

**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 рудовмещающих 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.: ИИГЭ, 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, бндл. — 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 № VI 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.

1. ГЕОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ГОРНОРУДНЫХ РАЙОНАХ

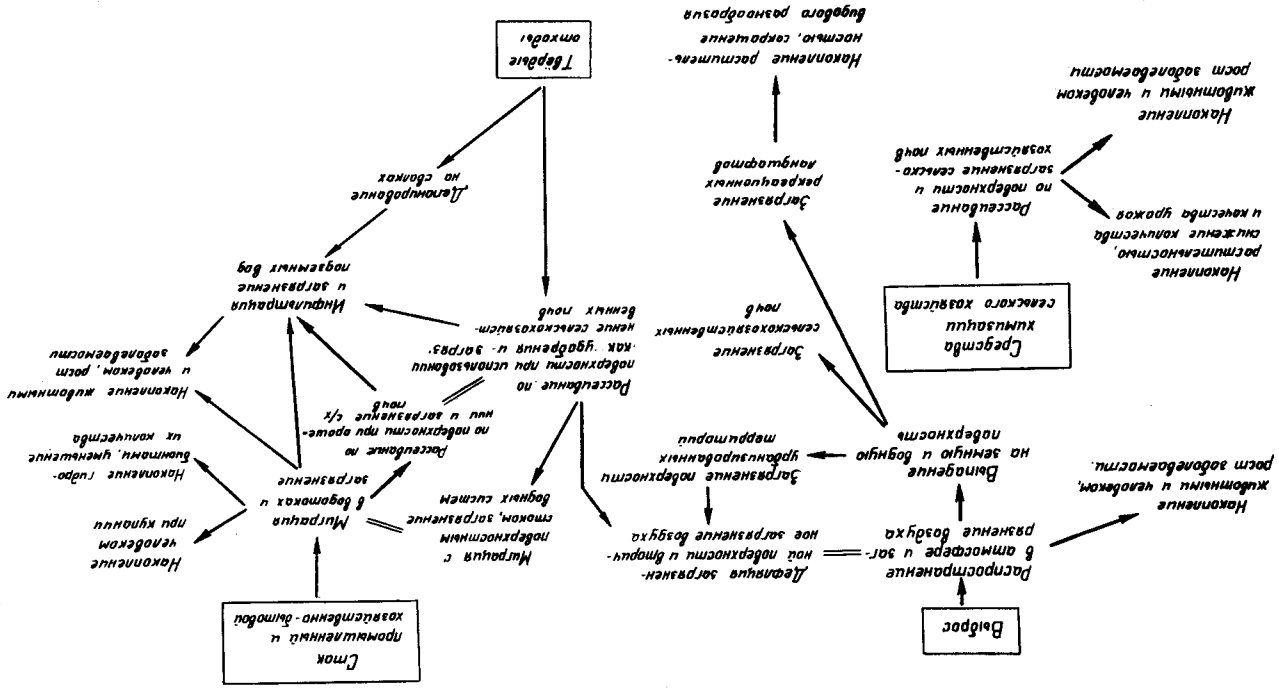
Принципиальные возможности использования геохимических методов для изучения загрязнения среды основаны на корреляционных связях распределения химических элементов в цепи: источники загрязнения - трансформирующие миграционные и главные жизнеобеспечивающие среды (вода, воздух) - временно деполирующая загрязнение - живые природные среды (почва, донные отложения, снеговой покров, в которых фиксируются антропогенные и природные геохимические аномалии) - живые организмы в зонах геохимических аномалий.

На основе отмеченных корреляционных связей (рис. 1) разработаны методы прикладных геохимических исследований антропогенных преобразований окружающей среды [37,38]. Эти методы используются прежде всего, для случаев уже состоявшегося или формирующегося воздействия. Вместе с тем, опыт применения геохимических методов исследования на ряде горнорудных объектов позволил установить принципиальные и достаточно комплексные характеристики их влияния на окружающую среду. Эти материалы, в свою очередь, дают возможность проводить "по аналогии" достаточно разнообразные прогнозы экологического влияния месторождений еще на стадии разведки.

При этом следует иметь в виду два основных способа отграниченного экологического влияния химических элементов на окружающую среду: горнорудных территорий: 1) образование зон загрязнения в связи с выбросами, стоками и твердыми отходами, образуемыми при добыче и обогащении полезных ископаемых; 2) наличие природных геохимических аномалий в компонентах окружающей среды, связанных с естественными процессами миграции и рассеивания вещества месторождений. Особенно это важно в связи с тем, что в районе горнорудных предприятий ныне, как правило, планируется развитая хозяйственная инфраструктура, включающая селитебные (жилые) территории, сельскохозяйственные угодья и рекреационные зоны.

Вместе с тем, анализ материалов по ряду горнорудных районов показывает, что при проектировании предприятий, особенно при планировании характера функционального использования территорий, их экологическая специфика учитывается плохо. Это связано с недостаточной информированностью проектирующих освоение месторождений организаций о вероятном характере загрязнения среды химическими элементами, связанными со спецификой данного конкретного месторождения и обрамляющей его территории.

Рис. 1. Антропогенные геохимические связи в окружающей среде



Применение "метода аналогии" для прогнозирования загрязнения окружающей среды на рудных месторождениях требует достаточно подробного обобщения существующих геохимических данных по этим вопросам.

Общий анализ целей распространения загрязняющих веществ

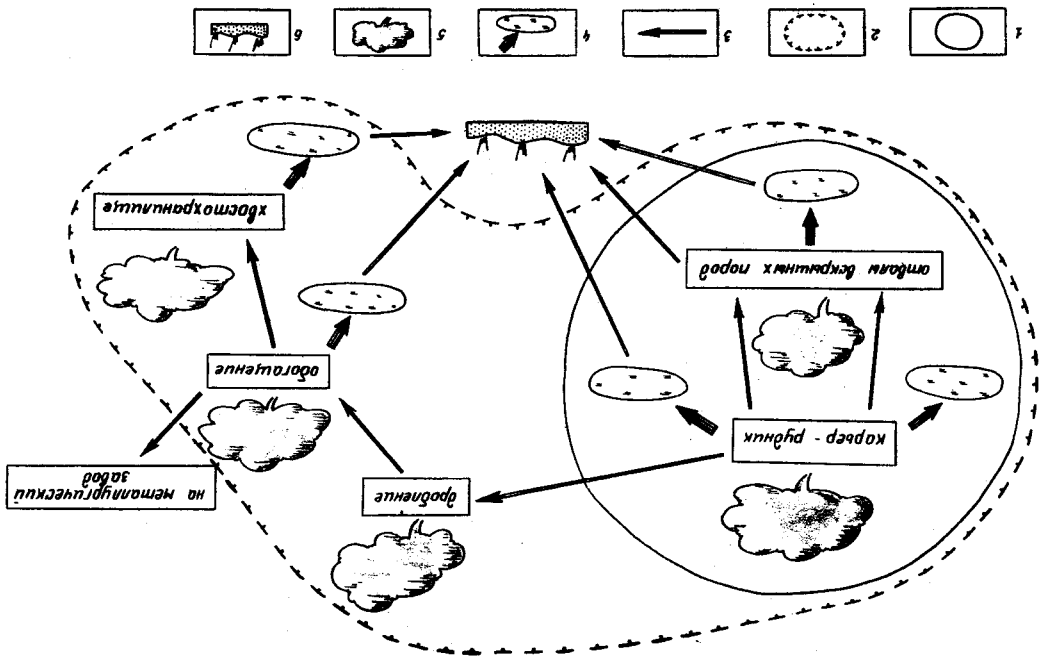
Экологические нарушения, вызванные деятельностью горно-обогатительных комбинатов обусловлены как составом перерабатываемых руд и горных пород, так и применяемой технологией их добычи и обогащения. Учитывая, что во всех случаях технологические схемы предусматривают извлечение и дробление больших масс пород, а также обогащение полезных компонентов чаще всего с применением методов, требующих сульфирования руд, повсеместно экологические проблемы носят комплексный характер. Он связан с образованием техногенных миграционных потоков в основных цепях распространения загрязняющих веществ: воздушной (дробление, обогащение, дефляция отвалов) и водной (водостлив, сток с хвостохранилищ, технологические стоки при обогащении). Для ГОКов с открытой разработкой естественно будут особенно остры проблемы, касающиеся воздушной пыли.

Экологические проблемы, связанные с природными геохимическими аномалиями, появляются только в случае сельскохозяйственного, санитарного и водохозяйственного использования территорий их распространения.

Комплексные геохимические исследования по оценке состояния окружающей среды на ряде полиметаллических, мелнкоколчеданных рудометаллических и других месторождений показывают, что наиболее интенсивное загрязнение окружающей среды связано с миграционными цепями; общая схема приведена на рис.2.

1. Пылевые выбросы при открытых горных выработках, загрязняющие атмосферный воздух и образующие контрастные и значительные по площади геохимические аномалии в почвах.
2. Дефляция и резкий отвал хвостов обогатительных фабрик, образующие интенсивные потоки рассеяния в водных системах и особенно локальные ореолы рассеяния в почвах.
3. Стоки водоотлива из подземных горных выработок и карьеров, образующие интенсивные и протяженные потоки рассеяния в водных системах.

Рис.2. Динамическая цепь загрязнения территории промышленного района. 1 - пылевые выбросы аномалии во всех природных средах - зона распространения отвалов; 2 - рудничная геохимическая аномалия в почвах и растениях, почвах, почвах в почвах; 3 - транспортная аномалия в почвах, растениях, почвах в почвах; 4 - транспортная аномалия в почвах, растениях, почвах в почвах; 5 - пылевые выбросы аномалии в почвах, растениях, почвах в почвах; 6 - пылевые выбросы аномалии в почвах, растениях, почвах в почвах.



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 минерало-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
Медноколчеданые	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 высокие степени 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	Кс	Р
Висмут	40	4400	30	3300	37
Теллур	1	1000	1	1000	1,2
Цинк	66700	804	3000	36	3700
Кадмий	100	770	30	230	37
Свинец	11900	740	1500	94	1660
Мышьяк	1000	590	200	120	246
Сера	192000	400	1390	3	1712
Серебро	16	230	10	137	12
Селен	2	40	1	20	1,2
Марганец	-	-	10000	10	12360

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 роте 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, тысячах 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 обоготельства и при размещении рабочих поселков ГОКов.

Разведываемое месторождение медистых песчанков по имерлинскому (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 извествкам. 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 размещать на водосборе крупной водной системы рнбхозяственно-то и питьевого пользования. При планируемых объемах добычи ежегодно 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 растворимой сульфатной формы с образованием потока рассеяния. Напомним, что медь - элемент не очень токсичный в питьевых водах, но исключительно токсичный для гидробионтов. В данном случае не исключено (требуются дополнительные исследования), что отказ от 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 концентрации в рудах элементов-примесей часто не являются особенно контрастными 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 обуславливает довольно пеструю картину микроэлементной ситуации в рудах. Кроме того, извлечение и переработка обычных для этих месторождений огромных объемов горных пород приводит, даже при небольшом уровне относительного накопления элементов-примесей, к появлению значительных абсолютных масс химических элементов в отходах добычи и обогащения, а также в выбросах при металлургии - чистом переделе.

16

В качестве примера приведем данные по содержанию микроэлементов в древних толщах двух месторождений: 1) месторождение ленто-кобальтовых богатых магнетитовых руд; и 2) месторождение борто-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 - борто-магнетитовым. Эти руды содержат целый ряд химических элементов, среди которых известны: железо, бор, мышьяк, хром, редкие земли, кобальт, вольфрам и медь.

Хвосты обогащения составят 15-52%, следовательно, при переработке руд этого типа будут накапливаться значительные объемы хвостов и, соответственно, большие количества химических элементов: редких земель, хрома и мышьяка.

Т а б л и ц а 4

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

Э л е м е н т	Месторождение магнетитовых руд		Месторождение борто-магнетитовых руд			
	С	Кс	Исходная руда		Хвосты отвальные	
			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

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 дошки 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 орудеющих 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.

Выявление химических элементов в хвостохранилищах интенсифицируется 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) - алмосиликатные (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 алмосиликатного 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 болемшиности химических элементов 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 оловорудного 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 концентрируемых химических элементов в оборудованном пространстве. 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 пространство для заложения блоков пород, которые рационально использовать для заложения 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 ЦДК (0,65 мг/м³ среднеуточная) и на 2-3 порядка выше фоновых уровней (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-

ния характерны не для главных промышленных элементов (молибдена и вольфрама), а для элементов-спутников (висмут, сурьма, мышьяк, селен).

Площадь атмосфернохимических аномалий в районе горнопромышленных комбинатов Южного Приморья превышает 40 км [26]. В зоне максимальных выпадений на расстоянии до 2 км от источников выбросов выпадает: свинец в 1000-5000 раз, цинка и кадмия в 100-200, меди и серебра в 50-100 раз больше норм. Содержание тяжелых металлов в поверхностных горизонтах почвы увеличено в десятки раз.

Учет состава пыли, концентрации химических элементов, широкого ассортимента токсичных химических элементов, расширяет зону неблагоприятного воздействия. Однако сколько-нибудь обобщенных материалов, регистрирующих фактические размеры таких зон по разным замерам воздуха для разных типов месторождений и условий добычи и переработки практически нет. Это связано с необходимостью синхронного долговременного динамического изучения концентрации широкого спектра металлов в воздухе на различных расстояниях от источника выбросов, которое пока в сколько-нибудь серьезных масштабах не проводится.

В то же время данные геохимического картирования объектов окружающей среды в пределах территорий горнодобывающих предприятий (почв, снегового покрова), выявляют четкие техногенные геохимические аномалии, связанные с выпадением матерьяла выбросов. Эти аномалии фиксируют зону влияния источников выбросов, а также состав и соотношение наиболее характерных загрязняющих веществ. Как правило, в них обнаруживается весь комплекс главных рудных элементов и элементов-примесей руд.

Таким образом, характеристики техногенных аномалий могут служить косвенным показателем загрязнения воздушного бассейна. Почва фиксирует статичные контуры загрязнения и отражает кумулятивный эффект техногенного воздействия на территорию. Снеговой покров отражает контуры загрязнения на период образования и позволяет судить о динамике происходящих процессов.

Анализ имеющихся данных показывает, что в зонах воздействия источников загрязнения всегда образуются аномалии с четко выраженным градиентом концентрации от центра к периферии. Центральные части аномалий приурочены к источнику выбросов. В их пределах уровни содержания элементов-загрязнителей в десятки и сотни раз превышают фоновые параметры. Размеры центральных частей

аномалий составляют первые километры (обычно не больше 10 км²). Убывание концентраций происходит по экспоненциальному закону.

Т а б л и ц а 5

Ассоциации химических элементов в пылях молибден-вольфрамового горнообогатительного комбината (в кларках концентрации - K_c)

Источники пылей	Ассоциация химических элементов в порядке убывания K_c		
	$K_c > 1000$	$K_c \geq 100$	$K_c \geq 10$
Выбросы карьера	В1, Sb	As, Sb, Mo, Sn	W, Pb, Zn, Cu, Ag
Выбросы шахты	В1, Sb	W, Mo, As	Sn, Ag, Pb
Выбросы цеха дробления руд	В1, Sb	W, Mo, Pb, As	Sn, Ag, Cu
Выбросы участка сушки и загрузки редкометалльных продуктов	В1, As, Sb	W, Mo, Pb	Ag, Zn, Sn, Cu
Выбросы участка сушки и загрузки сульфидных концентратов	В1, As, Cd, Ag, Sb	W, Mo, Pb	Cu, Zn

Морфология зон воздействия выбросов довольно несложна. Общей контур зоны воздействия определяется гидрометеорологической ситуацией и, главным образом, направлением, скоростью и частотой ветров. Однако зоны наиболее интенсивного воздействия связаны со специфическими условиями и периодами невысоких, так называемых, "опасных" скоростей ветра. Это и обуславливает центральное положение источника выброса на площади выявляемых аномалий.

При этом морфология аномалий очень зависит от рельефа. В расчлененных районах наиболее интенсивные участки аномалий целиком локализованы в пределах горно-долинных ландшафтов, в которых расположены источники выбросов (М.Е. Берлинд, 1975 г.).

Высказанные положения хорошо подтверждаются конкретными примерами техногенных геохимических аномалий.

На рис. 3 показан характер распространения выбросов карьера молибден-вольфрамового ГОКа в горном ландшафте, установленный геохимическим картированием выпадений, уловленных снеговым ловком. Мы видим (рис. 3, поперечный профиль через долину), что область интенсивных выпадений целиком локализуется в долине, на склоне которой расположен карьер, и не выходит за водораздел. Оно целиком накрывает поселок, расположенный в 1-2 км от карьера, где

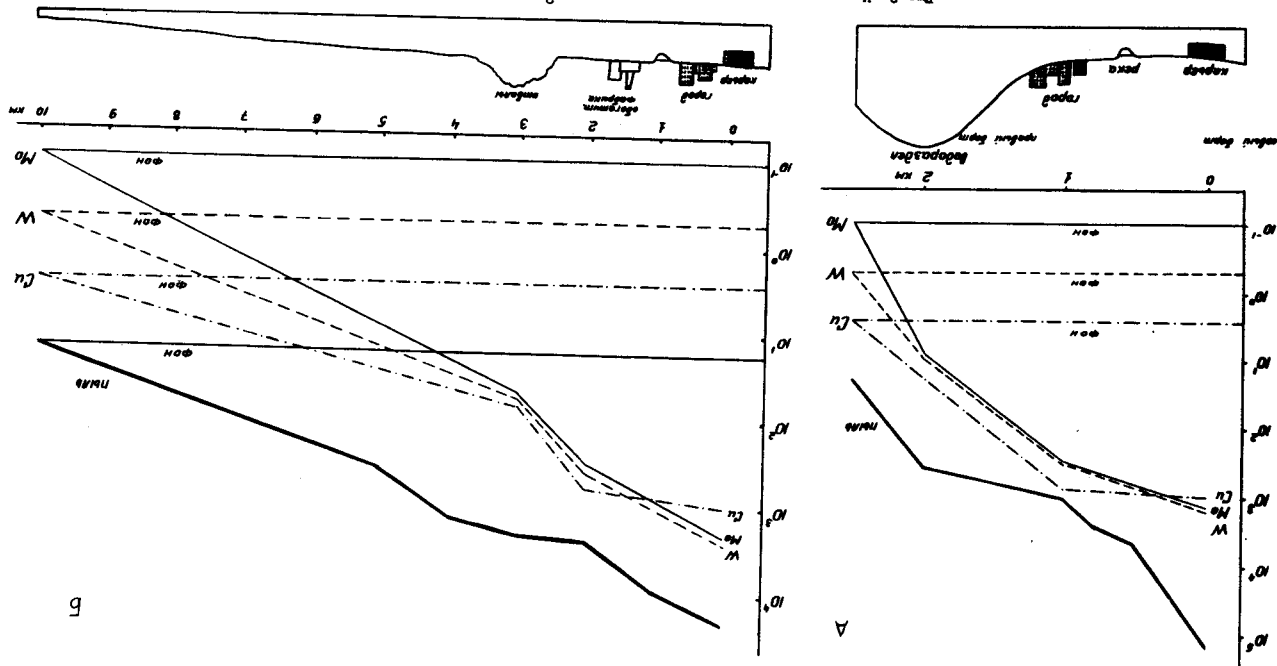
уровни выпадений пыли и рудообразующих металлов (в данном случае изучались только они) примерно в 50 раз выше фоновых. В продольном профиле вдоль долины зона аномальных выпадений распространена значительно дальше, и фоновые параметры достигаются лишь в 10 км от карьера (рис.3а). Мощность выброса карьера 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 добовавших 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).

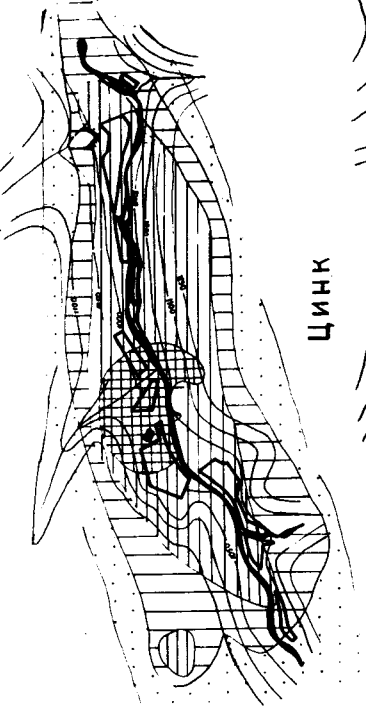
В состав аномалии входят все основные элементы перерабатываемых руд и, в частности, такие токсичные, как свинец, кадмий, кобальт, а также серебро, цинк, медь, висмут и другие. Зона влияния выбросов фабрики имеет четкую зональную геохимическую структуру, связанную с неодинаковой пространственной распространённостью 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)

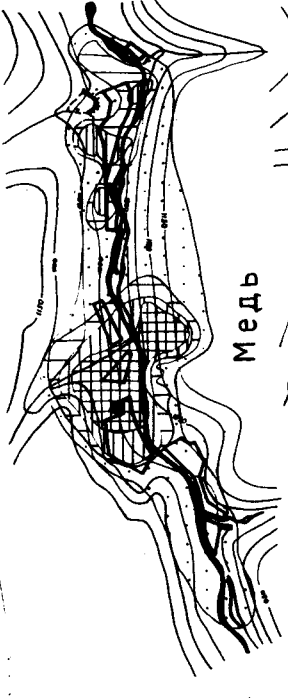


57

Свинец



Цинк



Медь

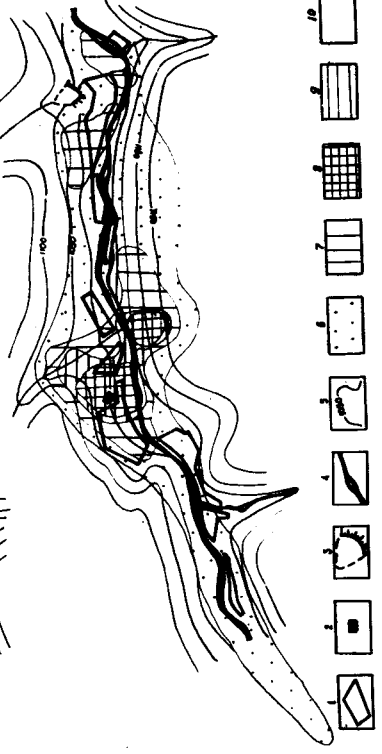


Рис. 5. Распределение содержания свинца, цинка, меди в почвах
вблизи обогатительной фабрики

- 1 - жилая и промышленная застройка; 2 - обогатительная фабрика;
- 3 - хвостограничье; 4 - река; 5 - горнозалежь; 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.

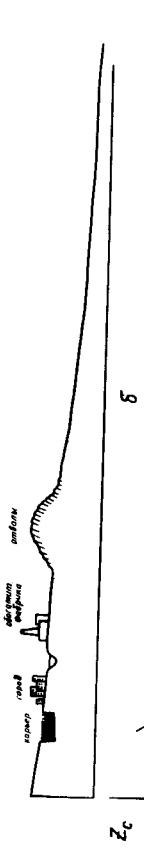
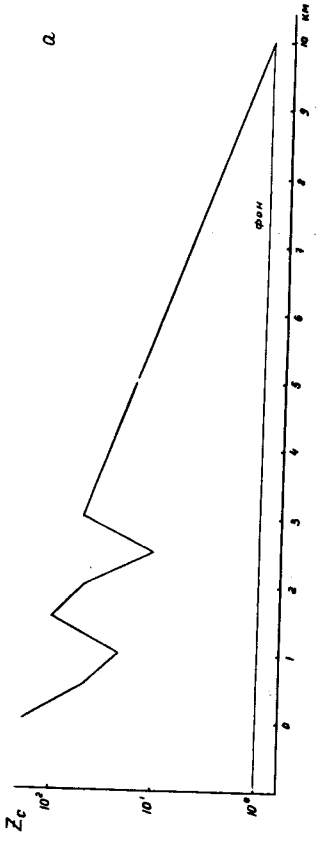


Рис. 4. Загрязнение почв при
воздействии газа в горном хвостограничье
(а - продольный профиль долины,
б - поперечный)
 $Z_c = \sum K_c \cdot (n - 1)$, где K_c - коэффициент
концентрации Z_c - число суммируемых
химических элементов, n - суммарная
поверхность загрязнения

