. Близкие цифры (1,2 и 1,4 мг/л) получены при исследовании льдов Солонечного месторождения. Анализ льдов, образовавшихся из вод нефлюоритоносных зон Усуглинского рудного поля, дал содержание фтора в пределах 0,2-0,4 мг/л.

На основании полученных данных можно рекомендовать широкое применение гидрохимического метода при поисках флюоритовых месторождений. Отбор проб из наледей в зимнее время года следует особо рекомендовать для засушливых районов, где лишь зимой возможно по наледям обнаружить места выхода источников, приуроченных к перекрытым рыхлыми отложениями тектоническим зонам.

Необходимо также отметить, что в лесостепных и степных ландшафтных условиях при годовом количестве осадков не более 300 мм воды малоперспективных на флюорит тектонических зон нередко содержат фтора до 7-9 мг/л. Это вызвано, по-видимому, медленной циркуляцией вод по трещинам в относительно слабо нарушенных породах с постепенным насыщением их не только фтором, но и другими компонентами, повышением общей минерализации до 700-1000 мг/л и более. Кроме того, повышенное содержание фтора в водах типично и для площадей, обедненных кальцием, с которым фтор образует нерастворимое соединение. Вопросы эти требуют специального иссле-

дования.

Таким образом, при поисках флюоритовых месторождений визуальное маршрутное изучение территории должно дополняться применением шлихового, литогеохимического и гидрохимического методов.

Литература

1. Климов Г.И., Петрова Н.А. Фтор в природных водах Забайкалья.- В кн.: Вопросы геологии Прибайкалья и Забайкалья, вып.3 (5). Чита, 1968.
2. Котов П.А., Климберг О.И. К вопросу методики поисков жильных флюоритовых месторождений. - Изв. ВУЗов, Геология и разведка, 1962, № 12.
3. Шпейзер Г.М., Филиппова Г.Р., Власов Н.А., Ломоносов И.С., Бочкарев П.Ф., Чарчиди Л.А., Бехтерева Н.А., Гольдапель А.Я., Полетаева Л.Б., Демина Н.В. Фтор в некоторых питьевых и минеральных водах Забайкалья и Прибайкалья. - В кн.: Вопросы медицинской географии и курортологии, вып.2. Чита, 1969.
4. Щеглов А.Д. Эндогенная металлогения Западного Забайкалья. Л., "Недра", 1966.

ШЛИХО-ГЕОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А.В.Костерин

В отличие от практикуемого в настоящее время шлихового опробования, изучающего минералогические особенности шлиха, шлихо-геохимия опирается на определение элементного состава шлиха и отдельных минералов.

Основой шлихо-геохимического метода служит следующее.

I. Минералы-концентраторы. Это самые обычные минералы шлиха такие как пироксены, амфиболы, гранаты, турмалины, магнетит, апатит и другие, содержащие повышенные концентрации искомых элементов. Концентрации рудных элементов в минералах-концентраторах ряда месторождений в 50-I00 и даже тысячу раз выше, чем в тех же минералах безрудных участков. Так, турмалины из кварц-касситеритовых жил содержат в I0-50 раз больше олова, а из золоторудных месторождений в 50-I00 раз больше золота, чем акцессорный турмалин из гранитов. В магнетите золоторудных месторождений концентрации золота в I00-I000 раз выше, чем в акцессорном магнетите изверженных пород. Это дает возможность проводить прямые шлихо-геохимические поиски даже при отсутствии в шлихах прямых минералогических поисковых указателей (рудные минералы).

2. Вторичные гидроокисные минералы, главным образом лимониты, являются прекрасными сорбентами, энергично поглощающими из поверхностных вод рудные и сопутствующие им элементы, высвобождающиеся при разрушении месторождений. Поэтому лимониты рудных зон содержат этих элементов в I00-I000 раз больше, чем лимониты пустых участков. Это позволяет проводить прямые шлихо-геохимические поиски месторождений, по солевым ореолам рассеяния.

3. Минералы-индикаторы несут косвенные геохимические "сигналы" искомых месторождений. Чаще всего это обычные минералы шлиха (маг-

нетит, ильменит, амфиболы, циркон, монацит и другие). Они могут и не содержать повышенных концентраций искомых рудных элементов, однако содержание и соотношение главных и второстепенных элементов, изотопный состав и прочие геохимические особенности позволяют отличать те из них, которые попали в шлих в результате разрушения месторождений, от тех, которые не имеют отношения ни к рудному процессу, ни к образованиям, с ним связанным. Так, индикатором карбонатитов или гидротермальных редкометальных проявлений являются отношения Zr:Hf в цирконах шлиха, равные 60–200, и повышенные содержания лантана и церия в монацитах. Малые величины отношения Zr:Hf в цирконах (в пределах 3–20) и пониженные содержания лантана и церия в монацитах характеризуют редкометальные пегматиты. По соотношению изотопов углерода возможно отличить графит, попавший в водотоки из пегматитов, от графита метаморфического – последний обогащен тяжелым изотопом.

Минералы-индикаторы дают возможность проводить поиски рудных месторождений даже и при отсутствии в шлихах каких-либо минералогических или прямых геохимических указателей месторождений.

4. Заключенная в минералах шлиха разнообразная информация о коренном источнике: его типе, иногда размерах, абсолютном возрасте, характере вмещающих и материнских пород, глубине эрозионного среза, температуре и давлении в момент рудоотложения и многое другое – может быть извлечена путем изучения набора и содержания элементов-примесей, изотопных соотношений, характера газово-жидких включений и т.д. Это позволяет проводить всестороннюю оценку выявленных аномалий на самых ранних стадиях поисково-разведочных работ и с минимальными затратами.

Методике проведения шлихо-геохимических поисков присущи свои особенности, отличные от обычного шлихового опробования.

Берутся шлихи из скважин, шурфов и всех других выработок, пройденных с целью выявления вторичных ореолов рассеяния; отмываются шлихи с участков, где не обнаружено аномалий другими геохимическими методами, но которые перспективны с общих геологических позиций. Опробуются участки, где предполагается наличие слепых рудных тел. С целью выделения и изучения отдельных минералов отбор шлихов производится на площадях гидрогеохимических, литохимических и биогеохимических аномалий. Отбираются для геохимического изучения все шлихи, отмываемые при проведении поисково-съемоч-

ных работ. В настоящее время в хранилищах экспедиций и геологических управлений скопились многие тысячи шлиховых проб. Они описаны лишь минералогически. Для извлечения всей остальной информации, во многих случаях самой ценной, необходимо провести геохимическое изучение всех этих шлихов, в первую очередь тех, где рудные минералы не обнаружены.

Из тех двух лотков, которые берутся при обычных шлихо-минералогических поисках, не всегда получается объем шлиха, достаточный для геохимических исследований. В этих случаях необходимо промывать большее количество лотков - до 10 и более, в зависимости от величины тяжелой фракции (а это часто видно уже в процессе отмывки и доводки шлиха).

После промывки пробы элювиально-делювиальных отложений на лотке, отделения легкой фракции в бромоформе и деления шлиха на магнитную, неэлектромагнитную и электромагнитную фракции (последняя иногда делится магнитом Сочнева еще на три части) проводится геохимический анализ (таблица).

Решение вопроса о том, какую из фракций и на какие элементы анализировать, определяется возможным типом искомых рудных месторождений и их примерным минеральным составом. При поисках полиметаллических руд скарнового типа в первую очередь необходимо анализировать на Pb, Zn, Cu, Sn электромагнитную фракцию, где концентрируются гранаты, пироксены, везувианы. Для выявления золоторудных месторождений с рассеянным золотом желательно подвергать геохимическому анализу неэлектромагнитную фракцию, один из главных минералов которой - пирит, является энергичным концентратором золота. Если пирит окислен и замещен гидроокислами железа (что является обычным для зоны гипергенеза равнинных и мелкосопочных ландшафтов), необходимо анализировать на содержание золота в первую очередь среднеэлектромагнитную фракцию, где гидроокислы железа концентрируются в наибольшем количестве.

Из тех шлиховых проб, где спектральным анализом выявлены повышенные содержания рудных элементов или их спутников, необходимо отбирать и исследовать отдельные минералы.

В шлихах обычно содержится до 10 и более минералов. Изучать геохимически каждый из них не представляется возможным, поскольку отборка мономинеральных фракций значительно более трудоемкая и дорогостоящая операция, чем простой минералогический просмотр и

Таблица

Подразделение обычных минералов шлиха по магнитным свойствам

Магнитная фракция	Электромагнитная фракция			Неэлектромагнитная фракция
	сильная	средняя	слабая	
Магнетит Титаномагнетит	Гематит Мартит Ильменит	Гранат Ставролит Темноокрашенные амфиболы и пироксены Ксенотим Лимонит Хромшпинелиды	Эпидот Монацит Светлоокрашенные амфиболы и пироксены Турмалин	Сфен Пирит Флюорит Рутил Циркон Анатаз Апатит Барит

описание. Поэтому в зависимости от поставленных задач для геохимических исследований отбираются лишь возможные минералы-концентраторы и минералы-индикаторы искомых месторождений. Чаще всего это разновидности самых обычных минералов шлиха, отличающиеся от типичных для исследуемого региона по цвету, форме, размерам и т.д.

Отбираются также гидроокислы железа, рудные минералы и их спутники, минералы перспективных ассоциаций.

Результаты шлихо-геохимического опробования наносятся на шлихо-геохимические карты, где отмечаются места взятия шлиха и состав отдельных фракций и минералов. В зависимости от характера проводимых работ строится три типа шлихо-геохимических карт.

Первый тип аналогичен картам литохимическим и дополняется ими. Сюда наносятся результаты спектрального анализа отдельных фракций шлиха (магнитной, электромагнитной и неэлектромагнитной). Эти карты помогают выявить аномалии, пропущенные при литохимических, биогеохимических, гидрогеохимических и обычных шлихо-минералогических поисках.

Второй тип карт отражает результаты геохимического анализа минералов-концентраторов, гидроокисей и минералов-индикаторов. Эти карты строятся с целью поисков месторождений, разбраковки аномалий, выявления определенных типов структур и пород и т.д. Результаты анализа минералов наносятся в виде круга с центром в точке взятия шлиха. Каждому элементу выделен сектор, закрашенный полностью или частично в зависимости от содержания этого элемента в минерале.

Третий тип шлихо-геохимических карт аналогичен второму типу и строится для промышленно-важных минералов и их спутников с целью обнаружения еще не выявленных рудных тел, оконтуривания наиболее перспективных площадей и установления характера коренного источника сноса.

Определение фоновых содержаний элементов в различных фракциях шлиха и отдельных минералах, выделение и оценка шлихо-геохимических аномалий проводится теми же приемами, которые используются при отработке данных литогеохимических поисков.

Шлихо-геохимический метод имеет ряд преимуществ перед практикуемыми в настоящее время геохимическими методами поисков, особенно перед литогеохимией, конкурентом которого она является.

Прежде всего шлихо-геохимический метод отличается чрезвычайно большой чувствительностью, до 10^{-7}% и более. Это достигается тем,

что в процессе взятия шлиха происходит интенсивное обогащение алювиально-делювиальных отложений путем смыва преобладающей глинистой и кварц-полевошпатовой составляющей: от пробы весом 32 кг в распоряжении исследователя остается всего около 2 г тяжелой фракции, т.е. в случае чисто механических ореолов происходит концентрирование до шестнадцати тысяч раз. Дальнейшее обогащение осуществляется путем деления тяжелого остатка по магнитным свойствам минералов на 3 фракции - магнитную, неэлектромагнитную и электромагнитную (последняя иногда делится еще на три части): нужный минерал концентрируется в одной из них. Последующий геохимический анализ отдельных фракций позволяет фиксировать даже очень слабые аномалии. При этом разубоживание рудного шлиха посторонними минералами будет тем меньше, а контрастность аномалий тем выше, чем на большее количество фракций делится шлих. Еще больше увеличивается чувствительность метода при анализе отдельных минералов.

Литогеохимические методы могут выявлять месторождения только тех элементов, концентрации которых в рудах и связанных с ними ореолах относительно высоки, значительно превышают кларк в земной коре. Месторождения обычных петрогенных или распространенных элементов (железные руды, бокситы, апатитовые залежи) методами литогеохимии обычно не выявляются, поскольку они не дают четких и контрастных аномалий. Истолкование же выявленных чрезвычайно затруднено в связи с концентрацией этих элементов в самых разнообразных геологических объектах, совершенно не связанных ни с рудными телами, ни даже с гидротермальной деятельностью. В то же время шлихо-геохимический метод, опираясь на геохимическое изучение магнетита, апатита, граната и других минералов-индикаторов, дает возможность уверенно выявлять эти месторождения, даже и мелкие по масштабам. Шлихо-геохимия не менее надежна и при поисках всех остальных типов рудных месторождений. В частности, широко используя минералы-концентраторы, гидроокиси и минералы-индикаторы, возможно искать руды, главные минералы которых неустойчивы в зоне гипергенеза и окисляются (уранинит, сфалерит, халькопирит).

Информация, об искомом месторождении, получаемая путем металлометрического опробования, весьма ограничена. Это обусловлено, с одной стороны, тем, что металлометрия опирается лишь на спектральный или химический анализы взятых проб, а остальные методы исследований при этом не используются. С другой стороны, в пробах определяются лишь главные элементы рудных тел и некоторые элементы-

-спутники. Многие примеси, весьма характерные для данного типа руд и данного месторождения, но содержащиеся в малых количествах во вторичных литохимических ореолах обычно не выявляются из-за недостаточной чувствительности анализов. Возможности шлихо-геохимического метода в этом отношении значительно больше, можно выделить в чистом виде отдельные минералы шлиха и применить к ним весь комплекс исследований.

К недостаткам шлихо-геохимического метода относится невозможность поисков месторождений, представленных чисто солевыми ореолами, в случае, если сорбенты легки (глинистые частицы, органика) или достаточно тяжелы, но мелки по размерам (< 0,I мм) и лотком не улавливаются. Кроме того, шлихо-геохимическое опробование дороже литохимического.

ОПЫТ ОЦЕНКИ ТЕРРИТОРИИ ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ (на примере Центрально-Алданского золоторудного района)

И.И.Силин, И.С.Бортников, Н.И.Скороходов

В связи с увеличением объема поисково-разведочных работ на рудное золото в хорошо освоенном Центрально-Алданском районе Южной Якутии возник вопрос о выделении перспективных площадей для постановки крупномасштабных поисков.

Существующие прогнозные карты, на наш взгляд, страдают существенным недостатком, поскольку не учитывают в достаточной мере геохимическую информацию и уровень эрозионного среза рудопроявлений. В связи с этим Якутским геологическим управлением было предпринято обобщение и систематизация материалов геохимических исследований по методике, разработанной авторами.

Обобщение геохимической информации производилось на вероятностной основе, при которой за показатель потенциальной рудоносности площади принимается коэффициент минерализации (аномальности) – отношение числа аномальных проб по всем видам поискового опробования к общему числу проб, отобранных в пределах элементарной ячейки (в нашем случае – планшет масштаба 1:5 000).*)

---

*) Представляется более рациональным вести построение карт перспективности без искусственного разделения территории границами планшетов, а на основании вычислений по скользящему окну. Наряду с процентом проб, имеющих повышенные концентрации изучаемых элементов, бывает целесообразно учитывать величины этих концентраций. Такие вопросы были уже рассмотрены более подробно, например в работе: Р.И.Дубов. К применению математических методов при геохимическом картировании и поисках рудных месторождений – В кн.: Ореолы рассеяния месторождений Восточной Сибири. Изд-во "Наука", М., 1971. Прим.ред.

При этом информативная значимость проб принималась в соответствии с "Инструкцией" /2/.

Подсчет значений коэффициентов минерализации различных площадей производился для четырех геохимических групп, выделенных нами с учетом классификации А.Н.Заварицкого /I/.

Для каждой элементарной ячейки вычислялась плотность опробования (коэффициент изученности) - количество проб, приходящееся на один квадратный километр.

Статистически было обнаружено, что между коэффициентами минерализации и изученности имеется экспоненциальная зависимость, когда последний из названных коэффициентов имеет значения от 0,I до I0 проб/км^2, т.е. при масштабе геохимического опробования меньше I:200 000[*]. При более плотном опробовании численные значения коэффициентов минерализации ведут себя как независимые случайные величины.

Параллельно с этими работами был произведен учет всех сведений по геохимической характеристике пород, почв, донных отложений и вод; составлена специализированная геологическая основа, на которой нашли отражение следующие факторы:

а) литологический состав пород и их возраст;

б) крупные и локальные тектонические структуры;

в) состав и последовательность формирования магматических комплексов;

г) пространственное распределение гидротермальной минерализации и других эпигенетических изменений пород;

д) пространственное распределение проявлений россыпной золотоносности;

е) некоторые результаты аэрогеофизических исследований и элементы геоморфологии.

Затем были составлены карты - накладки, где изображены геохимические аномалии по всем изучавшимся элементам (или их группам). Проведенными вычислениями установлено, что коэффициенты минерализации имеют, как правило, бимодальное статистическое распределение.

На картах - накладках были нанесены контуры полей со значениями

---

[*]) Это можно объяснить тем, что с увеличением детальности съемки до некоторого предела участки работ выбираются все более точно на оруденелых площадях. - Прим.ред.

коэффициентов минерализации 84,1%, 97,7% и 99,86%. При этом все известные в районе промышленные месторождения и рудопроявления золота оказались оконтуренными значениями 97,7% и 99,86%.

Критериями для оценки аномальных полей служили элементный состав аномалий в сопоставлении с универсальной вертикальной зональностью эндогенных ореолов /3/, предполагаемый уровень эрозионного среза в пределах аномального поля и приуроченность аномалий к определенным типам пород и разрывным структурам, наличие известных рудопроявлений золота, геофизических аномалий и др.

При оценке относительной достоверности выделения аномальных полей учитывалась плотность опробования и необходимое число измерений, которое определялось как отношение квадрата коэффициента вариации коэффициентов минерализации к квадрату заданной точности его определения. Последняя соответствовала точности определения среднего содержания элементов в пробе - 25-30% /4/.

В результате обобщения и систематизации материалов геохимических исследований в Центрально-Алданском золоторудном районе по коэффициентам минерализации выделено 226 аномальных полей, в том числе аномальных полей золота - 61, халькофильных элементов-67, сидерофильных элементов - 40, редкометальных элементов - 58. Аномальные поля золота группируются в линейные зоны (меридиональные, широтные и более мелкие диагональные), внутри которых выделяются обогащенные узлы. Часть из них совпадает с известными рудными или потенциально рудными полями. Общая площадь аномальных полей золота составляет около 20% всей территории Центрально-Алданского золоторудного района. Менее 10% территории может быть успешно опоисковано с поверхности, но основные перспективы района связаны с обнаружением скрытого оруденения.

Аномальные поля элементов халькофильной группы пространственно обычно совпадают с аномальными полями золота. В случае же их несовпадения аномальные поля халькофильных элементов локализуются в породах, перекрывающих продуктивные горизонты, и, вероятно представляют собой надрудные части эндогенных ореолов золоторудных тел.

Аномальные поля элементов редкометальной группы тяготеют к внутренним областям горстов, а аномальные поля элементов сидерофильной группы обычно располагаются в породах, подстилающих продуктивные горизонты, т.е. приурочены к участкам наиболее эродированным и, очевидно, являются подрудными частями эндогенных оре-

олов золоторудных тел.

Литература

I. Заварицкий А.И. Введение в петрохимию. М., Изд-во АН СССР, I944.

2. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М., "Недра", I965.

3. Овчинников Л.И., Григорян С.В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. - В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, I970.

4. Резников И.Н. Геохимические работы при геологической съемке закрытых рудных районов. - В кн.: Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений, вып.4, М., "Недра", I97I.

ОБРАБОТКА ДАННЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ СЪЕМОК НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РУДНЫХ ПОЛЕЙ

В.Н.Евдокимова, Н.А.Китаев

Медлительность и трудоемкость ручной обработки постоянно растущей геохимической информации становятся тормозом в развитии геохимических методов поисков рудных месторождений. Кроме того, при интерпретации аномалий лишь по некоторым рудным элементам информация, получаемая в результате вещественного анализа, производимого часто на один-два десятка элементов, используется не полностью. В связи с этим большое значение имеет машинная обработка геохимической информации и унификация программ.

В настоящей статье дается математическое обоснование разработанной методики комплексной обработки данных геохимических съемок, которая позволяет проводить анализ полей с одновременной выдачей полиэлементных карт (ассоциаций элементов), моноэлементных ореолов и трендов по каждому элементу.

Эмпирический материал геохимических наблюдений представляется в виде матрицы

$$\{z_{ij}\}, \quad i=\overline{1,n}, \quad j=\overline{1,m},$$

где z_{ij} – концентрации элементов в процентах, n – количество точек наблюдений геохимического поля, m – количество анализируемых элементов. Расположение точек наблюдений определяется относительными координатами (x_i, y_i), $i=\overline{1,n}$.

В связи с большими различиями в уровнях содержаний химических элементов используются не абсолютные концентрации элементов, а отношения их к фоновым содержаниям, то есть коэффициенты аномальности (К.А.) (по А.А.Саукову).

Основным этапом в задаче количественного описания исследуемого геологического пространства является анализ эмпирических данных, заключающийся в выявлении наиболее часто встречающихся сочетаний химических элементов, то есть разбиение всей исследуемой совокупности точек на некоторое количество однородных в некотором смысле классов с последующим их анализом. Отметим, что анализ многомерной выборки с предварительным решением задачи классификации дает большие преимущества по сравнению с раздельным анализом одномерных выборок по элементам, поскольку на его основе возможно формализованное решение задачи количественного описания геологического пространства.

Эмпирический материал разбивается на некоторое количество классов – K , причем первоначальным критерием такого разделения является близость между собой величин коэффициентов аномальности соответствующих элементов в точках, принадлежащих одному классу. Класс (ассоциация) считается выделенным и однородным лишь в том случае, если определенное в нем соотношение между элементами описывает не менее 80–99% общей дисперсии выделенного класса. Соотношения между элементами находятся на основе главным образом процентных соотношений К.А., а также учитываются меры дисперсий К.А. и зависимости между К.А. различных элементов.

Для описания класса используется метод главных компонент, известный в литературе также под названием "разложения Карунена – Лоэва" или в теории случайных функций как разложение по естественным ортогональным составляющим /1/, /2/.

Для разделения исследуемого множества точек на некоторое количество классов с учетом удовлетворения критерию близости в признаковом пространстве точек, принадлежащих одному классу, удобно использовать алгоритм классификации с помощью гиперсфер, предложенный В.Н.Елкиной и Н.Т.Загоруйко /3/. Этот алгоритм довольно прост и удобен в реализации на ЭВМ.

Ниже остановимся на схеме вычислений, построенной на основе указанных положений.

Рассмотрим совокупность A из n точек

$$A\{A_1, A_2, \ldots, A_i, \ldots, A_n\}.$$

Каждая точка характеризуется набором m элементов

$$A_i(z_{i1}, z_{i2}, \ldots, z_{im})$$

и представляет вектор в m – мерном пространстве признаков. Рассматриваемое множество точек необходимо разделить на некоторое количество классов K .

Для всего множества точек A находим центр тяжести

$$C_0(y_{01}, y_{02}, \dots, y_{0j}, \dots, y_{0m}),$$

его координаты y_{0j} равны

$$y_{0j} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} z_{ij}, \quad j=\overline{1,m} .$$

Максимальное из расстояний (от точки C_0 до всех точек A_i, $i=\overline{1,m}$) принимается за радиус гиперсферы с центром в точке C_0.

$$R_0 = \max_i R(A_0, A_i) = \max_i \left\{ \sqrt{\sum_{j=1}^{m} |y_{0j} - z_{ij}|^2} \right\} .$$

В эту гиперсферу попадают все точки A_i, $i=\overline{1,n}$.

Зададим радиус $R_1 = R_0 - \Delta R$.

Из любой точки A_i например из $A_i(z_{i1}, z_{i2}, \dots z_{ij}, \dots, z_{im})$, этим радиусом опишем гиперсферу $S_{R_1}(A_i)$.

Выделим множество $B^{(0)}$ точек, попадающих в эту гиперсферу:

$$B^{(0)}\left\{A_i R(A_i, A_i) \le R_1\right\} .$$

Вычислим центр тяжести $C_1(y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1j}, \dots, y_{1m})$ множества точек $B^{(0)}$:

$$y_{1j} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n_1} z_{ij},$$

где n_1 – количество точек множества $B^{(0)}$.

Из точки C_1 тем же радиусом R_1 опишем гиперсферу $S_{R_1}(C_1)$ и выделим множество $B^{(1)}$

$$B^{(1)}\left\{A_i, R(C_1, A_i) \le R_1\right\} .$$

Снова находим центр тяжести $C_2(y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2j}, \dots, y_{2n})$,

$$y_{2j} = \frac{1}{n_2}\sum_{i=1}^{n_2} z_{ij}$$

и выделяем множество $B^{(2)}$.

Процедура смещения центра тяжести C_e гиперсферы $S_R(C_e)$ в центр тяжести C_{e+1} повторяется до тех пор, пока координаты центров тяжести C_e и C_{e+1} не совпадут.

Совокупность точек, попавших внутрь такой "остановившейся" гиперсферы, будет принадлежать классу $Q^{\alpha}(\alpha = \overline{1,K})$

Класс $Q^{\alpha}(\alpha=\overline{1,K})$ представляет собой систему векторов-точек

$$A_p^{\alpha}(z_{p1}^{\alpha}, z_{p2}^{\alpha}, \ldots, z_{pj}^{\alpha}, \ldots, z_{pm}^{\alpha}),$$

$$p=\overline{1,n_1} \qquad (n_1 < n)$$

где n_1 – количество точек из совокупности A, попавших в класс Q^{α}.

Используя метод главных компонент, можно найти такие случайные коэффициенты $T_1^h, \ldots, T_n^h$ и неслучайные вектора

$$U_1(U_{11}, U_{12}, \ldots, U_{1j}, \ldots, U_{1m})$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$U_e(U_{e1}, U_{e2}, \ldots, U_{ej}, \ldots, U_{em})$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$U_h(U_{h1}, U_{h2}, \ldots, U_{hj}, \ldots, U_{hm}),$$

что выполняется

$$\sum_{i=1}^{n_1}\sum_{j=1}^{m}\left(z_{ij}^{\alpha} - \sum_{h} T_i^h U_{hj}\right)^2 = \min,\ h \le m.$$

Вектора $U_1, \ldots U_h$ являются собственными векторами ковариационной матрицы

$$\left\{\sigma_{j,j+\tau}\right\},\ \tau=\overline{1,m},\ j=\overline{1,m},$$

$$\sigma^2_{j,j+\tau} = \sum_{i=1}^{n_1} \frac{z_{ij}^2 \cdot z_{i,j+k}^2}{n_1}$$

Мерой значимости каждого из составляющих векторов или их вероятностной мерой являются собственные значения $\rho_1^{(\ell)}, \ldots, \rho_e^{(\ell)}, \ldots, \rho_h^{(\ell)}$ ковариационной матрицы $\left\{\sigma^2_{j,j+k}\right\}$, нормированные относительно их суммы.

За критерий успешности классификации принимается выполнение следующего условия: для каждого из классов должно существовать

одно основное соотношение или один такой собственный вектор U_e, что для него

$$C_2 \leq \rho_e^{(k)} \leq C_1, \qquad (I)$$

где C_1, C_2 – наперед заданные числа, близкие к единице.

Вероятностная мера j -ой координаты (элемента) $\rho_j^{(k)}$ вычисляется по формуле

$$\rho_j^{(k)} = \frac{U_{ej}}{\sum_{j=1}^{m} U_{ej}} \quad (j = \overline{1,m}).$$

Будем говорить, что класс выделился по координате γ_1 и имеет наименование этой координаты, если

$$\rho_{\gamma_1}^{(k)} > C_3 , \qquad (2)$$

где C_3 – наперед заданное число. Класс выделился по координатам $\gamma_1, \gamma_2, \ldots, \gamma$, если для каждой из них выполняется соотношение (2).

Если в выделенном классе условие (I) не выполняется, то изменяется радиус R_1 , с помощью которого был выделен этот класс, и процедура классификации повторяется, пока условие (I) не будет выполнено.

Аналогично применяются процедуры выделения и описания классов для остальных точек.

Конечным результатом изучения эмпирического материала является построение поля ассоциаций по главным элементам. Для построения поля распределения ассоциаций элементов необходимо иметь поля распределения моноэлементных ореолов соответствующих главных элементов, то есть необходимо по имеющимся содержаниям элементов в точках провести интерполяцию содержаний элементов в промежуточные точки.

Рассмотрим постановку задачи интерполяции, то есть получения поля распределения некоторого элемента z .

На плоскости (x, y) имеется конечная совокупность точек, в которых известны значения z_i некоторого элемента z . Требуется по множеству заданных в n точках значений z_i найти значения элемента z в любой точке области интерполяции D . Координаты каждой точки (x_i , y_i), $i = \overline{1,n}$ удовлетворяют неравенствам

$$x_{min} \le x_i \le x_{max}$$

$$y_{min} \le y_i \le y_{max}$$

где $x_{max}, x_{min}, y_{max}, y_{min}$ – соответственно наибольшие и наименьшие значения ординат точек на заданной площади.

Областью интерполяции будет тогда некоторая область $\mathcal{D}$, ограниченная контуром

$$C\,(x = x_{max},\ x = x_{min},\ y = y_{max},\ y = y_{min}).$$

Рудные поля имеют сложное геолого-структурное строение. Соответственно и моноэлементные ореолы – это, как всегда, резко изменчивые поля; они, как правило, неоднородны и неизотропны.

Для изотропных случайных полей был предложен довольно простой метод интерполяции /4/. Затем этот метод был существенно дополнен /5/. Особенностью этого метода является то, что для его применения не нужно предварительное изучение полей, их типизация.

Единственным допущением в предлагаемом методе является предположение об однородности в некоторой, ограниченной для каждой интерполированной точки, области, равной примерно шагу интерполяции. Если известно направление геологических структур, то можно предположить, что рассматриваемые моноэлементные поля изотропны в этом направлении. Для этого случая нами введена процедура учета направления изотропности.

Рассмотрим метод интерполяции для изотропных, случайных полей, а затем и для полей, изотропных в некотором направлении.

Будем рассматривать z как случайную функцию, образующую случайное поле в двухмерном пространстве.

Пусть рассматриваемое случайное поле является изотропным. Известно, что для изотропного поля корреляционная функция $B(A_1,A_2) = B(R)$, определяющая структуру поля, зависит только от расстояния R между двумя точками поля и не зависит от направления вектора, соединяющего любые две точки A_1 и A_2.

Заменяем область интерполяции $\mathcal{D}$ на другую сеточную область $\mathcal{D}'$, граница которой образуется из границы области $\mathcal{D}$ и тех точек области $\mathcal{D}$, в которых значения элемента z заданы, и строим сеточную функцию z_h (здесь h шаг сетки) (рис.I).

Одним из методов построения функции z_h является решение системы, одно из уравнений которой имеет вид

$$z(x,y) = \left(\sqrt{2}\left[z(x+h,y) + z(x-h,y) + z(x,y-h) + z(x,y+h)\right] + z(x+h,y+h) + z(x-h,y+h) + z(x-h,y-h) + z(x+h,y-h)\right) / 4(1+\sqrt{2}) .$$

Присутствие множителя $\sqrt{2}$ в правой части формулы (3) объясняется тем, что четыре из восьми точек, участвующих в нахождении значения z в интерполируемой точке (x, y), удалены от последней на расстояние, в $\sqrt{2}$ раз большее, чем другие четыре. В случае же однородного поля степень зависимости точек друг от друга прямо пропорциональна расстоянию между ними.

Таким образом, сеточная функция z_h во внутренних точках области D' равняется средне арифметическому соседних значений, а на границе D' совпадает с функцией z. Если таких внутренних точек N, то отыскание функции z в этих точках сводится к решению N линейных уравнений вида (3).

Наиболее простым методом решения этой системы является метод итераций, заключающийся в последовательном вычислении средних арифметических. Метод этот предполагает, что искомая функция z_h задана своими значениями на границе D. Вначале зададим во всех внутренних узлах сеточной области систему произвольных чисел и примем ее за начальное приближение функции z_h. Будем повторять этот процесс, причем каждый раз в состав средне арифметических будут входить неизменными z, заданные на границе области D'. Процесс обладает сходимостью, то есть после выполнения некоторого количества итераций вновь получаемые во внутренних узлах значения z практически не отличаются от значений, полученных при предыдущей итерации.

Заменим сеточную область D' на область D'' (рис.I). Контурные точки области D'' оказывают значительное влияние на ее внутренние точки. Поскольку контурные точки области D'' неизвестны, то приходится значения функции z на контуре задавать произвольными числами, но для уменьшения их влияния на внутренние точки области D'' введем функцию веса $p(x,y)$. Причем вводим $p(x,y)$ так, чтобы при нахождении значений $z(x,y)$ во внутренних точках области D'' влияние значений функции z, заданной на границе

области $\mathcal{D}''$ оказалось как можно меньше. Это достигается тем, что точкам, где произведены замеры параметра, придаются веса близкие к единице, а точкам, где таких замеров нет, и на контуре области-близкие к нулю (5).

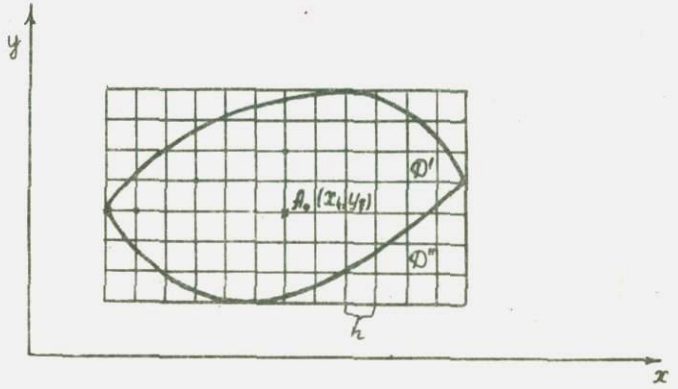


Рис.I.

Заданная совокупность чисел для значений веса $p(x,y)$ в каждом внутреннем узле области $\mathcal{D}''$ и на границе будет представлять собой первое приближение функции $p(x,y)$. Последующие приближения находятся как средние арифметические.

$$p(x,y) = (\sqrt{2}\,[p(x+h,y) + p(x,y+h) + p(x,y-h) + p(x-h,y)] + p(x+h,y+h) + p(x-h,y+h) + p(x-h,y-h) + p(x+h,y-h))\,/\,4(1+\sqrt{2}). \qquad (4)$$

Эта формула аналогична формуле (3) для $z(x,y)$.

Уравнение (4) является одним из уравнений системы линейных уравнений. Решение $(p_1, p_2, \ldots, p_N)$ этой системы будем использовать при отыскании в этих узлах области $\mathcal{D}''$ значений функции z по формуле

$$z(x,y) = (\sqrt{2}\,[p(x-h,y)z(x+h,y) + p(x,y+h)z(x,y+h) + p(x-h,y)z(x-h,y) + p(x,y-h)z(x,y-h) + p(x+h,y+h)z(x+h,y+h) + p(x-h,y+h)z(x-h,y+h) +$$

$$+ p(x-h,y-h)z(x-h,y-h) + p(x+h,y-h)\,z(x+h,y-h))\,/$$

$$(\sqrt{2}\,[p(x+h,y) + p(x,y+h) + p(x-h,y) + p(x,y-h)] +$$

$$+ p(x+h,y+h) + p(x-h,y+h) + p(x-h,y-h) + p(x+h,y-h)).$$

(5)

Алгоритм интерполяции реализуется на ЭВМ совместным решением систем уравнений вида (4) и (5). Для такой системы каждое последующее решение в узле (η , ξ) области $\mathcal{D}''$ имеет вид

$$z_{\eta\xi} = (\sqrt{2}\,[P_{\eta+1,\xi}\,z_{\eta+1,\xi} + P_{\eta,\xi+1}z_{\eta,\xi+1} + P_{\eta-1,\xi}\,z_{\eta-1,\xi} + P_{\eta,\xi-1}\,z_{\eta,\xi-1}] +$$

$$+ P_{\eta+1,\xi+1}\,z_{\eta+1,\xi+1} + P_{\eta-1,\xi+1}z_{\eta-1,\xi+1} + P_{\eta-1,\xi-1}\,z_{\eta-1,\xi-1} +$$

$$+ P_{\eta+1,\xi-1}\,z_{\eta+1,\xi-1})/(\sqrt{2}\,[P_{\eta+1,\xi} + P_{\eta,\xi+1} + P_{\eta-1,\xi} + P_{\eta,\xi-1}] + \qquad (6)$$

$$+ P_{\eta+1,\xi+1} + P_{\eta-1,\xi+1} + P_{\eta-1,\xi-1} + P_{\eta+1,\xi-1}).$$

$$P_{\eta,\xi} = (\sqrt{2}\,[P_{\eta+1,\xi} + P_{\eta,\xi+1} + P_{\eta-1,\xi} + P_{\eta,\xi-1}] + P_{\eta+1,\xi+1} + P_{\eta-1,\xi+1} +$$

$$+ P_{\eta-1,\xi-1} + P_{\eta+1,\xi-1})/4(1+\sqrt{2}) \qquad \eta,\xi = 1,2,\ldots,N \qquad (7)$$

Процесс нахождения средневзвешенных проводится до тех пор, пока для каждой точки последующее решение не будет отличаться от предыдущего на некоторую наперед заданную величину.

Пусть дана случайная функция $z(x,y)$, которая образует изотропное в некотором направлении поле, то есть в каждой интерполируемой точке известно направление геологических структур (рис. 2). Это означает, что влияние $z(x,y)$ в узлах $A_1 - A_8$ на значения z (x , y) в узле A_0 , расположенных под прямым углом к направлению $\gamma_{\eta\xi}$,заданному в точке A_0 , будет незначительным или же совсем не будет сказываться, по сравнению с точками, расположенными на указанном направлении. Поэтому в формуле (6) каждый предыдущий член приобретает дополнительно множитель v ,зависящий от величины

$$\frac{\gamma(A_0) + \gamma(A_k)}{2} - \gamma(A_0, A_k),$$

где k =1,2,3,4,5,6,7,8.

$\varphi(A_k)$ – угол между осью x и направлением процесса в точке A_k, $\varphi(A_0, A_k)$ – угол между осью y и прямой, соединяющей точки A_0 и A_k. То есть, интерполяция производится с учетом направления геологических структур (направление рудных тел). На искомую точку в сильной степени будут оказывать влияние окружающие ее точки, расположенные вдоль этих структур, и в очень малой степени – точки, расположенные вкрест их.

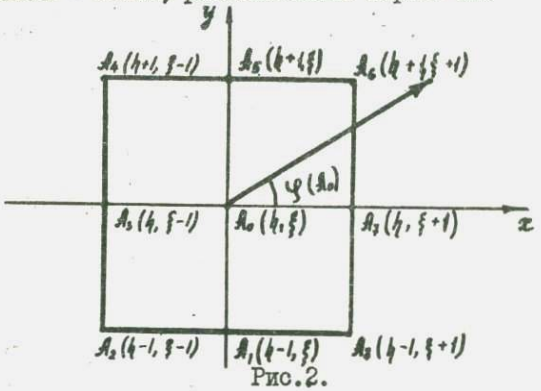


Рис.2.

С учетом этого формула (6) имеет вид

$$Z_{\eta\xi} = \Big(\sqrt{2}\,\big[P_{\eta+1,\xi}\,v_{\eta+1,\xi}\,Z_{\eta+1,\xi} + P_{\eta,\xi+1}\,v_{\eta,\xi+1}\,Z_{\eta,\xi+1} + P_{\eta-1,\xi}\,Z_{\eta-1,\xi}\,v_{\eta-1,\xi} + P_{\eta,\xi-1}\,v_{\eta,\xi-1}\,Z_{\eta,\xi-1}\big] + P_{\eta+1,\xi+1}\,Z_{\eta+1,\xi+1}\,v_{\eta+1,\xi+1} + P_{\eta-1,\xi+1}\,v_{\eta-1,\xi+1}\,Z_{\eta-1,\xi+1} + P_{\eta-1,\xi-1}\,v_{\eta-1,\xi-1}\,Z_{\eta-1,\xi-1} + P_{\eta+1,\xi-1}\,v_{\eta+1,\xi-1}\,Z_{\eta+1,\xi-1}\Big)\Big/\Big(\sqrt{2}\,\big[P_{\eta+1,\xi}\,v_{\eta+1,\xi} + P_{\eta,\xi+1}\,v_{\eta,\xi+1} + P_{\eta-1,\xi}\,v_{\eta-1,\xi} + P_{\eta,\xi-1}\,v_{\eta-1,\xi}\big] + P_{\eta+1,\xi+1}\,v_{\eta+1,\xi+1} + P_{\eta-1,\xi+1}\,v_{\eta-1,\xi+1} + P_{\eta-1,\xi-1}\,v_{\eta-1,\xi-1} + P_{\eta+1,\xi-1}\,v_{\eta+1,\xi-1}\Big),$$

$$\eta, \xi = 1,2,\ldots,N$$

Алгоритм интерполяции в этом случае реализуется на ЭВМ совместным решением систем уравнений (7) и (8).

Функцию $v\left(\frac{\varphi(A_0)+\varphi(A_k)}{2} - \varphi(A_0, A_k)\right)$ задаем эмпирическим путем в виде гладкой кривой, имеющей максимумы при

$$\frac{\varphi(A_0)-\varphi(A_k)}{2} - \varphi(A_0, A_k) = 0, \pm\pi, \pm 2\pi$$

и минимумы при

$$\frac{\gamma(A_0)-\gamma(A_k)}{2}-\gamma(A_0,A_k)=\frac{\pi}{2},=\frac{3}{2}\pi,=\frac{5}{2}\pi.$$

Таким образом, для совместного решения систем (7) и (8) необходимо знать направление геологических структур в каждой интерполируемой точке. Так как направление структур задано только в конечной совокупности точек, то нужно провести интерполяцию угла направления структуры в N внутренних точках области D''. Отыскиваем γ в каждой точке поля совместным решением систем уравнений (9) и (7):

$$\gamma_{\eta,\xi}=(\sqrt{2}[\gamma_{\eta+1,\xi}P_{\eta+1,\xi}+\gamma_{\eta,\xi+1}P_{\eta,\xi+1}+\gamma_{\eta-1,\xi}P_{\eta-1,\xi}+\gamma_{\eta,\xi-1}P_{\eta,\xi-1}]+\gamma_{\eta+1,\xi+1}P_{\eta+1,\xi+1}+\gamma_{\eta-1,\xi+1}P_{\eta-1,\xi+1}+\gamma_{\eta-1,\xi-1}P_{\eta-1,\xi-1}+\gamma_{\eta+1,\xi-1}P_{\eta+1,\xi-1})/(\sqrt{2}[P_{\eta+1,\xi}+P_{\eta,\xi+1}+P_{\eta-1,\xi}+P_{\eta,\xi-1}]+P_{\eta+1,\xi+1}+P_{\eta-1,\xi+1}+P_{\eta-1,\xi-1}+P_{\eta+1,\xi-1}) \tag{9}$$

$$\eta,\xi=1,2,\ldots,N.$$

Таким образом, задача построения распределения какого-либо элемента z осуществляется в несколько этапов.

Сначала путем решения системы (9) методом итераций находим значения углов направления процесса в области D''. Полученную совокупность значений используем для вычисления элемента z в D''.

Далее, решая совместно системы (7) и (8) методом итераций, находим значение элемента z в D''.

По полученным моноэлементным полям можно получить тренды главных элементов.

Метод разложения полей на составляющие, так называемый "тренд-анализ", с последующей оценкой каждого составляющего поля широко применяется при решении различных геологических задач. Существуют различные способы разложения полей на составляющие, а именно: разложение по произвольно выбранной системе функций, по целым алгебраическим полиномам, по тригонометрическим полиномам, по сферическим функциям и т.д. /7/, /8/. При решении практических задач разложение полей на составляющие представляет собой задачу разложения эмпирически определяемых функций по некоторой системе оптимальных функций, для которой скорость сходимости разложения была бы в среднем максимальной по сравнению со скоростью сходимости всякого другого разложения.

Этому требованию удовлетворяет метод главных компонент /9/. Смысл использования метода главных компонент для получения трендов моноэлементных полей распределения геохимических параметров состоит в оптимальной аппроксимации исходного поля, нахождении таких составляющих полей, которые являются наиболее устойчивыми. Кроме того, метод обладает тем положительным свойством, что дает возможность находить такие составляющие, которые дают наибольший вклад в дисперсию процесса.

Итак, будем рассматривать поле распределения некоторого химического элемента Z как совокупность случайных функций $Z_{\rho,\xi}$, $\rho = \overline{1,m_1}$, $\xi = \overline{1,n_1}$. Здесь n_1 – количество рядов (изменение поля по оси y), m_1 – количество наблюдений в ряду (изменение поля по оси x).

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{21} & \dots & Z_{\rho 1} & \dots & Z_{m,1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Z_{1\xi} & Z_{2\xi} & \dots & Z_{\rho\xi} & \dots & Z_{m,\xi} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Z_{1,\xi+\tau} & Z_{2,\xi+\tau} & \dots & Z_{\rho,\xi+\tau} & \dots & Z_{m,\xi+\tau} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Z_{1n_1} & Z_{2n_1} & \dots & Z_{\rho n_1} & \dots & Z_{m,n_1} \end{bmatrix} \qquad (10)$$

Ставится задача: найти разложение любого ряда из совокупности n_1 рядов по некоторым функциям $U_h(x)$ с коэффициентами $T_h(y)$ $(h = 1,2,\dots,e)$

Неизвестные функции $U_h(x)$ и $T_h(y)$ определяются, исходя из условия минимума суммы квадратов ошибок разложения во всех точках заданной системы временных рядов, то есть при фиксированном h имеем:

$$\sum_{\rho} \sum_{\xi} \left[Z'_{\rho\xi} - \sum_{h} U_{h\rho} T_{h\xi} \right]^2 = \min .$$

Функции $U_h(x)$, используемые для нахождения тренда, являются собственными векторами корреляционной матрицы $\{z_{\xi,\xi+\tau}\}$ ($\tau = \overline{1,n}$, $\xi = \overline{1,n_1}$). Корреляционные моменты $z_{\xi,\xi+\tau}$ вычисляются от-

носительно строк матрицы (IO). Каждое трендовое значение поля – $z^{T}_{h\xi}$ определяется по формуле

$$z^{T}_{h\xi} = \sum_{h} u_{h\xi} T_{h\xi} .$$

Дисперсия суммы составляющих полей (тренда) определяется суммой h собственных значений использованных векторов u. Собственные значения нормированы относительно суммы собственных значений всех векторов корреляционной матрицы.

Нетрудно заметить, что нахождение тренда проводится по полю, полученному в результате интерполяции. А для лучшего приближения поля нами было проведено предварительное логарифмирование данных исходной матрицы поля (IO).

После получения классификации и полей распределения моноэлементных ореолов получение конечного результата исследования эмпирического материала – поля ассоциации элементов, не составляет принципиальных трудностей.

Итак, после интерполяции в каждом узле (h , ξ)области D'' $h=\overline{1,m_1}$, $\xi=\overline{1,n_1}$ получен вектор

$$Z'_{h\xi}(z_{\gamma_1}, z_{\gamma_2}, \ldots, z_{\gamma_q}), \quad (q \le m).$$

Как указано выше, класс Q^{α} определяется центром гиперсферы $C^{\alpha}(C^{\alpha}_{\gamma_1}, C^{\alpha}_{\gamma_2}, \ldots, C^{\alpha}_{\gamma_q})$ и соответствующим радиусом R^{α}. $Z'_{\xi_s}(z_{\gamma_1}, z_{\gamma_2}, \ldots, z_{\gamma_k})$ принадлежит к классу Q^{α}, если расстояние этой точки до центра гиперсферы C^{α} является меньше соответствующего радиуса R^{α}, то есть

$$R(C^{\alpha}, Z) < R^{\alpha}.$$

Расстояние от центра гиперсферы до точки определяется по формуле

$$R(C^{\alpha}, Z) = \sqrt{(C^{\alpha}_{\gamma} - z_{\gamma_1})^2 + (C^{\alpha}_{\gamma_1} - z_{\gamma_2})^2 + \ldots + (C_{\gamma} - z_{\gamma})^2}$$

Определение принадлежности узлов области D'' к классу должно проводиться в той же последовательности, в которой были получены классы. Поле ассоциаций получается после определения принадлежности всех N точек поля элемента Z к одному из полученных классов (ассоциаций).

Возможны и другие построения алгоритма, определяющего принадлежность некоторой точки к классу, например алгоритмы, приведен-

ные в /I/, /IO/.

Разработанная методика помогает в обработке геохимической информации с получением необходимых геологу карт геохимических полей на ЭВМ - моноэлементных ореолов и их трендов, а также полиэлементных ореолов (ассоциаций химических элементов).

Описанная методика применима для обработки данных геохимических съемок по первичным и вторичным ореолам, потокам рассеяния, а также при изучении распределения петрогенных элементов в рудных полях*).

Литература

I. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ. М., Изд-во физ.-мат.лит-ры. I963.

2. Багров Н.А. Аналитическое представление метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих. Труды ЦИП, вып.74. I959.

3. Распознавание в социологических исследованиях. Новосибирск, I968.

4. Польстер Л.А.,Зайдель А.Р. Использование ЭВМ для решения некоторых геологических задач. М.,"Недра",I965.

5. Лохматов Г.И.,Евдокимова В.Н., Алаев Г.Т.,Кирчанова Н.Н.,Ривкинд О.Л.Математический метод палеотектонического анализа платформенных структур с применением ЭВМ. Труды Вычислительного центра ИГУ, выпуск 3. Иркутск,I969.

6. Гихман И.И., Скороход А.В. Теория случайных процессов. М., "Наука",I97I.

7. Крамбейн М., Грейбилл Ф. Статистические модели в геологии.М., "Мир",I969.

8. Ахиезер Н.И., Лекции по теории аппроксимации. М.,"Наука",I965.

9. Вертлиб А.Б. *Линейный статистический анализ геофизических полей и процессов.*Автореферат дисс. Иркутск,I970.

IO.Уилкс С. Математическая статистика.М.,"Наука",I967.

*) *Прим.редактора: разумеется, это возможно только в случаях когда для решаемой задачи соблюдаются те условия, которые положены в основу этой методики (группирование точек A_i в классы, отображаемые в пространстве признаков такими областями, которые можно заключить в непересекающиеся гиперсферы, и т.п.). Этот вопрос требует специального изучения.*

ОЦЕНКА ОШИБОК ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ И ДОСТОВЕРНОСТИ ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ

А.И.Бурдэ

При проектировании геохимических поисков часто встает задача сравнения возможностей отдельных методов и их модификаций, а при проведении поисков и особенно при обработке результатов-задача оценки достоверности получаемых результатов. Качественные методы сравнения, как правило, не дают убедительного ответа, в связи с чем имеет смысл применение математических методов для получения количественных характеристик.

Возможности отдельных методов могут быть охарактеризованы величинами ошибок, присущими каждому методу*). В соответствии с приемами статистики можно оценивать ошибку первого рода-вероятность выявить ложный объект и ошибку второго рода - вероятность пропустить объект (истинный или ложный). Однако при сравнении возможностей методов рационально использовать не самые ошибки, а величины, дополняющие их до единицы, поскольку эти величины в большей степени отражают задачу поисков. Величина R_{ij}, дополняющая до единицы ошибку первого рода, представляет вероятность вы-

*) Более строго говоря, при оценке методов исследований должна учитываться также их информативность и эффективность с учетом стоимости получаемой информации. Такое рассмотрение было освещено ранее:

1. Р.И.Дубов. К теории оценивания информативности и эффективности методов исследований.-В кн.:Ежегодник - 1969 СибГЕОХИ.Иркутск,1970.

2. Р.И.Дубов. Классификация геологических объектов по ожидаемой полезности и возможности ее применения при поисковых работах. Вестник "Математические методы в геологии".Изд-во Львовского университета,1973.

3. R.I.Dubov. A statistical approach to the classification of geochemical anomalies.-In: Geochemical Exploration 1972. The Institution of Mining and Metallurgy. London, 1972. Прим.ред.

явить истинный объект, а величина O_{ij} , дополняющая до единицы ошибку второго рода, - вероятность выявить объект (истинный или ложный).

Величины R_{ij} и O_{ij} определяются по эмпирическим данным в эталонном районе для каждой ландшафтно-геохимической зоны или области. Они равны

$$R_{ij} = \sum_{(m)} S_j m / (\sum_{(m)} S_j m + \sum_{(e)} S_j e), \quad (I)$$

$$Q_{ij} = \sum_{(m)} S_j m / \sum_{(i)} S_i, \quad (2)$$

где $\sum_{(m)} S_j m$ - суммарные размеры или количество истинных объектов (ореолов или потоков, связанных с месторождением полезного ископаемого B_i), выявленных в районе с помощью метода A_j, $\sum_{e} S_j e$ - суммарные размеры или количество ложных объектов, выявленных методом A_j, $\sum_{(i)} S_i$ -суммарные размеры объектов, или их количество, которое должно быть от известных в районе месторождений полезного ископаемого B_i.

Предлагаемые характеристики не позволяют оценить ошибку комплекса методов, т.к. не являются аддитивными. Кроме того, представляется желательным совместить в одном показателе оценку ошибок первого и второго рода.

Показатель, удовлетворяющий этим пожеланиям, может быть получен с помощью методов теории информации. Обозначим:

A_j -метод или модификацию данного метода (например, оконтуривание перспективного участка при разных граничных содержаниях);

B_i -полезное ископаемое, являющееся объектом поисков;

$P_i^{об}$ -вероятность наличия объекта в районе или в элементарной ячейке рассматриваемой площади. Необходимо соблюдение равенства $\sum_i P_i^{об} = I$, в связи с чем в систему должна включаться вероятность отсутствия всех объектов в районе $P^{об}(\bar{B}_i)$;

$P_{ij}(x)$- вероятность обнаружения объекта B_i методом A_j при количестве поисковых усилий (проб и т.п.), равном x (способы определения см./I/);

Q_{ij} - вероятность выявления объекта B_i методом A_j в условиях района, характеризующая возможности метода A_j. Определяется по формуле (I);

$q_j = \sum_{(i)} P_i^{об} Q_{ij}$ или $q_j(x) = \sum_{(i)} P_i^{об} P_{ij}(x)$ -вероятность полу-

чения положительного результата при применении метода A_j ;

$q_{ij} = P_i^{об} Q_{ij} / q_j$ или $q_{ij}(x) = P_i^{об} P_{ij}(x) / q_j(x)$ -вероятность, что положительный результат по методу A_j получен от объекта B_i . Эта величина может быть определена и независимо как вероятность выявления истинного объекта R_{ij} ,определяемая по формуле (2).

На основе применения теории информации можно получить следующие меры эффективности метода и его общей ошибки, а также общей ошибки и меры эффективности их комплексов:

а) информационная мера априорных возможностей комплекса методов

$$J_{ij} = \sum_{(ij)} P_i^{об} Q_{ij} \cdot \log (R_{ij} / P_i^{об}) ;$$

б) информационная мера эффективности комплекса методов в зависимости от количества поисковых усилий

$$J_{ij}(x) = \sum_{(ij)} P_i^{об} P_{ij}(x) \cdot \log [q_{ij}(x) / P_i^{об}] ;$$

в) информационная мера общей априорной ошибки комплекса методов $O_{ij} = \sum_{(ij)} P_i^{об} \cdot Q_{ij} \cdot \log (1/R_{ij})$;

г) информационная мера общей ошибки комплекса методов с учетом количества поисковых усилий

$$O_{ij}(x) = \sum_{(ij)} P_i^{об} P_{ij}(x) \cdot \log [1/q_{ij}(x)] .$$

Перечисленные характеристики позволяют получить достаточно полное представление о возможностях отдельных методов и их ошибках. Проиллюстрируем это несколькими примерами: в таблице I приведены сведения о различных методах поисков в двух районах, а в таблице 2 показано изменение характеристик в зависимости от количества поисковых усилий.

Оценка достоверности получаемых при поисках результатов может быть подсчитана по формуле Байеса. Подробно определение по этой формуле описано в /I/. Приведем здесь лишь самую формулу. Будем считать, что в районе применяется комплекс методов $\{A_j\}$,причем в результате поисков методы от A_1 до A_k дают отрицательный результат $\tilde{x}_1$(в районе нет перспективных участков),а методы от A_{k+1} до A_n дали положительный результат $\tilde{x}_2$(в районе есть перспектив-

Таблица I

Характеристики методов поисков

Методы	Характеристики					
	R_{ij}	Q_{ij}	J_{ij}	$J_{ij}(x)$	O_{ij}	$O_{ij}(x)$
	Район Сихотэ-Алиня					
Литогеохимический по вторичным ореолам						
олова	0,829	0,813	0,219	0,091	0,017	0,124
свинца	0,909	0,940	0,264	0,214	0,010	0,052
Гидрогеохимический						
по сульфат-иону с содержанием						
2-6 мг/л	0,635	0,871	0,199	0,101	0,044	0,021
более 6 мг/л	0,900	0,095				
по сумме металлов с содержанием						
1-3 мкг/л	0,710	0,894	0,225	0,034	0,035	0,091
более 3 мкг/л	1,000	0,632				
	Район Киргизии					
Литогеохимический по вторичным ореолам						
свинец	0,900	0,750	0,104	–	0,019	–
цинк	0,910	0,650	0,069	–	0,022	–
молибден	0,550	0,650	0,004	–	0,005	–
золото	1,000	0,500	0,000	–	0,000	–
бериллий	0,540	0,800	0,008	–	0,009	–
Шлиховые поиски по потокам						
свинец	0,900	0,400	0,120	–	0,014	–
золото	1,000	0,700	0,005	–	0,005	–

ный участок). Тогда достоверность этой совокупности сведений относительно наличия перспективного участка может быть подсчитана по формуле

$$P_{pi}(x_2/\bar{T}) = \frac{P_i^{об}(1-P_{i1})(1-P_{i2})\dots(1-P_{ik})\cdot P_{i(k+1)}\dots P_{in}}{(1-P_i^{об})R_{i1}\cdot R_{i2}\cdot R_{i3}\cdot\dots\cdot R_{ik}(1-R_{i(k+1)})\dots(1-R_{in})} +$$

$$+ P_i^{об}(1-P_{i1})(1-P_{i2})\dots(1-P_{ik})P_{i(k+1)}\dots P_{in},$$

где $P_i^{об}$ –вероятность наличия перспективных участков в районе поисков, а P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, ...P_{in} – вероятности обнаружения перспективных участков методами A_1, A_2, A_3,... при применением количестве поисковых усилий.

Таблица 2

Изменение характеристик методов поисков олова в Сихотэ-Алине в зависимости от плотности наблюдений

Плотность наблюдений	Методы поисков					
	визуальный	магниторазведка	метод ЕП	литогеохимический	гидрогеохимический	шлиховой
Информационная мера эффективности $J_{ij}(x)$						
м-ба I:50 000	-0,030	-0,032	-0,025	0,190	0,084	0,173
вдвое плотнее	0,070	-0,028	-0,022	0,395	0,215	0,256
Информационная мера общей ошибки метода $O_{ij}(x)$						
м-ба I:50 000	0,122	0,089	0,056	0,282	0,241	0,115
вдвое плотнее	0,161	0,132	0,084	0,244	0,204	0,058

Примечание: при вычислении рассматривался случай поисков перспективного участка минимального размера.

Достоверность полученного комплекса сведений в отношении отсутствия перспективных участков будет равна

$$P_{pi}(x_1/\tilde{T}) = 1 - P_{pi}(x_2/\tilde{T}).$$

Использование перечисленных характеристик не ограничивается задачей сравнения методов и оценки достоверности их результатов. Все перечисленные величины могут быть использованы в следующих целях:

I. Выбор граничных содержаний, по которым можно и следует оконтуривать перспективные участки и аномалии. В этом отношении все указанные величины имеют ряд преимуществ перед определением аномальных содержаний по статистическим правилам, так как точнее отражают задачу поисков (обнаружить истинную аномалию и отбраковать ложную), позволяют учитывать количество поисковых условий и применять методы теории статистических решений.

2. Количественные характеристики горизонтов опробования с целью выбора наиболее представительного горизонта. Для этой цели наиболее пригодны характеристики R_{ij} и Q_{ij}

3. Количественное описание ландшафтно-геохимических особенностей различных районов и различных горизонтов опробования в них и возможность количественного сравнения таких особенностей.

4. Сравнение возможностей комплексов методов с целью выбора - наиболее рационального в условиях района.

Литература

I. Бурдэ А.И. Принципы и методика определения рационального комплекса исследований. Методические указания по геологической съемке масштаба I:50 000. Вып.I3.Л., "Недра",I972.

СОЗДАНИЕ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ - НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ НАДЕЖНОСТИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Е.В.Кравченко, С.В.Лонцих

Как известно, геохимия опирается на огромный аналитический материал, получаемый из химических, спектральных, рентгеноспектральных и других лабораторий. При этом точность, надежность анализов определяется, как правило, по их воспроизводимости в одной лаборатории.

Однако уже первые создатели международных геохимических стандартных образцов горных пород-гранита G-I и диабаза W-I /I/ получили противоречивый цифровой материал из различных лабораторий по содержаниям одних и тех же компонентов. Это вызвало, с одной стороны, разочарование и неудовлетворение среди аналитиков, петрохимиков и геохимиков, а с другой стороны, показало со всей определенностью и категоричностью необходимость создания стандартных образцов поликомпонентных минеральных веществ.

Хотя сейчас среди геохимиков, петрологов, химиков и физиков-аналитиков трудно встретить специалиста, который бы не понимал всей научной важности и большого народно-хозяйственного значения создания геохимических стандартов-эталонов, мы приведем примеры расхождений в оценках содержаний некоторых породообразующих элементов (табл.I) и микроэлементов (табл.2). Они получены нами в процессе создания первых отечественных стандартных образцов горных пород, в частности альбитизированного гранита СГ-I, внесенного в Государственный реестр мер и измерительных приборов под № 265-72 (раздел "Стандартные образцы") /2/.

Непротиворечивость результатов состава геохимических объектов может быть достигнута только с помощью стандартов-эталонов сос-

Таблица I

Оценки содержаний некоторых петрогенных элементов в стандартном образце гранита

Компоненты	Число лабораторий	Размах содерж. (вес.%)		$\bar{\bar{X}}$	M
		min	max		
SiO_2	35	68,00	75,00	73,36	73,I9
Al_2O_3	37	I2,82	I5,30	I3,84	I3,86
FeO	26	0,64	2,27	I,4I	I,46
MgO	29	0,037	0,34	0,054	0,I5

$\bar{\bar{X}}$ - аттестованные величины

M - медианные значения содержаний

Таблица 2

Оценка содержаний микроэлементов в стандартном образце гранита

Элементы	Число лабораторий	Размах содержаний (в г/т)		M
		min	max	
Ba	7	20	240	40
Li_2O	I2	250	950	820
V	3	2,7	56	9
Sn	6	8	24	I3,2
Rb_2O	I4	870	I700	I250
Co	7	I	I5	5
Ni	8	4	25	8

Примечание. В таблице приведены первые данные лабораторий.

тава минеральных веществ. Очевидно, что такие стандарты необходимы и для разработки прецизионных методов анализа вещества и для обеспечения надежности и эффективности геохимических исследований.

При этом следует иметь ввиду, что сам процесс создания эталонов состава для геохимии представляет собой сложную многопрофильную проблему.

Первоначальным этапом в решении проблемы является детальное критическое обсуждение в кругу специалистов необходимой номенклатуры геохимических объектов, подлежащих стандартизации. Эта номенклатура должна учитывать не только интересы собственно геохимии, но и потребности аналитической службы. В частности, сюда должен войти весь ряд горных пород от ультракислых до ультраосновных, в том числе ряд генетических разновидностей гранитов, базальтов, породы щелочного ряда и породы, представляющие особый интерес для поисковой геологии (лабрадориты, чарнокиты, кимберлиты и др.). Несомненно, номенклатура должна охватывать главных представителей осадочных и метаморфических комплексов, метасоматиты и ряд рудных образований в том числе редкометальных, золоторудных и др. В общей сложности предполагается создание порядка 40–50 эталонов.

Особый интерес для прикладной геохимии представляет изготовление стандартов для изучения геохимических ореолов. Здесь еще много неясного. В связи со сложностью проблемы, большим разнообразием типов месторождений и ореолов, видимо, пока придется ограничиться эталонами для отдельных, наиболее важных и распространенных объектов этого вида. Данный вопрос нуждается в тщательном изучении и широком обсуждении, и мы ограничиваемся пока самой его постановкой.

Следует заметить, что у создателей имеющихся международных стандартных образцов не было единообразия в методике отбора и обработки проб. Это отрицательно сказывается на состоянии всей проблемы и, в конечном итоге, вносит значительные затруднения при интерпретации результатов измерений, при внедрении в аналитическую службу образцов, изготовленных разными исследователями. Впервые общие требования к стандартным образцам веществ и материалов были сформулированы в СССР (ГОСТ 14263–69), а затем дополнены нами в процессе работы над такими образцами.

В общем виде эти требования сводятся к следующему.

1. Аттестации должны подвергаться, за некоторыми исключениями, достаточно гомогенные поликомпонентные минеральные вещества.

2. Отбор материала для образцов должен производиться в достаточном количестве (не менее 1т) и таким образом, чтобы была обеспечена возможность дублирования. Отобранный материал не должен содержать ксенолитов и посторонних включений. Кроме того, должны

быть учтены меры предосторожности от загрязнений при отборе, упаковке и транспортировке проб.

3. Материал, отбираемый для изготовления стандартных образцов, должен быть подвергнут модальному анализу, т.е. исследованиям всей совокупности петрохимических, минералогических и других экспериментальных методов, позволяющих получать информацию о минеральном составе горных пород, содержания в них главных и малых элементов и микропримесей, а также о вариациях этих веществ.

Возможностям и преимуществам такого подхода с иллюстрацией на конкретных примерах посвящены наши специальные работы /3,4/.

Важнейшим требованием является оценка однородности аттестуемого материала по химическому и гранулометрическому составу. К сожалению, при геохимических исследованиях вопросу тщательного усреднения материала, рассылаемого на анализы, доказательствам достаточной однородности не уделяется должного внимания, в результате чего на анализы может быть направлен разнородный материал. Важность этого фактора для создания геохимических эталонов рассмотрена в работах /5,6/.

Только после выполнения всех вышеперечисленных требований и условий порошковый материал может быть направлен на аттестационные измерения в качестве стандартного образца, с его последующим внедрением в аналитическую службу.

Не возникает сомнений, что обеспечение аналитики необходимым набором стандартных образцов, созданных с соблюдением всех требований на уровне современных научно-технических возможностей, будет способствовать дальнейшему развитию геохимических, космохимических и других исследований на более высокой качественной ступени. Особое место при этом отводится метрологическим разработкам прецизионных методов анализа.

Литература

1. Fairbairn H.W. et al. A co-operative investigation of precision and accuracy in chemical, spectrochemical and molal analysis of silicate rocks. U.S.Survey Bull., No 980, 1951.

2. Лонцих С.В., Шафринский Ю.С., Кравченко Е.В. Разработка способов аттестации стандартных образцов состава горных пород. М.,

ВНТИЦ, I972.
3. Кравченко Е.В., Лонцих С.В., Шафринский Ю.С. О возможностях и преимуществах модальных измерений при создании стандартных образцов минеральных веществ. Материалы научно-технической конференции СФ ВНИИФТРИ "Метрология и стандартизация на службе народного хозяйства". Иркутск, I972.
4. Кравченко Е.В., Лонцих С.В. Предварительная аттестация стандартного образца редкометального пегматита с помощью модального анализа. Материалы научно-технической конференции СФ ВНИИФТРИ. Иркутск, I972.
5. Кусакина Л.В., Кравченко Е.В.Лонцих С.В. Методика исследования и оценки однородности многокомпонентных минеральных веществ. Материалы научно-технической конференции СФ ВНИИФТРИ "Метрология и стандартизация на службе народного хозяйства". Иркутск, I972.
6. Кусакина Л.В., Лонцих С.В. Оценка первичной и остаточной неоднородности порошковых материалов. Материалы научно-технической конференции СФ ВНИИФТРИ "Метрология и стандартизация на службе народного хозяйства". Иркутск, I972.

МЕТОДИКА МОДАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ СОЗДАНИЯ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ПОЛИКОМПОНЕНТНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

Е.В.Кравченко

Как нами уже отмечалось, в процессе создания стандартных образцов поликомпонентных минеральных веществ (горных пород, руд и др.) большую роль играют модальные измерения, включающие изучение всей совокупности свойств (петрографических, минералогических, химических и физических) материала аттестуемого образца /I/. Во времени модальные измерения опережают момент усреднения порошкового материала, намечая круг элементов для оценки однородности этого материала. В принципе модальные измерения разбиваются на два этапа и соответственно подразделяются на 2 вида.

I. Модальные петрографические измерения.

Этот вид измерений проводится по горным породам до их дробления и дает представление о составе главных компонентов, их природной дисперсии, законе распределения и среднем составе аттестуемой породы. Заключается он в отборе сколков из кускового материала первичной пробы с последующим изготовлением и изучением прозрачных шлифов. Отбор сколков осуществляется случайным образом из расчета не менее I0 штук на I00 кг гомогенной и 20 штук - гетерогенной породы. В любом случае совокупность должна состоять не менее, чем из 50 наблюдений по одному признаку (одной разновидности) аттестуемого вещества. Практика показывает, что для пород резко гетерогенных (пегматиты, метасоматизированные граниты и др.) объект наблюдения (площадь шлифа), кроме того, должен вдвое - втрое превышать обычный, если мы хотим получить наиболее достоверные сведения о среднем составе главных минеральных компонентов /2/.

Дальнейшие исследования по этому виду измерений заключаются

в межлабораторном анализе и статистической обработке полученной информации. Конечным результатом измерений являются модальные аттестованные величины, сопоставляемые и интерпретируемые с аттестованными характеристиками стандартного образца /2,3/. В общем виде результаты модального анализа представляются в виде таблицы такой формы:

Результаты модального анализа

Минерал	К-во определений	К-во лабораторий	Пределы содержаний	Закон распределения	Среднее межлаборатор. $\bar{\bar{x}}$	Довер. интер. $\varepsilon\pm$	Дисперсия S^2	Относ квадр. ошибка δ, %
I	2	3	4	5	6	7	8	9

$$S^2 = \frac{\sum_{1}^{m}(\bar{x}-\bar{\bar{x}})^2}{m-1}$$

($\bar{x}$ – среднее внутрилабораторное

$\bar{\bar{x}}$ – " межлабораторное

m – число лабораторий);

$$\delta = \frac{\sqrt{S^2}}{\bar{\bar{x}}} \times 100;$$

Доверительный интервал $\varepsilon = \frac{t_{\alpha,P}\sqrt{S^2}}{\sqrt{m}}$ ($t_{\alpha,P}$ – коэффициент Стьюдента).

2. Модальные минералогические измерения

Ввиду ограниченных возможностей петрографические измерения не могут дать сведений о качественном и тем более количественном составе акцессорных (второстепенных) минералов, концентрирующих значительную массу микропримесей. В связи с этим минералогические исследования являются важнейшей частью модальных измерений. Смысл этих измерений сводится к наиболее точному определению количеств акцессорных минералов. Решение этой задачи возможно только путем максимального учета всех возможных потерь минералов, происходящих в процессе подготовки материала к минералогическому анализу. Кроме того, минералогический анализ определяет средние количества породообразующих минералов в стандартном образце (что сопоставляется и интерпретируется с данными петрографического анализа) и намечает элементы по оценке однородности аттестуемого материала. Осуществляется этот этап исследований следующим образом.

После отбора заготовок для петрографического анализа каменный материал подвергается последовательному дроблению на щековой и валковой дробилках. При этом для избежания переизмельчения весь материал после дробления на щеках пропускается через сито – I мм и только после этого поступает на валки с зазором .2 мм. Материал, не прошедший после валкового дробления через сито I мм, возвращается на валки с зазором I мм и вновь пропускается через сито I мм. В итоге вся масса стандартизируемого вещества имеет размер – Iмм. Дальнейшая подготовка заключается в усреднении (с оценкой однородности) и отквартовывании части материала (I/2, I/3 и т.д.) для минералогических измерений. Оставшаяся однозначная часть материала подвергается истиранию, усреднению и аттестационным исследованиям. Отквартованный материал разделяется на 2 части: одна идет на модальный минералогический анализ, другая – на отбор мономинеральных фракций породообразующих и акцессорных минералов.

Сущность минералогического анализа сводится к получению легкой и тяжелой фракций и их количественно-минералогическому изучению. При этом предлагается выделение этих фракций двумя способами. По одному из них концентраты выделяются из всей массы раздробленного вещества, в другом – после расситовки материала по 4 классам крупности: < I мм, < 0,5 мм, < 0,25 мм и < 0,I мм. Известно, что в процессе получения концентратов возникают неучтенные потери за счет попадания минералов в промпродукты и шламы, причем в зависимости от физических свойств, форм нахождения и других причин эти потери будут разными для различных минералов. Поэтому в обоих случаях изучению и обсчету подвергаются промпродукты и шламы, а "истинные" содержания минералов будут выражены как сумма в концентрате и отходах в пересчете на абсолютные количества (Г/Т). Как и при петрографических измерениях, обязательным условием является межлабораторный цикл измерений, результаты которых представляются в виде таблицы упоминавшейся формы.

Отобранные мономинеральные фракции подвергаются различного вида анализам.

Для главных породообразующих минералов (кварц, полевые шпаты, слюды, пироксены, оливины) нет необходимости привлекать аналитику, так как хорошие совпадения получаются при теоретических расчетах. Что касается элементов-примесей, сконцентрированных преимущественно в акцессорной форме, модальный минералогический анализ может дать либо более точные содержания элементов, либо быть

своеобразным контролем аттестованных величин даже с учетом возможных грубых ошибок при определении количеств минералов и анализе их состава /3,4/. Кроме того, минералогический анализ позволяет выделить круг элементов, аттестация которых нецелесообразна ввиду слишком большой неоднородности их распределений и чрезвычайно низких концентраций.

По данным петрографических и минералогических модальных измерений определяются средний состав стандартного образца и количества элементов в нем, сопоставляемые с аттестованными содержаниями.

Дальнейшее развитие работ в этом направлении, кроме уточнения и контроля химического состава минеральных веществ, может способствовать рациональному решению некоторых технологических проблем процессов обогащения.

Изучение и измерения физических свойств аттестуемого минерального вещества осуществляются как до истирания и усреднения порошкового материала (по материалу для модального минералогического анализа), так и по материалу самого стандартного образца. Здесь изучаются некоторые физические константы (влажность,удельные и объемные веса, гранулометрический спектр и другие), а также возможные фазовые и структурные превращения первичного материала в процессе его истирания.

Литература

I. Кравченко Е.В. и др. Основные требования к доаттестационной подготовке проб стандартных образцов горных пород. Материалы научно-технической конференции СФ ВНИИФТРИ ЦНТИ. Иркутск,1972.
2. Кравченко Е.В., Лонцих С.В. Предварительная аттестация стандартного образца редкометального пегматита с помощью модального анализа. Материалы научно-технической конференции СФ ВНИИФТРИ ЦНТИ. Иркутск,1972.
3. Кравченко Е.В. и др. О возможностях и преимуществах модальных измерений при создании стандартных образцов минеральных веществ Материалы научно-технической конференции СФ ВНИИФТРИ, ЦНТИ. Иркутск,1972.
4. Шоу Д.М. Геохимия микроэлементов кристаллических пород. М., "Недра", 1969.

Р Е Ш Е Н И Е

II сессии Сибирской секции Междуведомственного совета по проблеме "Научные основы геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых"

На II сессии Сибирской секции СПМ, состоявшейся в г.Улан-Удэ II-I3 апреля I972 г., были рассмотрены практические результаты и современное состояние теории литогеохимической съемки по вторичным ореолам рассеяния в условиях Сибири. В работе сессии приняли участие более I00 представителей территориальных геологических управлений, научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений Сибири, Дальнего Востока, Северо-Востока СССР, а также г.г.Москвы и Ленинграда, в том числе:территориальных геологических управлений - Бурятского, Дальневосточного, Западно-Сибирского, Иркутского, Камчатского, Красноярского, Новосибирского, Приморского,Северо-Восточного, Тюменского, Читинского, Якутского,экспедиций - Березовской, Сосновской, научно-исследовательских институтов - Всесоюзного института минерального сырья (ВИМС),Всесоюзного геологического института (ВСЕГЕИ), Дальневосточного геологического института ДВНЦ АН СССР, Дальневосточного филиала ВИМС МГ СССР, Забайкальского комплексного научно-исследовательского института МГ СССР, Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) АН СССР, Института минералогии и геохимии редких элементов (ИМГРЭ),Отдела геологии Бурятского филиала СО АН СССР, Института земной коры СО АН СССР,Института геохимии СО АН СССР, Хабаровского комплексного научно-исследовательского института ДВНЦ АН СССР, ВУЗов - Иркутского государственного университета, Иркутского политехнического института, Ленинградского горного Института,Ленинградского государственного университета, Московского государственного университета.

Анализ состояния литогеохимической съемки по вторичным ореолам на сессии проводился, в основном, в следующих трех аспектах:

I) практические результаты литогеохимической съемки по вторичным ореолам рассеяния на территории Сибири и пути повышения ее эффективности;

2) вопросы теории (типы вторичных ореолов рассеяния и процессы их формирования в условиях Сибири);

3) районирование Сибири по условиям ведения геохимических методов поисков рудных месторождений.

По этим вопросам было заслушано и обсуждено 58 докладов и сообщений. Заседания проходили под знаком обеспечения большей глубинности литогеохимической съемки и увеличения ее роли в повышении эффективности поисков и разведки месторождений полезных ископаемых на Востоке страны, что прямо соответствует одной из задач, поставленных Директивами XXIУ съезда КПСС.

П-я сессия явилась крупным геохимическим совещанием, на котором проведен анализ эффективности одного из самых массовых поисковых методов в условиях Сибири.

Из докладов представителей производственных организаций, заслушанных на сессии, следует, что литогеохимическая съемка по вторичным ореолам рассеяния в настоящее время в больших объемах применяется во всех геологических управлениях Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока СССР. Площади литогеохимических съемок по вторичным ореолам систематически расширяются. В Бурятском, Иркутском, Дальневосточном и Читинском управлениях все геологосъемочные, поисковые и разведочные партии проводят литогеохимическую съемку по вторичным ореолам. Ежегодно на территории Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока СССР отбирается и анализируется около I,5 млн.металлометрических проб. В течение последнего десятилетия на этой площади при решащей роли литогеохимической съемки по вторичным ореолам выявлено около 50 месторождений и более 500 рудопроявлений различных элементов.

В ряде управлений в последние годы проведены опытно-методические и тематические работы по дальнейшему совершенствованию литогеохимической съемки по вторичным ореолам, изучению склоновых отложений, крупномасштабному ландшафтно-геохимическому районированию территорий по условиям ведения геохимических поисков (Бурятское, Иркутское, Читинское геологические управления). Центральные геохимические партии Иркутского, Красноярского, Читинского и Бурятского управлений в последние годы провели обобщение и анализ результатов основной части всех выполненных литогеохимических съемок. Р Забайкалье и Иркутской области геохимиками-производственниками установлено широкое развитие закрытых вторичных ореолов. Работниками ЦЛХЛ Бурятского геологического управления выявлено широкое распространение в расчлененном среднегорье южной части Бурятии эоловых и эолово-делювиальных отложений, перекрывающих

вторичные ореолы и осложняющих проведение литогеохимических съемок.

Отмечавшееся в решении I-ой сессии Сибирской секции СПМ отставание Северо-Восточного территориального геологического управления в применении геохимических методов поисков успешно преодолевается. В СВТУ создана Центральная геохимическая партия. Организована, под руководством Института геологии и геофизики СО АН СССР, и провела свою первую сессию подсекция нефти и газа.

В научных организациях в последнее время расширены научно-исследовательские работы по изучению особенностей формирования вторичных ореолов в условиях Сибири. В Институте геохимии СО АН СССР, ВИМС, ДВНЦ проведены исследования по теории вторичных ореолов. Работами В.В.Поликарпочкина (Институт геохимии СО АН СССР), Ю.В.Шаркова (ВИМС) и др. обоснована первенствующая роль дефлюкционно-солифлюкционных процессов в образовании вторичных ореолов в условиях Сибири. Большое значение для понимания процессов формирования вторичных ореолов имеют опубликованные в последние годы работы геоморфологической школы Московского государственного университета (С.С.Воскресенского, Ю.Г.Симонова и др.). В указанных работах впервые теоретически обосновывается положение о широком развитии в условиях Сибири закрытых вторичных ореолов и необходимости изменения в связи с этим существующей методики литогеохимической съемки. Заметное влияние на повышение эффективности геохимических поисков оказала активная деятельность созданного в 1967 г. Междуведомственного Совета АН СССР и МГ СССР по проблеме: "Научные основы геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых".

Вместе с тем, несмотря на существенные сдвиги в разработке теории вторичных ореолов и положительные практические результаты поисков по вторичным ореолам, достигнутые в ряде территориальных геологических управлений, при выполнении литогеохимических съемок все еще имеется немало недостатков и упущений.

Во многих производственных организациях по-прежнему совершенно недостаточно учитываются природные условия ведения литогеохимической съемки по вторичным ореолам; глубина отбора проб часто не дифференцируется в зависимости от генетического типа склоновых отложений и ландшафтно-геохимической обстановки изучаемых площадей и нередко является недостаточной для выявления закрытых ореолов; слабо учитываются особенности ореолов при интерпретации ре-

зультатов литогеохимических съемок.

При ежегодном расширении площадей литогеохимической съемки и увеличении ее объемов надежность опоискования, качество и эффективность геохимических работ возрастают медленно. В производственных организациях, за немногим исключением, мало внимания уделяется специализации и повышению теоретического уровня исполнителей геохимических поисков. Рост объемов литогеохимического опробования далеко не всегда обосновывается и практически повсеместно приводит к перегрузке лабораторий и задержке производства анализов.

В производственных организациях по-прежнему допускается большой разрыв во времени между отбором и анализом проб, что обесценивает литогеохимические съемки, резко снижает их эффективность. Во многих геологических управлениях все еще очень слабо организована разбраковка и оценка геохимических аномалий, что приводит к накоплению количества неизученных вторичных ореолов. В настоящее время количество неизученных потенциально-рудных вторичных ореолов различных элементов, выявленных на территории Сибири, превышает многие сотни.

Недостаточна чувствительность и точность спектрального анализа на ряд элементов; нарушается обязательное число дискретных цифр для обозначения результатов анализа и необоснованно сокращается перечень анализируемых элементов; отстает внедрение новых приборов и методов в анализ. В некоторых геологических управлениях (Красноярское, Дальневосточное, Северо-Восточное и др.) не проводятся опытно-методические и тематические работы по изучению типов вторичных ореолов и выяснению эффективности геохимических методов поисков в различных ландшафтно-геохимических условиях.

Узким местом в применении геохимических методов поисков и разведки, в частности литогеохимической съемки по вторичным ореолам рассеяния, становится обработка данных опробования, в том числе с применением электронных вычислительных машин, особенно в части оперативности обработки и более полного использования поисковой геохимической информации.

Освоение геологами-производственниками современных достижений в теории вторичных ореолов осложняется отсутствием соответствующих сводных работ, монографий и учебников. На Центральных геохимических курсах при Министерстве геологии РСФСР слабо освещаются особенности формирования вторичных ореолов в условиях Сибири.

Серьезным недостатком действующей Инструкции по геохимическим методам поисков (1965) является то, что в ней очень слабо учтены сложные и специфические условия ведения геохимических поисков в Сибири. Слабо освещается в печати опыт передовых производственных организаций по эффективному проведению литогеохимической съемки по вторичным ореолам. Специалисты-геохимики, выпускаемые ВУЗами, остаются, как правило, слабо подготовленными в области теории и практики геохимических методов поисков. Назрела необходимость организации в некоторых ВУЗах Сибири специальности "Геохимические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых".

Сессия рекомендует:

1. Обратить внимание производственных геологических организаций на необходимость проведения литогеохимических съемок по вторичным ореолам рассеяния с учетом представлений о типах и особенностях вторичных ореолов рассеяния в условиях Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока СССР, в частности представления о широком развитии закрытых ореолов.

Для уточнения типов ореолов и методики литогеохимических съемок в конкретных регионах рекомендовать проведение центральными геохимическими партиями специальных тематических и опытно-методических работ, учитывая при этом методические подходы, изложенные в докладах представителей Института геохимии СО АН СССР, МГУ, ВИМС, ИГЕМ, ЛГИ, Бурятского, Иркутского и Западно-Сибирского ГУ.

2. В связи с тем, что к настоящему времени по вопросу формирования вторичных ореолов в условиях Сибири получены новые данные, слабо освещенные в печати и неизвестные широкому кругу геологов-производственников, Институту геохимии СО АН СССР совместно с ВИМСом и МГУ провести в 1972-73 г.г. и последующие годы соответствующие курсы лекций и консультации для геологов, последовательно во всех геологических управлениях Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока СССР или по кустовому принципу.

3. Институту геохимии СО АН СССР, совместно с другими научными организациями СССР, предусмотреть в плане изданий на ближайшие годы выпуск специальных монографий, посвященных теории формирования вторичных ореолов рассеяния в условиях Сибири.

Усилить публикацию статей по теории вторичных ореолов рассеяния, применению и эффективности литогеохимических съемок в перио-

дических изданиях.

4. Обратить внимание научно-исследовательских институтов на необходимость усиления исследований по теории формирования вторичных ореолов в условиях многолетней мерзлоты.

5. Усилить работы в области разработки методики разбраковки геохимических аномалий и оперативного обобщения практических результатов их оценки в геохимических партиях территориальных геологических управлений.

6. При проведении научно-исследовательских и опытно-методических работ считать необходимым комплексное изучение вторичных ореолов рассеяния с учетом участия в их формировании гидрохимических и биогенных процессов, учитывая возможное применение и преимущества гидро- и биогеохимических методов поисков в условиях закрытых ореолов.

7. Учитывая положительный опыт проведения гидрогеохимических поисков в Сибири и, вместе с тем, нерешенность ряда методических вопросов считать целесообразным рассмотреть на одной из следующих сессий Сибирской секции состояние и перспективы внедрения в практику данного метода.

8. Просить Межведомственный Совет создать комиссию по гидрогеохимическому методу поисков с целью разработки мероприятий по усилению внедрения его в практику поисковых работ.

9. Принять меры для увеличения чувствительности, точности эмиссионного спектрального анализа, внедрения новых методов и техники, общего повышения качества аналитических работ при геохимических методах поисков и разведки в территориальных геологических управлениях.

Поручить аналитической комиссии Сибирской секции СГПМ разработать необходимые меры для содействия решению указанных задач со стороны СГПМ.

10. Обратить внимание научно-исследовательских организаций на необходимость усиления разработки математических методов обработки данных геохимической информации с применением электронных вычислительных машин, имея в виду в первую очередь обеспечение оперативности обработки и более полное использование геохимической информации.

Принять меры для отбора лучших методов обработки и внедрения их в практику массовых поисковых и разведочных геохимических работ. Поручить Математической комиссии Сибирской секции подгото-

вить план мероприятий СГПМ по улучшению математической обработки данных массовой геохимической информации.

II. Просить Министерство геологии СССР и Министерство геологии РСФСР рассмотреть возможность разработки конструкторскими бюро, начиная с 1973 г., и организации серийного выпуска следующего оборудования для литогеохимических и других видов геохимических съемок:

а) легких ручных пробоотборников коловорот-шнекового типа, позволяющих отбирать пробы с глубины 0,5-1,5 м;

б) малогабаритных печей для озоления биогеохимических проб (в двух вариантах - с озолением на дровах и использованием электронагревателя);

в) металлометрических молотков, портативных наборов сит для обработки проб;

г) стандартизированных пакетов и ящиков для транспортировки и хранения металлометрических проб.

12. Просить центральные геохимические партии территориальных геологических управлений Сибири довести до сведения всех курируемых партий материалы (сборник тезисов) и решение П-ой сессии Сибирской секции СГПМ. Работа по ознакомлению с этими материалами должна быть организована таким образом, чтобы каждый производственник, занимающийся геохимическими поисками, начиная уже с текущего полевого сезона мог внедрить в производство рекомендации по повышению эффективности литогеохимической съемки по вторичным ореолам.

13. Просить Бурятское геологическое управление и Институт геохимии СО АН СССР организовать опубликование сборников статей по материалам сессии.

14. Настоящее решение довести до сведения всех заинтересованных организаций.

15. Провести весной 1973 г. в г. Иркутске заседание Бюро Сибирской секции совместно с представителями ЦГ ЮГ территориальных управлений по рассмотрению результатов выполнения настоящего решения.

16. Выразить благодарность Бурятскому геологическому управлению за хорошую организацию подготовки и проведения работы сессии.

17. Следующую, Ш сессию Сибирской секции провести в IУ квартале 1973г. или I квартале 1974 г. в г. Чите на тему: "Геохимические

методы поисков золоторудных месторождений".

Принято единогласно на заключительном заседании сессии.

г.Улан-Удэ

13 апреля 1972 г.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ. . . . . .

I. ПРИМЕНЕНИЕ ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

АФАНАСЬЕВ М.Н. Практические результаты литогеохимических поисков по вторичным ореолам в Красноярском крае и Тувинской АССР. 6

ЗАВОРОТНЫХ И.Р., МАЗУР Э.В., ВОЛОСИКОВ Р.Н. Результаты литогеохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния в Читинской области. 13

ЧИБИСОВ Н.П., МАКАРОВ В.Н., ЛАПАЕВ Г.П., ТИМЧЕНКО В.А. Поиски по вторичным геохимическим ореолам рассеяния в Якутской АССР. 16

ПАВЛЮЧЕНКО Л.А., ПЛЯШКЕВИЧ Л.Н., ФИЛИМОНОВ М.В. Применение геохимических методов поисков в Северо-Восточном территориальном геологическом управлении. 21

II. ОСОБЕННОСТИ ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ И ПРОЦЕССЫ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

ПОЛИКАРПОЧКИН В.В., ПОЛЯНИЦЫН А.В. Математическая модель диффузионно-дефлюкционных механических ореолов рассеяния 28

ВОСКРЕСЕНСКИЙ С.С. Распределение обломочного материала в склоновых образованиях задернованных склонов. 46

ЖБАНОВ Э.Ф., БЕЛОГОЛОВОВ В.Ф. К вопросу о роли относительной денудационной устойчивости пород в образовании механических ореолов на пологих склонах. 57

РЕЗАНОВ И.Н., БАЗАРОВ Д.Б. Особенности строения склоновых отложений Селенгинского среднегорья и условия ведения литогеохимических поисков. 68

НЕСТЕРЕНКО Г.В., ОСИНЦЕВ С.Р., ВОРОТНИКОВ Б.А., ФИШЕР В.Л. Вторичные ореолы и потоки рассеяния Итакинского золоторудного поля. 75

КАРБАИНОВ А.А., БАРСКИЙ В.Ф., ПИГАРЕВ Е.С. Особенности вторичных ореолов молибдена на склонах Малого Хамар-Дабана. . 90

ХРУСТАЛЕВ В.И., КУЗЬМИН И.Я. Особенности формирования механических ореолов олова на Витимском плоскогорье. . . . 95
СОРОКИНА Е.П. Открытые вторичные ореолы свинцово-цинкового месторождения и их связь с фациальной структурой склонового чехла (на примере Центрального Забайкалья). 98
МАКАРОВ В.Н., ЧИБИСОВ Н.П. Формирование вторичных ореолов рассеяния в условиях многолетней мерзлоты (бассейн верхнего течения р.Индигирки). 106
НОВИКОВ Ю.А. Основные типы остаточных вторичных ореолов рассеяния Кузнецкого Алатау (западный склон) и условия их образования. 117
УСОВА С.Л., ЖБАНОВ Э.Ф., ВИНОГРАДОВ Б.К. Особенности вторичных ореолов боратового месторождения в условиях таежно-мерзлотного ландшафта Сибири. 123
МИЛЛЕР А.Д., ФИШЕР Э.И. О правильных значениях констант нестойкости хлоридных и бромидных комплексов золота (III), важных для геохимии. 129

Ш. ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ РАБОТ

ЗАВОРОТНЫХ И.Р. Анализ плотности сети геохимической съемки при площадных поисках масштаба 1:50 000. 132
БУРДЭ А.И., БАБУРИН А.В., МАСЮТИНА С.А. О плотности сетей геохимических поисков. 136
САВВА Ю.Я. Литогеохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния в условиях юго-запада Тувинской АССР. 142
ЖБАНОВ Э.Ф., ТАРАСОВ В.Н., РЕЗАНОВ И.Н. О разрешающей возможности геологической съемки по элювиально-делювиальным высыпкам. 149
ЛАРИОНОВ Г.Ф., САМОХВАЛОВА Т.М. Роль солевых ореолов рассеяния при геохимических поисках глубокозалегающего оруденения в условиях Центрального Казахстана (на примере Атасуйского района). 159
АНТРОПОВА Л.В. Использование металлоорганических форм нахождения элементов для поисков глубокозалегающих рудных зон и месторождений. 169
ГОЛЬДБЕРГ И.С. Метод частичного извлечения металлов и опыт практического использования его для поисков глубокозалегающих рудных тел. 176

ШУБЕНИН Н.Г. Эффективность гидрогеохимических поисков в Красноярском крае. 183
КОТОВ П.А., КОТОВА А.И. О различиях в методике проведения поисковых работ на флюорит в Забайкалье в зависимости от ландшафтных условий. 195
КОСТЕРИН А.В. Шлихо-геохимический метод поисков рудных месторождений. 201
СИЛИН И.И., БОРТНИКОВ И.С., СКОРОХОДОВ Н.И. Опыт оценки территории по геохимическим данным (на примере Центрально-Алданского золоторудного района). 208
ЕВДОКИМОВА В.Н., КИТАЕВ Н.А. Обработка данных геохимических съемок на основе анализа рудных полей. 212
БУРДЭ А.И. Оценка ошибок геохимических методов поисков и достоверности их результатов. 226
КРАВЧЕНКО Е.В., ЛОНЦИХ С.В. Создание стандартных образцов - необходимое условие надежности геохимических исследований. 232
КРАВЧЕНКО Е.В. Методика модальных измерений в процессе создания стандартных образцов поликомпонентных минеральных веществ. 237
Решение II сессии Сибирской секции Междуведомственного совета по проблеме "Научные основы геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых". 241

Подписано к печати 28/XII-73 г.
Формат 60x84 1/16. Уч.-изд.л.14,65. Зак.ОК-53. Тираж 700. НЕ 07167.

Иркутская областная типография № 1 Управления издательств,
полиграфии и книжной торговли.
г.Иркутск, ул.К.Маркса, 11.

Цена 1 руб.

