

**МЕТОДИЧЕСКИЕ
РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ОКРУЖАЮЩЮЮ СРЕДУ
ПРОЕКТИРУЕМЫХ
ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Одобрено Управлением гидрогеологических работ,
Управлением цветных и редких металлов
МГ СССР



МОСКВА-1986

Горнорудная промышленность является одним из наиболее мощных факторов антропогенного преобразования окружающей среды. Это преобразование внешне выражено в изъятии и механическом повреждении значительных массивов земель (2 млн. га в СССР). Специфика добычи и обогащения рудных месторождений заключается в извлечении и переработке огромных масс горных пород, обычно обогащенных широким комплексом химических элементов. По данным Н.В.Мельникова [35] общее количество извлекаемых металлургических руд составляет сейчас не менее 2200-2300 млн. т. Объем извлекаемых рудовместимых пород больше примерно на 3 порядка. Современная технология позволяет использовать лишь небольшую часть извлекаемой массы пород (как правило, первые проценты). Все остальное накапливается в виде отходов, рассеиваемых природными миграционными процессами и потенциально являющихся источниками загрязнения окружающей среды химическими элементами.

Следует также отметить, что с экологических позиций рудные месторождения, являясь геохимическими концентраторами химических элементов, могут быть определены как своеобразные природные источники загрязнения.

Экологическая и гигиеническая опасность загрязнения окружающей среды химическими элементами в полной мере понятна лишь 10-15 лет назад. В отличие от других загрязнений и, прежде всего, от широко изучаемых в этом плане органических соединений антропогенного происхождения, химические элементы не включаются в процесс самоочищения: их концентрации лишь разбавляются в ходе миграции. Кроме того, химические элементы и, прежде всего, наиболее токсичные тяжелые металлы интенсивно включаются во все типы миграции и биологический круговорот, что неизбежно приводит к загрязнению важнейших жизнеобеспечивающих сред: воды, воздуха, пищи. Многочисленные исследования последних лет показывают, способность элементов к аккумуляции в живых организмах с токсичным воздействием на многие системы организма и как результат — проявление специфической заболеваемости, ослабление иммунобиологических реакций и увеличение общей неспецифической заболеваемости (особенно аллергической). Характерны отдаленные последствия отдаленного воздействия токсичных химических элементов на живые организмы, прежде всего, нарушение функций воспроизводства, снижение биопродуктивности, мутативный и канцерогенный эффекты.

УДК [550.84:558]:502.7

Методические рекомендации по геохимическим исследованиям рудных месторождений при проведении геологоразведочных работ для оценки воздействия на окружающую среду горнодобывающих предприятий. М.: НИИГР, 1986. — 99 с.

Методические рекомендации посвящены геохимическому анализу загрязнения окружающей среды в горнорудных районах. Сформулированы задачи, требования и методика эколого-геохимического изучения месторождений на основных стадиях геологоразведочных работ с целью разработки комплекса природоохранных мероприятий и экологически безопасного землепользования при проектировании и контроле состояния окружающей среды, а также при оценке богатейших комбинатах.

Илл. 18, табл. 25, бидл. — 94 назв.

С о с т а в и т е л и:

Д.Б.Свет, Т.Л.Онищенко, Е.Л.Янин

© Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, 1986 г.

Таким образом, загрязнение окружающей среды экологически токсичными химическими элементами (прежде всего, ртуть, кадмий, свинец, мышьяк, хром, медь, никель, фтор и сера) - важнейшая проблема при оценке влияния горнорудной промышленности и планировании природоохранных мероприятий.

Геологоразведочные работы на месторождениях - как раз тот этап освоения территорий, на котором наиболее удобно и рационально получить информацию о состоянии окружающей среды и данные для прогноза ее изменения горнодобывающим производством.

Исследования последних лет показывают, что при оценке состояния окружающей среды весьма эффективно применение методов прикладной геохимии [17, 37, 38].

С целью проведения, часто даже качественных и предварительных, но очень важных для проектирования, прогнозов необходимых, разумеется, некоторые геохимические материалы. Как будет показано, многие из требуемых данных уже имеются при разведке месторождений (стадия I и II геологоразведочных работ, приказ Мингос № 161 от 20.04.84 г.) так как геохимические исследования весьма широко проводятся от стадии II (геолого-съемочные работы с общими пробами) до стадии V (предварительная разведка). Экологическое пересомноживание существующих геохимических данных, дополнительное исследование геохимических исследований - вот, в сущности, практический путь применения методов прикладной геохимии для прогнозной оценки влияния месторождений на окружающую среду и составления природоохранного раздела при подготовке сред и составлении природоохранного раздела при подготовке сред.

Важно подчеркнуть, что где бы ни проводились детальные разведочные работы - на совершенно новой территории или в районе, где уже имеются добываемые предприятия - только при разведке есть возможность получить (количественно важные впоследствии) параметры состояния окружающей среды до введения в эксплуатацию нового месторождения. Кроме того, только геологоразведочная служба способна (с учетом, разумеется, гидрометеорологических данных) комплексно оценить параметры геохимического фона для области влияния природных сред.

Все вышесказанное обоснованно свидетельствует о необходимости включения эколого-геохимических исследований в комплекс геологоразведочных работ.

Предлагаемые ниже методические рекомендации являются первой и, естественно, недостаточно совершенной попыткой охарактеризо-

вать возможности и необходимый комплекс эколого-геохимических исследований при геологоразведочных работах.

В основу рекомендаций положены материалы, в подготовке которых участвовали сотрудники ИМПРЭ, Центральной геохимической экспедиции ИМПРЭ и Московской опытно-методической геохимической экспедиции ИМПРЭ: Свет Ю.Е., Каминна Л.И., Киселева Е.С., Москваленко Н.Н., Онищенко Т.Л., Резнич Б.А., Сорокина Е.П., Тимошкин Г.А., Токарев И.В., Янин Е.П.

4. Стоки обогатительных фабрик после очистных сооружений, загрязняющие водные системы.
5. Рассеяние рудного материала при транспортировке, загрязняющее почву.
6. Организованное и неорганизованное выбросы в атмосферу при процессах обогащения.

7. Природные геохимические аномалии - вторичные ореолы рассеяния в почвах, водные потоки рассеяния в поверхностных водах, гидрогеохимические аномалии в подземных водах.

Химические элементы в рудах и первичных ореолах как источники загрязнения

В основу представлений о качественном и приближенно-количественном составе потоков загрязняющих веществ, которые начнут формироваться с началом добычи и обогащения руд разведываемого месторождения, могут быть положены геохимические данные по распределению химических элементов в рудах и первичных ореолах. Эти же данные определяют общий характер природных геохимических аномалий в ландшафтах изучаемого рудного поля.

Многолетний опыт геохимических исследований месторождений показывает, что в подавляющем большинстве случаев промышленно ценные рудные тела не имеют физических границ, и по уровням содержания выделяются блоки пород, экономически и технологически эффективные для извлечения и обогащения, при сложившейся конъюнктуре и существующем уровне технических возможностей. Обрабатываемые рудные тела горные породы содержат достаточно высокие уровни концентрации химических элементов, которыми фиксируются первичные ореолы месторождений. Размеры первичных ореолов и количество заключенных в них запасов химических элементов обычно превращают параметры самих рудных тел [2,16].

В состав первичных ореолов входят как главные рудные элементы, определяющие промышленный тип месторождения, так и ряд сопутствующих элементов. В список этих элементов для многих месторождений входят ртуть, свинец, цинк, медь, кадмий, мышьяк, селен, фтор, висмут, кобальт - т.е. целая серия химических элементов, являющихся по новейшим представлениям экологически токсичными и гигиенически опасными. В частности, как правило, в первичных ореолах и рудах содержатся химические элементы, относимые к наиболее опасным загрязняющим веществам, являющимся приоритет-

ными в международных и отечественных программах мониторинга (ртуть, свинец, кадмий).

В настоящее время первичные ореолы исследованы для всех основных типов рудных месторождений и, в соответствии с инструктивными материалами Мингео СССР, должны изучаться практически на всех месторождениях.

Естественно, что каждый конкретный минералого-геохимический и генетический тип месторождения характеризуется специфическим соотношением содержания накапливающихся элементов-индикаторов. Обобщенные данные такого рода представлены в табл. I. Следует отметить, что обычно приводимые списки ассоциаций химических элементов в первичных ореолах с рассматриваемых нами позиций не совсем полны, так как ориентированы на перечень химических элементов, используемых в качестве индикаторов при поисках. Они должны быть дополнены химическими элементами, являющимися примесями в рудах, главным образом, рассеянными элементами - индием, селеном, теллуром, кадмием (последний не всегда изучается в ореолах), а также некоторыми элементами, составившими мажоранову руду - железом, серой. Представление об уровнях содержания этих дополнительных элементов, среди которых многие являются опасными загрязняющими веществами, очень важно для экологической оценки.

В силу горно-технологических особенностей первичные ореолы, как правило, при добыче составляют большую часть так называемых "пустых пород", формирующих наиболее объемные породные отвалы, связанные с проходкой полевых выработок, стволов, или вскрышными работами. Таким образом, данные по параметрам и запасам химических элементов в первичных ореолах, с учетом данных по формам нахождения и оценкой их подвижности в физико-химических условиях дневной поверхности, позволяют дать прогнозную характеристику отвалов как источников загрязнения и предусмотреть необходимые меры по их безопасному размещению, экранированию и рекультивации.

Данные по химическому составу рудных интервалов приближенно-количественно соответствуют составу пыли, выбрасываемых в атмосферу в процессе механического дробления руд и, таким образом, определяют токсичность выбросов и гигиенические условия работы в дробильных отделениях. Эти же данные качественно определяют возможный состав отходов обогащения, накапливаемых в хвостохранилищах - обычно один из наиболее опасных видов отходов в горнорудных районах. Более точные данные должны быть получены из результатов разработки технологических схем обогащения.

Т а б л и ц а I

Геохимические ассоциации химических элементов-индикаторов, концентрирующихся в некоторых типах рудных месторождений и сопровождающих их ореолах рассеяния

Тип месторождения	Элементы-индикаторы и характерные элементы-примеси
Медно-никелевые	Кобальт, никель, медь, цинк, свинец, серебро, берилл
Медноколчеданные	Медь, молибден, свинец, кобальт, мышьяк, цинк, серебро, селен, теллур, ванадий
Меднополифидные	Барий, мышьяк, сурьма, серебро, свинец, цинк, золото, вольфрам, медь, молибден, олово, кобальт, вольфрам, бериллий
Медистые песчаные	Медь, свинец, цинк, мышьяк, сурьма, серебро, рений, осмий, кадмий, молибден, германий, ртуть, кобальт, олово
Полиметаллические	Свинец, цинк, медь, серебро, кадмий, ртуть, мышьяк, молибден, кобальт, сурьма
Золоторудные	Золото, мышьяк, серебро, свинец, медь, цинк, висмут, олово, вольфрам, ртуть, теллур, селен, ванадий
Оловорудные	Олово, вольфрам, бериллий, мышьяк, ртуть, свинец, цинк, серебро, висмут
Ртутные и сурьмяно-ртутные	Ртуть, сурьма, мышьяк, таллий, серебро, висмут, цинк, молибден, медь
Железорудные	Железо, мышьяк, цинк, свинец, марганец, никель, ванадий, титан, кобальт, медь, хром

Приведем несколько примеров по типичным месторождениям различных минерало-геохимических типов. К сожалению, опыт эколого-геохимических оценок горнорудных районов пока невелик. Не по всем месторождениям имеются хотя бы полные материалы, что, разумеется, сильно сказывается на выводах.

Для одного из разведываемых колчеданно-полиметаллических месторождений обобщение данных по составу руд и отходов проектной технологической обогащения показало наличие в них очень высоких уровней концентрации широкого спектра химических элементов (табл.2).

В рудах содержание висмута, теллура и, что особенно важно, таких токсичных элементов как кадмий, свинец, мышьяк, сера в сотни раз выше фонового уровня.

Естественно, что в процессах дробления они будут переходить

в атмосферный воздух. Простые расчеты показывают, что при загрязнении воздуха пылью на уровне 4-5 предельно допустимых концентраций (ЦДК по пыли равно 0,2-0,3 мг/м³) накопление в пыли свинца, кадмия, мышьяка значительно превзойдет ЦДК в воздухе для этих элементов. Опыт работ многих комбинатов показывает, что зоны с таким превышением ЦДК по пыли вполне обычны и заключаются в проектные расчеты, но часто без учета состава пыли. Как правило, они занимают территорию в радиусе 1-3 км (о зонах влияния подробнее будет сказано ниже).

Данные по хвостам обогащения, складирование которых предполагается в водосборе крупного водоема питьевого и рыбохозяйственного назначения показывают, что и для них сохраняются высокая степень концентрации ряда элементов (особенно кадмия, свинца, мышьяка, теллура, висмута). Таким образом, учитывая имеющийся опыт

Т а б л и ц а 2

Химические элементы в рудах и отходах колчеданно-полиметаллического месторождения

Элемент	Рудная масса		Отходы	
	С,х	Кс	С	Р
Висмут	40	4400	30	3300
Теллур	1	1000	1	1000
Цинк	66700	804	3000	36
Кадмий	100	770	30	230
Свинец	11900	740	1500	94
Мышьяк	1000	590	200	120
Сера	192000	400	1390	3
Серебро	16	230	10	137
Селен	2	40	1	20
Марганец	-	-	10000	10

х С - концентрация элемента, г/т; Кс -

коэффициент обогащения по отношению к местному фону; Р - запасы в отходах, образуемые за 1 год работы ГОКа, в тоннах; химические элементы ранжированы по коэффициенту обогащения в рудах.

(некоторые материалы будут еще приведены), можно предположить формирование здесь потоков загрязнения токсичными комплексами элементов в водных системах. При планируемых объемах добычи в хвостохранилищах ежегодно будут образовываться очень большие запасы химических элементов (см. табл. 2). Для оценки величины этих запасов можно отметить, что, например, для одной из наиболее загрязненных рек мира (р. Рейн) ежегодный сток составляет (в тыс. т): по сравнению с данными по ежегодному приросту запасов металлов в хвостохранилищах проектируемого ГОКа (даже без учета "породных" отвалов, по которым в данном случае пока нет материалов). Таким образом, потенциальная опасность этих отходов для водоема очень велика, особенно в случае прорыва дамб хвостохранилищ. Количественная оценка этой опасности может быть дана лишь приближенно. Если, например, распределить ежегодно накапливающийся свинец в водной массе, то в 100 млн. кубометров содержания свинца (и, естественно, всего комплекса перечисленных элементов) будет выше предельно допустимого. После седиментации все химические элементы перейдут в донные отложения, роль которых в гидробиологии водоемов исключительно велика.

Большое количество данных по полиметаллическим месторождениям свидетельствует, что и в "породных" отвалах содержания химических элементов бывают сильно повышены. Особенно это касается отвалов разработок прошлых лет, когда выщелачивались руды с значительно более высокими концентрациями, чем сейчас. Например, в работе Девиса [74] сведены данные по средним содержаниям цветных металлов в отвалах ряда полиметаллических месторождений США, Англии, Африки. Они свидетельствуют, что содержание свинца в отвалах составляет сотни и тысячи мг/кг (до 1,5% в Уэльсе), цинка - тысячи мг/кг (до 3%), меди - сотни и тысячи мг/кг.

Для ряда оловорудных месторождений сульфидно-касситеритовой фазации, где технологической схемой переработки предусмотрено только получение оловянного и свинцового концентратов, геохимическими работами установлено присутствие очень значительных количеств широчайшей ассоциации элементов-примесей и, особенно, ртути, висмута, свинца, мышьяка, сурьмы, бора, содержания которых в сотнях и десятках тысяч раз выше фоновых (табл. 3).

Исследованиями установлено, что подавляющая часть примесей избирательно не концентрируется ни в одном из продуктов обогаще-

ния. Таким образом, приведенный в таблице список химических элементов определяет в данном случае особую токсичность пылевых выбросов и отходов. Результаты обогащения показывают, что выход

Т а б л и ц а 3

Химические элементы оловорудных месторождений

Элемент	Исходная руда		Элемент	Исходная руда	
	С _х	К _с		С	К _с
Висмут	1550	170000	Серебро	17	242
Ртуть	1400	17000	Вольфрам	300	230
Мышьяк	2100	1235	Цинк	5700	57
Бор	9837	820	Медь	2700	57
Сурьма	500	600	Индий	13	52
Свинец	5500	344			

Х Усл. обозн. см. табл. 2.

готового компонента составляет всего 4% от перерабатываемой массы горных пород. Это определяет очень высокий уровень запасов токсикантов в отходах рудных месторождений. В настоящее время известно, что в отвалах оловянно-полиметаллических месторождений [46] в верхнем слое образуется зона выщелачивания (30-40 см), обедненная рудными элементами и железом. Порода отвала в верхних горизонтах характеризуется также низкими рН водной вытяжки (3,5-4,5). В нижних горизонтах отмечается обогащение гидроокислами железа и марганца, и иногда формируется зона скопления гипса.

В почвах, поребренных под отвалами, происходит ошутимая геохимическая трансформация. Так, в почвах, поребренных более 20 лет назад, происходит сильное подкисление всей толщи профиля (рН до 3,5-4,0), разрушаются почвенные комплексы, нарушается почвенный поглощающий комплекс, становится подвижным органическое вещество, происходит вынос кальция и магния из гумусового горизонта. Горизонты почв обогащаются рудными компонентами, глубина проникновения которых для различных химических элементов неодинакова [46]. Все это свидетельствует о подвижности химических элементов в отвалах, которые часто практически никак не изолированы от водных систем и эти элементы могут оказывать воздействие на территорию подсосных хозяйств ГОКа, расположенных в зоне воз-

действия выбросов и отходов хранения. Не учтены эти обогатитель-
ства и при размещении рабочих поселков ГОКов.

Разведываемое месторождение медистых песчанков по имерлин-
ся данным концентрирует в рудах лишь медь, железо, серу и серфе-
ро (некоторые, вполне вероятные элементы-примеси - селен, теллур,
мышьяк - не изучены). По предварительной технологии из руд будут
получены медный и магнетитовый концентраты, а также карбонатный
концентрат, соответствующий по техническим условиям флюсовым из-
вестнякам. Отвальные хвосты составят 65-89% исходной руды. Они
будут иметь преимущественно аллювиальный состав и содержать
около 1300 г/т сульфидной меди (в 28 раз выше фона) и довольно
значительное количество сульфидов железа. Эти хвосты планируются
разместить на водосборе крупной водной системы рнбхоза. Дополни-
тельно и питьевого пользования. При планируемых объемах добычи еже-
годно в хвосты будут поступать весьма значительные абсолютные
массы меди. Ландшафтно-геохимический анализ ситуации показывает,
что, с учетом малокарбонатного состава хвостов, в данном случае,
весьма вероятно окисление в них сульфидной меди до хорошо раз-
вораемой сульфатной формы с образованием потока рассеяния. Напом-
ним, что медь - элемент не очень токсичный в питьевых водах, но
исключительно токсичный для гидробионтов. В данном случае не ис-
ключено (требуются дополнительные исследования), что отказ
получения карбонатного концентрата позволил бы создать физико-
химическую обстановку в отходах, вполне достаточную для осажде-
ния сульфатной меди в виде плохо растворимых карбонатов.

Железодунные месторождения по относительному уровню концен-
трации в рудах элементов-примесей часто не являются особенно ко-
нтрастными геохимическими аномалиями. Обычно наиболее значимым
химическим элементом в рудах, приносящим ущерб окружающей среде,
является сера, присутствие которой (до 10-20%) при агломерации
концентратов приводит к выбросу сернистых соединений в атмосферу.
Тем не менее, разнообразие типов месторождений железа осу-
ловливает довольно пеструю картину микроэлементной ситуации в
рудах. Кроме того, извлечение и переработка обычных для этих ме-
сторождений огромных объемов горных пород приводит, даже при не-
большом уровне относительного накопления элементов-примесей, к
появлению значительных абсолютных масс химических элементов в
отходах добычи и обогащения, а также в выбросах при металлурги-
ческом переделе.

16

В качестве примера приведем данные по содержанию микроэле-
ментов в древних толщах двух месторождений: 1) месторождение маг-
нообогатимых богатых магнетитовых руд; и 2) месторождение боре-
то-магнетитовых руд (табл. 4).

В рудах месторождения первого типа постоянно присутствуют
элементы с высокими содержаниями: медь, кобальт, цинк, ванадий
и хром/медь - 1100 г/т, кобальт - 386, цинк - 900 г/т).

Богатые по содержанию железа руды этого типа относительно
небогаты по спектру химических элементов-примесей в сравнении со
вторым типом руды - борато-магнетитовым. Эти руды содержат целый
ряд химических элементов, среди которых известны: железо, бор, ми-
шьяк, хром, редкие земли, кобальт, вольфрам и медь.

Хвосты обогащения составляют 15-52%, следовательно, при пе-
реработке руд этого типа будут накапливаться значительные объемы
хвостов и, соответственно, большие количества химических элемен-
тов: редких земель, хрома и мышьяка.

Т а б л и ц а 4

Состав исходной руды и отвальных хвостов
железодунных месторождений в г/т

Э л е м е н т	Месторождение магнетитовых руд		Месторождение борато-магнети- товых руд			
	Исходная руда		Исходная руда		Хвосты отвальные	
	С	Кс	С	Кс	С	Кс
Вольфрам	-	-	200	154	-	Нет данных
Кобальт	386	21	945	52,5	-	"
Сера	-	-	20000	42,5	-	"
Молибден	-	-	105	95	-	"
Медь	1100	24	425	9	-	"
Цинк	900	10,8	-	-	-	"
Ванадий	308	3,4	-	-	-	"
Марганец	-	-	1550	1,5	-	"
Мышьяк	-	-	-	-	100	59
Хром	170	2,0	-	-	342	4
Редкие земли	-	-	-	-	1300	5,4
					200	684
					2600	

X Усл. обозн. табл. 2.

17

В настоящее время не разработано стандартизированных методов прогноза поведения химических элементов первичных орудов и руд после их извлечения и перемещения в отвалы добычи и обогащения. Большинство интересующих нас химических элементов присутствует в горных породах в сульфидных формах. На дневной поверхности они начинают испускать активное воздействие агентов химического и микробиологического выветривания. При этом миграционная подвижность продуктов выветривания обусловлена, прежде всего, количеством сульфидов и, следовательно, образующейся при их окислении серной кислоты (наиболее активный агент, растворяющий тяжелые металлы), а также сорбционными, нейтрализующими и осадительными свойствами вмещающих оруденение горных пород.

В этой связи следует отметить, что по имеющимся данным во многих случаях содержания сульфидов в отходах и, особенно в хвостах, превышает 10-20% при содержании металлов (свинца, цинка, меди) в десятки и сотни раз выше фоновых.

Выщелачивание химических элементов в хвостах рудных концентратов осуществляется также кислотными остатками флотангентов, поступающих вместе со сбросными водами. Изучение поведения химических элементов на месторождениях в естественных корках выветривания позволяет дать прогноз их поведения в отвалах.

В геохимической литературе эти вопросы достаточно полно освещены [53]. В связи с чем изложим лишь кратко выводы.

В разрезе зоны гипергенеза рудных месторождений четко прослеживается дифференциация ассоциаций химических элементов в зависимости от характера вертикального профиля коры выветривания, типа вмещающих пород и степени концентрации сульфидов.

Сравнение интенсивности процессов перераспределения элементов в горizontах окислительного типа для следующего ряда вмещающих пород: силикатные (кремнистый тип коры выветривания) - алюмосиликатные (глинистый тип коры) - карбонатные (карбонатно-глинистый тип коры) показывает, что для первичных орудов и руд существуют контрастные и разнонаправленные тенденции в изменении характера перераспределения типоморфных элементов.

В породах кремнистого состава при выветривании часто наблюдается резкая дифференциация в поведении химических элементов. Многие элементы здесь очень подвижны и энергично выносятся (цинк, кобальт, медь, кадмий, селен - почти всегда, свинец и мышьяк - часто, особенно при обилии пирита). Другие элементы, в частности,

молибден, серебро, барий, иногда накапливаются, чаще всего вместе с гидроокислами железа.

В породах алюмосиликатного состава, для которых характерно образование глинистых кор выветривания, подвижность многих химических элементов уменьшается в связи с появлением сорбционного барьера. В условиях выветривания первичных орудов (вкрапленный характер проявления минерализации) даже цинк часто становится малоподвижным. Лишь для анноногенных элементов (селен, теллур) наблюдается энергичный вынос. Однако это уменьшение подвижности наблюдается далеко не всегда - оно обусловлено временными соотношениями между процессами образования глинистых минералов и окислительным разрушением сульфидов, подробнее это описано в работе Ю.Е.Саева [55].

В породах карбонатно-глинистого состава тенденция уменьшения подвижности химических элементов проявлена очень контрастно. Даже в условиях выветривания сравнительно богатых руд бокситами во химических элементах ведет себя инертно.

Исследования последних лет показывают, что технологическое воздействие на месторождение приводит к резкому (до 10 раз) увеличению зоны гипергенеза.

Также явления наблюдались, например, на Красногвардейском медноколчеданном месторождении на Урале [1] и на сульфидно-касситератовых месторождениях Комсомольского оловянного района [48].

В условиях отвалов интенсивность процессов выветривания многократно усиливается. Это связано с высокой проницаемостью отвалов для агентов выветривания и благоприятными условиями для удаления растворимых продуктов выветривания, не успевающих осесть на геохимических барьерах. Это особенно и приводит к загрязнению окружающей среды.

Для оценки химической активности сульфидосодержащих отвалов может быть использована так называемая кинетическая константа U, показывающая уровень сорбции кислорода (в мл) породой (Гг) за единицу времени (1 час.) в стандартных условиях (влажность 100%, температура 24°C). По исследованиям Яхонтовой Л.К. [70], величина константы варьирует в пределах 5-9 (известняки), 50-60 (выраженные сульфиды), более 100-200 (массивные сульфидные руды различных типов).

В отвалах, при их изменении новейшим выветриванием так же,

как и в коренных породах образуются профили с вертикальной зональностью окислительно-восстановительного типа [53]. В работе Девиса [74] приводятся данные по формированию поверхностной зоны окисления в погребенной зоне восстановления, что и определяло распределение химических элементов в отвалах.

Таким образом, геохимическое исследование первичных ореолов и руд и их поведения в процессах выветривания дает возможность для многоаспектной интерпретации данных в природоохранных целях. Прежде всего, только по этим данным можно получить качественные и количественно-качественные характеристики отходов, выбросов, стоков - основных источников техногенного загрязнения проектируемого горнодобывающего предприятия, а также дать прогноз поведения концентрующихся в них элементов в конкретных ландшафтно-геохимических условиях.

Намечаются и другие, пока еще практически не апробированные возможности использования данных по первичным ореолам.

Как хорошо известно [16], изучение первичных ореолов позволяет наиболее точно представить морфологию рудных зон и дает материал по пространственным особенностям распределения химических элементов в оборудованном прострaнстве. Эти данные позволяют при проектировании горнодобывающих работ локализовать выработку отработку месторождений и наметить объем горных пород, которые в перспективе могут стать объектом вторичной переработки и требуют отдельного складирования. Все это снижает уровень потерь, а это важнейший, в конечном счете, способ общего улучшения состояния окружающей среды. Данные по первичным ореолам позволяют также наметить объемы и конкретное прострaнственное положение блоков пород, которые рационально использовать для закладки горных выработок, чтобы уменьшить объемы и токсичность породных отвалов.

Загрязнение окружающей среды в результате производственных выбросов в атмосферу

Источником загрязнения атмосферного воздуха в горнодобывающей промышленности являются технологические процессы, связанные с образованием больших масс пыли. Это буровозрывные работы при открытых разрабатках (около 60% всей добываемой руды), процессы дробления руд при обогащении (обязательный элемент любой схемы переработки) и дефляция отвалов, отходов обогащения и добычи.

Высокий уровень загрязнения воздуха возникает также на участках транспортировки и выгрузки на приемных пунктах или отвалах. Особенно загрязненный воздух в глубоких карьерах, где смесь газов автомобильных выбросов и минеральной пыли формирует так называемый "карьерный смог". В условиях штатной работы распространяется над обширными площадями прикарьерной территории.

Объемы рассеиваемых в воздухе пылевых масс даже на ЮЖЕ средней провозводительности составляют сотни тысяч тонн в год, что эквивалентно выбросу крупного промышленного комбината. Так, при массовом взрыве на карьере 150-200 т пыли поднимается на высоту 150-250 м.

Многочисленные данные по контролю за состоянием атмосферы в районе перечисленных источников загрязнения показывают, что во всех случаях формируются мощные пылевые выбросы, обуславливающие превышение нормативных показателей состояния воздуха по общей концентрации пылевых частиц в зонах, от 1 до 3-5 км. Так, при взрывных работах Михайловского месторождения железных руд (Курская область) пыль оседает в радиусе 3-6 км от карьера, а радиусы ленте руды на открытых складах наблюдались в атмосфере в радиусе 1 км [6].

Концентрация пыли в воздухе в зоне воздействия карьеров сильно варьирует во времени. В среднем она составляет 0,3-2,0 мг/м³ (до 4-5 мг/м³), что в 6-40 раз выше ПДК (0,65 мг/м³ среднесуточная) и на 2-3 порядка выше фонового уровня (0,001 мг/м³).

В процессах измелчения участвует вся масса руды (дробление) или руды и вмещающих пород (буровозрывные работы). В первом процессе состав пыли должен отвечать составу этих пород, хотя, разумеется, избирательное измелчение тех или иных минералов может изменить соотношение между химическими элементами в пыли по сравнению с исходными породами. Данных такого рода немного, тем не менее все они показывают очень контрастное обогащение пыли химическими элементами. Пример такого обогащения приведен в табл.5, характеризующей степень накопления элемента (по сравнению с клиром) в пыли моллиден-вольфрамового комбината.

Мы видим во всех видах выбросов сходство общей ассоциации концентрирующихся химических элементов (за исключением участка сульфидных концентратов, где появляется очень токсичный кадмий, отсутствующий в других пылих). В то же время степень концентрации пыли элементов для разных пылей варьирует и максимальные накопле-

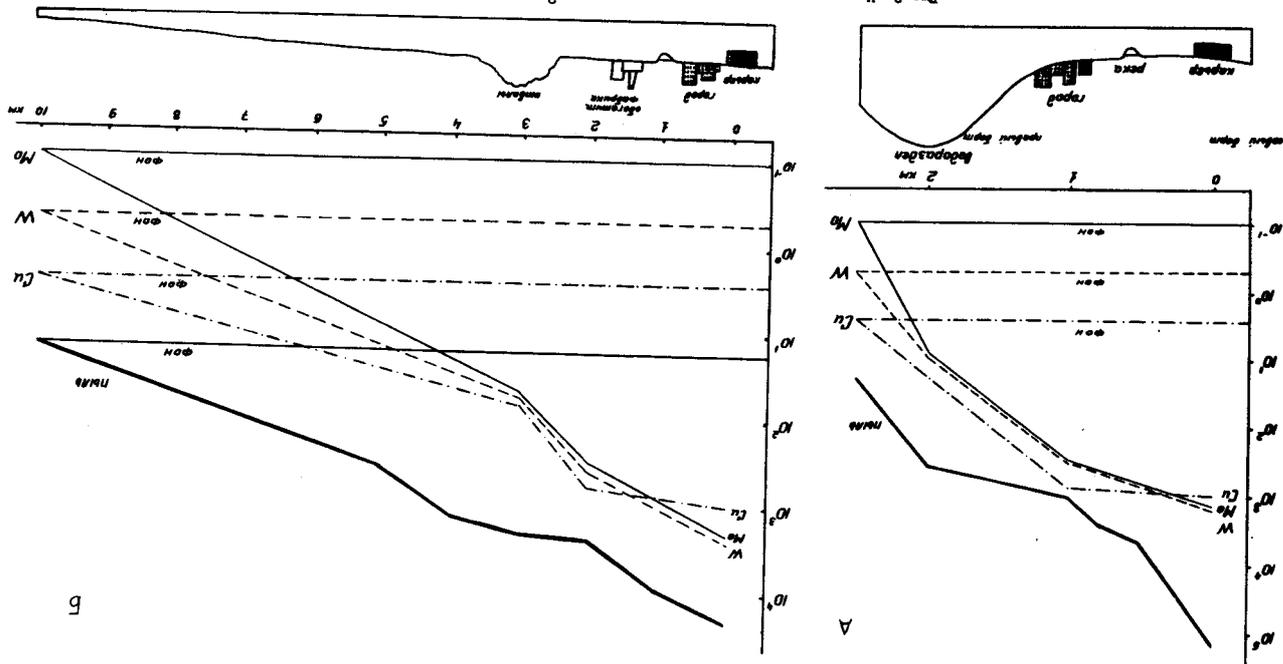
уровни выпадений пыли и рудообразующих металлов (в данном случае изучались только они) примерно в 50 раз выше фоновых. В продольном профиле вдоль долины зона аномальных выпадений распространена на значительно дальше, и фоновые параметры достигаются лишь в 10 км от карьера (рис.3а). Мощность выброса карьера в рассматриваемом случае очень велика (масса выпадений в районе карьера 16 т на 1 км^2 в сутки или в 800 раз выше фоновой). В этой связи в распределении выпадений влияние обогатительной фабрики и отвалов, расположенных соответственно в 1,5 и 3,0 км от карьера, почти не сказались. Тем не менее все эти объекты четко фиксируются по результатам опробования почв (рис.4).

Значительные зоны загрязнения ртутью отмечались близ предприятий добычи сланцев. Переработка 70000 т горючих сланцев в день с содержанием ртути в 100 мг/кг [83] приводит к выделению 7 кг ртути в день. При таких выбросах фоновое количество ртути в почвах на площади 100 км^2 в среднем удвоилось за 2 года и участками достигало 50 мг/кг.

Воздействие обогатительных фабрик может быть очень интенсивно. Это, в частности, иллюстрируется данными по фабрике ежегодно, с 1924 года перерабатывавшей около 0,5 млн. т полиметаллических руд. Фабрика расположена в горной долине на значительном удалении от дообладающих предприятий. Жилой поселок фабрики расположен в непосредственной близости. Данные геохимического картирования почв показывают, что за годы работы здесь образовалась протяженная (более 10 км) и очень интенсивная, комплексная по составу, техногенная геохимическая аномалия (табл.6, рис.5-6).

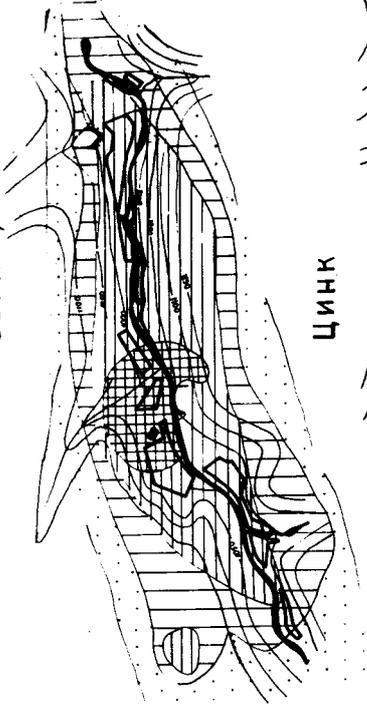
В состав аномалии входят все основные элементы перерабатываемых руд и, в частности, такие токсичные, как свинец, кадмий, кобальт, а также серебро, цинк, медь, висмут и другие. Зона влияния выбросов фабрики имеет четкую зональную геохимическую структуру, связанную с неодинаковой пространственной распространённостью элементов. Весь выявляемый комплекс усугубляется лишь в сравнительно локальной зоне, шириной 1,0-1,5 км, водами фабрики; однако именно в этой зоне и расположен поселок. Аномалия главного элемента перерабатываемых руд - свинца - интенсивно проявлена в значительно более широкой (10 км) зоне. Пространственная структура зоны, так же, как и в предыдущем случае, определяется географической долины (рис.7). Следует заметить, что для всех элементов, имеющих нормы предельнодопустимых концентраций, уровни

Рис.3. Интенсивность выпадения пыли (кг/км²сут.) и химических элементов г/км²сут. в зоне воздействия карьера ЛОКА в горном ландшафте (А - поперечный профиль через коммуну, Б - продольный профиль)

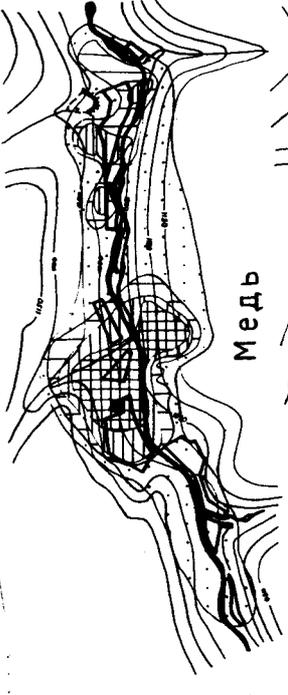


57

Свинец



Цинк



Медь

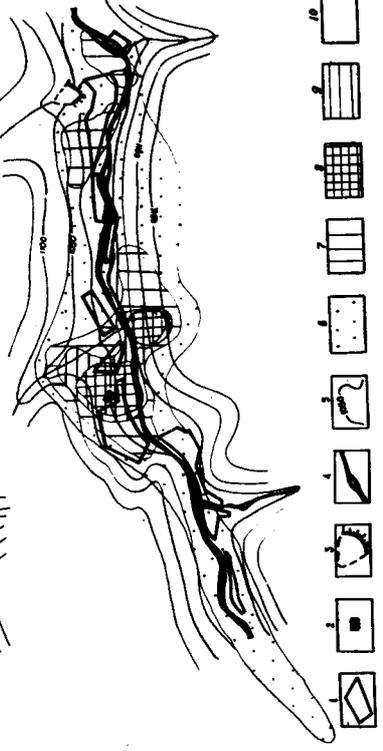


Рис. 5. Распределение содержания свинца, цинка, меди в почвах
вблизи обогатительной фабрики

- 1 - жилая и промышленная застройка; 2 - обогатительная фабрика;
- 3 - хвостограничье; 4 - река; 5 - горизонталь; 6-9 - почвы с содержанием (усл. ед.): 6 - свинца - 160-300; цинка - 350-700; меди - 60-100;
- 7 - свинца - 300-600; цинка - 700-1400; меди - 100-200; 8 - свинца - 600-3000; цинка - 1400-7000; меди - 200-1000; 9 - свинца - более 3000;
- 10 - почвы с фоновыми содержаниями: свинца - 80, цинка - 140, меди - 30.

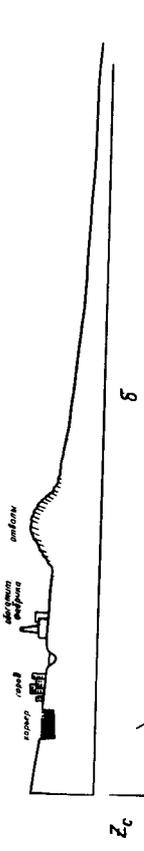
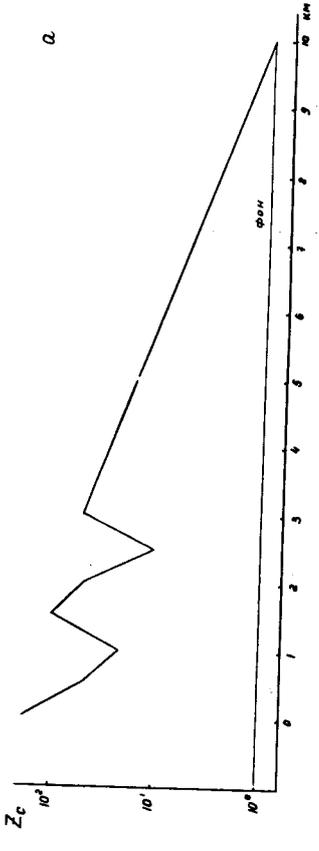
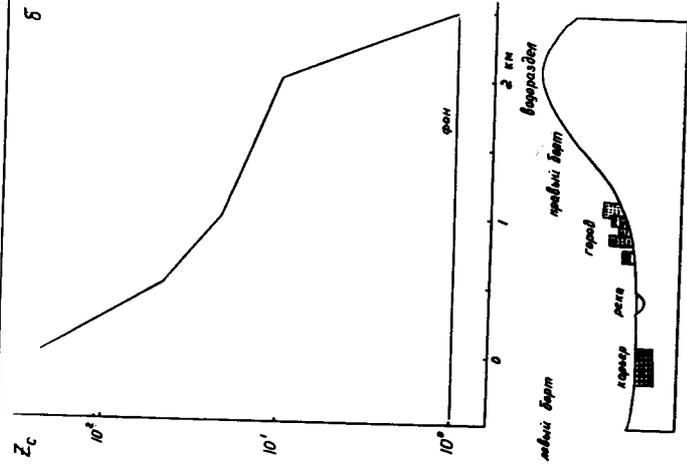


Рис. 4. Загрязнение почв при
воздействии газа в горном хвостограничье
(а - продольный профиль долины,
б - поперечный)
 $Z_c = \sum K_c \cdot (n - 1)$, где K_c - коэффициент
концентрации Z_c - число суммируемых
химических элементов, n - суммарная
поверхность загрязнения



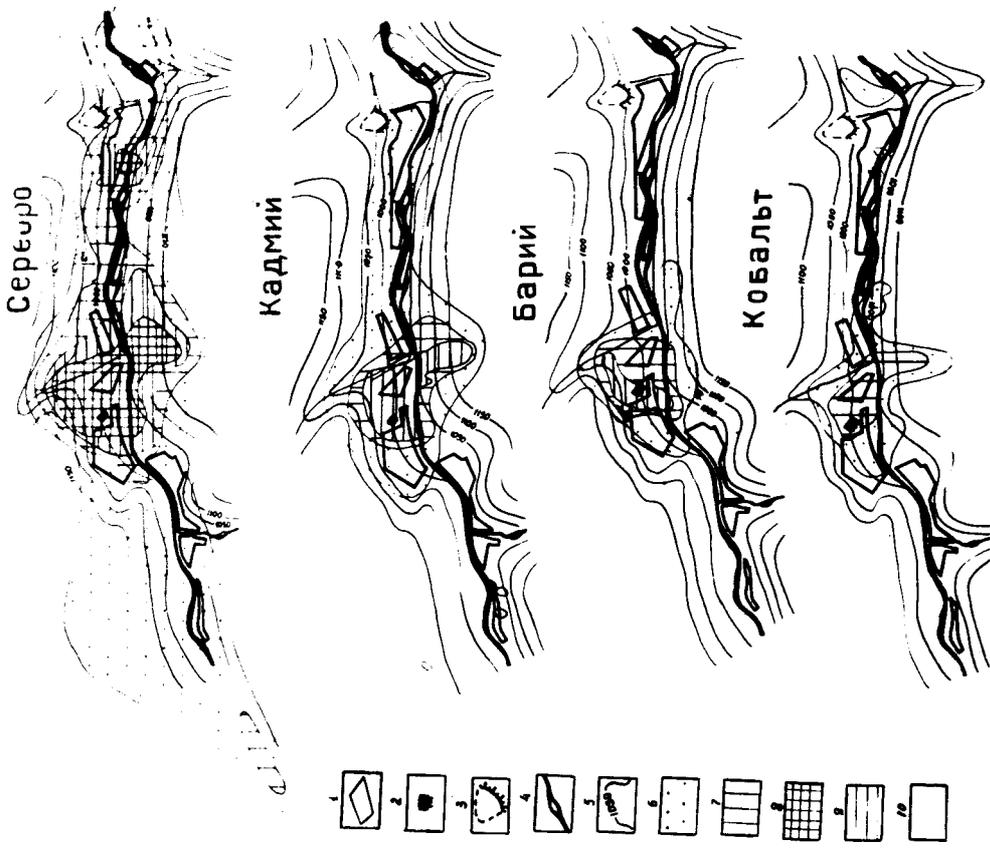


Рис. 6. Распределение содержания серебра, кадмия, бария и кобальта в почвах возле обогащательной фабрики
 I-5 - см. рис. 6; 6-9 - почвы с содержанием (усл. ед.): 6 - серебра - 0,2-0,5, кадмия - 3-5, бария - 500-800, кобальта - 2I-30; 7 - серебра - 0,5-1,0, кадмия - 9-16, бария - 800-1600, кобальта - 30-60; 8 - серебра - 1,0-5,0, кадмия - 17-80, бария - 1600-8000, кобальта - 60-300; 9 - серебра - более 5, кадмия - более 80, бария - более 8000, кобальта - более 300; 10 - почвы с фоновыми содержаниями: серебра - 0,1, кадмия - I, бария - 300, кобальта - 12

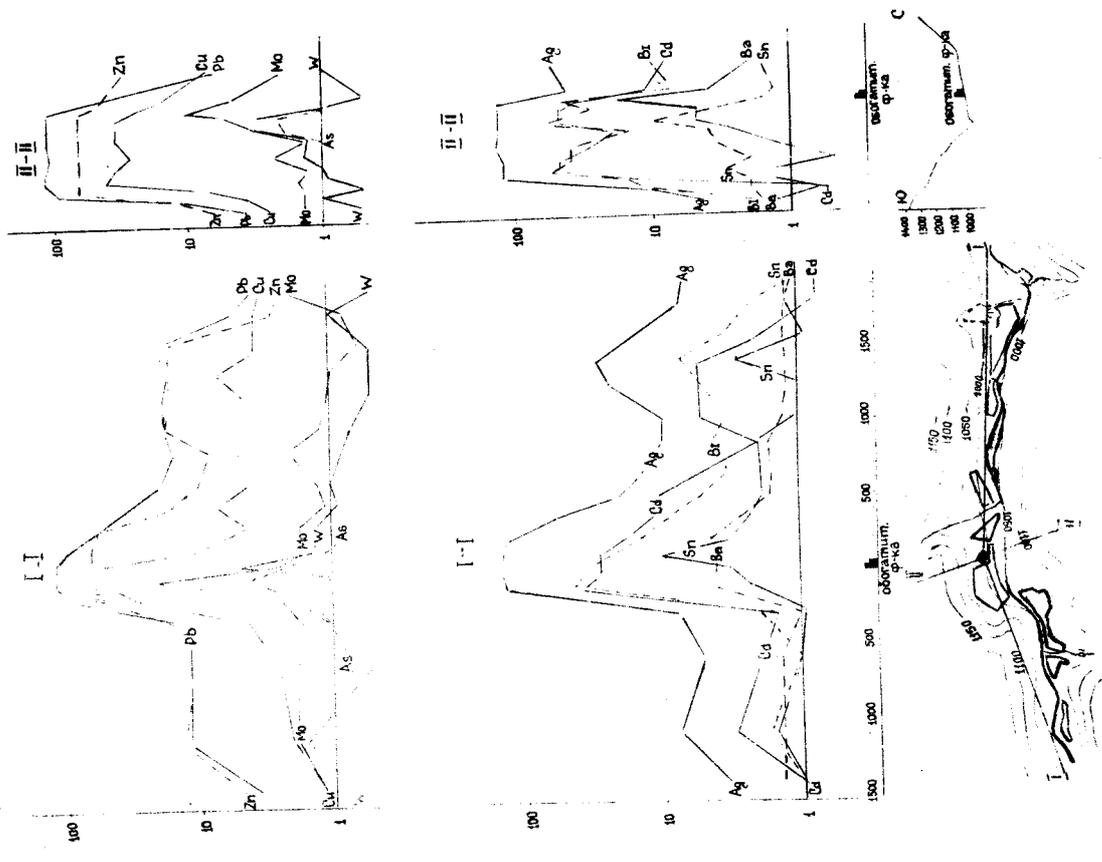


Рис. 7. Изменение содержания химических элементов в почвах в зависимости от расстояния до обогащательной фабрики
 Усл. обозн. см. рис. 5

содержаний, показанные на рисунках, превосходят эти нормы.

Таким образом, имеющиеся данные показывают, что при добыче и обогащении образуются выбросы, содержащие комплекс химических элементов руд, включающий большей частью токсичные элементы. В зонах влияния выбросов, достигающих 10 километров интенсивные и токсично опасные техногенные геохимические аномалии. При проектировании и строительстве горнообогатительных комбинатов особенности техногенной миграции загрязняющих веществ учитываются плохо. В этой связи при планировании функционального использования территории многие поселения и сельскохозяйственные угодья попадают в зону интенсивного загрязнения окружающей среды.

Т а б л и ц а 6

Площадь и интенсивность загрязнения различными химическими элементами вблизи обогатительной фабрики

Элементы	С ф г/т	С мин. аномальное г/т	Площадь загряз- нения, км ²	Средние содержания площади загрязне- ния, г/т	Кoeffи- циент содержания концен- трации	Максимальные значения на площади по- селка, г/т	Кoeffи- циент на концен- трации
Pb	50	160	3,9	1100	22	10000	125
Ag	0,1	0,2	2,5	2,1	21	20	200
Zn	140	350	1,6	3350	24	10000	71
Cu	30	60	1,5	290	10	2000	67
Cd	1	3	1,0	12	12	50	50
Pi	1	3	0,9	8	8	50	50
Co	12	21	0,4	24	2	40	3
Mo	2	4	0,3	8	4	20	10
Sn	5	7	0,3	34	7	40	8
Ba	300	500	0,3	1044	3	2000	7
W	2	5	0,05	11	5	30	15
Sb	10	30	Един. пробы			50	5
Jn	1	3	"			5	5
As	50	100	"			200	4

Загрязнение поверхностных водных систем

Загрязнение поверхностных водных систем в горнорудных районах одна из наиболее острых и хорошо известных проблем. Уже в 1974 г. в комиссии парламента Британии состоялись слушания по поводу падежа скота и падения урожайности в пойменных районах Уэльса. Было отмечено, что при добыче свинцовой руды до 25% ее теряется и попадает в речные системы [74].

Еще в начале столетия было известно, что водами р. Квирлин ежегодно с территории Чикаурского месторождения выносятся до 60 тыс. т марганца, и в твердом стоке реки его содержание возрастает в 23000 раз [63].

Как известно [47], поступление материала в природные рудные потоки рассеяния зависит от ландшафтно-геохимических условий водосбора и гидрологического режима водотоков, определяющих интенсивность склоновых и физико-химических процессов выветривания и почвообразования.

В горнодобывающих районах характер и интенсивность поставок химических элементов в водотоки резко меняются. Это обуславливается изменением механической и водной миграции, связанной с перемещением больших масс горных пород и их последующим перераспределением в отвалах под действием гравитационных процессов, с разрушением хвостохранилищ под действием экзогенных факторов, со сливами с рудников, обогатительных фабрик и хвостохранилищ, с поверхностным стоком с терригорий горных отвалов.

Различные виды сливов составляют наиболее важный выход техногенных веществ и являются основным источником поступления полезных веществ в водотоки. В частности, большую роль в поставке химических элементов в водные системы играет отменяющееся выше техногенное усиление процессов выветривания на разрабатываемых месторождениях. На Красногвардейском месторождении В.Н.Авдониным [1] наблюдается герметично закрытая горячая выработка, стенки которой были покрыты новообразованными хорошо растворимыми минералами: меломинтеритом, пизанитом, глоккритом, самородной серой и другими.

По расчетам автора за счет химического разубоживания за год было вынесено 100 т серпикита, 170 т калькопирита, более 500 т пирита. За срок наблюдения потери меди составили 1,82, а цинка - 4%. Изучение баланса меди, поступившей в водотоки с одного из

медноколчеданных месторождений показал, что за период эксплуатации с 1936 по 1983 гг. рудничными водами вынесено более 50 тыс. т меди, причем 2/5 этого количества поступило в окружающую среду. В настоящее время на данном руднике извлекается только медь. Все остальные компоненты (широкая группа микроэлементов), содержащиеся в рудничных водах, поступают в речную сеть. Аналогичная ситуация наблюдается на многих других месторождениях, где отсутствующие элементы часто дают уровень загрязнения больше, чем извлекаемые элементы. Значительная часть периодически сбрасываемых стоков приходится на сливы рудничных вод и сливы с хвостохранилищ (табл. 7). Существенным источником загрязнения является поверхностный сток, т.е. воды естественного стока с породных и рудных отвалов, дорог и со всех других объектов, находящихся в пределах горных отвалов. Загрязнение поверхностным стоком особенно велико в районах с большим количеством атмосферных осадков. Характернейшей особенностью практически всех видов стоков является резкое обогащение их взвешенным твердым веществом, играющим существенную роль в технологическом перемещении элементов (табл. 8). По различным данным содержание твердых взвесей в стоках может достигать десятков г/л, т.е. на два-три порядка превышать чистоту природных водотоков.

Гидрохимический тип вод рудных потоков рассеяния обычно существенно не отличается от типа вод данного природного района. Наблюдаемые изменения обусловлены особенностями тектонического и литолого-стратиграфического строения территории. Дельта около месторождений выявляется аномальные воды с закономерным постепенным переходом в зональные при удалении от рудных тел [13, 14]. В рудных районах отмечается близость состава поверхностных и подземных вод [5].

При эксплуатации месторождений наблюдаются значительные изменения макросостава природных вод. В общем случае эти изменения зависят от типа месторождения, способа и технологии его разработки, гидрогеологических и ландшафтно-геохимических условий водосбора, определяющих интенсивность вторичных изменений горных пород. Наиболее интенсивные изменения общей гидрохимии вод наблюдаются в районах, расположенных в гидродинамических зонах затрудненного водообмена [50].

В то же время, для водотоков в зонах влияния ГОУов характерно резкое повышение содержания натрия, калия, азота, фосфатов

Таблица 7
Химическое содержание в оловянных рудничных водах (мг/л)

Месторождение	Мезозо	Мартенец	Никель	Кобальт	Кадмий	Цинк	Свинец	Медь	По данным исследований Ваткина
Николаевское	15000	50	300	500	125000	200	16000	200	[7]
Каньянское	6000	10000	70000	170000	6000	30	6000	30	[7]
Земногорское	2000	14	20	200	2000	40	300	40	[7]
Золоторудные, КАР	3000-550000	4000-206000	1920-15900	270-3900	0,2-52	1150-26000	2-290	60-5400	[78]
Средний состав вод зоны гипергенеза	547	49,4	3,31	0,33	34	2,21	5,58		[69]

Таблица 8
Ассоциация химических элементов, выщелачиваемых в твердой части промышленных сточных вод
Вольфрам-Молибденового горнообогатительного комбината

Виды элементов	Коэффициент концентрации элементов относительно фонов	
	10-100	2-10
Висмут	100-1000	10-100
Вольфрам, олово	Молибден, цинк	Кобальт, хром, ванадий, фосфор
Висмут	Сурьма	Олово, вольфрам, молибден
Висмут	Вольфрам, олово	Молибден, цинк
С хвостохранилища	Висмут	Марганец, свинец, медь, ванадий, олово, цинк, хром

(влияние бытовых стоков), взвешенных веществ, «альшия и хлоридов (влияние промышленных стоков)». Подобные изменения, характерные для многих ГОКов, отмечались нами в районе предприятия по добыче и обогащению вольфрам-молибденовых руд. Высокие содержания хлоридов и кальция связаны с использованием хлорной известки при очистке жидкой части хвостов от флотореагентов. Отмечены также высокие содержания нефтепродуктов. В целом, в техногенных потоках рассеяния горнодобывающих предприятий имеются высокие содержания различных органических веществ техногенного происхождения, примененных в качестве агентов флотационного обогащения [72] и, в частности цианиды [88].

В то же время, несомненно, что чаще всего состав микроэлементов в водах является следствием взаимодействия в системе вода-порода. Например, техногенный сток воды с севера фосфоритного карьера Маверду варьирует от 14,6-19,8 до 119,9 л/сек. км² [45]. За десять месяцев из отвалов карьера было выщелочено и поступило в гидротранспортирующую сеть 8880 т сульфат-ионов, 1250 т кальция, 1473 т магния.

Специфическое влияние на водные системы оказывают разработки месторождений серы. На Язовском карьере, где осушение ведется путем открытого водоотлива, водоприток составляет более 100 тыс. м³/сут. [9]. Пресные воды по мере приближения к карьере приобретают минерализацию 2,6-2,8 г/л, из них 1,4-1,6 г/л приходится на долю сульфат-иона. Кроме того, воды содержат 20-40 мг/л сероводорода. Ежегодно в раствор переходит 100 тыс. т гипса, что приводит к интенсификации карстовых процессов. Под угрозой оказываются жилые дома, промышленные сооружения и коммуналикации.

Для районов ГОКов характерны резкие пространственно-временные изменения кислотности-щелочности условий поверхностных вод, что приводит к заметной перестройке условий миграции химических элементов. Так, при опробовании реки, на которой расположен уже упоминавшийся ГОК по добыче и обогащению вольфрамово-молибденовых руд, оказалось, что в естественных условиях изменение ландшафтной структуры в пределах высокогорного рельефа практически не связывается на изменении величин pH и содержания гидрокарбонат-иона. Все водотоки выше ГОКа характеризуются нейтральной реакцией (pH=7,2-7,5). Тенденция к возрастанию обих показателей (табл.9) наблюдается в районе открытых разработок, в черте города (слив из штолен), в районе хвостохранилища. Это, в частности,

приводит к усилению на отдельных участках речной сети подвижности молибдена, миграционная способность которого повышается в соответствии с нарастанием pH.

В рудных потоках рассеяния ассоциации химических элементов хорошо коррелируют с минерало-геохимическими особенностями соответствующих месторождений [5,13,14,32,47,64]. Качественный состав ассоциаций в твердофазной и воднорастворенной составляющих потоков выделяется на значительных площадях в соответствии с металлогеническими особенностями последних. Распределение элементов, как правило, является зональным.

Т а б л и ц а 9

Изменение щелочно-кислотных условий и содержания гидрокарбонат-иона в речной воде в летний период (pH/НСО₃⁻ в мг/л)

Местоположение водоуказов	Основная река	Притоки
Выше фабрики (фон)	7,5/71,2	-
Природный поток рассеяния	7,4/55,8	7,8/34,8
Район открытых разработок	7,7/76,2	8,4/182,5
Слив из подземных разработок	7,6/71,8	8,3/466,6
Район слива с хвостохранилища	8,5/106,5	8,4/549
В 10 км ниже хвостохранилища	7,8/122	-

В зонах влияния ГОКов характер накопления и распределения химических элементов резко меняется. Эти изменения отмечаются как для растворенной, так и для твердофазной составляющих. Меняется уровень содержания и соотношение элементов в техногенных анамаллах. Причем, даже после прекращения функционирования ГОКов уровень загрязнения может оставаться достаточно высоким.

Так, по данным Б.А.Судова, на одном из отработанных месторождений загрязнений основными объектами загрязнения являются отвалы штолен и воды, вытекающие из них (штольни пройдены в 1960-1970 гг.). Как видно (табл.10), уровень загрязнения и в настоящее время достаточно высок. В створе Гонтел (Англия), служившем приемником сточных вод свинцового рудника в 1845-1886 гг., дождевые отложения до сих пор являются источником загрязнения водной фазы и биоты [71]. Аналогичные явления отмечены и для многих других горнорудных районов, которые в настоящее время не эксплуатируются [78,79,87].

миграция. По мере удаления от источника загрязнения подобные нарушения могут исчезать, в первую очередь за счет более интенсивного уменьшения доли взвешенных форм элементов.

Если для рудных потоков рассеяния временные колебания химических элементов связаны, главным образом, с гидрометеорологическими условиями и не очень значительны [22, 47], то для техногенных потоков рассеяния характерны резкие колебания содержания в короткие промежутки времени, что особенно ярко выражено для взвешенных форм химических элементов. Кроме того, резко увеличивается и неоднородность распределения химических элементов в зависимости от гидрологического сезона (рис. 8).

Т а б л и ц а 12

Химические элементы во взвешенной форме в районе ГОКа по добыче и обогащению полиметаллических руд (мкг/л)

Местоположение	Медь	Кадмий	Свинец	Цинк
Выше ГОКа	4,2	0,1	3,2	12,3
Ниже ГОКа	9,6	1,2	79,1	135,4
20 км ниже ГОКа	6,1	0,3	16,6	96,1

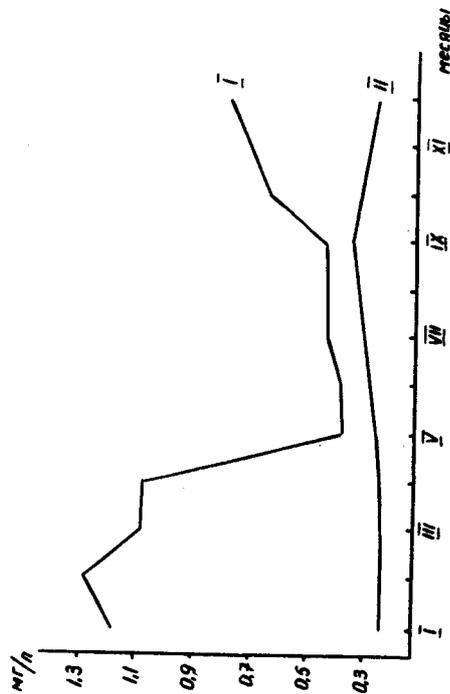


Рис. 8. Динамика распределения молибдена в водах реки, дренирующей ГОК (I) и в фоновом водотоке (II)

Высокие содержания и огромные массы взвешенных форм химических элементов приводят к формированию очень контрастных и протяженных аномалий в донных отложениях водотоков, которые с течением времени могут определить качество воды и являться вторичными источниками загрязнения.

На рис. 9 показано распределение химических элементов в донных отложениях горной реки, протекающей в пределах ГОКа. При входе реки в зону влияния техногенеза отмечаются резкие возрастания концентрации элементов - в десятки и сотни раз превышающие содержания как фоновые, так и в природных ореолах. Контрастные аномалии прослеживаются практически по всей длине изученной реки (на 40 км) и фиксируются в реке более высокого порядка. На рис. 10 показано распределение элементов в донных отложениях небольшой горной реки, протекающей через район интенсивных геологоразведочных работ на полиметаллическом месторождении. В низовьях реки расположено несколько эксплуатационных выработок. На графиках видно, что геологоразведочные работы оказывают более слабое влияние на распределение элементов, чем эксплуатационные выработки.

В формировании техногенных потоков рассеяния в донных отложениях четко прослеживается сезонность (рис. 11). Степень накопления многих элементов в донных отложениях возрастает в зимнюю половину и снижается в период весеннего половодья. В рассматриваемом случае, наибольшие расхождения наблюдаются для основных элементов слеза (молибден, вольфрам, олово) в сфере влияния ГОКа (в фоновом значении меньше). Это связано с нарушением естественной годовой динамики взвешенного вещества - резкое увеличение его содержания в водах ниже сливов зимой, в то время как для рек ледникового питания содержание взвеси зимой уменьшается (рис. 12). В естественных условиях (фон) минимальные содержания взвешенного вещества наблюдаются в период зимней межени (реки находятся на грунтовом питании), максимальные - во время паводков. Более благоприятные условия для накопления в донных отложениях вблизи источника загрязнения создаются зимой, когда увеличение содержания взвешенного вещества происходит на фоне снижения расхода и скорости течения реки.

Общая оценка распределения химических элементов в рудных и техногенных потоках рассеяния показывает, что последние по абсолютным содержаниям и протяженности не уступают, но даже часто превосходят первые (табл. 13). В целом, как показывают данные, в

районах разветвля добывающих предприятий, где качественный состав техногенных источников (отвалы, хвостохранилища) в принципе адекватен рудным, соотношение между элементами в рядах концентрации

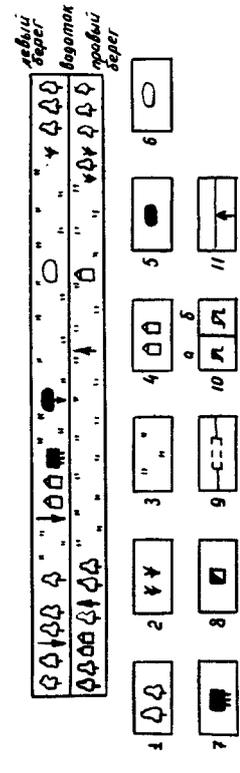
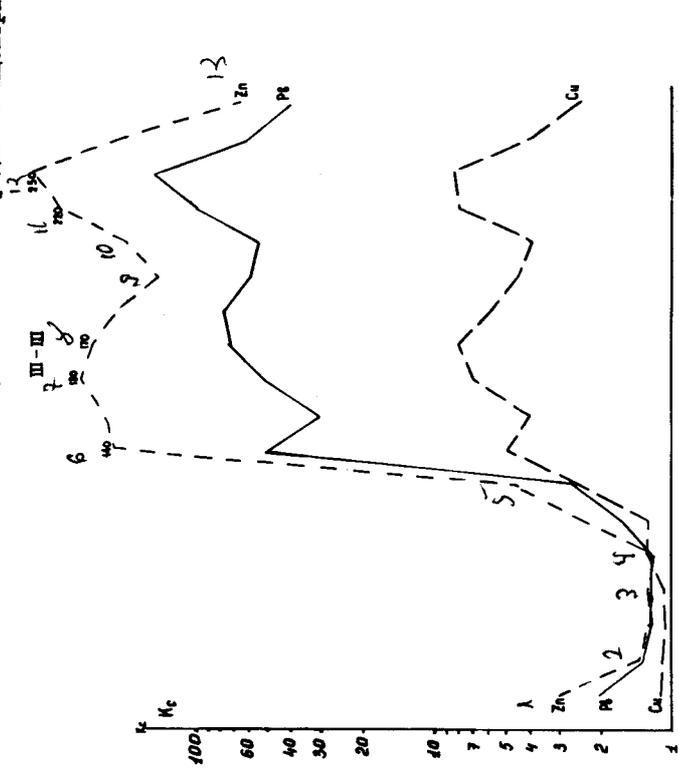


Рис. 9. Влияние промышленных стоков горнодобывающего района на концентрацию химических элементов в донных осадках рек
 I - лес; 2 - кустарник; 3 - луг; 4 - населенный пункт; 5 - хвостохранилища, действующие старые; 6 - то же, новые; 7 - обогатительная фабрика; 8 - шахты; 9 - водотоки, уходящие в тоннель; 10 - горные выработки; а) эксплуатационные, б) разведочные; II - притоки

меняется, а общий уровень их накопления в техногенных потоках значительно выше, чем в рудных [56, 57, 67, 92].

Многочисленные данные по донным отложениям природных и техногенных потоков показывают, что они четко фиксируют структуру ассоциации химических элементов, составляемых в водные системы горнорудных районов и позволяют выявить зоны воздействия горно-обогатительных комплексов.

Таким образом, горнодобывающая промышленность оказывает существенное влияние на миграцию химических элементов, которая проявляется в возникновении контрастных и протяженных аномалий в

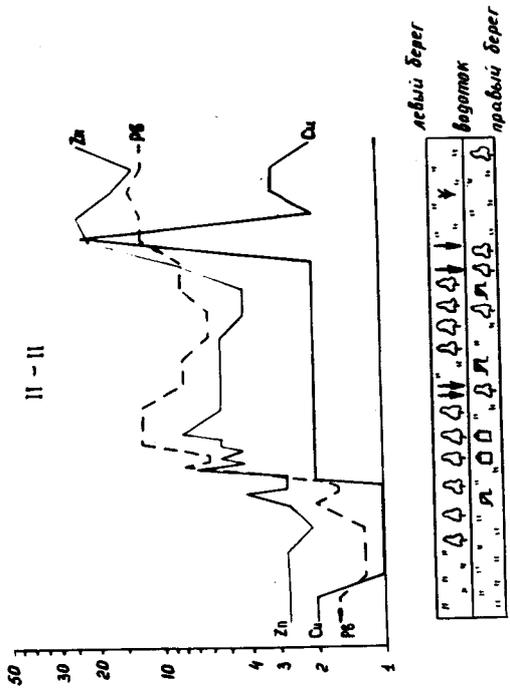


Рис. 10. Распределение химических элементов в донных отложениях реки, дренирующей район геологоразведочных работ
 Удл. обознач. см. на рис. 9.

водных системах. Появление последних обусловлено потерями вещества в технологической цепи и вовлечением его в миграцию. Все анмали имеет полэлементный характер, что хорошо согласуется с составом промышленных стоков. Наиболее резко и стабильно аномалии проявлены для твердофазной составляющей потоков рассеяния. Степень концентрации всех веществ может значительно превышать таковую в природных аномалиях. Даже после прекращении эксплуатации

Таблица 13
Сравнительная характеристика содержания (мг/кг) некоторых химических элементов в донных отложениях природных и техногенных потоков проливания

Элемент	Природные		Техногенные	
	30-300	200-300	100-2500	2000-3000
Ag	-	-	-	-
Cu	100-2500	2000-3000	1000-3000	500-2000
	300	200	1000-3000	-
Pb	30-300	200-300	100-2000	10-100
	60-300	200	100-2000	10-100
Zn	300	200	100-2000	10-100
	1000-3000	200	100-2000	10-100
Cd	100-2500	2000-3000	1000-3000	500-2000
	300	200	1000-3000	-
Ni	100-2500	2000-3000	1000-3000	500-2000
	300	200	1000-3000	-
Mg	100-2500	2000-3000	1000-3000	500-2000
	300	200	1000-3000	-

Примечание: В таблице использованы данные космополитов: Поликарпович [47], Вороников [7], Каванья [27], Растетск [90], МакГилл [86], и данные авторов.

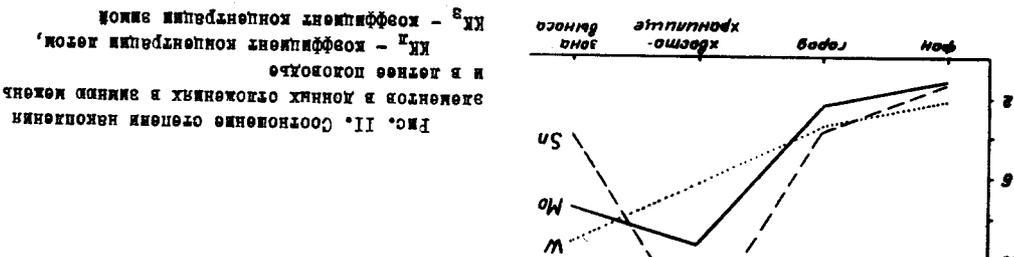


Рис. 11. Соотношение степеней накопления элементов в донных отложениях в зависимости от расстояния и в летнее половодье
K₂ - коэффициент концентрации летом, K₁ - коэффициент концентрации зимой

ции месторождений загрязненные донные осадки могут являться вторичным источником поступления веществ в водную фазу.
Загрязнение поверхностных водных систем в горноудных районах может привести к загрязнению и недопустимому ухудшению качества подземных вод, которые в таких районах часто являются единственным источником водоснабжения. Это связано с тем, что в районах горнодобывающей промышленности обычно формируются региональные воронки депрессии, и происходит подпитывание подземных вод поверхностными. Эти процессы однако пока еще плохо изучены.

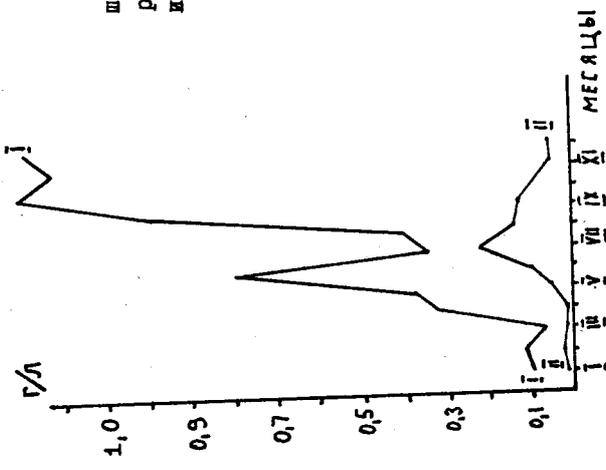


Рис. 12. Содержание взвешенного вещества в воде реки, дренарующей ГОК (I) и в фоновом водотоке (II)

Особой проблемой в последнее время становится подводная добыча полезных ископаемых, с которой связано появление горнопромышленных ландшафтов на континентальном шельфе [66]. Карьерно-отвалы ландшафты уже сейчас возникают на шельфах Австралии, Канады, Исландии, Мексики, США и на шельфах Дальнего Востока и Прибалтики. Так при разработке марганцевых конкреций происходит разрушение донных отложений, гибель бентоса (а на восстановление его нужно 200 лет), уменьшение фитопланктона, вызывающее изменение фотосинтеза и трофических цепей, токсичное влияние на ряд тяжелых металлов.

Природные гипертермные геохимические аномалии
рудных месторождений как зоны загрязнения

Большая часть открываемых месторождений выведена процессами эрозии и эрозии в зону гипергенеза, где руды и первичные ореолы попадают в резко неравновесную физико-механическую и физико-химическую обстановку. Это приводит к широкому развитию в зоне гипергенеза процессов разрушения рудных месторождений, распределения их вещества в окружающем пространстве - природных телах биосферы - и образованию вторичных ореолов рассеяния, прежде всего в почвах. Природный вторичный ореол рассеивания - это сравнительно локальная, примыкающая к месторождению часть ландшафта, в пределах которой устанавливается аномальные геохимические характеристики (главным образом, повышенные концентрации химических элементов), обусловленные процессами гипергенных преобразований (выветривания) и рассеяния (водная и механическая миграция) вещества рудных тел и первичных ореолов.

Следует отметить, что аномалии химических элементов в районах рудных месторождений фиксируют экстремальные эколого-геохимические ситуации, известные нам в природе. В этой связи их оценка при проектировании природоохранной деятельности на формируемых горнообогатительных комбинатах очень важна.

Гипертермные геохимические процессы на рудных месторождениях и образуются при этом аномалии в известном плане можно рассматривать как модели техногенных геохимических ситуаций. Анализ их позволяет прогнозировать поведение химических элементов в скоплениях загрязняющих веществ. Особенно это важно для решения таких плохо исследованных задач, как поведение отходов в процессе их неизбежного выветривания в условиях дневной поверхности и миграции химических элементов при захоронении отходов в толще горных пород.

Природные гипертермные геохимические аномалии довольно хорошо изучены. Особенности их состава, строения и пространственного распределения отражены во многих фундаментальных работах [2, 12, 19, 28, 29, 47, 53, 59]. В связи с этим отметим лишь выводы, наиболее важные для темы данной работы.

I Природные геохимические аномалии, проявленные в других природных телах - водах и растительном покрове - кратко охарактеризованы в специальных разделах.

Общим свойством всех природных геохимических аномалий является полнэлементность их состава. Состав гипертермных аномалий хорошо коррелирует с составом руд и включает помимо главных рудных элементов элементы-спутники. Последние, однако, в практике геолого-геохимических исследований, проводимых для целей поисков рудных месторождений, изучаются неполно. Как правило, данные по таким токсичным ингредиентам как кадмий, селен, часто ртуть, мышьяк, либо отсутствуют, либо приводятся по результатам анализов с невысокой чувствительностью, фиксирующих лишь очень высокие содержания. Площадь ореолов отдельных месторождений варьирует в пределах: десять доли - первые квадратные километры. Однако эти ореолы практически всегда блокируются в смежные серы, характернейшие орудование рудных полей и районов. Площадь таких серий уже десятки и сотни квадратных километров. Для этих территорий обычно характерен общий повышенный уровень концентрации рудобразующих элементов, на фоне которого и проявлены ореолы отдельных месторождений и рудопроявлений, занимающие в среднем около 20-25% общей площади.

Обобщение многочисленных поисковых данных показывает, что в среднем уровень концентрации химических элементов в ореолах месторождений (выделяемых в контуре с 95%-й вероятностью) не более чем в 10-15 раз превышает фоновые значения. Лишь в центральных очень локальных (0,01 км²) зонах ореолов, непосредственно трассирующих рудные тела, уровни концентрации выше и значительно выше (в десятки, редко сотни раз превышающие фоновые). Природные геохимические аномалии в почвах значительно менее интенсивны, чем техногенные аномалии. Тем не менее и в их пределах для элементов, имеющих гипергенетические нормы концентрации в почвах, регистрируются зоны с превышением этих норм (свинец, ртуть, резе - мышьяк, медь, цинк и другие). Таким образом, выявлены слабый и средний индивидуальные уровни воздействия отдельных химических элементов на скользя-шпудь значительных площадях. Однако в связи с высокой комплексностью природных геохимических аномалий суммарные (аддитивные) показатели накопления химических элементов в почвах очень велики.

Несмотря на то, что площади проявления интенсивных гипертермных аномалий меньше, чем техногенных, при планировании горнообогатительных предприятий не исключено использование территорий таких аномалий под жилую застройку и сельское хозяйство, застройку

нической специализации территории на уровне 2-3 класса, редко больше. Тем не менее, такие провинции имеют важное экологическое значение, так как с ними связаны многие эпидемические заболевания человека и животных. Несмотря на то, что серьезные комплексные эколого-биохимические исследования подосных провинций начали сравнительно недавно, имеется уже много примеров неблагоприятных биологических последствий (медно-цинковая провинция Южного Урала, сурьмяные провинции Ферганской долины, молибденовые провинции Северной Америки и др. [4] и для всех рудных месторождений необходимых исследований в этом направлении.

Таким образом, природные геохимические аномалии с экологическими позицией могут быть интерпретированы как зоны загрязнения, ограничивающие возможности природопользования при проектировании горнообогатительных комбинатов.

Эколого-биохимическая оценка геохимических аномалий

Экологическая оценка геохимических аномалий в конечном счете определяется уровнями концентрирования химических элементов в живых организмах (то есть биохимическими связями в системе среда-организм) и биологическими следствиями этого явления.

Исследования биохимических и биологических последствий загрязнения окружающей среды химическими элементами начали практически лишь в последние 15-20 лет. Основная масса работ этого направления выполняется в экспериментальном изучении реакций живых организмов на поступление в них тем или иным путем (с пищей, воздухом, водой) повышенных концентраций химических элементов. В результате этих работ выявлена широкая и разнообразная гамма отрицательных последствий, выраженных как в виде специфических для того или много химического элемента болезненных реакций, так и в виде реакций неспецифического характера, когда действие элементов способствует увеличению частоты отклонений от нормального физиологического развития организма или повышению общей заболеваемости.

Химические элементы - это протоплазматические токсиканты, способные накапливаться в живых организмах. Токсичность их в общем случае возрастает с увеличением атомной массы. Установлена также зависимость между степенью токсичности и физико-химическими константами элементов: электроотрицательность, потенциалом ионизации, стабильность комплексов.

Обеспечивающее местное население основными объемами растительных (а иногда и молочных пищевых продуктов). Это связано с тенденцией размещать поселки геологоразведочных партий и экспедиций как можно ближе к разведываемым месторождениям. Поселки часто наследуются ЮКами и впоследствии загрязнение окружающей среды здесь может резко усиливаться за счет техногенных аномалий.

Так, район одного рудного поля сульфидного месторождения составляет 250 км^2 , из них на 120 км^2 концентрируются свинец, медь, цинк, кобальт, олова, молибдена превышает фоновые значения в 5-10 раз, и на площади 25 км^2 - более, чем в 10 раз. Из девяти населенных пунктов этой территории - семь расположены на территориях с высоким содержанием химических элементов, причем три из них находятся в пределах интенионных (содержания в 10 и более раз выше фоновых) аномалий указанных элементов. Особенно опасно, что на этих же территориях размещены сельскохозяйственные угодья и приусадебные участки, и владения, этих участков почти весь овощной и фруктово-ягодный район получили с территории аномалий.

Для другого крупного региона развития сульфидно-кислородных месторождений по поисковым геохимическим данным выявлены три типа аномалий, включенных в ассоциацию элементов-индикаторов весьма токсичный комплекс химических элементов: 1) ртуть - свинцово-мышьяковые с цинком, медью, оловом, сурьмой, марганцем; 2) свинцово-мышьяковые, также содержащие высокие концентрации названных выше тяжелых металлов и 3) свинцовые с медью и цинком. Общая площадь проявления аномалий около 5000 км^2 . Концентрация свинца в почвах достигает 0,1-0,5%, ртути - 0,001%, что многократно выше предельно допустимых. В рассматриваемом регионе планируется развитие значительной горнодобывающей промышленности и крупной обогатительной инфраструктуры. До проведения эколого-геохимической экспертизы, ряд угодий крупных совхозов и подсобных хозяйств проектировалось разместить в зонах интензивного развития ртутно-свинцово-мышьяковых аномалий.

Региональные геохимические поля, фиксирующие рудные провинции и металлогенетические зоны по уровню накопления химических элементов в объектах биосферы, значительно менее контрастны по сравнению с аномалиями рудных полей и месторождений. Уступают они им и по комплексу проявленных в них химических элементов. Как правило, такие провинции - субрегионы биосферы по определению В.В.Ковальского [30] - фиксируются главными элементами металлогенеза.

Экспериментальным изучением на животных установлен характер влияния токсичных солей химических элементов на отдельные системы организма. Главные следствия — это гонадогормональность или влияние на половые клетки (убывающий ряд элементов теллур-кадмий-ртуть, мышьяк-барий, хром-никель, цинк); нейрогоксичность (теллур-ртуть, свинец-серебро-барий-никель-хром-цинк); нефрогоксичность (кадмий-ртуть-теллур-цинк-никель-хром-барий-серебро). Установлено воздействие повышенных доз многих химических элементов, связывающиеся в угнетении или поражении жизненно важных центров и функций: центральной нервной системы, органов кроветворения, внутренней секреции, скелета. Очень серьезны мутагенные эффекты, нарушающие репродуктивную функцию организма и выраженные в виде патологий ферментности и родов. В последнее время появляются данные по канцерогенному влиянию многих химических элементов.

При исследовании растений установлено, что в основе токсического эффекта химических элементов лежит их деактивирующее действие на метаболически важные белки, что затрагивает самые различные физиологические звенья обмена: рост корней, фотосинтез, водный обмен и другие. Общие неспецифические проявления действия химических элементов: замедление роста, хлороз, снижение продуктивности, изменение биохимических показателей.

Воздействие химических элементов сильно зависит от способа их проникновения в живой организм, форм нахождения и характера ассоциаций.

Разнообразие соотношений всех этих факторов в природных и техногенных аномалиях не позволяет пока теоретически прогнозировать конечный эффект и требует натурных исследований. Работ такого рода пока еще сравнительно немного, особенно конкретно для горнорудных территорий. И, несмотря на то, что многие выходы, полученные для более изученных источников загрязнения (промышленные города, районы металлургических предприятий), могут быть достаточно широко распространены, важно представить хотя бы в первом приближении существующие данные по влиянию горнообогатительных производств и природных геохимических аномалий. Специфика их заключается в широкой комплексности состава загрязняющих веществ (в котором определяющую роль играет именно химические элементы при сравнительно небольшом значении органических загрязнителей) и в многообразии путей их поступления в организмы.

Наиболее углубленно, хотя и для небольшого списка объектов,

исследованы реакции живых организмов в природных биогеохимических провинциях некоторых рудных районов. Этим проблемам посвящены фундаментальные работы школы Биогеохимической лаборатории, созданные В.И.Вернадским и возглавлявшейся многие годы А.П.Виноградским и В.В.Ковальским.

Так, исследования биогенных циклов меди, цинка, кадмия, кобальта и никеля в так называемом Южно-Уральском субрегионе био-сферы (медно-цинковая и никель-кобальто-медная провинция в районах развития колчеданных месторождений) показали, что даже при сравнительно небольших средних уровнях накопления элементов в пределах региональных геохимических полей (коэффициенты концентрации в породах и почвах в 2-4 раза выше кларковых уровней) наблюдаются серьезные экологические последствия. В растениях, при этом же примерно уровне аномального накопления элементов, широко развиты различные дисфункции, проявленные либо в виде морфологических отклонений (изменения роста и развития), либо в виде эндемических заболеваний — хлороза, некроза или бесплодия [4]. У животных [4].

широко распространены эндемические заболевания ягнят, поражающие до 50% приплода. При этом понижается уровень гемоглобина и эритроцитов и наблюдается увеличение содержания меди в печени при повышении ее в крови. У человека, по данным Р.А.Рублика [4], установлено распространение эндемической анемии, вызванной увеличением концентрации меди в местных продуктах питания (в 2-3 раза).

Для биогеохимической провинции в районе рудных месторождений установлено [21], что концентрация ртути в травянистых растеньях варьирует от 0,7 до 10 мг/кг, а в почвах и печени овец 0,3-0,5 мг/кг (при фоне 0,05-0,08 мг/кг).

Естественно, что степень концентрации химических элементов в растенных вторичных ореолов рудных тел и месторождений может быть значительно выше, о чем, в частности, говорят многочисленные данные по биогеохимическим ореолам рассеяния [29]. При этом, в таких случаях обычно повышается комплексность состава. Например, авторами в пробах укоса на полиметаллических месторождениях (медь, цинк), наблюдались концентрации токсичного кадмия от 1,5 до 11 мг/кг (при фоне 0,4 мг/кг). Таким образом, экологическая опасность участков развития вторичных ореолов, в принципе, не.

также токсичные элементы как мышьяк, молибден, селен, ванадий, а также тяжелые металлы (кобальт, никель, медь, свинец), находящиеся обычно в форме сульфидов. Многие из этих элементов в результате процессов выщелачивания, происходящих на хвостохранилищах, попадают в окружающую среду, загрязняя почву, грунтовые воды, растения (табл.16).

Т а б л и ц а 15

Содержания тяжелых металлов в почве и растительности из района отвалов фосфоритовых руд Айдахо (мг/кг)

Возраст отвалов	Кадмий	Свинец	Цинк
Старые:			
Почва	14,5±6,8	20,3±5,7	443±210
Лицерна	1,1±0,9	2,1±1,3	41±12
Кормовые травы	1,4±0,7	0,6±0,4	70±27
Молодые:			
Почва	33,4±8,9	33,7±2,7	1112±124
Лицерна	4,6±2,0	3,7±0,6	63±13
Кормовые травы	1,8±0,6	1,7±0,7	96±24
Контроль:			
Почва	1,0±0,3	15,4±0,8	54±16
Лицерна	0,4±0,1	2,2±0,7	34±19
Кормовые травы	0,1±0,1	0,6±0,4	30±17

Т а б л и ц а 16

Концентрация элементов в траве и кустарниках на почвах отвалов (мг/г)

	Se	Mo	U	As	Ni	Co	Pb	Cu	V
Трава на почвах отвала	51	133	0,16	0,13	3,0	0,55	27	33	0,34
Контроль	2,4	9,0	0,07	0,04	5,6	0,30	12	35	0,76
Кустарники на почвах отвала	57	200	4,8	0,43	4,7	0,40	0,4	16	17
Контроль	48	8,0	0,04	0,1	5,1	0,49	2,0	0,70	1,06

В районе города Альмаден (Испания), где расположены ртутные шахты, в почвах содержание ртути составило 97±7 мкг/г (при

рудников. Так, в Уэльсе [82] и в Сомерсете [85] в 100-500 м от старых породных отвалов, вследствие ветровой и водной эрозии образовались аномалии с содержанием свинца в растениях до 275 мкг/г, что превышает допустимый уровень. При выносе на этих участках отмечались случаи гибели домашнего скота. При этом в фекалиях коров содержание Cd например, достигало 6-50 мкг/г при норме 1-2 мкг/г. Аналогичные случаи наблюдались в Шотландии [93] при вынасе в районе дорог, построенных из отвалов свинцового рудника. В крови погибших коров здесь обнаружилось огромное содержание свинца (2 мг/л).

На уже упоминавшемся выше Чигуроком месторождении наблюдается обогащение марганцем растений, произрастающих на отвалах и в депрессиях с намытыми почвами [63]. Листья кукурузы содержат 250-500 мг/кг Mn , клевер - 80-164 мг/кг, лицерна 59-132 мг/кг. Содержание марганца в соломе злаковых (пшеница, рожь, овес) 22,5-198 мг/кг. В среднем количество марганца в сеяных травах в 2 раза меньше, чем в укосах трав естественных лугов.

В Ирландии некоторые почвы, сформировавшиеся на сланцах, содержат значительное количество селена и молибдена, что ухудшает питательный корм для скота. Наибольшее количество элементов поглощается растениями из семейства крестоцветных и бобовых [77]. В штате Айдахо, где сосредоточено 35% всех фосфорных рудников, отвалы засеивались лицерной и кормовыми травами [81]. Результаты геохимических исследований показали, что как в старых, так и в новых отвалах наблюдается интенсивное загрязнение почвы и растительности. Вместе с тем, тенденция к снижению уровня загрязнения на старых отвалах довольно отчетливая (табл.15).

По материалам английских ученых [74] на полях, расположенных в пределах первых сотен метров от отвалов старого рудника в Западном Уэльсе содержание металлов в почвах варьирует (средние максимальные, в скобках - допустимые): свинца 1759-14910 мг/кг, (70 мг/кг), медь - 32-42 (29), цинка - 96-64 (195), кадмия - 1,4-2,9 (2,4). Основной загрязнитель здесь свинец. На этих полях наблюдается гибель животных и было отмечено повышенное содержание Pb в крови детей этого района (14,7-44,1 мкг/100 мл). Немного меньше содержали в 3-12 раз больше Pb , чем мате, что свидетельствует о роли пищевого фактора. Среднее содержание в мятах листьев составило 75,4 мг/кг (максимальное до 128 мг/кг).

Отходы урановых горнообогатительных предприятий содержат

контроле 2,3±0,4 мкг/г); на расстоянии 15 км от шахт содержание ртути в почвах падает до 3,1-5,3 мкг/г. Основными источниками загрязнения ртути в районе являются: химическое выветривание ртутьсодержащих пород, сухое и влажное выпадение при производстве и респирации шахтных отходов [84]. Этими же авторами установлены высокие содержания ртути в растениях, произрастающих в 2,6 км от шахт. Так во мхах содержание Hg составило 19,74 мкг/г, а в дубе - 1,44, в овсе - 2,02 при средних фоновых содержаниях ртути в растениях 0,08-0,1 мкг/г.

В некоторых работах прослеживается влияние загрязненных вод. Так индийские ученые [91] установили, что аномально высокие содержания свинца в стоках (до 75 мкг/л) и в почвах, испытывших воздействие стоков в районе обогатительной фабрики (в 13-24 раза выше фона), привели к накоплению свинца в молоке коров (в 15-20 раз) и к свинцовым отравлениям животных.

В районе уранового рудника в Колорадо для орошения были применены рудничные воды. Это привело [75] к увеличению содержания молибдена и урана в травах и овощах (до 110-190 мкг/г молибдена при фоне 1-8 мкг/г и 0,2-2 мкг/г урана при фоне 0,02-0,07 мкг/г).

В Канаде (район г.Неллуэуайф) при разработке золоторудных месторождений происходил сброс отходов в озеро. Поступление мышьяка с отходами составляло 2,9 т/год, что привело к загрязнению донных отложений мышьяком до 2700-3300 г/т [94]. Наблюдалось также загрязнение воды и гидробионтов этих озер. Концентрация мышьяка в растительных озер менистых в пределах 260-3600 мг/кг в зависимости от вида.

В тундровой зоне в результате длительного сброса использованной оловодобывающими предприятиями воды в р.Хроме биомасса зоопланктона уменьшилась в 1500 раз, улов ценной рыбы шира уменьшился более чем в 8 раз. Загрязнение отрицательно воздействовало на репродуктивность р.Лены. За последние 30 лет численность нельмы здесь сократилась в 6 раз, муксуна - в 10 раз [41].

Многолетние детальные работы близ района золотодобывающих шахт около г.Галдифекс (Канада) показали, что в результате сбросов мышьяксодержащих сточных вод увеличилась концентрация этого элемента в колодцах (до 5 мг/л или в 100 раз выше ПДК). У жителей района установлены случаи хронического мышьякового отравления. В Бенгалии [68] влияние вод с мышьяком регистрировалось при значительно более низких концентрациях (0,05-1,0 мг/л).

Донные отложения часто являются более точными, чем вода, индикаторами эколого-химических условий в водной системе.

В Ульяновске (горнодобывающий округ в "стране озер" в Англии) в зоне воздействия рудников тяжелые металлы контрастно накапливаются в макродитах и рясе (форели). При этом содержание металлов в гидробионтах лучше коррелировало с распределением в донных отложениях, чем с фоновыми загрязнением воды [74].

Таким образом, имеющиеся материалы показывают значительную экологическую опасность иметься практически для всех известных типов геохимических аномалий, формирующихся в окружающей среде горнорудных районов.

Общие выводы по особенностям загрязнения окружающей среды в горнорудных районах

Обобщение имеющихся материалов по эколого-геохимическому анализу состояния окружающей среды горнорудных территорий показывает, что при распространении ныне существующих добывающих и перерабатывающих зон загрязнения химическими элементами есть закономерное следствие применяемых технологий.

В потенциале практически любое месторождение - мощный источник загрязнения комплексного характера. Это связано с обязательным присутствием повышенных концентраций широкой ассоциации токсичных химических элементов в добываемых и перерабатываемых рудах и в отходах производства, составляющих до 98% извлекаемой горной массы. Комплексность месторождений как источников загрязнения проявляется также в разнообразии охватываемых загрязнением природных сред. Это повсеместно способно оказать неблагоприятное воздействие на все основные жизнеобеспечивающие ресурсы - воду, воздух и пищевую продукцию - накапливающие токсичные химические элементы. Отсюда следует, как показывают многочисленные данные, отрицательные экологические реакции всех живых организмов, включая человека (рост общей и специфической заболеваемости, снижение экологической продуктивности, отдаленные мутагенные последствия, в крайних случаях - гибель).

Специфические особенности влияния того или иного ГОКа обуславливаются прежде всего геолого-геохимическими особенностями месторождений, различающихся по ассоциациям химических элементов в природных или техногенных миграционных цепях. В то же время

степень прохлвленности той или иной миграционной цепи (а, следовательно, и степень ее экологической опасности) связана, главным образом, с принятой системой добычи и обогащения руд.

Зоны загрязнения на участках действия миграционной цепи выбросов в атмосферу обусловлены открытой добычей, дробильными процессами и пылением отходов. Эти зоны очень интенсивны и определяют качество воздуха, почвы и растительной продукции. Формирование таких зон (особенно при бурозазвннных работах) в принципе неизбежно. Однако территориям интенсивных воздействий для таких зон (участки, где концентрации загрязняющих веществ превосходят предельно допустимые нормы) довольно локальны (первые километры) и расположены они в непосредственной близости от источника загрязнения.

Для действующих предприятий реальны границы таких территорий легко фиксируются по материалам геохимического картирования распределения химических элементов в почвах и выпадающих из атмосферы (лучше всего на снеговой покров). На проектируемых предприятиях они рассчитываются как поле вероятного распространения выбросов. При этом геохимические данные по составу руд и отходов (и, соответственно, по вероятному составу штейн) позволяют выделить в расчеты наиболее токсичные и распространяемые компоненты окисляемого загрязнения.

Таким образом, геохимические материалы позволяют прогнозировать токсичность выбросов горнообогатительных комбинатов и на этой основе разрабатывать природоохранные мероприятия.

Зоны загрязнения на участках проявления водно-миграционных потоков обусловлены стоками из хранилищ отходов и водоотливом из горных выработок. Эти зоны образуются с высокой скоростью и проявлены в поверхностных водотоках и водоемах, в грунтовых, аллювиальных и подотвальных водах, в почвах (и растенных) пойменных ландшафтов, а также на сельскохозяйственных территориях, используемых для полива воду загрязненных рек. Наиболее значительные уровни загрязнения водных систем связаны с миграцией химических элементов в составе твердых взвешенных в воде частиц. В дольных отложениях рек образуются очень интенсивные зоны загрязнения, состоящие из десятков (а возможно и сотен) лет после закрытия горнообогатительного производства и являющиеся источниками вторичного загрязнения водной системы в целом. Их протяженность очень велика (десятки километров), и они распространяются далеко за

пределы территории Ююков, определяя экологическую обстановку в речных бассейнах значительных территорий. Практически во всех наблюдавшихся случаях действующих горнообогатительных комбинатов водно-миграционная цепь распространения загрязняющих веществ была проявлена очень интенсивно. Тем не менее, ее формирование не есть неизбежное следствие технологии. Прогноз состава и форм нахождения загрязняющих веществ в стоках позволяет создать системы выравнивания отходов и очистки стоков, сводящие к минимуму возможность образования водно-миграционной цепи распространения загрязняющих.

Территории распространения рудных месторождений (рудные поля и районы) могут также рассматриваться как природные зоны загрязнения, что объясняется гипертренными рудными ореолами и потоками рассеяния химических элементов, проявленными во всех компонентах современных ландшафтов. Наиболее интенсивны и опасны природные ореолы в почвах, растениях и водных системах, где уровни концентрации химических элементов могут превышать предельно допустимые. Размеры таких ореолов весьма значительны (десятки и сотни километров), и в горнорудных районах именно эти зоны в первую очередь определяют чистоту окружающей среды и возможность того или иного функционального использования территории. Геохимические данные - литохимические съемки почв, дольных отложений, гидрхимические и биохимические материалы, позволяют всесторонне охарактеризовать параметры окружающей среды и выделить территории, не отвечающие нормативным уровням.

Геохимические материалы, собранные на действующих горнорудных предприятиях, позволяют всесторонне охарактеризовать параметры окружающей среды и создать модели для прогноза ситуации на аналогичных месторождениях и территориях. Для разведываемых месторождений геохимические исследования руд и ореолов и их преобразования при выветривании, а также в процессах технологического передела позволяют прогнозировать состав потоков загрязняющих веществ и их вероятное распределение в окружающей среде, что является ценным материалом для разработки природоохранных мероприятий при проектировании горнообогатительных комбинатов.

2. ЗАДАЧИ И ТРЕБОВАНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА СТАДИИ РАЗВЕДКИ

Геохимический анализ отрицательного воздействия на окружающую среду, проявленного в горнорудных районах, позволяет сформулировать задачи геолого-геохимического изучения месторождений при геологоразведочных работах и дать обзор характеристик сводений, необходимых для их решения.

В наиболее общем виде можно выделить три задачи:

① Качественная и приближенно-количественная оценка месторождения как источника токсичных химических элементов в выбросах, стоках и стоках при добыче и обогащении с целью разработки при проектировании горнообогатительного комбината специально природоохранных мер.

② Установление в зоне деятельности геологоразведочной партии пространственного положения интенсивности и состава природных геохимических аномалий токсичных химических элементов (эричных ореолов и потоков рассеяния, биогеохимических ореолов) с целью проектирования экологически безопасного функционального использования территорий при размещении жилых массивов, сельскохозяйственных угодий, рекреационных зон и источников водоснабжения.

③ Получение фоновых геохимических характеристик окружающей среды района месторождения и параметров ее состояния с учетом влияния производственной и хозяйственно-бытовой деятельности, сложившейся в районе проектируемого горнообогатительного комбината, с целью проведения последующего контроля за результатами его деятельности.

Рассмотрим детальнее содержание этих задач и характеру необходимых данных.

Оценка месторождения как потенциального источника загрязнения окружающей среды включает:

получение данных по первичным ореолам химических элементов в рудовмещающих горных породах, извлекаемых при вскрытии орудения подготовительными выработками и перемещаемых в породные отвалы;

получение геохимических данных по составу рудной массы, поступающей на обогащение и являющейся источником загрязнения в связи с выбросами пыли при добыче, рассеивании, при транспорти-

ровке руды к обоганительной фабрике и с пылевыми выбросами при дроблении руды;

оценка баланса распределения химических элементов, как главных, так и, что особенно важно, элементов-примесей в цепи технологической переработки руды проектируемой схемы обогащения, установление степени накопления токсичных химических элементов в отходах и сточных водах обогатительных процессов.

Многие из перечисленных данных в сущности уже имеются в результатах геологоразведочных работ. Это следует, в частности, из существующих требований к итоговому материалу этих работ, предусматривавших изучение первичных ореолов месторождений и комплексный анализ состава руд. Вместе с тем, при геолого-геохимических исследованиях часто ограничиваются типоморфным для данного месторождения набором элементов-индикаторов. Для эколого-геохимических целей он не всегда достаточен. Практически во всех случаях необходимо изучение таких наиболее токсичных химических элементов, как ртуть, свинец, кадмий, селен, медь, мышьяк, хром и ванадий. Уровень общей геохимической изученности первичных ореолов и руд для различных типов месторождений сейчас вполне достаточен, что позволяет легко установить комплекс химических элементов, необходимый для исследования на каждом конкретном месторождении [16].

Для оценки токсичности породных отвалов и хвостов обогащения очень важно выяснить содержание и запасы накапливающейся в них сульфидной серы, которая при окислении в условиях дневной поверхности обязательно обусловит образование сернистых агрессивных вод, интенсифицирующих водные потоки рассеяния тяжелых металлов. Очень полезно также получить представление о карбонатности и емкости поглощения отвалов и хвостов, т.е. о мощности формирующихся в них геохимических барьеров для распространения потоков рассеяния. По этим данным можно простым химическим расчетом определить возможность нейтрализации или сорбции продуктов окисления.

Для оценки опасности отходов для окружающей среды очень полезно также изучение поведения химических элементов в процессах современного и древнего выветривания. Эти материалы позволяют прогнозировать вынос элементов. Данных такого рода, особенно для наиболее токсичных элементов (кадмий, селен, мышьяк, ртуть) пока не много [53].

Получаемые данные, естественно, дают достаточно приближенную оценку месторождения как потенциального источника загрязнения. Эта оценка значительно уточняется в случае получения данных по балансу распределения всех исследуемых химических элементов в технологической цепи обогащения руд на стадии предварительной и, особенно, детальной разведки. Здесь следует иметь в виду, что для элементов-примесей (чаще всего для наиболее токсичной части руды) проявляется тенденция к избирательному концентрированию в отходах (шлаках, хвостах). Таким образом, реальные оценки токсичности бывают выше, чем следует из данных по среднему составу руд.

Оценка территории месторождения и особенно рудного поля как динамической эколого-геохимической аномалии, способной оказывать отрицательное воздействие на живые организмы (включает: 1) построение детальной геологической карты распределения в почвах всех наиболее распространенных и наиболее токсичных химических элементов руд и первичных орудов (особенно на территориях, перспективных для жилищного строительства и сельскохозяйственного использования); 2) проведение выборочной оценки уровня биогеохимического концентрирования элементов в пределах выявленных аномалий в почвах; 3) построение детальных карт потоков рассеяния в донных отложениях водоемов и водотоков; 4) проведение динамической оценки распределения химических элементов в поверхностных водах по гидрологическим станциям в пределах выявленных наиболее интенсивных потоков в донных отложениях; 5) получение данных по распределению химических элементов в подземных водах, перспективных для любого типа водопользования.

Многие из требуемых данных имеются в материалах геохимических поисковых работ, чаще всего, в виде карт геохимических орудов и потоков рассеяния масштаба 1:50000 и мельче. По этим материалам и определят территорию, требующую более детальной эколого-геохимической оценки с целью безопасной организации земледелия и водопользования.

Необходимость экологической интерпретации геохимических данных приводит к изменению, предельных к ним требований: расширение комплекса изучаемых химических элементов и использование количественных методов определения для гигиенически нормируемых природных сред.

При оценке состояния почв масштаба геохимического картирования

ния должен дать характеристику территории каждого возможного вида землепользования (строительство жилых массивов, садово-огородные участки, полевые севообороты, выпасы). Опыт показывает, что масштаб съемки порядка 1:10000 достаточен для решения этих задач. Наиболее широкий комплекс элементов должен быть изучен в центрах выявленных аномалий при проведении их биогеохимического изучения. Последнее в рассматриваемом случае особенно важно, так как позволяет оценить качество естественной растительной продукции, например кормов, дать обоснованные ограничения территории под сельскохозяйственное использование.

При проведении экологических оценок природных геохимических аномалий в почвах и растений помимо расширения комплекса изучаемых химических элементов и детализации пространственной структуры их распределения большое значение имеет определение количественных параметров содержания с целью их последующей нормативной оценки.

В этой связи, в отличие от принятой в поисковой практике системы представления и описания геохимического материала в виде суммарных характеристик ассоциаций химических элементов (аддитивные, мультипликативные показатели, коэффициенты зональности и т.д.) для экологических целей не менее важны данные по распределению абсолютных уровней содержания. При этом все большее значение имеет исследование форм нахождения химических элементов, которые в ближайше годы, вероятно, лягут в основу оценки экологических норм. В частности, уже сейчас для многих элементов (свинец, медь, никель, фосфор, цинк, железо, молибден, бор) при оценке состояния почв как с точки зрения их загрязнения, так и агрохимической ценности необходимо определение содержания подвижных, усвояемых растениями форм нахождения [20,23,42].

При оценке состояния поверхностных водных систем данные поисковых геохимических съемок, как правило, позволяют довольно точно оценить общую зону влияния месторождения и пространныйное положение центров наиболее интенсивных литохимических потоков рассеяния. Основной задачей эколого-геохимических работ здесь является расширение комплекса исследуемых химических элементов. Это позволяет достаточно точно определить список химических элементов, оценка которых требуется для водных потоков рассеяния и подземных вод.

Водные потоки, как было показано, достоверно могут быть

3. МЕТОДИКА ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Геохимические данные по окружающей среде показывают, что только комплексное изучение дает возможность всесторонней оценки ее состояния. Результаты геохимических исследований должны дать рекомендации по экологически безопасным условиям природопользования для населения уже проживающего в изучаемом районе и для поселений геологоразведочных предприятий, создающихся на геологически перспективных территориях, а также дать материалы об охране природоохраненных мероприятий и схем функционального использования земель для проектируемого горнообогатительного производ-

Стадийность, виды и общая характеристика исследований

При использовании геохимических методов в природоохраненных целях, с учетом обшей периметризации освоения новой горнорудной территории, рационально выделить три основных этапа.

1-й этап - общее геологическое, геофизическое и геохимическое изучение территории для определения перспектив обнаружения промышленного рудного месторождения.

2-й этап - детальное геологоразведочное изучение перспективного оруденения с подсчетом запасов минерального сырья для обоснования возможности и необходимости создания горнорудного предприятия.

3-й этап - проектирование, проведение изысканий и строительство горнообогатительного комплекса.

Для эколого-геохимической оценки территории, как отмечалось, могут быть использованы материалы геолого-геохимических исследований, проводимых с целью выявления и оценки месторождений полезных ископаемых, дополненные данными специально проводимых работ.

Рассмотрим виды работ, характер и возможность проведения основных геохимических данных в соответствии с существующими требованиями к содержанию геохимических работ, по стадиям геологоразведочного процесса [25].

Исследования 1-го этапа освоения горнорудной территории проводятся с 1-1У стадиями геологоразведочных работ: I - региональное геологическое изучение территории; II - геологическая съемка масштаба 1:50000 с общими поисками; III - детальные поиски с опре-

опенены только в динамике, что требует организации створов для их гидролого-гидрогеохимического изучения. Заложка створов проводится прежде всего на основе данных по структуре литохимических потоков рассеяния.

Конечная цель изучения водных потоков рассеяния - оценка возможности всех видов водопользования (питьевого, сельскохозяйственного, рекреационного). В связи с этим, для исследований необходимо получение данных по всем поступающим ингредиентам состава воды, т.е. изучаются не только токсичные химические элементы, но и физические свойства, мутность, обесцвечивающая способность, для поверхностных вод очень важна оценка распределения химических элементов по формам нахождения и, в частности, соотношение воднорастворимых и взвешенных в воде форм [37,55].

Получение фоновых геохимических характеристик окружающей среды района месторождения, а также оценка параметров окружающей среды, связанной с уже сложившейся хозяйственной деятельностью - многоплановая задача исключительного значения. Чаще всего она может быть решена только при разведке месторождения, так как позже, с началом работ горнообогатительного комбината также параметры получить уже или невозможно, или очень трудно. Таким образом, только при геологоразведочных работах могут быть определены действительные природные характеристики окружающей среды.

Наиболее желательно получить данные для всех компонентов природной среды: воды, воздуха, выпадающей из атмосферы на земную поверхность, почвы, растительного покрова, по статистическим параметрам распределение максимально широкого круга химических элементов в спектре типовых ландшафтно-геохимических условий на территориях, не испытывавших влияния месторождения, в том числе и природных аномалий его обременения, или иной хозяйственной деятельности. Получение некоторых из перечисленных характеристик (геохимические данные по составу атмосферного воздуха и выпадающей из атмосферы) выходит за рамки традиционных методов прикладной геохимии. Тем не менее опыт и разработанная методика таких исследований уже имеется [37,38,39], в отсутствие таких параметров очень затрудняет проектирование природоохраненных мероприятий, в частности, расчеты предельно допустимых выбросов и стоков, и, главное, осложняет последующий контроль деятельности ГОКа.

- выделить конкретные участки водоемов и водотоков с аномальными характеристиками донных отложений, на которых могут быть обнаружены загрязняющие химические элементы в водах и водной среде.

Система анализов проб, применяемая при геохимических работах, позволяет дать представление о распределении большой части (но не всех), интересных с экологических позиций химических элементов. Обычно в получаемых анализах отсутствуют представительные сведения по кадмию, селену, ртути, мышьяку, определение которых проводится специальными методами. Однако чаще всего интересны аномалии этих элементов расположены внутри контуров аномальных основных элементов-индикаторов оруденения.

При принятии на практике комплексов геохимических исследований как правило не создается массив данных по общегеохимическим особенностям территории и микроэлементам в водных объектах (общий гидрохимический состав вод при проведении геологического картирования часто все же характеризуется).

Необходимость специальных эколого-геохимических исследований на рассматриваемом этапе зависит от полученных результатов и интенсивности хозяйственного освоения территории. В большинстве случаев задачи, характер и объем специальных работ рационально определять по итогам исследований стадии детальных поисков (стадия Ш), а осуществлять на стадии поисково-оценочных работ (стадия IV). С этой целью, карты ландшафтно-геохимического и геолого-геоморфологического районирования территории должны быть дополнены картой их функционального использования. Эта карта, формирующая расположение и типы сельскохозяйственных угодий, поселков и частных хозяйств, предприятий, зон отдыха, заповедников и особо охраняемых природных территорий при совмещении с картами вторичных ореолов и потоков рассеяния позволяет выделить типы, положение и объем потенциально опасных с экологических позиций участков - так называемых "горячих точек".

Состав и характер специализированных эколого-геохимических работ на рассматриваемом этапе исследования охарактеризованы ниже.

1. Для территории интенсивного сельскохозяйственного освоения с проявлением широким по площади и контрастным геохимическим аномалий в почвах проводится:

- общегеохимическое изучение концентрации химических

делением ресурсов на конкретных участках; IV - поисково-оценочные работы с оценкой выявленных проявлений.

На первом этапе для изучаемой территории уже существует сложившаяся хозяйственная структура природопользования, пока еще не связанная с освоением перспективного месторождения. В этот период как правило, принимается решение о создании на территории постоянно действующего геологоразведочного предприятия, обычно с поселением, размещаемым чаще всего как можно ближе к участку месторождения.

Задача геохимических исследований на рассматриваемом этапе - экологическая оценка природных геохимических аномалий как зон загрязнения и выявления вытекающих отсюда ограничений по сельскохозяйственному использованию земель и водопользованию.

Перечень геохимических данных, собираемых в этот период в соответствии с инструкцией по геохимическим методам поисков включает:

- результаты районирования территории по условиям проведения геохимических поисков с учетом ландшафтно-геохимических и геолого-геоморфологических критериев;

- материалы литохимических поисков в масштабе 1:20000 по потокам рассеяния с опробованием донных отложений современной гидросети;

- геохимические карты остаточных вторичных ореолов рассеяния в почвах и потоков рассеяния в донных отложениях масштаба 1:5000 (1:25000);

- детальные геохимические карты вторичных ореолов рассеяния в почвах на участках рудопроявления, намечаемых для поисково-оценочных работ;

- данные по составу оруденения и предварительные данные по первичным ореолам на участках поисково-оценочных работ.

Как следует из этого перечня, собираемые геохимические материалы образуют значительный массив разнообразных данных, которые могут быть довольно легко интерпретированы с экологических позиций. В частности эти данные позволяют:

- оценить общий тип геохимической провинции района месторождения;

- выявить пространственную позицию зон наиболее высоких концентраций химических элементов в почвах и дать гидрохимическую оценку уровням накопления тех элементов, для которых имеются нормативы содержания в почвах;

всего возможного комплекса токсичных элементов-спутников и элементов-примесей, а также состава макроэлементов.

2. Выделение, по данным изучения первичных ореолов, блоков пород, обогащенных химическими элементами, которые планируются переместить в отвалы. Детализация для этих блоков данных по распределению всех возможных токсичных элементов, а также макроэлементов и физико-химических и литологических показателей пород, определяющих условия миграции микроэлементов, например, концентрации сульфидной серы, карбонатов, емкость поглощения.

3. Детальное количественное изучение перераспределения токсичных элементов в корях выветривания.

4. Изучение баланса химических элементов в продуктах и отходах разрабатываемой технологической схемы обогащения. Изучение общего состава отходов обогащения.

5. Составление детальных (1:10000-1:5000) геохимических карт распределения в почвах основных токсичных элементов для территорий всех планируемых видов землепользования.

6. Биогеохимическое изучение выявленных аномалий в почвах (см. работы 1-го этапа).

7. Для всех основных гидролитических периодов динамическое изучение в поверхностных водотоках распределения выявленного на месторождении комплекса химических элементов с исследованием форм их нахождения.

8. Геохимическая съемка состава выпадающей из атмосферы.

9. Оценка состояния атмосферного воздуха на комплекс токсичных металлов в случае выявления геохимических аномалий в выпадениях.

10. Оценка содержания комплекса выявленных химических элементов в планируемых источниках водоснабжения.

11. Изучение фоновых параметров окружающей среды. Материалы, полученные в ходе перечисленных исследований, дополненные гидрометеорологическими сведениями в совокупности с результатами инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий (как на месторождении, так и в районах размещения отвалов и хвостохранилищ) служат фактическими данными для разработки природоохранных мероприятий и экологически безопасного функционального планирования территории проектируемого горнообогатительного комбината.

элементов в растительном покрове выпасов; - биогеохимическое изучение концентрирования химических элементов в сельскохозяйственной продукции (особенно садово-огородной) для поселений, территории которых совпадает с участками выявления вторичных ореолов рассеяния.

2. Для водных систем с интенсивными потоками рассеяния в донных отложениях, используемых для питьевого и сельскохозяйственного водоснабжения проводятся:

- динамическое изучение концентрирования химических элементов в водах с определением основных форм их нахождения (растворенная - взвешенная);

- изучение концентрирования химических элементов в водах, используемых для полива и в почвах, поливаемых загрязненными водами.

В случае необходимости проведения специальных эколого-геохимических работ для опытных объектов возникает необходимость выполнения параметров фонового распределения.

Получаемые материалы в конечном счете позволяют дать рекомендации по экологическим ограничениям развития в районе хозяйственной деятельности, по исследованиям для уменьшения вредных последствий уже существующего природного "загрязнения" окружающей среды и по безопасному размещению геологоразведочного поселения.

Исследования 2-го этапа освоения горнорудных территорий проводятся с У и У1 стадиями геологоразведочных работ(У - предварительная разведка; У1 - детальная разведка).

На этом этапе, когда промышленная ценность объекта уже в общем ясна, становятся необходимыми более детальные данные по характеристике окружающей среды территории и оценке возможного влияния на нее добычи и обогащения. Это, в частности, вытекает из требований к содержанию и результатам геологоразведочных работ на стадии детальной разведки, предусмотренных выдату рекомендаций по размещению объектов промышленного и жилищно-гражданского назначения и разработке природоохранных мероприятий.

Проводимые на рассматриваемом этапе исследования так же, как и на предыдущем этапе, включают экологическое переосмысление материалов геолого-геохимических работ и проведение комплекса специальных эколого-геохимических работ, являющихся в данном случае уже обязательными. В состав исследований входят:

1. Детальное количественное изучение распределения в рудах

Оценка результатов геохимических исследований может быть дана только в относительных единицах, т.е. при сравнении данных опробования с нормативным параметром окружающей среды по каждому рассматриваемому показателю.

Для гигиенических оценок и для обоснования проектных решений в настоящее время нормативом являются предельно допустимые концентрации. Однако не для всех природных сред и не для всех ингредиентов загрязнений также нормативы сегодня разработаны. Кроме того, для выявления пространственной структуры зон загрязнения и определения истинной величины отклонения содержащий химических элементов от природного уровня предельно допустимые концентрации не позволяют провести сопоставимое нормирование. С этой целью используют разработанные в прикладной геохимии понятия о фоновых и кларковых уровнях, варьированных в зависимости от геолого-минералогических и ландшафтно-геохимических факторов. При проведении исследований для каждой конкретной территории необходимо определить местное значение фоновых концентраций. Однако для общей ориентировки полезно иметь усредненные значения фоновых параметров. В ряде случаев допустимо пользование такими параметрами, хотя истинные оценки степени накопления могут быть при этом несколько смещены в ту или иную сторону. Относительные ряды концентрации химических элементов получают в этих случаях вполне сопоставимыми. Общий анализ материалов по фоновым данным показывает, что в среднем региональные параметры различаются в 2-4 раза. Это показывает, что наибольшую трудность представляет выделение геохимических аномалий небольшой и средней интенсивности.

Особенно мало материалов по предельно допустимым концентрациям разработано для почв. Для донных отложений такие нормативы пока вообще отсутствуют. В этих случаях критерием экологической безопасности выявленных зон загрязнения являются параметры накопления химических элементов в растениях и атмосфере воздуха для аномалий в почвах и данные по содержанию в воде химических элементов в растворенной и взвешенной формах - для аномалий в донных отложениях. Следует однако помнить, что названные объекты природной среды имеют и самостоятельное экологическое значение.

Ниже приводятся серия таблиц (табл. 17-25), в которых систематизированы данные практически по всем интересным с экологичес-

ких позиций природным объектам. Приводятся материалы по предельно допустимым концентрациям, утвержденным Минздравом СССР и средние фоновые значения. Данные по разным природным объектам не равнозначны, что отражает степень изученности вопроса. В связи с отсутствием опубликованных фактических данных не приведены фоновые значения для донных отложений. В ряде исследованных конкретных участков они оказались близки к почвенным.

Технология подземных, камерных и химико-аналитических исследований

Геохимическая оценка состояния окружающей среды при поисках и оценке рудных месторождений базируется, как было показано, на геолого-геохимических материалах изучения территорий, дополненных комплексом специализированных эколого-геохимических исследований.

Обобщая имеющийся опыт, общую структуру организации работ можно предложить в следующем виде.

1. Для исследуемого района проводится обобщение данных основных геохимических съемок масштаба 1:200000-1:50000, на основе которых в сочетании с ландшафтно-геохимическими и геолого-геохимическими материалами, а также картами функционального использования территорий проводится районирование. При этом выделяются:

Зоны влияния отдельных рудных тел и месторождений - участки распространения их литохимических ореолов и потоков рассеяния; Региональные геохимические аномалии рудных полей и районов - потенциальные биогеохимические провинции;

Фоновые территории с уровнями содержания, варьирующими в зависимости от ландшафтно-геохимических причин. В пределах региональных аномальных полей и зон влияния месторождений устанавливается положение участков земле- и водопользования, потенциально опасных с точки зрения воздействия токсичных химических элементов на живые организмы и жизнеобеспечивающие природные среды (вода, корма, пищевая продукция).

2. Для потенциально опасных с экологических позиций участков региональных геохимических полей проводится изучение биогеохимического концентрирования элементов в кормовых и пищевых видах растительной продукции и в основных источниках питьевого и сельскохозяйственного водопользования. Работы проводятся по при-

нанию изучения катевых (эталонных) участков. При этом осуществ-
ляются комплексное геохимическое опробование по ландшафтно-гео-
химическим профилям и с набором статистически подготовленного объе-
ма данных по каждому виду местного геохимического ландшафта. Та-
кие участки выбираются для всех основных классов водной миграции
и родов ландшафта и их пространственных объединений - элементар-
ных каскадных ландшафтно-геохимических систем [10,33].

Т а б л и ц а 17
Ориентировочные материалы по концентрации
химических элементов в пылевых выпадениях из
атмосферы и образуемой ими нагрузке на
оказавшую среду для фоновых территорий

№ химического элемента	Содержание в пыли (мг/кг)	Нагрузка выпадений на ок-ружающую среду (мг/км ² .сут.)
1 Бериллий	1,5	15-30
2 Ванадий	64	640-1280
3 Висмут	1,0	10-20
4 Вольфрам	1,0	10-20
5 Кадмий	0,3	3-6
6 Кобальт	7	70-140
7 Марганец	570	5700-11400
8 Молибден	1,0	10-20
9 Медь	80	800-1600
10 Никель	20	200-400
11 Олово	5,2	52-104
12 Ртуть	0,01	0,1-0,2
13 Стронций	50	500-1000
14 Сульфид	2	20-40
15 Свинец	50	500-1000
16 Серебро	0,1	1-2
17 Хром	50	500-1000
18 Цинк	70	700-1400

Примечание: Нагрузки рассчитаны для уровня общего выпадения пыли, варьируемых в пределах 10-20 кг/км².сут. неветельных территорий

Т а б л и ц а 19
Предельно допустимые и фоновые концентрации химических элементов в атмосферном воздухе (мкг/м³)

№	Вещества	ПКХ в атмосфере (мкг/м ³)	Фоновые концентрации	
			Класс опасности	Предельно допустимая концентрация
1	Аммиак	0,01	1	0,0002
2	Бериллий и его соединения в пересчете на Ве	40,0	1	0,00026
3	Бром	2,0	2	0,00013
4	Ванадий, диоксид	20,0	3	-
5	Вольфрам	40,0	3	-
6	Германий, диоксид	-	3	1,500
7	Железо	1,0	2	0,00001
8	Кадмий, оксид	1,0	2	0,00005
9	Кобальт металлический	30,0	2	-
10	Лантан	50,0	4	-
11	Литий, оксид	10,0	2	0,00001
12	Марганец и его соединения (в пересчете на MnO ₂)	2,0	2	0,00003
13	Медь, оксид	100,0	3	-
14	Молибден	1,0	2	0,00003
15	Никель, неорганические соединения, кроме Ni ₃ As в пересчете на As	8,0	2	-
16	Нитратистый водород	1,0	2	-
17	Никель металлический	0,2	1	-
18	Нитраты, растворимые соли	1,0	2	-
19	Нитраты, оксид	0,3	1	-
20	Ртуть металлическая	0,3	1	-
21	Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца в пересчете на Pb	1,7	1	-
22	Синий сернистый	0,06	1	0,00084
23	Селен, диоксид	-	-	0,00004
24	Серебро	-	-	0,00008
25	Сульфид	0,5	1	-
26	Теллур, диоксид	-	-	0,00001
27	Титан	5,0	2	-
28	Фтор, газообразные соединения	10,0	2	-
29	Фториды, хорошо растворимые неорганические соединения	30,0	2	-
30	Фториды, плохо растворимые неорганические соединения	1,5	1	0,00004
31	Хром шестивалентный (в пересчете на CrO ₃)	50,0	3	0,00003
32	Цинк, оксид	20	-	-

Т а б л и ц а 20
Предельно допустимые концентрации химических элементов в пылевых продуктах (мг/кг вещества)

№	Элементы	Хлебные и зерновые продукты	Орехи	Фрукты
1	Алюминий	20,0	30,0	20,0
2	Железо	50,0	50,0	50,0
3	Лантан	1,0	1,0	1,0
4	Кадмий	0,02	0,03	0,03
5	Медь	5,0	10,0	10,0
6	Мальевый	0,2	0,2	0,2
7	Никель	0,5	-	0,5
8	Олово	-	200,0	100,0
9	Ртуть	0,01	0,02	0,01
10	Свинец	0,2	0,5	0,4
11	Сульфид	0,1	0,3	0,3
12	Селен	0,5	0,5	0,5
13	Фтор	2,5	2,5	2,5
14	Хром	0,2	0,2	0,1
15	Цинк	25,0	10,0	10,0

Предельно допустимые концентрации химических элементов в воде (мг/л)

№ пп	Элемент	Лимитирующий признак вредности	Хозяйственно-питьевое водопользование	Рыбозащитное водопользование
1	Барий	Санитарно-токсикологический	0,1	-
2	Бор	"	0,5	-
3	Бром	"	0,5	-
4	Бериллий	"	0,0002	-
5	Ванадий	"	0,1	-
6	Висмут	"	0,5	-
7	Вольфрам	"	0,1	-
8	Железо	Органо-лептический	1,0	-
9	Кадмий	Санитарно-токсикологический	0,001	0,005
10	Кобальт	"	0,1	0,01
11	Кремний	"	10,0	-
12	Литий	"	0,003	-
13	Медь	"	0,1	0,01
14	Молибден	"	0,25	-
15	Мышьяк	"	0,05	0,05
16	Никель	"	0,1	0,01
17	Нисобий	"	0,01	-
18	Ртуть	"	0,0005	-
19	Свинец	"	0,03	-
20	Селен	"	0,001	-
21	Стронций	"	2,0	-
22	Сурьма	"	0,05	-
23	Таллий	"	0,10	-
24	Теллур	"	0,01	-
25	Фтор	"	1,5-3,0	-
26	Хром	"	0,1	-
27	Цинк	"	1,0	0,01

3. Для выявленных помеховыми работами зон воздействия месторождений, в принципе отличающихся от региональных полей лишь большей интенсивностью и большей комплексностью по составу ассо-

циации химических элементов) воздействие на биоту и воды, проводятся те же виды биохимических и гидрохимических исследований. Ключевыми участками здесь являются контуры ореолов и потоков рассеяния.

Т а б л и ц а 24

Фоновые и средние содержания химических элементов (мкг/л) в природных водах

№ пп	Элементы	Фоновые содержания		Средний состав вод зон гипергенеза	Среднее содержание в речных водах	Средние содержания в зоне активной водообмена
		В поверхностных водах	В водах с окислительной обстановкой			
1	Барий	10,0	-	19,6	10	6,8
2	Ванадий	0,9	0,5-2	1,55	0,9	0,63
3	Железо	-	-	547	670	-
4	Кадмий	0,07	0,1-0,5	0,33	-	-
5	Марганец	5,0	10-50	49,4	7	32,9
6	Молибден	1,0	1-5	2,06	1	0,2
7	Мышьяк	2,0	1-5	2,07	2	-
8	Медь	1,8	2-8	5,58	7	3,8
9	Никель	0,3	0,8-5	3,31	0,3	1,6
10	Олово	0,03	0,1-0,5	0,41	-	0,6
11	Ртуть	0,01	0,5-3	0,31	0,07	-
12	Селен	0,1	0,5-1	0,91	0,2	-
13	Свинец	0,2	1-8	2,21	3	2,4
14	Серебро	0,3	0,1-0,6	0,29	0,3	0,26
15	Титан	1,0	1-5	10,7	3	26,6
16	Фтор	-	100-500	-	-	-
17	Хром	0,5	5-10	2,9	1	1,3
18	Цинк	10,0	5-50	34,0	20	-
Литературный источник		[78]	[64]	[69]	[15]	[64]

4. Для месторождений и обрамляющих их территорий, намечаемых под строительство ГОКов и детально разведываемых, состав проводимых работ расширяется. Здесь детально изучается распределение химических элементов в рудах, первичных ореолах, корях выветрива-

ния, продуктах обогащения. Биогеохимическое и почвенное опробование проводится путем составления детальных карт 1:10000-1:5000. Осуществляется комплекс работ по геохимическому картированию выщелоченных пород по изучению состава атмосферного воздуха.

Т а б л и ц а 26

Средние содержания взвешенных и растворенных химических элементов в речных водах [15]

№ п/п	Элементы	В з в е с ь		Раствор мкг/л	Доля взвеси от суммы взвесь+раствор, %
		мг/кг	мкг/л		
1	Ванадий	126	64	1	65
2	Кадмий	0,7	0,36	0,20	64,7
3	Кобальт	8	9,2	0,3	96,6
4	Медь	80	41	7	85,5
5	Молибден	5,8	3	1	75
6	Никель	84	43	2,5	94,5
7	Серебро	0,13	0,66	0,2	77,4
8	Сурьма	2	1	1	50
9	Свинец	147	75	1	98,8
10	Хром	130	66	1	98,5
11	Цинк	31	158	20	88,9

1 Вычислено при средней мутности рек 510 мг/л. Для водотоков в горнорудных районах режим мутности очень динамичен по гидрологическим периодам, варьируя от 5-20 мг/л (межень) до 800-1200 (паводок). В зависимости от этого режима меняется роль взвеси в составе вод.

Большая часть перечисленных работ проводится по хорошо известным геологам стандартным технологиям, подробно охарактеризованным в апробированных руководствах и инструкциях.

При изучении руд и продуктов обогащения характер исследований определяется требованиями ИКЗ СССР (1982 г.), а применяемые методы описаны в работах В.В.Иванова [24], многоотомном издании [11], в работе А.П.Смурникова [58].

Методы изучения первичных ореолов детально освещены в работах С.В.Григоряна [16,17], вторичных ореолов и потоков рассеяния - в работах Г.И.Голевой, В.В.Полжкаршочкина, А.П.Солозова [14,47,

59], биогеохимических ореолов - в работах С.М.Ткалича [61], А.П.Ковалевокого [29].

Особенные примы геохимических исследований для оценки состояния окружающей среды известны пока хуже. Лишь в самое последнее время появились методические рекомендации по этим вопросам [8,37-39].

Остановимся кратко на особенностях проведения основных видов таких специализированных исследований.

Методика геохимического картирования загрязнения урбанизированных территорий основана на корреляционных связях между концентрацией загрязняющих веществ в промышленных выбросах, в воздухе приземных частей атмосферы и в атмосферных выпадениях, улавливаемых в депонирующих загрязнения природной среде, и, прежде всего, снеговом покрове и почвах.

Основными задачами геохимического картирования являются:

1. Исследование структуры аномального поля рассеяния загрязняющих веществ для оценки интенсивности техногенного воздействия.
2. Выявление размеров и морфологии зон воздействия.
3. Факсимирование центров аномалий как "горячих точек", требующих стационарного контроля и специальных природоохранных мероприятий.

Главные индикаторы выбросов - пыль, соединения серы, азота и углеводороды, повсеместно сопровождаются концентрацией тяжелых металлов (свинца, цинка, меди, кадмия, олова, ртути, вольфрама, никеля, хрома, ртуть серебра, кобальта, ванадия). Индикаторами загрязнения городской атмосферы являются антропогенные аномалии этих элементов в снеговом покрове и почве. Снегом, кроме того, фиксируются аномалии соединений серы, азота, пыли.

Максимальная концентрация загрязнителей в почвах приурочена к верхнему горизонту, непосредственно контактирующему с приземными слоями атмосферы. Мощность этого представительного для опробования горизонта 5-10 см. В снеговом покрове загрязняющие вещества распределены в вертикальном разрезе неравномерно, и только опробование всей его мощности позволяет получить представительную характеристику за период от снегоостава до момента опробования.

Методическая схема геохимического картирования включает в себя определение густоты и характера размещения сети опробова-

овальных аномалий створы заклиниваются близ нижней (по течению реки) границы кличевого участка почвенно-биогеохимического опробования. В зонах воздействия месторождений рационально изучать систему створов по основному дреннующему водотоку: 1 - выше месторождения по течению; 2 - в пределах месторождения; 3 - ниже по течению с прослеживанием потока на 2-3 км и в устьях основных притоков.

Чаще всего опробование проводится на малых реках и ручьях. Обычно отбирается смешанная средняя проба со всего сечения водотока. Наиболее надежные результаты получаются при годичном цикле наблюдений, которые проводятся сериями по 15-20 ежедневных опробований. Такие опробования проводятся для каждого гидрологического периода (летняя и зимняя межень, половодье и т.д.). Опробование сопровождается гидрологическими наблюдениями, прежде всего за расходом воды.

Наибольшие сложности при изучении водных потоков вызывает анализ проб. Необходимость оценки соотношения растворенной и взвешенной форм нахождения химических элементов вызывает затруднения при получении приемлемых для последующего анализа навесок взвесей. Для их выделения при мутностях вод порядка 10-20 мг/л приходится проводить фильтрование через мембранные фильтры значительных объемов вод. Кроме того, фильтрат водных проб не выдерживает долгого стояния и требует применения различных процедур консервации и концентрирования практически сразу же после отбора. Развернутая схема обработки и анализа водных проб, широко опробованная авторами, приведена на рис.18. Подробнее она описана в методических рекомендациях [37-39].

Исследование атмосферного воздуха связано, прежде всего, с решением сложных химико-аналитических задач. Здесь возникает необходимость определения химических элементов в малых навесках атмосферного аэрозоля, получаемых при фильтровании воздуха через специальные фильтры (наиболее надежные по чистоте и другим параметрам фильтры АХА-ДА). При содержании аэрозолей порядка 0,1 мг/м³ и скорости отбора около 100 л/мин. за приемлемое для стандартного приборного оборудования время удается собрать около 10 мг взвеси. Это определяет необходимость применения высокочувствительных методов анализа из малых навесок (нейтронно-активационного, рентгено-флуоресцентного, химико-спектрального). Исследования атмосферной взвеси достаточно специальная задача; она подробно ра-

ния, проведение отбора, обработки и анализа проб, обработку полученных результатов.

По опыту работ, для выявления общей структуры загрязнения территории сеть геохимического опробования должна обеспечивать плотность порядка 10 проб на 1 км². Для выявленных очагов загрязнения проводится детализация с густотой опробования 25 проб на 1 км².

Пробы почв отбираются из верхнего гумусового горизонта (5-10 см); масса пробы 100-200 г. Пробы снегового покрова отбираются на всю его мощность, из шурфов или снегоотборниками; масса пробы около 6 кг. Обязательно фиксируется площадь шурфа и время снегостава.

Обработка проб почвы производится путем их ситования через сито - 1 мм.

Обработка проб снега включает его растапливание, центрифугирование, сбор, высушивание и взвешивание твердой фракции, отбор 0,5 л фильтрата.

Анализ твердых фракций (почва и пылевой материал из снегов. покрова) проводится количественным спектральным методом с прослойкой анализируемого материала и с применением трехфазной дуги постоянного тока. Этот метод для большинства химических элементов отвечает требованиям чувствительности и точности и в различных модификациях широко применяется в прикладной геохимии. Практически во всех случаях приходится проводить дополнительный анализ проб специальными высокочувствительными методами на мышьяк (спектральный метод из камерного электрода) и ртуть (на ртутном анализаторе), а также на фтор. Для кадмия сколько-нибудь чувствительного и экспрессного метода пока не имеется и этот один из наиболее экологически опасных элементов в необходимых случаях определяется атомно-абсорбционным методом (обычно вместе с медью, цинком и свинцом). Это требует мокрого разложения проб и, в наиболее распространенном сейчас случае, лабораторий, не имеющих приборов с графитовой кюветой, предварительного концентрирования фильтрата.

Анализ жидких проб проводится по гидрохимическим методикам, изложенным ниже.

Изучение потоков рассеяния в водных системах при специальных экотого-геохимических исследованиях проводится методом динамического опробования эталонных створов. В пределах реги-

рассмотрена в ряде работ, обобщенных, в частности, в обзоре В.А. Михайлова и др. [40].

Биогеохимические исследования в целом проводятся по стандартным схемам. В пробы отбираются съедобные части растений: как основная продукция, идущая на питание человека, так и попутная - животные корма; на пастбищах отбираются пробы укосов. Материал проб (500 г зеленой массы) измельчается и сушится при 60°.

Анализ растений на большую часть микроэлементов проводится после их озоления (температура озоления не более 400°). На летучие элементы (ртуть, фтор, мышьяк, сурьма, селен), а также на макроэлементы (фосфор, калий, азот, сера) анализ проводится из сухого вещества.

В связи с требованиями к чувствительности и точности анализа за растительной пищевой продукцией основу комплекса аналитических методов составляет атомно-абсорбционный анализ, дополняемый коллестивным спектральным анализом и химическими методами (см. схему анализа водных проб).

Обработка геохимических данных в целом проводится в соответствии с требованиями инструкции по геохимическим методам исследований.

Одной из главных геохимических характеристик аномалии является ее интенсивность, которая определяется степенью накопления загрязняющего вещества по сравнению с природным фоном (содержание его в почвах, состав снегового покрова на участках более чем на 50 км удаленных от локальных техногенных источников).

Показателем уровня аномальности является коэффициент концентрации (K_c), который рассчитывается как отношение концентрации в исследуемом объекте к среднему фоновому значению ($K_c = \frac{C}{C_0}$).

При характеристике выпадений по данным снегового опробования рассчитывается аналогичный показатель и для нагрузки на окружающую среду. Под нагрузкой понимается масса загрязнителя, выпадающая на единицу площади в единицу времени. Для ее определения учитывается обшая пылевая нагрузка $P_{\text{п}}$ (кг/км²сут.) и концентрация химических элементов в снеговой пыли C (мг/кг).

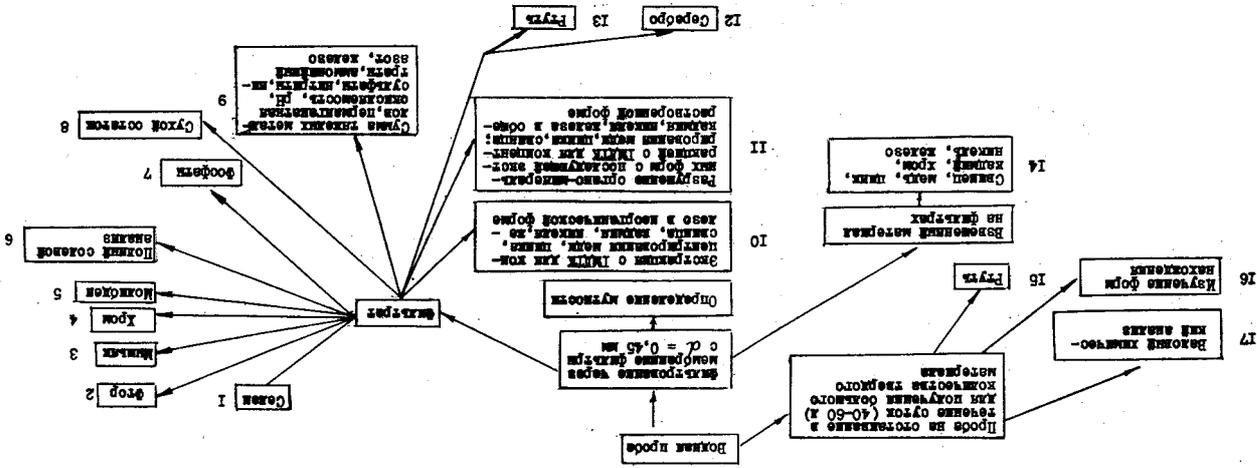
Исходя из этого, рассчитывается:

общая нагрузка, создаваемая поступлением химического эле-

$$P_{\text{общ}} = C \cdot P_{\text{п}} \text{ мг/км}^2 \text{ сут.};$$

нта:

Рис. 15. Схема обработки и анализа проб при проведении локальных эколого-технологических работ



Исследования в лаборатории: 1 - фотохимический метод; 2 - ионно-селективный метод; 3 - метод Лукинита; 4,5 - атомно-абсорбционный метод; 6 - по стандартным методам; 7 - фтор-колориметрический метод; 8 - люминесцентный метод; 9 - в полевой лаборатории; 10-15 - атомно-абсорбционный метод; 16 - флуориметрический метод; 17 - по стандартным методам.

коэффициент относительного увеличения обменной нагрузки

$$K_p = \frac{P_{\text{обд.}}}{P_{\text{фон.}}}$$

Поскольку антропогенные анэмалии чаще всего имеют полиэлементный состав, для них рассчитываются суммарные показатели загрязнения (Z_c) и нагрузки (Z_p):

$$Z_c = K_c - (n-1)$$

$$Z_p = K_p - (n-1), \text{ где}$$

n - количество учитываемых загрязняющих веществ.

На основе изученных параметров строятся геохимические карты их распределения: моноэлементные (и карта распределения пылевой нагрузки); суммарных показателей загрязнения.

Для построения карт удобен вариант шкалы с шагом между линиями, кратным 0,5 шкалы десятичного логарифма, т.е. границы интервалов равны 3-, 10-, 30, 100-кратному уровню превышения над фоном.

При обработке данных по загрязнению водных систем для учета роли взвешенного вещества содержания химических элементов рассчитываются как в виде объемных концентраций в воде (мг/л), так и в виде массовой концентрации в материале взвеси (мг/кг - взвеси). Это позволяет при обнаружении высоких объемных содержания химических элементов в воде (мг/л) выделить случаи, связанные с поступлением большого количества взвешенного материала (например, взвеси с фоновыми содержаниями после дождей) от случаев поступления действительно загрязненной взвеси.

Естественно, что во всех возможных случаях необходимо проводить сравнение наблюдаемых содержаний с предельно допустимыми.

4. ПРИРОДООХРАННЫЕ РАЗРАБОТКИ И МЕРОПРИЯТИЯ, СЛЕДУЮЩИЕ ИЗ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

При использовании геохимических данных для разработки природоохранных мероприятий необходимо иметь в виду общие требования "Основ законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах", предусматривающие:

- полное и комплексное геологическое изучение недр;
- предупреждение необоснованной и самовольной застройки площадей залегания полезных ископаемых;

предотвращение вредного влияния работ.

Методологическая основа природоохранных работ в горнорудных районах сформулирована в виде трех основных положений [43].

1. В горнорудных районах интереса горного дела на период существования Юга имеет приоритет перед другими видами деятельности.

2. Горнообогатительная деятельность имеет временный характер и должна вестись таким образом, чтобы оставить возможность последующего эффективного использования территории для других народнохозяйственных целей.

3. В ходе горнообогатительной деятельности необходимо соблюдать количественные критерии допустимых нарушений с тем, чтобы они не оказывали вредного воздействия на общую экологическую обстановку района.

Естественно, что геохимические данные могут определить лишь общие принципиальные направления деятельности по защите от загрязнения. Конкретные проектные и технологические решения должны разрабатываться компетентными специализированными организациями. Намечаются возможности использования геохимических материалов при разработке природоохранных мероприятий в следующих основных направлениях:

1. Сокращение вредного воздействия отходов, добычи и обогащения с высокими концентрациями химических элементов.

2. Экологически безопасное функциональное планирование территорий и технологических мероприятий в соответствии с особенностями их природной геохимической структуры и прогнозируемым характером выносов.

3. Сокращение вредного воздействия сточных вод и охрана водных систем.

4. Разработка структуры организации службы контроля за состоянием окружающей среды при образовании горнообогатительного преципитата.

5. Рекультивация территории после завершения горнообогатительной деятельности.

Следует иметь в виду, что огромное природоохранное значение имеет получение в результате геологоразведочных работ рекомендаций по снижению уровня полезных компонентов и увеличению комплексности использования руд, по снижению разубоживания руд при добыче, рациональному использованию вскрышных пород. Та-

кие рекомендации в соответствии с существующими требованиями являются обязательным результатом разведки месторождений. Они, в сущности, главный природоохранный итог детальных исследований геологии, минералогии и состава руд месторождений. Разумеется и для их составления применение геохимических методов очень важно. Так, например, изучение первичных ореолов позволяет более точно представить морфологию рудных зон и, тем самым, исключить выборочную отработку месторождений. Данные по первичным ореолам позволяют намечать объемы горных масс, которые в ближайшем или далеком будущем могут стать объектами вторичной переработки и будут отдельного складирования. Известны случаи, когда геолого-минералогические и экономические анализы материалов по первичным ореолам элементов-индикаторов позволили перевести их в категорию промышленно интересных рудных тел, обособленных от основного оду-денения.

Планирование мероприятий по сокращению вредного воздействия твердых отходов основывается на геохимических данных по распределению токсичных элементов-примесей в цепи обогащения и на материалах по составу и пространственному положению первичных ореолов в сочетании с проектными материалами по системе и организации горнодобывающих работ.

Блоки околорудных пород вскрыши с первичными ореолами, наметаемыми под извлечение, с содержащими токсичных элементов выше предельно допустимых в почвах, с содержанием сульфидной серы более 10% (нормативные оценки) или с контрастно высокими концентрациями ассоциации химических элементов (в 5-10 раз и более выше фоновых уровней эмпирическая оценка) требуют особого учета.

При рассмотрении судьбы отходов такие породы рационально использовать для закладки горных выработок, что уменьшает объемы и токсичность породных отходов.

Эти категории отвальных пород не должны предусматриваться в проектах как материал для планирования и улучшения прилегающих к месторождениям земель (засыпка оврагов и т.д.), а также как щебень для строительства дорог (даже местных и рудовозных).

Для случаев, когда характерны все же необходимо разместить на дневной поверхности, для них следует предусмотреть формирование наиболее безопасного вида отвалов и систему изоляции от поверхностных и подземных вод. При выборе вида отвалов для пылящих и токсичных отходов несправедливо гребневидные и

конические формы и лучше применять систему внутреннего отвалообразования. Для изоляции отвалов можно рекомендовать создание искусственных техногенных геохимических барьеров карбонатного или карбонатно-глинистого типа [44,60]. В рассматриваемом случае особое внимание должно быть обращено на проектирование пылеподавления (например, орошение шахтными или карьерными водами и т.д.).

Особую опасность, как было показано, представляют отвалы хвостов обогащения, состоящие из мелкодисперсного легко окисляемого при выветривании материала. Они часто вынужденно размещаются на породах, плохо изолирующих подземные горизонты от попадания загрязняющих веществ в подземные водосносные горизонты. Также часто хвостохранилища от поверхностных водотоков отделяются лишь дамбами, не препятствующими фильтрации растворенных солей. Кроме того, они испытывают воздействие талых и лавоидных вод, переполняющих и размывающих хвостохранилища.

Для хвостов обогащения с высокими содержаниями токсичных химических элементов низкими содержаниями карбонатов и повышенной концентрацией сульфидной серы (более 10%) с геохимических позиций представляется особо важным создание условий, препятствующих интенсивной миграции химических элементов при выветривании. Это может быть достигнуто смешением или перемешиванием хвостов с карбонатно-глинистым материалом (внутренний геохимический барьер) и созданием "рубашки" того же типа, изолирующей чашу хвостохранилища. Необходимо также предусматривать дренирование и водоотведение ливневых и талых вод.

Экологически безопасное функциональное планирование территорий осуществляется на материалах по геохимическому картированию природных зон загрязнения - вторичных ореолов рассеивания в почвах и биогеохимических аномалий - и на данных по прогнозу токсичности выбросов, получаемых из геохимического анализа состава руд и вмещающих пород.

Большая часть рекомендаций по рациональному и безопасному функциональному планированию территории разрабатывается еще до проведения разведочных работ на стадиях поисковых и поисково-оценочных работ. На основе эколого-геохимических карт в районных планировках должны быть выделены территории с природными геохимическими аномалиями, несправедливо для жилищного строительства (в том числе и поселка геологоразведочной организации) и требующие ограничения в сельскохозяйственном использовании и, прежде

всего, в вырешивании садовых культур и овошей (прежде всего, чесночные и подсолонные хозяйства). Для участков, где экологическая опасность природных аномалий хорошо доказана и параметры состояния почв и растений превышает допустимые, вероятно необходимо запрещение всякой сельскохозяйственной деятельности. Для прочих аномальных территорий, в зависимости от конкретных данных, агрохимическими организациями может быть разрешено выщелачивание элементов (обычно слабо концентрирующихся химических элементов в зерне) или технических и кормовых культур. В последнем случае зоотехнические и ветеринарные службы могут предусмотреть возможный ущерб для животноводства и принять необходимые профилактические меры, а также организовать соответствующий контроль качества продукции.

Эти рекомендации наследуются и развиваются при проектировании размещения жилых массивов и подсобного хозяйства горнообогатительного предприятия.

В результате детальных геологоразведочных работ по данным изучения геохимических особенностей извлекаемых и перерабатываемых руд и вмещающих пород, на основе аналогии с близкими месторождениями и технологиями и по расчетам рассеивания выбросов прогнозируется зона влияния добычи и обогащения. Включение геохимических данных позволяет дать полноценную качественную характеристику зоны загрязнения и выявить ее размеры (и соответствующую термистку зон загрязнения и выявить ее размеры (и соответствующую, размеры санитарно-защитных зон) с учетом достижения индивидуальных и аддитивных предельно допустимых концентраций для всех основных загрязняющих веществ, участвующих в выбросе. При этом следует иметь в виду, что по имеющимся многочисленным материалам, территория воздействия выбросов определяет не только санитарно-защитную зону по атмосферному воздуху, но и зону загрязнения земли опасного загрязнения почв. Учитывая, что стоимость отведения земель под горные работы варьирует в пределах 1000-6000 руб./га и принимая положение, что загрязнение земель эквивалентно их изъятию, можно планировать значительно большие затраты на технологические мероприятия по охране от выбросов. При проектировании систем пылеподавления их следует выбирать тем пределней, чем токсичней состав вероятных выбросов по геохимическим данным. Именно в этих случаях эффективно применение относительно дорогостоящих пылесвязывающих веществ на карьерах, дорогах, отвалах (мазуг, универсол).

Для обогатительных фабрик, энергообеспечивающих производство

очень важно соблюдение правил размещения предприятий с учетом метеорологической ситуации, особенно в горных районах, где инверсионный слой воздуха колеблется в пределах 200-300 м над уровнем котловин и способствует концентрированию в них загрязнений. Однако обильная рекомендация вести строительство пылящих объектов выше этого слоя верна лишь для случаев, когда и объект, и жильцы приходятся размещать в пределах одной котловины (данные по ореолам выпадений хорошо подтверждают это). При иных условиях проектирования могут встретиться случаи, когда загрязнение выгоднее локализовать.

Такое решение, в частности, принято [43] при проектировании Удаканского ГОКа. Здесь карьер и обогатительная фабрика размещены на дне котловины, высота 700 м, зона минимальных зимних температур -38°, а жилой поселок на склонах (высота около 1000 м, зимняя температура -32°).

Мероприятия по функциональному планированию земель пользования в зоне воздействия выбросов для размещения жилья и сельского хозяйства носят в основном запретительный характер. Ряд материалов по состоянию воздуха в районе промплощадки показывает, что волеизъявления источников выбросов не следует размещать в непосредственной близости с источниками загрязнения, не связанные непосредственно с обслуживанием основного производства. Это положение следует особо подчеркнуть, так как опыт показывает, что в санитарно-защитных зонах часто расположены отделы, цеха и лаборатории, сотрудники которых без особой надобности испытывают воздействие загрязняющих веществ, близкие по уровню к профессиональной вредности.

Природоохранные мероприятия по сокращению вредного воздействия сточных вод и охране водных систем в сущности всегда проводятся по гидрохимическим материалам, то есть изначально базируются на геохимическом анализе. В этой связи, обобщенные нами геохимические данные могут лишь уточнить задачу, на которую обычно мало обращают внимания.

В частности, разрабатывая водоохранные мероприятия, следует проводить исследование и учитывать при определении типов водопользования уровни концентрации в водах элементов-спутников рудных месторождений. Несмотря на то, что многие из этих элементов токсичны и для них разработаны предельно допустимые нормы, наличие природных гидрогеохимических аномалий с широкой комплексностью

состава учитывается редко. Это важно не только при выборе источников питьевого водоснабжения поселений, но и при оценке вод, используемых в животноводстве и поливном земледелии.

Влияние отходов на водные системы и необходимые мероприятия уже обсуждалось.

Значительным источником загрязнения вод в горнорудных районах является сброс шахтного, рудничного и карьерного водохранилищ. В настоящее время обычно производится сбор этих вод в прудах-накопителях и отстойниках с последующим сбросом в поверхностные водные системы. При этом, однако, устанавливаемые параметры загрязнения этих систем таковы, что отрицательное экологическое влияние проследивается далеко за пределами территории месторождений и охватывает крупные районы. Вероятнее всего только каскадных очистных сооружений механических, физико-химических и биологических, может дать ожидаемый результат. Геохимический анализ показывает эффективность оборудования прудов-отстойников икусственными геохимическими барьерами карбонатно-сорбционного типа, участвующими в очистке воды и экранирующими сточные воды от подземных горизонтов.

Даже применение известкового шлама повышает pH вод с 2-3 до 8-9 и снижает содержание свинца, цинка, меди в 3-4 раза [74].

Для уменьшения возможности попадания загрязненного поверхностного стока в подземные воды особое значение имеет тампонаж буровых скважин.

Разработка системы организации служб контроля за состоянием окружающей среды горнорудных территорий должна являться обязательным составным элементом при проектировании горнообогатительных предприятий. Многие известные сейчас отрицательные последствия влияния горнообогатительных предприятий удалось избежать, если бы служба контроля могла всесторонне и комплексно анализировать результаты производственной деятельности. В частности, необходимо дать развернутое представление о составе и формах нахождения ингрессивных загрязнений; о цепях распространения загрязняющих веществ от всех основных источников воздействия на окружающую среду; о местоположении и пространный географологи - ческих особенностей участков депонирования загрязнений; об интенсивности взаимодействия токсикантов в системе среда - живой организм.

Геохимические данные по месторождениям и использованию при-

емов прикладной геохимии позволяют серьезно расширить и качественно улучшить результаты, получаемые с помощью традиционных методов службами ведомственного и вневедомственного контроля окружающей среды.

Методические основы и технологические приемы геохимических исследований окружающей среды детально изложены в методических рекомендациях [37-39] и кратко охарактеризованы в соответствующем разделе данной работы.

В главных направлениях использование геохимических методов при организации контроля за деятельностью горнообогатительного предприятия сводится к следующим:

1. Изучения распределения химических элементов-примесей руд и первичных ореолов в продуктах их переработки - отходах, выбросах, стоках;

2. Проведения геохимического картирования распределения элементов из атмосферы в районе предприятия;

3. Осуществления динамических наблюдений за содержанием химических элементов в воздухе на стационарных постах, размещаемых в соответствии с геохимической структурой поля выпадений;

4. Проведения периодического геохимического картирования почв и биогеохимических наблюдений (особенно за сельскохоззяйственной продукцией и выпасами) на территории аномальных выпадений;

5. Организации стационарных створовых динамических гидро-геохимических наблюдений на всех водотоках, дренажных территориях горного отвода (места поступления стоков, расположения отвалов и хвостоградных) с изучением основных форм нахождения химических элементов в водном потоке (раствор-взвесь);

6. Проведения периодического геохимического картирования донных отложений и организации временных динамических створовых наблюдений за составом вод на участках прослеживания потоков рассеяния;

7. Организации контрольной сети скважин для динамического анализа состава подземных вод на водозаборах и в районе участков хранения отходов с определением всего известного на месторождении комплекса токсичных ингрессивных загрязнений.

Рекультивация территории после завершения горнообогатительной деятельности является сейчас обязательным требованием, определенным постановлением Совета Министров СССР от 2 июля 1976 г., которым предприятия обязываются после использования земель при-

не учитываются в расчетах ущерба.

Для рекультивации рекомендуется перед началом горных работ провести снятие плодородного слоя (содержание гумуса более 1%, мощность более 100 мм). Для рудных районов надо учитывать возможность накопления в этих почвах токсичных химических элементов. В этих случаях они будут пригодны для последующего использования лишь под нелищевую продукцию.

При рекультивации отвалов требования к оценке их фитотоксичности уже известны (ГОСТ 17.5.1.03-78). В случае повышенной фитотоксичности обычно рекомендуется применение изолирующего биологически активного слоя и почвы. Вместе с тем, как показывают данные по вторичным ореолам погребенного орудения [53], при реальных мощностях такого изолированного слоя с течением времени может происходить накопление химических элементов в растениях. Поэтому отвалы пород, обогащенных токсичными химическими элементами, могут быть рекомендованы только для использования под естественные насаждения.

водить их в состояние, пригодное для использования в сельском, рыбном или лесном хозяйстве.

Среди видов терригорий, подлежащих рекультивации [43] упоминаются: горные отвалы; участки размещения отходов; водохранилища (20-25% от общей площади); терригории, нарушенные в результате изменения инженерно-геологических условий и загрязнения. Однако практические рекомендации по использованию земель, нарушенных горными выработками, известны только для различных типов механического нарушения. Загрязнение среды при этом не учитывается. Рекультивация земель - это новая специфическая область деятельности, принципы и технология которой формируются.

Геохимические данные могут оказать значительную помощь при установлении необходимости и характера рекультивации и в выборе экологически безопасных типов землепользования на рекультивируемых терригориях.

Карьерные выработки (всегда), западнообразные и котлованно-образные нарушения (часто) используются под водоемы рекреационного и рыбохозяйственного типа. Западины и котловины очень часто благоустроятся под пашню и сенокосы. Террасированные нагорные нарушения обычно занимаются под многолетние насаждения, в частности садами.

Все эти виды землепользования очень чувствительны к уровням загрязнения среды. Особенно это касается рыбохозяйственных водоемов, где предельно допустимые концентрации химических элементов многократно ниже, чем даже для питьевых вод. В то же время в рудных районах прогноз токсичности карьерных выработок (стенки котловых часто сложены породами с первичными ореолами) и западин рельефа (концентраторы ливневого стока) в общем случае небагоприятен. При этом отрицательные эффекты могут наступить через довольно длительное время после рекультивации. Таким образом, для выбора характера рекультивации необходимо геохимическое изучение всех нарушенных типов терригорий. Для карьеров прогнозы могут быть выполнены уже после геологоразведочных работ, по данным изучения первичных ореолов.

При планировании рекультиваций необходимо учитывать также почвы, загрязненные выбросами и не подвергшиеся механическим нарушениям. Площади таких земель бывает значительно больше, чем площади с механическими повреждениями. Токсичность их очень велика и тем не менее они не включаются в объем рекультивации и

- 1) Авдонин В.Н. Технологенное окисление сульфидов Красногвардейского месторождения на Урале. В кн.: Материалы по минералогии месторождений Урала, УИИ АН СССР, 1984, с.63-69.
- 2) Белоу А.А., Григорян С.В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М.: Недра, 1975, 280 с.
- 3) Белоу А.А., Грабовская А.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1976, 248 с.
4. Биогеохимическое районирование и геохимическая экология. - Тр. Биогеохим. лабораторий. М.: Наука, 1981, том 19, 204 с.
5. Бродский А.А. Основы гидрогеохимического метода поисков сульфидных месторождений. М.: Недра, 1964, 260 с.
- 6) Волкова И.Н., Казанская Н.С. О воздействии Михайловского горнообогатительного комбината на природу. В кн.: Географические аспекты взаимодействия в системе человек-природа". М.: Наука, 1978, с.242-251.
7. Воронников Б.А. Водные потоки рассеяния сульфидного оруднения Алтая и их поисковое значение. М.: Недра, 1974, 182 с.
8. Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв. М.: Гидрометеоиздат, 1983, 128 с.
- 9) Гайда А.М., Новикова Т.Ф. Влияние разработки месторождений самородной серы на окружающую среду. - Разведка и охрана недр, 1984, № 4, с.35-39.
- 10) Геохимия ландшафтов рудных провинций. М.: Наука, 1982, 261 с.
11. Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. Тт. I-III, М.: Наука, 1966.
12. Глазозовая М.А. и др. Геохимия ландшафта и поиски полезных ископаемых на Южном Урале. М.: МГУ, 1961, 162 с.
13. Голева Г.А. Гидрогеохимические поиски открытого оруденения. М.: Недра, 1968, 292 с.
- 14) Голева Г.А. Гидрогеохимия рудных элементов. М.: Недра, 1977, 216 с.
15. Гордеев В.В., Лисина А.П. Средний химический состав речесей рек мира и питание океанов речным осадочным материалом. Докл. АН СССР, 1975, т.238, № 1, с.225-228.
16. Григорян С.В. Геохимические методы при поисках эндогенных рудных месторождений (методические рекомендации). М.: ИГиГЭ, 1974, 215 с.

17. Григорян С.В., Смет Ю.Е. Геохимические методы при разведке некоторых экологических задач. - Сов. геология, 1980, № 11, с.94-108.
18. Гудзовский Г.А. Гигиена труда и вопросы промышленной токсикологии сурьмы. В кн.: Гигиенические аспекты оценки и оздоровления окружающей среды. М.: ИОИГ им.Сысина, 1983, с.172-179.
19. Дубов Р.И. Количественные исследования геохимических полей для поиска рудных месторождений. Новосибирск: Наука, 1974, 277 с.
20. Епштейнский П.В. О формах нахождения тяжелых металлов в стромечных ореолах рассеяния. В кн.: География почв и геохимия ландшафтов. М.: МГУ, 1967, с. 112-122.
21. Ермаков В.В., Ковальский В.В., Студинкина И.Г.К биогеохимическому районированию южной части Кыргызской ССР. В кн.: Всесоюз. конф. по пробл. микроэлементов в биологии. Кишинев: Штиинца, 1981, с.22-25.
- 22) Загузин В.П., Пограбник Ф.Д., Толочко В.В. Водные ореолы рассеяния вольтфрема и молибдена на месторождениях Западного Забайкалья. - Изв. АН СССР, серия геол., 1981, № 7, с.107-116.
23. Зырин Н.Г., Гринь А.В., Ли С.К. и др. Технологенное загрязнение и нормирование высоких концентраций в почвах. В кн.: 9 Всесоюз. конф. по пробл. микроэлементов в биологии. Кишинев: Штиинца, 1981, с.102-108.
- 24) Иванов В.В. Геохимия рассеянных элементов в гидротермальных месторождениях. М.: Недра, 1966, 360 с.
25. Исследования по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1983, 191 с.
26. Качур А.П., Смирнова И.Ф. и др. Накопление тяжелых металлов в карстоле и ландшафтах в условиях техногенных аномалий. В кн.: 9-я Всесоюз. конф. по пробл. микроэлементов в биологии. Кишинев: Штиинца, 1981, с.28-29.
27. Квашневская Н.В. Поиски рудных месторождений по потокам рассеяния. В кн.: Геохим. методы поисков рудных местор. в СССР. М.: Гостеолтехиздат, 1957, с.146-157.
28. Квятковский Е.М. Биогеохимические методы поисков эндогенных рудных месторождений. Л.: Недра, 1977, 189 с.
- 29) Ковальский А.Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений. М.: Недра, 1984, 312 с.
- 30) Ковальский В.В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974, 299 с.

31. Ковальский В.В. Биогеохимическое районирование и геохимическая экология. В кн.: Тр. Смоленского лабораторий. М.: Наука, 1981, т.19, с.201.

32. Колотов Б.А., Крайнов С.Р. и др. Основы гидрогеохимических поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1983, 199 с.

33. Ландшафтно-геохимическое районирование и охрана среды. - Вopr. географии, сб.120. М.: Мысль, 1983, 194 с.

34. Дученко Л.А., Кочеткова Т.А., Титова И.Н. Значение низких концентраций для экспериментальной оценки и нормирования рудных пылей, обладающих фиброгенным и токсическим действием. Гигиена труда в горнодоб. промышленности. М.: Медицина, 1978, с.69-76.

35. Мельников Н.В. Будущие горные разработки. В кн.: Радиональное использование земной коры (Тез.докл.). М.: МГУ, 1972, III с.

36. Металлы. Гигиенические аспекты оценки и оздоровления окружающей среды. М.: ИОКГ им.Сытина, 1983, 254 с.

37. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982, 112 с.

38. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды. М.: ИМГРЭ, 1982, 66 с.

39. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения поверхностных водотоков химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982, 73 с.

40. Михайлов В.А., Пушкин С.Г., Назаров А.А. Исследования элементного состава атмосферных аэрозолей с помощью современных аналитических методов. В кн.: Тр. Зап.Сиб. регион. ун-та. В.И. Гидрометеорология, в.40. М.: Гидрометеоиздат, 1979, с.55-78.

41. Ноговицын Д.Д., Ноговицын И.В., Демин А.И. Проблемы использования водных ресурсов Якутии. В кн.: Антропогенные воздействия на водные ресурсы Якутии. Якутск: Сиб.отд.АН (Якут. фил. Ин-т физико-техн. проблем севера), 1984, с.3-15.

42. Обухов А.И., Бабьева И.Л. и др. Научные основы разработки ЦДК тяжелых металлов в почвах. В кн.: Тяжелые металлы в окружающей среде. М.: МГУ, 1980, с.20-28.

43. Охрана окружающей среды при проектировании и эксплуатации рудников. М.: Недра, 1985, 309 с.

44. Перельман А.И., Мирлин И.Ф. О геохимических принципах систематики антропогенных ландшафтов. - Вестн. МГУ, серия география, 1984, № 2, с.44-49.

94

45. Пихлак А. О загрязняющем влиянии Маурдуского фосфоритного карьера на воду. - Известия АН ЭССР, сер. Биол., 1984, 33, № 3, с. 170.

46. Подливанов В.С., Иванова А.И., Вавилова Г.В. Особенности геохимического функционирования геосистем в связи с техногенезом. Вопросы географии, сб.106, 1977, с.97-104.

47. Помикапючкин В.В. Вторичные ореолы и потоки рассеяния. Новосибирск: Наука, 1976, 407 с.

48. Постышева В.П., Яхонтова Л.К. Минералогия зоны гипергенеза оловорудных месторождений Комсомольского района. Владивосток: Наука, ДВЦ, 1984, 122 с.

49. Потемкин Л.А. Охрана недр и окружающей природы. М.: Недра, 1977, 205 с.

50. Прокофьева Н.М. Изменение химического состава подземных вод Урупского месторождения при его эксплуатации. - Изв. Сев.-Кавказ. НЦ высш. школ. Естеств. науки, 1980, № 4, 102 с.

51. Рывач Б.А., Сороков Ю.П., Тростина В.И. Накопление химических элементов в организме человека в техногенных геохимических аномалиях. В кн.: Методы изучения техногенных геохимических аномалий. М.: ИМГРЭ, 1984, с.20-31.

52. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1979, 448 с.

53. Свет Ю.Е. Вторичные геохимические ореолы при поисках рудных месторождений. М.: Наука, 1982, 168 с.

54. Свет Ю.Е., Носовская Н.И. Изучение форм нахождения элементов во вторичных ореолах (краткий обзор методов, применяемых при геохимических поисках). М.: ВИАМС, Серия: Геология, методы поисков и разведка месторожд. пол. ископ., 1974, 46 с.

55. Свет Ю.Е., Янин Е.П. Геохимические закономерности формирования антропогенных потоков рассеяния химических элементов в малых реках. В кн.: Использование геохим. методов при изуч. загрязнения окр. среды. М.: ИМГРЭ, 1984, с.31-44.

56. Свет Ю.Е., Янин Е.П. Геохимические закономерности образования антропогенных потоков рассеяния химических элементов в малых реках. В кн.: Методы изучения техногенных геохимических аномалий. М.: ИМГРЭ, 1984, с.31-44.

57. Свет Ю.Е., Янин Е.П., Алексанская Л.Н. Геохимические критерии различия рудных и антропогенных потоков рассеяния в поверхностных водотоках. В кн.: Гидрогеохимические методы поисков рудн. месторожд. и прогноза землетрясений (Мат-лы 2-го междунар. симпоз. "Методы поиска геохимии"). Новосибирск: Наука, 1983, с.87-95.

95

71. Bryan G.W., Hummerstone I.G. Heavy metals in the burrowing bivalve *Scrobicularia plana* from contaminated and uncontaminated estuaries. - J. Mar. Biol. Assoc. U.K., 1978, 58, n 2.
72. Carta M., Delfac C., et al. Les eaux de rejet et les déchets des installations minières et métallurgiques comme sources de pollutions: mesures de protection sur ces d'espèce. - nd. miner. Techn., 1980, n 1, 19-30.
73. Day J.Ph., Ferguson J.E., Chee T.M. Sulphidity and Potential toxicity of lead in Urban Street Dust. - Bull. Environ. Contam. Toxicol., 1979, 23, 4-5, 497-502.
74. Davies Brian E. Heavy metal contamination from base metal mining and smelting: Implications of man and his environment. Applied Environmental geochemistry. Academic press geology series, London, 1983, 425-459.
75. Dreessen D.R., Williams J.M. et al. Environ. Sci. and Technol., 1982, 16, n 10, 702-709.
76. Duggan M.J., Williams S. Lead-indust in city street-Sci. total environ., 1977, 7, n 1, 91-97.
77. Fleming G.A. Geochemical pollution - some effects on the selenium and molybdenum contents of crops. Environ. Eff. Org. and Inorg. Contam. Sewage Sludge. Proc. Workshop, Stevenage, May 25-26, 1982. Dordrecht et al., 1983, 227-232.
78. Förstner U., Wittmann G.T.W. Metal pollution in the aquatic environment. - Berlin, Heidelberg, N: Springer-Verlag, 1979. - 501 p.
79. Foster P., Hunt L.F.E., Morris A.W. Metal in an acid mine stream and estuary. - Sci. total environ., 1978, 3, n1, 75-86.
80. Huckabee J.W., Sans Diaz P. et al. Distribution of mercury in vegetation at Almaden, Spain. Environ. Pollut., 1983, 430, n 3, 211-224.
81. Hutchison P., Wai C.M. Cadmium, lead and zinc in recycled phosphate mine waste dumps in Idaho. Bull. Environ. Contam. and Toxicol., 1979, 23 n 3, 377-380.
82. Jonson M., Roberts D., Firth N. Lead and zinc in the terrestrial environment around derelict metalliferous mines in Wales (U.K.) - Sci. Total Environ., 1978, 10, n 1, p. 61-78.
83. Klusman R.W., Matoske C.P. Absorption of mercury by soils from oil development areas in the Piceance Greek basin of northwestern Colorado. Environ. Sci. and Technol., 1983, 17, n 5, 251-256.

58. Смурников А.П. Комплексное использование сырья в цветной металлургии. М.: Металлургияздат, 1977, 21 с.
59. Соловов А.П. Квасцовая кислота ореолов рассеяния рудных месторождений. В кн.: Глубинные поиски рудных месторождений. М.: Гостеолтехиздат, 1963, с. 21-34.
60. Способ локализации техногенной меди. Авторское свидетельство № 835968 от 6 февраля 1981. Авторы: Мырля Н.Ф., Перельман А.И., Бурделя Н.К.
61. Ткалич С.М. Гидрогеохимический метод поисков месторождений полезных ископаемых. Л.: Недра, 1970, 174 с.
62. Требования к комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых и компонентов. М.: Недра, 1982, 21 с. (госуд. комисс. по пол. ископ. при Сов. Мин.).
63. Туржанова Э.Б., Конова Н.И. Магнетики. Мп в почвенно-растительном покрове и природных водах Уматурского марганцевого субрегиона атмосферы. Тр. Общегеол. м.б. Ин-т геологии и аэрогеохимии АН СССР, 1980, 18, с. 76-78.
64. Удцов П.А., Шварцев С.А. и др. Методическое руководство по гидрогеохимическим поискам рудных месторождений. М.: Недра, 1973, 184 с.
65. Указания по расчету рассеивания в атмосфере вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий СНХ 369-74, М.: Стройиздат, 1975, 40 с.
66. Федотов В.И., Дзурченко В.Н. Техногенный ландшафт, его содержание и структура. Вопросы географии, об. 106, 1977, с. 65-72.
67. Филипова Л.А. Поиски по потокам рассеяния в районах с развитой горно-промышленной деятельностью. В кн.: Геолхим. методы поисков руд. месторождений, Ч. I, Новосибирск: Наука, 1981, с. 121-134.
68. Хорват А. Изучение уровня мышьяка в организме людей, проживающих на территории с повышенным его содержанием. - Гигиена и санитария, 1981, № 6, с. 62-65.
69. Шварцев С.А. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1978, 287 с.
70. Яхонтова Л.К., Кривошеина Н.Г., Груздев А.И. Исследования окисляемости сульфидных руд. Вестник МГУ, сер. геол., 1981, № I, с. 43-49.

Введение 8

1. Геохимический анализ загрязнения окружающей среды в горнорудных районах..... 6

 Общий анализ цепей распространения загрязняющих веществ..... 8

 Химические элементы в рудах и первичных ородах как источники загрязнений..... 10

 Загрязнение окружающей среды в результате производственных выбросов в атмосферу..... 20

 Загрязнение поверхностных водных систем..... 31

 Природные гипергенные геохимические аномалии рудных месторождений как зоны загрязнения..... 44

 Эколого-биогеохимическая оценка геохимических аномалий..... 47

 Общие выводы по особенностям загрязнения окружающей среды в горнорудных районах..... 55

2. Задачи и требования эколого-геохимического изучения месторождений на стадии разведки 58

3. Методика эколого-геохимических исследований при проведении геологоразведочных работ..... 68

 Стадийность, виды и общая характеристика исследований..... 68

 Нормативные материалы..... 68

 Технология полевых, камеральных и химико-аналитических исследований..... 69

4. Природоохранные разработки и мероприятия, следующие из геохимических данных..... 82

84. Lindberg S.E., Jackson D.R. et al. Atmospheric emission and plant uptake of mercury from agricultural soils near the Almaden mercury mine. - J.Environ.Qual., 1979, 8,N 4, 572-578.

85. Matthews Hilary, Thornton Iain. Agricultural implications of Zn and Cd contaminated land at Shipham, Somerset. - Trace subst. Environ. Health-XIV.Proc.14 th annu.Conf.Columbia, Miss., June 2-5, 1980. Columbia, Miss., s.a., 478-488.

86. Maxfield D. Heavy metal pollution in the sediments of the Occur d'Alem River delta. - Environ.pollut., 1974, 7,n1, 1-6.

87. Mine waste pollution of the Mubongbe River. Final report on remedial measures. June 1974, Canberra, Austr.Gov. Publ. Serv., 1974, 68 p.

88. Moore J.W. Seasonal and species-dependent variability in the biological impact of mine wastes in an alpine river. - Bull. Environ. Contam. and Toxicol., 1980, 25, n 4, 524-529.

89. Pasternak K. The accumulation of heavy metals in the bottom sediments of the River Biola Przemsza as an indicator of their spreading by water courses from the centre of the zinc and lead mining and smelting industries. - Acta hidrobiol., 1974, 16, n 1, 51-63.

90. Pasternak K. The spreading of heavy metals in flowing waters in the region of occurrence of natural deposits and of the zinc and lead industry. - Acta hidrobiol., 1974, 15, n 2, 145-166.

91. Ramesh V; Bhat Krishnamachari L.A. Environmental Lead Toxicity in Cattle. - Bull.Env.Cont.Toxicol. 1980, 113-142.

92. Ward N.I., Brooks R.R., Roberts E. Silver in soils, stream sediments, waters and vegetation near silver mine and treatment plant at Mara-toto, New Zealand. - Environ.Pollut., 1977, 13, n 4, 269-280.

93. Wardrope D.D., Graham J. Lead mine waste: hazards to livestock. Vet.Rec, 1982, 111, n 20, p.457-459.

94. Wagemann R., Snow N.B., Lutz A. Arsenic in sediments, water and aquatic biota from lakes in the vicinity of Yellowknife, northwest territories Canada. - Arch.Environ. Contam. and Toxicol, 1978, 7, N 2, 161-191.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ
ПРОЕКТИРУЕМЫХ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Утверждено к печати Институтом минералогии,
геологии и кристаллохимии редких элементов

Редакторы: Т.И.Нерсисова, Э.Э.Верник

Подписано к печати 29 октября 1986 г.,
Т-2588. Уч.-изд.л. 7. Формат 60-90 1/16.
Тираж 500. Цена 70 коп. Заказ 8-86.
Ротапринт ИМГРЭ