

РГАСНТИ 38.33.17
УДК [550.84:553]:502.7

Янин Е.П. Экологическая геохимия горнопромышленных территорий. - М., 1993. - 50 с.: ил. - (Геоэкологические исследования и охрана недр). Обзор / АО "Геонформмарк". - Библиогр.: 45-50 с. (80 назв.).

Эколого-геохимическое изучение окружающей среды приобретает все большее значение для решения практических задач природопользования. Экогеохимия горнопромышленных территорий является составной частью комплекса исследований загрязнения регионов интенсивного хозяйственного освоения. Именно горнопромышленные ландшафты испытывают наиболее активное техногенное преобразование. Методы и приемы экологической геохимии позволяют оценить степень и характер преобразования окружающей среды, его последствия для живых организмов. В обзоре освещены основные проблемы экогеохимии горнопромышленных территорий, дан анализ особенностей загрязнения окружающей среды прежде всего в связи с горнорудной деятельностью человека.

Редакционная коллегия

В.В.Менчинский (председатель), Ю.И.Бакулин, В.И.Бгагов, Э.К.Буренков, Н.П.Вольнец (зам.председателя), Г.М.Гейшерик, В.М.Гольдберг, О.В.Горбатюк, В.И.Гридин, А.А.Забузов, М.В.Кочетков, А.А.Лопаткин, В.В.Масленников, Ю.И.Матвеев, С.А.Модин, И.Л.Парабучев, В.М.Питерский (зам.председателя), А.И.Савич, Г.А.Соболев

КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ГЕОЛОГИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ НЕДР
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ЗАКРЫТОГО ТИПА
"ГЕОИНФОРММАРК"

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОХРАНА НЕДР

Обзорная информация
Выпуск 2

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Издается с 1991 г.

Москва 1993

Выходит 5 раз в год

РГАСНТИ 38.33.17
УДК [550.84:553]:502.7

Е.П.Янин
(ИМГРЭ)

ВВЕДЕНИЕ

Горнопромышленные комплексы и сопутствующие им агрологенные ландшафты занимают в целом незначительную часть мирового земельного фонда, однако их хозяйственное значение чрезвычайно велико. Развитие производства неразрывно связано с возрастающей потребностью в минеральном сырье и продуктах его переработки. Минерально-сырьевой потенциал является одним из главных ресурсных потенциалов современного общественного прогресса. За последние годы потребление минерального сырья увеличивается более высокими темпами, чем в 20-30-е годы нашего столетия. В настоящее время используется более 150 видов минерального сырья, добываются миллиарды тонн первичных энергоносителей, строительных материалов, миллионы тонн минеральных удобрений, металлического и неметаллического сырья. Объемы добычи полезных ископаемых в мире увеличились с 225 млн.т в XIX в. до 25 млрд.т в настоящее время, причем на территории б.ССР они достигают почти 8 млрд.т [19]. Только за последние 25 лет среднегодовые темпы прироста добычи составили 4,5-5%, а общая добыча минерального сырья в среднем увеличилась вдвое [19, 32]. За период 1950-1979 гг. объем среднегодового потребления первичных источников энергии возрос в 2,6 раза, металлов - в 3 раза, горнохимического сырья - в 3,5 раза [19].

Ежегодно из земных недр извлекается более 100 млрд. т различного материала (т.е. порядка 20 т на душу населения), а к концу века по прогнозам эта цифра может возрасти в 3-6 раз; при этом сейчас около 90-97% добываемого в природе вещества поступает в отвалы и рассеивается в окружающей среде [19, 23]. В 1983 г. в зарубежных странах число горнорудных предприятий составило около 7700 [4]. Согласно многим экспертным оценкам, идет процесс интенсификации развития горнопромышленного производства, что связывается прежде всего с ростом потребностей в минеральном сырье, расширением географии его использования и вовлечением новых видов сырья.

Все эти факторы, а также истощение богатых рудных месторождений и соответственно увеличение добычи более бедных руд ведет к росту расходов сырья, воды и энергии, появлению значительных объемов отходов, обуславливая резкое возрастание технологических нагрузок на окружающую среду горнопромышленных ландшафтов.

В настоящее время, безусловно, главным фактором эволюционного (в большинстве случаев негативного) преобразования окружающей среды в горнопромышленных районах становятся технологические процессы, проявляющиеся непосредственно уже на стадиях разведки и интенсифицирующиеся при эксплуатации месторождений. При этом в функционирующих горнопромышленных районах проблемы рационального освоения недр и охраны окружающей среды приобретают, прежде всего, острую технологическую направленность, а во вновь осваиваемых - требуют радикального решения с целью предупреждения расточительного использования минерального сырья, негативного воздействия на другие виды природных ресурсов, возникновения новых очагов экологического напряжения.

Масштабы техногенного воздействия на окружающую среду в горнопромышленных районах исключительно велики. Технологические преобразования захватывают территории, многократно превышающие площади горных отвалов, проявляются в коренной и глубокой трансформации всех компонентов биосферы и являются главным фактором, сдерживающим социально-экономическое развитие данных регионов и горнопромышленного производства в частности.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РАЙОНАХ

Одной из наиболее ярких черт воздействия горнопромышленного производства на окружающую среду являются возрастающие: прямые и косвенные преобразования земной поверхности. К

наиболее существенным изменениям ландшафта приводят открытые разработки полезных ископаемых, которые по существующим оценкам удовлетворяют подавляющую часть потребностей мирового сообщества в минеральном сырье. В частности, в США доля разработки различных месторождений открытым способом достигает 84% (Смит, 1992). В б. СССР на карьерах добывалось 70-80% руд черных и цветных металлов, большая часть горнохимического сырья и нерудных ископаемых [34]. В зарубежных странах добыча руд цветных металлов открытым способом составляет ориентировочно 55-62% (Жарков, Козырев, 1985).

Этот способ добычи сопровождается возникновением довольно значительных по размерам как положительных, так и отрицательных форм техногенного рельефа, которые занимают существенные по площади территории. Так, в пределах б. СССР общая площадь земель, нарушенных в результате горнопромышленного производства, превышает 4 млн. га, из которых 65% расположено в европейской части [12]. При этом насчитывается более 6300 карьеров и разрезов, около 70% из которых приходится на европейскую часть [17]. В Германии общая площадь нарушенных земель достигает 120 тыс. га, в Великобритании - более 55, в Чехословакии - около 40, в Польше - 30, в Болгарии - 9 тыс. га. В США около 3,6 млн. га занимают заброшенные карьеры и 0,4 млн. га нарушено открытыми разработками. Следует отметить, что в настоящее время в США добыча открытым способом без последующей рекультивации запрещена федеральным законом [2]. Площади, занимаемые конкретными разработками, могут быть очень значительными. Например, под горные предприятия Курской магнитной аномалии отведено 20 тыс. га, а Криного Рога - 25 тыс. га зем-ли, в т.ч. под отвалы по двум бассейнам - более 10 тыс. га и около 15 тыс. га - под отходы обогащения [18].

Устойчивый рост добычи минерального сырья открытым способом является главным направлением в развитии горнодобывающей промышленности на современном этапе. В частности, дальнейшее увеличение добычи железной руды предполагается осуществлять в основном за счет разработки крупных карьеров с производственной мощностью по горной массе 40 млн. т в год и более [34]. Высокая концентрация производства достигается путем строительства именно крупных карьеров. Так, в СНГ на семи крупнейших железорудных карьерах добыто за год свыше 230 млн. т сырой руды [18]. Преобладающее число существующих железорудных карьеров имеют годовую производительность более 10 млн. т, а на отдельных комбинатах объем переработки горной массы достигает 165-180 млн. т, по отдельным карьерам - 100-120 млн. т. В США к 2000 г. в результате горных работ будут изменены экология и ландшафт земель на площади 240 тыс. км² [2].

Таблица 1
Перемещение грунтов в материальном производстве, км³ [38]

Вид хозяйственной деятельности	До 1962 г.	1962-1980 гг.	Всего
Добыча полезных ископаемых:			
рудных	704	506	1210
нерудных	32	58	90
топливных	125	153	278
Отвалы производственных отходов (шлаки, золы и др.)	9,8	10,3	20,1
Различное строительство	587,5	218,6	806,1
Итого	1458,3	945,9	2404,2

В процессе горнопромышленного производства происходит колоссальное перемещение грунтов (табл. 1). По данным Л. Таусона (1990 г.), в б. СССР при добыче и переработке энергетического и минерального сырья ежегодно образовывалось около 8,5 млрд. т отвалных пород. В 1990 г. объем выемки горной массы по предприятиям б. СССР достиг 3,7 млрд. т, а минерального сырья - 887 млн. т. Добыча сырой железной руды составила около 540 млн. т, товарной - 235 млн. т [18]. Имеются сведения, что только в горнодобывающей промышленности Казахстана ежегодно образуется около 5 млрд. т твердых отходов (Ракишев, 1992). В Великобритании ежегодный прирост отвалов пустых пород в горнодобывающей промышленности составляет 50-60 млн. т [48].

По имеющимся глобальным оценкам, горная промышленность дает 31% всех образующихся в мире твердых отходов (Смит, 1982).

В результате перемещения и возникновения значительных объемов различного материала происходит не только коренная перестройка морфологии поверхности ландшафтов, но и полностью нарушается их фундамент: изменяется литогенная основа - ее вещественный состав и сложение. Это связано во многом с тем, что на поверхности оказываются новые для ландшафта породы с незначительной степенью выветрелости и, как правило, низкой биогеенностью. Например, в техногенную зону подземных рудников Криворожского бассейна вовлечено более 2 млрд. т окисленных железных руд [37]. В результате колоссальных механических воздействий на ландшафт происходит коренное изменение направления и скорости протекания всех химических процессов, резко ме-

В связи с ожидаемым ростом открытой добычи полезных ископаемых необходимо будет учитывать, что она в количественном отношении дает пустой породы по сравнению с полезным ископаемым гораздо больше, чем при подземной добыче. Это ведет к увеличению поступления грунтов в отвалы и соответственно к расширению площадей, занятых техногенными формами рельефа. Такая тенденция сохранится и в будущем, поскольку существует вынужденная необходимость разработки все более бедных месторождений, что приведет к извлечению из недр пустых пород по объему на порядок больше, чем ранее. Например, исчерпание богатых залежей марганцевых руд обусловило снижение среднего содержания марганца в рудном сырье с 25 до 22%.

При добыче полезных ископаемых закрытым способом в связи с широким применением проходки с обрушением кровли происходит сдвигание пород, а в результате различных геодинамических процессов - сжатия и растяжения внутри массивов пород, в которых заключены выработки, - образование на дневной поверхности мульд проседания, провалов, рвов, трещин разрыва [26]. В последние годы внедряется подземный способ добычи с закалкой выработанного пространства. При этом в качестве заключочного материала используются отходы добычи и обогащения, однако их объем не превышает 20% от потребности горных предприятий (Ракишев, 1982).

Водоотлив из горных выработок, сброс рудничных, шахтных и сточных вод, утечка из водонесущих сетей порождают линейную эрозию, скорость которой может достигать 10-20 м/год, и резко нарушают сложившуюся гидрогеологическую ситуацию в районе разработок и далеко за его пределами. Искусственное подтопление на открытых горных выработках приводит к оседанию вокруг них земной поверхности. При этом откосы карьеров и выемок осложняются оползнями, осыпями, обвалами, осыпями [26, 44].

Специфические проблемы могут возникнуть при добыче ряда полезных ископаемых методом выщелачивания. В частности, около 32% урана добывается методом подземного выщелачивания [16]. В последние годы выщелачивание используется для извлечения полезных компонентов из отвалов и отходов. Имеющиеся данные свидетельствуют, что эти способы добычи могут резко интенсифицировать поступление поллютантов в природные воды. Так, на Волковском месторождении для извлечения кучного выщелачиваемого меди из отвалов использовалась установка кучного выщелачивания [24]. Даже после прекращения ее функционирования из отвалов продолжало выщелачиваться значительное количество ряда металлов.

Таблица 2
Оценка экологической составляющей открытого и подземного
способов разработки минерального сырья [34]

Экологические факторы	Способ разработки		Обогащение
	подземный	открытый	
Загрязненность территории в период эксплуатации месторождения	Н-Ср	С	Н-Ср
Загрязнение воздуха	О	И	Н-С
Загрязнение воды	О-Ср	О-Н	Н-С
Загрязнение шумовое	Н	Н	Н-Ср
Загрязнение территории после завершения эксплуатации месторождения	Н	С	О-Н
Удельная земельность добычи:			
железной руды (в б. СССР в целом)	1	2,4	
угля (Россия)	1,0	3,2-3,6	
сланца (Эстония)	1,0	17-19	
Количество пород, поступающих в отвалы при добыче 1 т угля, м	0,25	До 4	
Зона влияния на изменения основных компонентов природной среды	1,0	10-100	
Падение урожайности сельскохозяйственных культур в зоне влияния, %	Не отмечалось	10-30	

Примечание. О - незаметное влияние; Н - небольшое; Ср - среднее; С - сильное. Удельная земельность добычи и зона влияния на изменения основных компонентов природной среды даны в качественных показателях. За единицу принят показатель подземной добычи.

Экологические проблемы, возникающие в горнопромышленных районах, могут быть обусловлены не только горнопромышленной (разведкой, добычей, обогащением, переработкой руд) и сопутствующей производственной деятельностью, т.е. не только технологическим фактором. Они могут создаваться природными факторами, связанными главным образом с природными геохимическими аномалиями. Как правило, в данном случае проблемы могут возникнуть при сельскохозяйственном, селитебном, воздохозяйственном, рекреационном использовании территории.

няются тип и скорость геохимического круговорота практически всех химических элементов. Последнее особенно ярко проявляется при разработке рудных месторождений. "Рудная" деятельность человека, - отмечает В.И.Вернадский, - является одним из больших биогеохимических процессов современной эпохи и входит в новую в геохимию всех химических элементов" [6].

Специфика добычи и обогащения руд заключается в извлечении и переработке огромных масс горных пород, при этом современная технология позволяет использовать лишь небольшую часть извлекаемой их массы (как правило, первые проценты). Все остальное поступает в отходы, которые являются источниками загрязнения окружающей среды экологически и гигиенически опасными химическими элементами и их соединениями (поллютантами). Так, снижению экономической эффективности горнодобывающей промышленности и, естественно, ухудшению экономической обстановки в Дальневосточном регионе России способствуют значительные потери при добыче и обогащении. Если извлечение из комплексных руд месторождений основных компонентов составляет 50-70%, то ценные сопутствующие компоненты извлекаются на 15-17%, очень редко - до 50%. Эксплуатационные потери достигают при добыче 12-18%, разубоживание - 34-51% [32]. В хвостохранилищах Солнечного ГОКа (Дальний Восток) сосредоточено около 25 млн.м³ отходов обогащения, содержащих олово, медь, цинк, свинец, вольфрам, серебро, серу, сурьму, висмут, индий, кадмий, ниобий [32]. По данным ученых университета штата Монтана (США), к 2000 г. в США в ходе добычи, обогащения, переработки различных руд металлов за счет потерь только в водные источники будет выброшено от 700 до 7000 т токсичных компонентов. Природные процессы, в которые включаются отходы, приводят к формированию в окружающей среде техногенных ореолов и потоков рассеяния широкого круга поллютантов, т.е. зон загрязнения [29, 30].

Принципиальным является тот факт, что глубокие качественные изменения окружающей среды распространяются далеко за границы разрабатываемых месторождений (горных отвалов) и приобретают региональный характер. В частности, в горнопромышленных районах наряду с участками полного уничтожения существовавших ранее природных ландшафтов существуют территории, испытывающие воздействие техногенных геохимических процессов, т.е. площади зон загрязнения могут многократно превышать площади разрабатываемых месторождений (горных отвалов). Масштабы воздействия в основном будут определяться составом извлекаемых руд и горных пород, технологией их добычи, обогащения и переработки, а также зависят от особенностей местных ландшафтов (табл. 2).

Эколого-геохимические исследования горнопромышленных территорий имеют практическое значение в двух аспектах. Во-первых, с позиций оценки состояния окружающей среды и создания геохимических основ изучения таких территорий для целей рационального их использования и, во-вторых, с позиций прогнозирования отрицательного воздействия новых, разведываемых месторождений полезных ископаемых [28, 29].

РУДЫ И ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ КАК ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

О составе потоков загрязняющих веществ, которые начнут формироваться при эксплуатации месторождений, свидетельствуют 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 [29, 30].

Многолетний опыт геохимических исследований месторождений показывает, что в большинстве случаев промышленно ценные рудные тела не имеют физических границ и выделяются по уровням содержания химических элементов, ограничивающих блоки пород, экономически и технологически эффективные для извлечения и обогащения полезных компонентов при сложившейся конъюнктуре и существующих технических возможностях. Обрамляющие рудные тела горные породы содержат достаточно высокие уровни концентраций химических элементов, которыми фиксируются первичные ореолы месторождений. Пространственные размеры последних и количество заключенных в них запасов химических элементов обычно превышают параметры самих рудных тел. В состав первичных ореолов входят как главные рудные компоненты, определяющие промышленный тип месторождения, так и ряд сопутствующих химических элементов (табл. 3).

Прежде всего следует отметить, что в рудах и первичных ореолах концентрируются химические элементы, относимые к наиболее приоритетным поллютантам, являющимся экотоксичными и гигиенически опасными. Кроме того, приводимые списки ассоциаций химических элементов в первичных ореолах с рассматриваемых позиций недостаточно полны, так как ориентированы на перечень элементов, используемых в качестве индикаторов при поисках месторождений. Как правило, приводятся только элементы, ореолы которых удается обнаружить, применяя в основном экспрессный спектральный анализ. Поэтому, несмотря на то, что установленный в настоящее время элементный состав руд и первичных ореолов достаточно обширен, тем не менее он не полностью

Таблица 3
Геохимические ассоциации химических элементов, концентрирующихся в некоторых типах рудных месторождений и сопровождающих их ореолах рассеяния [10]

Тип месторождения	Геохимическая ассоциация
Апатитовые	P-Sr-Ce-La-Y-Zr-Nb-Mo-Pb-Ba-Sn-Ni-Co-Zn-Cr-V-Sc-Ga-Mn
Кимберлиты	Co-Ni-Cr-Pb-Zn-Ag-Cu-B-Mo-Sn
Редкометалльные пегматиты	Li-Pb-Cs-Nb-Sn-Ta-W-Be-As ~ F
Медно-никелевые	Cu-Ni-Co-Ba-Pb-Zn-Ag-Bi-Sn-Be-W-Zr
Медноколчеданные	Ba-Ag-Pb-Cd-Zn-Bi-Cu-Co-Mo
Железорудные в скарнах	Mn-Pb-Cu-Zn-Ni-V-Sn-Sr-B-Zr-Mo-Co-Fe-Ti-Cr-Y-Sc
Вольфрам-молибденовые в скарнах	Ba-Ag-Pb-Zn-Sn-Cu-W-Mo-Co-Ni-Be-V-Y
Висмутовые в скарнах	As-Pb-Ag-Zn-Co-Cu-Bi-Ni
Оловорудные	Sn-Pb-As-Cu-Bi-Zn-Ag-Mo-Co-Ni-W
Полиметаллические в скарнах	Sb-Cd-Ag-Pb-Zn-Cu-Ni-Bi-Co-Mo-Sn-W-Be
Золоторудные	Au-Sb-As-Ag-Pb-Zn-Mo-Cu-Bi-Co-Ni-W-Be
Медно-порфировые	Ba-As-Sb-Ag-Pb-Zn-Au-Bi-Cu-Mo-Sn-Co-W-Be
Медные	Ba-As-Pb-Zn-Ag-Sn-Cu-Bi-Co-Ni-Mo
Медно-молибденовые	Cu-Mo-As-Ag-Pb-Zn-Bi-Co-Ni-Be-W
Полиметаллические	Ba-Sb-As-Ag-Pb-Zn-Cu-Bi-Mo-Co-Sn-W
Урановые 82	U-Ag-Pb-Zn-Cu-Mo-Co-Ni-Y - F - As - Sb - 72 - Hg
Сурьмяно-ртутные	Sb-Hg-As-Cu-Ag-Pb-Zn-Be-Co-Ni-W-Sn
Ртутные	Hg-Ba-Ag-Pb-Zn-Cu-Co-Ni-Sn-Mo-W
Стратиформные свинцово-цинковые	Ba-As-Cu-Ag-Pb-Zn-Co-Ni-Be-V
Медистые песчанки	Cu-Ag-Pb-Ba-Bi-W-Cr-Zn-Mo

отражает действительную картину [10]. Безусловно, он должен быть дополнен химическими элементами, являющимися примесями в рудах. В частности, такими как индий, селен, теллур, кадмий, фтор и другие, а также некоторыми элементами, составляющими макрооснову руд - железо, сера, фосфор. Так, например, в последние годы ряд видов минерального сырья исследуется с позиций попутного получения многих редких металлов (табл. 4), значительная часть которых является токсичными.

Таблица 4
Попутные редкие металлы в некоторых видах минерального сырья [20]

Виды сырья	Попутные редкие металлы
I. Топливно-энергетическое сырье битуминозные пески и сланцы урановые руды	V, Ge, Sc, Zr V, TR, Re, Se, Sc
II. Руды черных металлов железные руды, в т.ч. титано-магнетитовые железо-марганцевые конкреции	V, Ga, Ge, Nb, Te, TR, Sc Se, Te, Ti
III. Руды цветных металлов бокситы вольфрамовые медно-никелевые медно-цинково-цинковые медистые песчаники и сланцы	V, Ga, Sc Bi, Sc In, Se, Te Bi, V, Ga, Ge, Cd, Re, Se Ge, Ga, Re, Se, Ti
IV. Руды золота коренные россыпные	Bi, Te TR, Zr

Исследования П.А. Озеровой [22] показали, что ртуть образуется промышленные концентрации не только в собственно ртутных и ртутно-сурьмяных месторождениях, но и во многих гидротермальных месторождениях ртутного состава. Более того, в отдельных случаях возможно даже ее попутное извлечение. Наиболее перспективны в этом плане руды нематаморфизованных и слабых метаморфизованных колчеданных и колчеданно-полиметаллических месторождений благодаря значительным запасам основных компонентов, высокой ртутносости руд и широкому развитию в них минералов-концентраторов ртути.

Подсчеты по зарубежным колчеданным месторождениям показали, что в цинковых рудах отдельных месторождений заключено от нескольких сотен до нескольких тысяч тонн ртути. Анализ данных по содержанию ртути в рудных концентратах месторождений различных генетических типов свидетельствует о вероятности интенсификации загрязнения окружающей среды этим металлом при металлургической переработке. Естественно, что опасность возрастает при переработке значительных объемов руд. Так, на

месторождении Салбери количество ртути, соответствующее ежегодной продукции никеля, измеряется тоннами. Общее ее количество, заключенное в рудах этого месторождения, достигает многих десятков, а возможно, и сотен тонн [22]. В конечном счете эта ртуть попадает в окружающую среду.

Первичные ореолы по размерам обычно существенно превосходят рудные залежи, вокруг которых они формируются [10]. При добыче они, как правило, составляют большую часть так называемых "пустых пород", образующих наиболее объемные отвалы (связанные с проходкой полевых выработок, стволов, вскрышными работами).

Таким образом, данные по параметрам распределения и запасам химических элементов в первичных ореолах, с учетом данных по формам их нахождения и вероятной подвижности в условиях дневной поверхности, позволяют дать прогнозную оценку таких отвалов как источников загрязнения и предусмотреть необходимые меры по их безопасному размещению, экранированию и рекультивации. Данные по химическому составу рудных ореолов приближенно-количественно соответствуют также и составу пылей, выбрасываемых в атмосферу в процессах механического дробления руд, и определяют поэтому токсичность выбросов и гигиенические параметры рабочих мест в дробильных отделениях. Эти же данные качественно характеризуют возможный состав отходов обогащения, накапливаемых в хвостохранилищах (один из наиболее опасных видов отходов в горнорудных районах) [29].

К сожалению, опыт эколого-геохимических оценок горно-промышленных районов невелик, и имеется не очень много данных по конкретным месторождениям.

Так, обобщение данных по составу руд и отходов для одного из разведываемых колчеданно-полиметаллических месторождений показало наличие очень высоких концентраций широкого спектра химических элементов [30]. Содержание в рудах висмута, теллура, кадмия, свинца, мышьяка, селена и ряда других элементов в сотни раз выше фоновых уровней. Естественно, что при дроблении пород они будут переходить в атмосферный воздух. Простыми расчетами установлено, что при загрязнении воздуха пылью на уровне 4-5 предельно допустимых концентраций накопление в ней свинца, кадмия, мышьяка значительно превысит их ПДК в воздухе. Как свидетельствуют имеющиеся материалы, зоны с таким превышением ПДК по пыли занимают территорию в радиусе 1-3 км. Данные по хвостам обогащения, складирование которых предполагается в водосборе крупного водоема, показывают, что и для них сохраняется высокая степень концентрирования ряда элементов. При пла-

вируемых объемах добычи в хвостохранилищах ежегодно будет накапливаться значительная масса кадмия, свинца, мышьяка, висмута, теллура и других элементов.

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 отработывались руды со значительно более высокими концентрациями, чем сейчас. Так, по данным Б. Девиса [46], содержания свинца в отвалах руды полиметаллических месторождений США, Англии, стран Африки достигают сотен и тысяч мг/кг (до 1,5% в Уэльсе), цинка - тысячи мг/кг (до 3%), меди - сотни и тысячи мг/кг.

Естественно, что принципиальное значение приобретают вопросы, связанные с прогнозом поведения химических элементов первичных ореолов и руд после извлечения последних и перемещения их в отвалы добычи и обогащения. К сожалению, стандартизированных методов таких оценок в настоящее время не разработано. В то же время изучение на месторождениях поведения элементов в естественных корках выветривания позволяет в какой-то степени прогнозировать характер их поведения в отвалах [27].

Как известно, большинство химических элементов присутствует в горных породах в сульфидных формах. В условиях дневной поверхности они начинают испытывать активное воздействие различных агентов выветривания. При этом миграционная подвижность продуктов выветривания обусловлена прежде всего количеством сульфидов (и, следовательно, образующейся при их окислении серной кислоты - наиболее активного агента, переводящего тяжёлые металлы в подвижные формы), а также сорбционными, нейтрализующими и осадительными свойствами вмещающих пород. В этой связи следует отметить, что, по имеющимся данным, во многих случаях содержания сульфидов в отвалах, и особенно в хвостах, превышает 10-20% при содержаниях металлов (свинца, цинка, меди) в десятки и сотни раз выше фондах. Выщелачивание химических элементов в хвостохранилищах интенсифицируется также кислотными остатками флотоагентов, поступающих вместе со сбросными водами.

Исследования последних лет показывают, что техногенное воздействие на месторождения приводит к резкому (до 10 раз) увеличению зоны гипергенеза. В условиях отвалов интенсивность процессов выветривания многократно усиливается. Это связано с высокой проницаемостью агентов выветривания и хорошими условиями для удаления растворимых продуктов, не успевающих осадиться на геохимических барьерах, что, собственно, и приводит

к загрязнению окружающей среды. Существенную роль в повышении происходящих процессов могут сыграть минералогические исследования.

В последние годы выделено новое направление в минералогии - экологическая минералогия [25, 40], главными задачами которой является исследование минералогических аспектов геомини антропогенных ландшафтов, минералогических основ технологических разработок по комплексному использованию минерального сырья и схем безотходных технологий, минералогическое изучение отвалов старых предприятий и процессов минералообразования в них, изучение минералогических форм накопления и динамики движения вредных примесей, оценка токсичности различных минералов [40].

Таким образом, геохимические и минералогические исследования первичных ореолов и руд и особенностей их разрушения в процессах выветривания дают возможность многоаспектной интерпретации результатов этих исследований с экологических позиций [28], а также позволяют получить качественные и приближенно-количественные характеристики отходов, выбросов и стоков, прогнозировать поведение концентрирующихся в них элементов в конкретных ландшафтно-геохимических условиях. Имеющиеся данные по составу первичных ореолов и руд многих типов месторождений свидетельствуют о том, что формирующиеся в горнопромышленных районах природные и техногенные аномалии в различных компонентах окружающей среды характеризуются комплексным полиэлементным составом, включающим большинство наиболее экотоксичных и гигиенически опасных химических элементов и их соединений.

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ АНОМАЛИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РАЙОНАХ

В общем случае в горнопромышленных ландшафтах формируются два основных типа геохимических аномалий: природные (рудные) аномалии, обусловленные естественными процессами, и техногенные аномалии, связанные с основными видами производственной деятельности - геологоразведочными работами, горнорудными (добыча руд), горнообогатительными (обогащение руд) и металлургическими (переработка руд) предприятиями. Очень часто последний вид деятельности при оценках состояния окружающей среды не учитывается. Это связано с тем, что во многих районах, как правило, действуют горнорудные комбинаты неполного цикла, включающие комплексы предприятий по добыче и обога-

щину руд, а их переработка может осуществляться за пределами горнорудного района. Однако и с практической, и с научно-методической точек зрения принципиальным является выявление и изучение характера техногенного воздействия на всех этапах промышленного освоения месторождений - от стадии разведки до переработки руд. В то же время особенности преобразования окружающей среды в районах переработки руд выявлены и изучены сравнительно детально. Поэтому нам представляется логичным более подробно рассмотреть характер техногенных изменений природной среды собственно в горнорудных районах.

Природные гипергенные геохимические аномалии как зоны загрязнение

Большая часть открываемых месторождений выведена процессами орогенеза и эрозии в зону гипергенеза, где руды и первичные ореолы попадают в резко неравновесную обстановку, что приводит к широкому развитию в этой зоне процессов разрушения рудных месторождений, распределения их вещества в окружающем пространстве - природных телах биосферы - и образованию вторичных ореолов и потоков рассеяния.

Следует отметить, что аномалии химических элементов в районах рудных месторождений фиксируют экстремальные эколого-геохимические ситуации, известные в природе. В этой связи их оценка особенно важна, поскольку они могут рассматриваться как модели техногенных аномалий [9, 28], анализ которых позволяет прогнозировать поведение химических элементов в скоплениях загрязняющих веществ. Особенно это важно для решения таких недостаточно исследованных задач, как поведение отходов в процессе их выветривания в условиях дневной поверхности и миграция химических элементов при захоронении отходов в толще горных пород. Природные геохимические гипергенные аномалии довольно хорошо изучены. Особенности их состава, строения и промышленного распределения отражены во многих фундаментальных работах.

Общим свойством всех природных геохимических аномалий является полиэлементность их состава, который хорошо коррелируется с составом руд и включает, помимо главных рудных элементов, элементы-спутники. Площадь ореолов отдельных месторождений варьирует в пределах десятых долей-первых квадратных километров. Однако эти ореолы практически всегда блокируются в сближенные серии, характеризующие оруденение рудных месторождений.

Площадь таких серий составляет десятки и сотни квадратных километров. Этим территориям обычно свойствен общий повышенный уровень концентрации рудообразующих элементов на фоне которого и проявлены ореолы отдельных месторождений и рудопроявлений, занимающие около 20-25% общей площади [29].

Обобщение многочисленных данных показывает, что в среднем уровень концентрации химических элементов в ореолах месторождений (выделяемых в контуре с 95%-ной вероятностью) не более чем в 10-15 раз превышает фоновые значения. Лишь в центральных очень локальных ($0,01 \text{ км}^2$) зонах ореолов, непосредственно трассирующих рудные тела, уровни концентрации значительно выше (в десятки, редко в сотни раз превышающие фоновые). Природные геохимические аномалии в почвах менее интенсивны, чем техногенные аномалии. Тем не менее, и в их пределах для элементов, имеющих гигиенические нормы концентрации, в почвах регистрируются зоны с превышением этих норм (свинец, ртуть, реже мышьяк, медь, цинк и др.). Таким образом, выявлены слабый или средний индивидуальные уровни воздействия отдельных химических элементов на достаточно значительных площадях. Однако в связи с высокой комплексностью природных геохимических аномалий суммарные (аддитивные) показатели накопления химических элементов в почвах очень велики [29].

Несмотря на то, что площади выявления интенсивных природных аномалий меньше, чем техногенных, не исключено использование территорий таких аномалий под жилую застройку и сельское хозяйство, зачастую обеспечивающее местное население основным объемом растительной (а иногда и молочной) продукции.

Так, район одного рудного поля сульфидного месторождения составляет 250 км^2 , из них на 120 км^2 концентрации свинца, меди, цинка, кобальта, олова, молибдена превышают фоновые значения в 5-10 раз и на площади 25 км^2 - более чем в 10 раз. Из девяти населенных пунктов на этой территории семь расположены на площадях с высоким содержанием химических элементов, причем три из них находятся на интенсивных (содержания в 10 и более раз выше фоновых) аномалиях указанных элементов. На этих же территориях размещены сельскохозяйственные угодья и приусадебные участки [29].

Для другого крупного региона развития сульфидно-касситеритовых месторождений по поисковым геохимическим данным выявлены три типа аномалий с весьма токсичным комплексом химических элементов в ассоциации элементов-индикаторов: ртутьно-свинцово-мышьяковые с цинком, медью, оловом, сурьмой, марганцем; свинцово-мышьяковые, также содержащие высокие кон-

- пылевые выбросы при открытых горных разработках, загрязняющие атмосферный воздух и образующие контрастные и значительные по площади геохимические аномалии в наземных экосистемах;
 - дефляция и размывание хвостохранилищ обогатительных фабрик, создающие интенсивные потоки рассеяния в водных системах и сравнительно локальные ореолы рассеяния в наземных экосистемах;
 - стоки водоотлива из подземных горных выработок, карьеров, образующие интенсивные и протяженные потоки рассеяния в водных системах;
 - стоки обогатительных фабрик и перерабатывающих предприятий, загрязняющие водные системы;
 - рассеяние рудного материала при транспортировке, загрязняющее воздух, почвы, снеговой покров;
 - организованные и неорганизованные выбросы в атмосферу при обогащении и переработке руд.
- Естественно, что во всех случаях не исключается вероятность отрицательного воздействия поллютантов на живые организмы, в том числе и на человека.

Геохимические преобразования наземных экосистем

Основное поступление загрязняющих веществ в атмосферу и наземные экосистемы связано с технологическими и природными процессами, приводящими к образованию больших масс пыли. Это прежде всего буровзрывные работы, дробление руд при обогащении, дефляция отвалов вскрышных пород, отходов добычи и обогащения. Высокий уровень запыленности воздуха возникает также на участках транспортировки и выгрузки пород на приемных пунктах или отвалах [29].

По существующим оценкам в СССР в 1987 г. на долю горнодобывающей промышленности пришлось около 35% всех промышленных выбросов, причем 8,5% из этого объема в значительной степени были обусловлены низкой эффективностью пылегазоочистных устройств или их неисправностью [33].

Особенно загрязненный воздух отмечается в глубоких карьерах, где смесь газов автомобильных выбросов и минеральной пыли формирует так называемый "карьерный смог". В условиях штиля он распространяется над обширными площадями прикарьерной территории, приводя к простоям горнотранспортного оборудования по санитарно-гигиеническим условиям. Например, по этой

центрации названных выше тяжелых металлов и свинцовые с медью и цинком. Общая площадь проявления аномалий около 5000 км². Концентрации свинца в почвах достигают 0,1-0,5%, ртути - 0,001%, что многократно выше предельно допустимых. В рассматриваемом регионе планируется развитие значительной горнодобывающей промышленности и крупной обслуживающей инфраструктуры. До проведения эколого-геохимической экспертизы ситуации ряд угольных совхозов и подсобных хозяйств проектировалось разместить на зонах интенсивного развития ртутно-свиноцено-мышьяковых аномалий [29].

Региональные геохимические поля, фиксирующие рудные провинции и металлогенические 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) фиксируются главными элементами металлогенической специализации территорий на уровне 2-3, редко больше, кларков концентрации. Тем не менее, такие провинции имеют важное экологическое значение, так как с ними связаны многие эндемические заболевания человека и животных. Несмотря на то, что серьезное комплексное эколого-биогеохимическое изучение подобных провинций начато сравнительно недавно, имеется уже много примеров неблагоприятных биологических последствий (медно-цинковая провинция Южного Урала, сурьмяные провинции Ферганской долины, молибденовые провинции Северной Америки и др.). Поэтому для всех рудных месторождений необходимы исследования в этом направлении [30].

Таким образом, природные геохимические аномалии с экологических позиций могут быть проинтерпретированы как зоны загрязнения, ограничивающие возможности природопользования в горнопромышленных районах.

Техногенные геохимические аномалии в горнопромышленных районах

Комплексные геохимические исследования состояния окружающей среды горнопромышленных ландшафтов показывают, что наиболее интенсивное техногенное загрязнение окружающей среды связано со следующими миграционными процессами [29]:

Ассоциации элементов в пылях молибден-вольфрамового ГОКа (Тырны-Ауз) [29]

Источники выбросов пылей	Коэффициенты концентрации относительно кварца		
	> 1000	1000-100	100-10
Карьер	Bi	As-Sb-Mo-Sn	W-Pb-Zn-Cu-Ag
Шахта	Bi-Sb	W-Mo-As	Sn-Ag-Pb
Цех дробления руд	Bi-Sb	W-Mo-Pb-As	Sn-Ag-Cu
	Bi-Sb-As	W-Mo-Pb	Ag-Zn-Sn-Cu
Участок сушки и загрузки рудометаллических концентратов			
Участок сушки и загрузки сульфидных концентратов	Bi-As-Cd-Ag-Sb	W-Mo-Pb	Cu-Zn

Как правило, в процессах измельчения участвует вся масса руд (дробление) или руды и вмещающие породы (взрывные работы), поэтому в первом приближении состав образующейся пыли должен отвечать их составу. В то же время избирательное измельчение тех или иных минералов может изменить соотношение между химическими элементами и их соединениями в пылях по сравнению с исходными породами. Хотя данных такого рода немного, однако имеющиеся материалы свидетельствуют об очень контрастном обогащении пыли широким спектром химических элементов (табл. 5). Принципиальным является тот факт, что максимальные концентрации характерны не для основных промышленных элементов (молибдена и вольфрама), а для основных промышленных элементов (висмута, сурьмы, мышьяка, свинца, кадмия, олова).

По данным [45] в составе пыли, образующейся при бурении шпуров и при взрывных работах на золотых рудниках ЮАР, отмечены резко повышенные содержания свинца, цинка, меди, железа, марганца, хрома, титана и ряда других элементов. В районах добычи урановых руд фиксируется загрязнение воздуха радиоактивной пылью, возникновение которой связывается с распылением руды при ее подъеме на поверхность и дефляцией отработанных пород [65].

В районе ртутных рудников может наблюдаться достаточно интенсивное загрязнение воздуха парами ртути. Например, имеются сообщения о том, что в деревне Альмаден (в районе крупных ртутных рудников Испании) уровни содержания ртути в воздухе превышали $0,1 \text{ мг/м}^3$ (при фоне менее 50 нг/м^3). В известном ртутном рудном районе Монте-Амиата (Тоскана, Италия) уровни содержания паров ртути, главным источником которых является дегазация почв, достигала 200 нг/м^3 [52].

причине на карьере Мурунтау (Навои) в 1990 г. не вывезено около 1 млн. м^3 горной массы [3]. Дизельные двигатели карьерных автомобилей 40-60% времени работают в режиме полной нагрузки, 20-30% - на частичных нагрузках и 15-20% - на холостых оборотах [5]. Расход топлива при работе на полной нагрузке составляет 75-87% общего за транспортный цикл. Следовательно, наибольшее количество поллютантов выбрасывается в атмосферу непосредственно при транспортировке горной массы от забойного погрузочного оборудования до пунктов разгрузки. В состав автомобильных выбросов входят оксиды азота и углерода, альдегиды, неканцерогенные углеводороды, бенз-а-пирен, сажа, некоторые тяжелые металлы. Анализ показал, что при работе дизеля на полной нагрузке до 50% суммарного токсичного выброса составляют оксиды азота, доля сажи с адсорбированным на ней бенз-а-пиреном (80-90%) достигает 40%, вклад остальных компонентов не превышает 10% [14].

Основным способом разрушения скальной горной массы во всем мире в настоящее время остаются буровзрывные работы. Единственно при массовых взрывах на крупных карьерах используется более 1000 т ВВ [17], при этом происходит загрязнение атмосферы в результате выделения больших количеств газообразных продуктов, в том числе экологически вредных [21]. Однако самым серьезным последствием является выделение при массовых взрывах больших количеств пыли. Объемы рассеиваемых в воздухе пылевых масс даже на ГОКе средней производительности составляют сотни, тысячи тонн в год, что эквивалентно выбросу крупного промышленного комбината. По данным И.Н.Волковой и Н.С.Казанской, при взрывных работах на Михайловском месторождении железных руд (Курская область) пыль оседает в радиусе 3-6 км от карьера, а распыление руды в атмосфере наблюдалось на открытых складах в радиусе 1 км. Концентрация пыли в воздухе в зоне воздействия карьеров сильно варьирует во времени. В среднем она составляет $0,3-2,0 \text{ мг/м}^3$ (до $4-5 \text{ мг/м}^3$), что в 6-40 раз выше ПДК ($0,65 \text{ мг/м}^3$ среднесуточная) и на 2-3 порядка выше фонового уровня ($0,001 \text{ мг/м}^3$) [29].

Непосредственно в карьерах запыленность воздуха может достигать $2,7-2,8 \text{ мг/м}^3$; содержание углерода - 13-24, а оксидов азота - $3,1-5,8 \text{ мг/м}^3$ [18]. По данным метеорологических наблюдений, периоды неудовлетворительного естественного воздухообмена в глубоких карьерах составляют в среднем 10-12% рабочего времени, что приводит к экстремальному загрязнению воздуха, а простои горнотехнологического оборудования по этой причине достигают 500 часов в год. При повышении влажности воздуха присутствуют в карьерной атмосфере пыль, сажа, газы играют роль ядер конденсации, что обуславливает образование тумана.



40 раз превышают ПДК. Наиболее неблагоприятная ситуация складывается в десятикилометровой зоне вокруг комбината. На расстоянии в 15 км и далее устанавливается фоновое содержание ртути в почвах (Рождественская и др., 1990).

Площадь атмосфернохимических аномалий в районе горнопромышленных комбинатов Южного Приморья превышает 40 км. В зоне максимальных выпадений на расстоянии до 2 км от источников свинца в 10000-50000 раз, цинка и кадмия - в 100-200, меди и серебра - 50-100 раз больше, чем на фоновых территориях. Содержание тяжелых металлов в поверхностных горизонтах почвы увеличено в десятки раз [29].

В отдельных случаях дальность воздействия, фиксируемая по химическим изменениям в почвах, может быть значительна. Так, исследование влияния железобывающих предприятий и их отходов на почву показали, что медь, кобальт, никель, свинец, цинк, марганец и хром, присутствующие в железной руде, проникли в почву до глубины 120 см на территории, удаленной на 30 км от источника загрязнения [70]. Интенсивность миграции металлов по профилю почв зависит от содержания гумуса и карбонатов, pH, емкости поглощения, механического состава. Например, в коричневых лесных оstepенных почвах и горных черноземах в окрестностях одного из горно-металлургических предприятий Армении свинец активно перемещался до глубины 5-10 см, а в коричневых лесных и горных лугово-stepенных - до 15-20 см. При этом содержание валового и подвижного свинца в почвах, входящих в зону влияния указанного предприятия, зависело в основном от удаленности от источника загрязнения, характера рельефа местности и розы ветров. Наиболее сильное загрязнение почвы наблюдалось на расстоянии до 4,5 км от предприятия, а техногенное накопление свинца в почвах фиксировалось на расстоянии до 20-25 км (Чванян, 1983).

Для техногенных зон загрязнения в горнорудных районах известен достаточно широкий спектр отрицательных биологических и биологических реакций живых организмов в связи с загрязнением наземных экосистем [11]. Однако еще очень мало фактических данных, почти не проводятся комплексные исследования, всесторонне прослеживающие все возможные виды воздействия.

В районе фабрики по обогащению полиметаллических руд на частных огородах и сенокосах наблюдались уровни накопления свинца, цинка и кадмия, превышающие гигиенические нормы (табл. 6). Интенсивное загрязнение огородных почв и культур отмечено в г. Салаире, расположенном близ свинцово-цинкового рудника (Ильин, 1990).

Как правило, техногенные геохимические аномалии, связанные с выпадением пыли на дневную поверхность, достаточно четко выявляются при геохимическом картировании почв и снегового покрова [30]. Они фиксируют зону влияния источников выброса, а также состав и соотношение наиболее характерных загрязняющих веществ. Обычно в них обнаруживается весь комплекс главных рудных элементов и элементон-примесей. Характеристики техногенных аномалий в денонирующих средах могут служить косвенным показателем загрязнения воздушного бассейна и прямо свидетельствуют об интенсивности геохимического преобразования наземных экосистем. Как правило, почва фиксирует статичные контуры загрязнения и 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 горнопромышленных районах техногенные аэрогенные аномалии (зоны загрязнения), так же как и в городах, имеют четко выраженный градиент концентрации от центра к периферии [30]. Центральные части аномалий в денонирующих средах приурочены к источнику выбросов. В их пределах уровни содержания элементон-поллютантов и десятки и сотни раз превышают фоновые параметры. Площади центральных частей аномалий составляют первые километры (обычно не больше 10 км²).

Морфология зон воздействия выбросов довольно сложна и зависит от рельефа. В расчлененных районах наиболее интенсивные участки аномалий целиком локализованы в пределах горнодолинных ландшафтов, в которых расположены источники выбросов [1, 30]. Результаты изучения состава выпадений, уловленных снеговым покровом в районе карьера молибден-вольфрамового комбината, показали, что облако интенсивных выпадений локализуется в долине, на склоне которой находится карьер, и не выходит за водораздел. Оно целиком покрывает лоссок, расположенный в 1-2 км от карьера, где уронни выпадений пыли и рудообразующих металлов (вольфрама и молибдена) примерно в 50 раз выше фоновых. В продольном профиле долины зона аномальных выпадений растягнута значительно дальше, и фоновые параметры фиксируются лишь в 10 км от карьера. Мощность выброса карьера в рассматриваемом случае очень велика (масса выпадений в районе карьера 16 т на 1 км² в сутки, или в 800 раз выше фона).

Результаты исследований распределения ртути в почвах зоны влияния Актанского ртутного месторождения и комбината показали, что в почвах над рудными телами ее содержания в 15-

Ряд исследований демонстрирует отрицательное воздействие на биоту мест захоронения отходов добычи и обогащения, сохраняющиеся даже через десятки лет после закрытия рудников. Так, в Уэльсе [57] и в Сомерсете [64] в 100-500 м от старых природных отвалов вследствие ветровой и водной эрозии образовались аномалии с содержанием свинца в растениях до 275 мкг/г, что превышает допустимый уровень. При выпасе на этих участках отмечались случаи гибели домашнего скота. При этом в фекалиях коров содержание кадмия, например, достигало 6-50 мкг/г при норме 1-2 мкг/г. Аналогичные случаи наблюдались в Шотландии в районе дорог, построенных из отвалов свинцового рудника. У погибших здесь коров обнаружилась выжого (2 мг/л) содержание свинца в крови [29].

На Чиатурском месторождении выявлено обогащение марганцем растений, произрастающих на отвалах и в депрессиях с намытыми почвами. Листья кукурузы содержали 250-500 мг/кг Мп, клевер - 80-164 мг/кг, люцерна - 59-132 мг/кг, солома злаковая (пшеница, рожь, овес) - 22,5-198 мг/кг Мп. В среднем количество марганца в сеяных травах в 2 раза меньше, чем в укосах трав естественных лугов [36]. Концентрации свинца, железа, цинка и хрома в побегах и корнях ситника, произрастающего на отвалах пиритовых рудников, были значительно выше, чем в растениях с контрольных участков [46].

В окрестностях города Альмаден (Испания), где расположены ртутные шахты, содержание ртути в почвах составляло 97 мг/кг (при фоне 2,3), а на расстоянии 15 км от шахт - 3,1-5,3 мг/кг [61], что привело к накоплению ртути в растениях (дуб - 1,44 мг/кг, овес - 2,02, при фоне в растениях 0,08-0,1 мг/кг) и во мхах (до 19,74 мг/кг). В районе рудников Монте-Амиата (Италия) уровни содержания ртути в растительности достигали 9,8 мг/кг [52].

В теле дождевых червей, отобранных вблизи свинцово-цинкового рудника около г. Рексем (Северный Уэльс), накапливается свинца в 35 раз больше, чем при нормальных условиях, а цинка - в 2 раза выше фона. Свинец концентрируется также в теле различных грызунов и землероек в 10-15 раз выше, чем в естественных условиях [74]. Отмечено интенсивное бионакопление свинца, кадмия и цинка в организме ягнят и овец в районах шахт и перерабатывающего завода в юго-западной Сардинии [60]. В частности, концентрации свинца в печени достигали 45 мкг/г, в легких - 10,2, мышцах - 15,3, почках - 43,1 мкг/г. Зафиксирована прямая связь между содержанием металлов в растениях и в мягких тканях организмов овец.

Таким образом, при добыче и обогащении руд образуются выбросы, содержащие широкий комплекс химических элементов.

285

Примечание. В скобках указаны коэффициенты концентрации по отношению к фоновому содержанию.

Объект опробования	Медь	Цинк	Кадмий	Свинец
Кургуза (кормовая часть)	4-12 (1-3)	106-184 (3-9)	0,44 (1,0)	36 (4,0)
Кургуза (початок)	3,6 (1,0)	36,8 (1,6)	0,07 (1,2)	0,9 (4,0)
Свекла	21,6 (2,3)	212,1 (7,7)	0,13 (3,2)	6,5 (7,0)
Укос трав	9,0 (1,0)	110,0 (2,0)	0,66 (11,6)	39,5 (5,0)
Почва	85-152 (2-5)	310-1352 (4-15)	4-6 (6-10)	520-560 (18-26)

Химические элементы в сельскохозяйственных растениях в зоне влияния фабрики по обогащению свинцовых руд, мг/кг сухой массы [29]

Таблица 6

В зонах влияния выбросов, достигающих 10 км и более, формируются экологически и гигиенически опасные техногенные геохимические аномалии в атмосферном воздухе, в почвах, в снеговом покрове. Интенсивность указанных аномалий может быть очень велика, что не исключает поступления повышенных доз поллютантов в живые организмы.

Период воздействия горнопромышленных предприятий, даже уже прекративших свое функционирование, может быть достаточно велик. Главной причиной является ветровая и водная эрозия отвалов и хвостохранилищ.

Геохимические преобразования водных экосистем

В природной обстановке формирование геохимического облика водных систем, а также структурно-морфологические характеристики рудных потоков рассеяния в гидросети определяются ландшафтно-геохимическими условиями водосборного бассейна и особенностями гидрологического режима водотоков, влияющими на интенсивность склоновых процессов и физико-химического выветривания и почвообразования.

В горнопромышленных ландшафтах резко меняются характер и интенсивность поступления химических элементов в водные системы. Это обуславливается изменением темпов и сущности миграционной и водной миграции, связанной с перемещением больших масс горных пород и их последующим перераспределением в отвалах под действием гранитационных процессов; с разрушением хвостохранилищ под влиянием экзогенных факторов; с поступлением сточных вод рудников, обогатительных фабрик, шламохранилищ и металлургических предприятий; с поверхностным стоком с территорий, загрязненных промышленными выбросами и отходами. В водотоках формируются техногенные потоки рассеяния - зоны загрязнения, отличающиеся по площади и по составу накапливаемых элементов [29,42,43].

Большую роль в поступлении химических элементов в водные системы играет отмечавшееся выше техногенное усиление процессов выветривания на разрабатываемых месторождениях. Так, на Красногвардейском месторождении наблюдалась герметично закрытая горная выработка, стенки которой были покрыты новообразованными хорошо растворимыми минералами: мелантеритом, инзанитом, глоккеритом, самородной серой и др. По расчетам в результате химического разубоживания за год было вынесено 170 т серы халькопирита и более 500 т серы пирита.

Изучение баланса меди, поступившей в водотоки с одного из медноколчеданных месторождений, показало, что за период эксплуатации с 1935 по 1983 г. рудничными водами вынесено более 50 тыс.т меди, причем 2/5 этого количества поступило в окружающую среду. В настоящее время на руднике извлекается только медь. Все остальные компоненты (широкая группа микроэлементов), содержащиеся в рудничных водах, попадают в речную сеть (Авдонин, 1984). Аналогичная ситуация наблюдается на многих других месторождениях, где сопутствующие элементы часто дают уровень загрязнения, превышающий таковой для извлекаемых элементов [31].

Загрязнение водных систем в горнопромышленных районах - одна из наиболее острых и хорошо известных проблем. Так, уже в 1974 г. в комиссии парламента Великобритании состоялись слушания по поводу падежа скота и снижения урожайности на пойменных землях Уэльса. Это было связано с тем, что при добыче свинцовой руды до 25% ее терялось и поступало в речные системы, загрязняя пойменные ландшафты.

Водами р.Квирилы в начале столетия ежегодно с территории Читурского месторождения выносилось до 60 тыс.т марганца, а в твердом стоке реки его содержание возросло в 23000 раз [36]. В настоящее время с площади марганцевого бассейна рекой ежегодно выносится до 250 тыс.т металла в растворенном состоянии и более 120 тыс.г со взвесью [13]. Это привело к тому, что в низовьях р.Квирилы отмечено образование вторичной провинции с удвоенным содержанием марганца по сравнению с почвами собственно месторождения.

Ведущая роль в поставке поллютантов принадлежит различным сточным водам, значительную часть которых составляют рудничные воды, стоки хвостохранилищ и обогатительных фабрик (табл.7). Существенным источником загрязняющих веществ является поверхностный (талый и дождевой) сток с рудных отвалов, дорог и со всех других объектов в пределах горных отвалов. При значительном содержании различных химических элементов и их соединений (до десятков граммов на 1 л) и объеме различных сточных вод (десятки миллионов кубометров в год) они представляют серьезную угрозу водным системам. Как правило, основной причиной загрязнения шахтных и подотвалных вод горных предприятий цветной металлургии является образование растворимых сульфатов цветных металлов и железа в результате окисления сульфидных минералов в гипергенных условиях. Так, в шахтных и рудничных водах уральских месторождений минералов сырья различных видов содержится ряд микроэлементов, концентрации

885

которых часто очень высоки или заметны настолько, что приближаются к концентрациям в соответствующем сырье [38]. Напри- мер, суммарные годовые концентрации редкоземельных метал- лов, несмотря на вариации от года к году, постоянно превышают рекомендуемые условные минимально промышленные, даже если принимать во внимание лишь минимальное содержание.

Исследования состава всех видов водопроводящих на Филиз- чайском месторождении в Азербайджане - родников, ручьев, ка- нав, штолен, самоизливающихся скважин - показали, что в водах постоянно присутствуют в высоких концентрациях свинец, цинк, кобальт, серебро, медь. В отдельных пробах встречались повышен- ные концентрации сурьмы, индия, вольфрама. Перечисленные элементы появляются при разрушении рудных минералов - при- рта, халькопирита, сфалерита, галенита и др. Алюминий, титан, марганец, хром, никель, ванадий и ряд других элементов вымыва- ются из рудовмещающих пород кислыми сульфатными водами (Алиев, Мамедов, 1990).

Кислые рудничные воды представляют особую опасность. Для районов многих месторождений установлено, что в результате естественного выщелачивания руд pH вод снижается до 5-7; эти воды выносят часть рудных компонентов в природные водотоки. Активная добыча руд еще более увеличивает интенсивность вы- щелачивания, способствуя снижению pH природных вод до 3,5-1,4. Это обуславливает контрастное возрастание содержания многих химических элементов в водах. На одном из крупнейших в мире меднорудном месторождении Дэсин в Китае, разрабатываемом бо- лее 20 лет, среднесуточная добыча руды превысит в ближайшее время 100 тыс.т, что приведет к образованию около 14,4 млн.т кис- лых рудничных стоков с pH до 2,4-2,7, содержаниями меди до 80- 140 мг/л и железа до 2000-3000 мг/л [15].

Характернейшей особенностью практически всех видов сточных вод, образующихся в горнопромышленных районах, явля- ется их резкое обогащение взвешенным твердым веществом, иг- рающим существенную роль в миграции химических элементов и соответственно в загрязнении водотоков. По различным данным содержание взвеси (мутность) в стоках может достигать десятков и даже сотен г/л, т.е. наблюдается многократное превышение мут- ности природных водотоков.

Сточные воды горнорудных предприятий часто содержат различные техногенные органические вещества - фенолы, нефте- продукты, агенты флотационного обогащения, в частности раз- личные количества цианидов. Более того, в процессе очистки сто- ков нередко образуется ряд опасных соединений и возрастают со-

Месторождения	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Сульфидное (Западный Алтай)	15000	30000	300	50	16000	125000	500	200
Сульфидное (Западный Алтай)	6000	6000	70000	10000	6000	6000	170000	30
Сульфидное (Западный Алтай)	2000	2000	20	14	300	2200	200	40
Золоторудные (ЮАР) максимальные	4000	3000	3900	15900	5400	26000	52	290
Средний состав вод зоны гиперфеза	547	49,4	3,31	-	-5,58	34	0,33	2,21

Химические элементы в сточных рудничных водах, мкг/л [29]

фатов, кальция, хлоридов, взвешенных веществ. Эти изменения могут быть связаны с интенсификацией процессов выветривания и выщелачивания горных пород, с влиянием промышленных стоков, с поступлением поверхностного стока и бытовых сточных вод. Однако наиболее заметные изменения химического состава вод связаны с резким, порой катастрофическим увеличением содержания многих химических элементов (тяжелых металлов, редких и рассеянных элементов, микроэлементов). Многочисленные данные показывают, что уровни содержания элементов в воде, взвешенных отложениях, гидробионтах в зонах влияния горнопромышленных предприятий в десятки и сотни раз превышают фоновые концентрации.

Для поверхностных вод районов горнодобывающих и горнообогатительных предприятий характерны очень резкие пространственно-временные изменения кислотно-щелочных условий, что приводит к заметной перестройке условий миграции химических элементов. Так, при исследовании вод реки, на которой расположен ГОК по добыче и обогащению вольфрамово-молибденовых руд, было установлено, что в естественных условиях усложненные ландшафтной структуры в пределах высокогорного рельефа практически не сказывается на изменении величины рН и содержания гидрокарбонат-иона. Все водотоки выше ГОКа характеризуются нейтральной реакцией (рН=7,2-7,5). Тенденция к возрастанию обонх показателей наблюдается в районе открытых разработок, в черте города (слив из шлюза), в районе хвостохранилища, что, в частности, приводит к усилению подвижности молибдена на отдельных участках речной сети [29].

Безусловно, поступление кислых рудничных и других стоков в поверхностные водотоки - одна из серьезнейших проблем, обуславливающих коренное преобразование экосистем на значительных расстояниях, что подтверждается многочисленными фактами. Так, одним из наиболее известных бассейнов дренирования кислых вод является район Стринг-Крик, расположенный в 250 км от г. Сан-Франциско и занимающий площадь около 600 км² [72]. На дренируемой площади имеются многочисленные проявления медно-цинкового сульфидного оруденения, в результате выщелачивания которого рН вод снижается до 5-7; эти воды выносят часть рудных компонентов, отлагая их в долине в виде залежей сульфатных руд. Их разработка была начата в 1895-1896 гг. открытым способом и достигла максимума (до 1000 т руды в день) в 1904 г. Позже добыча велась здесь в 1930-1945 гг. Все это способствовало интенсивному выщелачиванию оставшихся залежей сульфатных руд, что привело к загрязнению токсичными элементами всей окружаю-

держания отдельных компонентов. Так, наиболее широко для разрушения цианидов применяется метод окисления щелочным хлорированием. Это может приводить к образованию очень токсичного промежуточного продукта - хлорциана, загрязнению сточных вод хлором, неполному окислению комплексных цианидов Fe³⁺, которые остаются в виде ионов Fe(CN)₆³⁻, создавая потенциальную угрозу загрязнения окружающей среды цианидами [7].

В зоне влияния вольфрам-молибденового комбината (Тырны-Ауз) в водах отмечались чрезвычайно высокие содержания хлоридов и кальция, связанные с использованием хлорной извести для очистки жидкой части хвостов от флотореагентов [29]. Отмечены также высокие содержания нефтепродуктов и органических веществ, применяемых в качестве агентов флотационного обогащения.

Необходимо отметить, что зачастую поверхностный сток с действующих и отработанных карьеров, с подъездных автомобильных дорог, отвалов пустой породы играет ведущую роль в поставке загрязняющих веществ в водотоки. Так, специальные исследования, выполненные в бассейне р. Норт Тау в одном из горнорудных районов США, показали, что количество взвешенных частиц других загрязняющих веществ, поступающих за один год от точечных источников, составляет лишь около 5% вещества стока с берегов во время одного сильного ливня [2].

При отсутствии в пределах горнопромышленных ландшафтов предприятий по пирометаллургическому переделу руд основным объектом техногенной геохимической трансформации являются, как правило, водные системы. Горнопромышленная деятельность коренным образом изменяет химический состав природных вод. В общем случае эти изменения зависят от типа месторождения, способа и технологии его отработки, гидрогеологических и ландшафтно-геохимических условий водосбора, определяющих интенсивность вторичных изменений горных пород. Наиболее интенсивные трансформации общей гидрохимии вод наблюдаются в районах, расположенных в гидродинамических зонах затрудненного водообмена. Особое значение имеют такие факторы, как количество сульфидов в разрабатываемой горной массе, в первую очередь кислотообразующие, состав рудовмещающих пород, степень проработки сульфидосодержащих пород процессами окисления, время существования поверхностных техногенных литоаккумуляций и степень очистки стоков (Елпатьевский, Аржанова, 1991).

В общем случае в зоне влияния горнопромышленных объектов происходит заметная трансформация общего гидрохимического облика природных вод. Очень часто они становятся серно-кислыми. Резко увеличивается содержание натрия, калия, азота, фос-

шей местности в радиусе 15-20 км. Опробование, проведенное в 1958-1960 гг., показало, что кислотность вод возросла здесь до 3,5-1,4. Это способствует активному выносу подлутантов в поверхностные водоотоки. Аналогичные процессы были отмечены и в районе рудника Пен-Майн, где поверхностные воды имеют рН 4,4-1,7. В горнорудном районе Пирамид (оз. Пирамид, штат Невада), характеризующемся резко аридным климатом, поверхностные воды ранее были слабощелочными (рН 7,7-8,5), однако в районе действующих рудников они стали кислыми (рН в среднем 2,3). В районе Фостерс-Кэмп, где в 1920-1930 гг. добывались золотосеребряные и медно-молибденовые руды, отмечены аномально кислые воды с рН 0,1.

Поступление кислых рудничных вод интенсифицирует процессы растворения и выщелачивания многих химических элементов, резко увеличивая их миграционную способность и соответственно уровни содержания в поверхностных водах. Так, в рудничных водах разрабатываемых медно-колчеданых месторождений Урала концентрации кадмия находились в пределах 0,025-177,4 мг/л (Табаксблат, 1988). При этом в слабощелочных сульфатных рудничных водах кадмий преимущественно присутствовал в виде двухвалентного катиона (до 60-88%), доля нейтрального сульфатного комплекса составляла 9,2-31%.

В одном из кислых рудничных ручьев, дренирующих старый горнорудный район, расположенный на о. Англии (Северный Уэльс), где до конца XIX в. добывали медную руду, уровни содержания ряда тяжелых металлов достигали колоссальных значений [53]. Даже несмотря на значительное разбавление притоками, воды которых не содержат металлов, поверхностная вода ручья в его устье содержала примерно в 100 раз больше цинка, меди и марганца, нежели "нормальная" речная вода. В верховьях ручья и в его устье концентрации железа в воде соответственно достигали 110000 и 11000 мкг/л; меди - 10600 и 2850; марганца - 7750 и 2150; цинка - 21700 и 5550 мкг/л. В водах эстуария, принимающего сток ручья, также фиксировались высокие концентрации указанных металлов. Характерно, что в донных отложениях эстуария около 50% цинка и 90% меди находятся в потенциально подвижной форме. Сочетание восстановительных условий с высокой концентрацией геохимически активных токсичных металлов делает донные отложения залива средней, не пригодной для обитания организмов.

В рудных потоках рассеяния, как известно, ассоциации химических элементов хорошо коррелируют с минералого-геохимическими особенностями дренируемых месторождений. Качественный состав твердофазной и воднорастворенной составляющих по-

токов выдерживается на значительных площадях в соответствии с металлогеническими особенностями последних. Распределение элементов, как правило, является зональным.

Резкое изменение характера накопления и распределения химических элементов в зонах влияния ГОКов отмечается как для растворенной, так и для твердофазной составляющих. Меняется уровень содержания и соотношение элементов в техногенных аномалиях. Причем даже после прекращения функционирования ГОКов уровень загрязнения может оставаться достаточно высоким, что отмечено для многих районов мира. Так, в эстуарии Гонгел (Англия), служившем приемником сточных вод свинцового рудника в 1845-1885 гг., дошлые отложения до сих пор служат источником загрязнения водной фазы и биоты [49]. Дренажные канавы большинства заброшенных рудников Великобритании в течение десятков и даже сотен лет являются источниками загрязнения водной сети [46]. Изучение выноса тяжелых металлов через водную дренажную сеть и дамбу хвостохранилища заброшенного свинцово-цинкового рудника в Северном Уэльсе показало, что суточный вынос составляет (кг): для свинца - 0,27; цинка - 15; кадмия - 0,1; меди - 0,03; железа - 1,25 [57]. Всего же со времени прекращения работ в р. Конвей вымыто 15000 т пустой породы, содержащей 43 т свинца, 104 т цинка и 1 т кадмия. Аналогичные явления отмечены и для многих других горнорудных районов, которые в настоящее время не эксплуатируются.

Одной из главных особенностей воздействия горнопромышленных объектов на характер миграции химических элементов является резкое увеличение доли их взвешенных форм. Это связано, прежде всего, со значительным увеличением мутности водооток, что обусловлено резким возрастанием твердого стока в горнопромышленных районах. Например, снос с отвалов в бассейне р. Бивер-Крик (штат Кентукки, США) определен в 94 т/га/год, а модуль твердого стока этой реки 9 т/га/год; тогда как в природных условиях этот модуль составляет 0,09 т/га/год [2]. Мутность воды в р. Кантакрик (Канада), дренирующей территорию добычи железных руд, достигает 2100 мг/л, вследствие чего вода приобретает красновато-коричневый цвет на участке в 5 км [63].

Как правило, существующие отстойники способны удерживать в основном только крупные частицы. Тонкие частицы могут мигрировать на значительные расстояния, а также, отлагаясь в руслах, лишая рыб мест нереста, а мелкую водную фауну - убежища между камнями, что было установлено специальными исследованиями на Аляске в районах золотодобычи [69]. В некоторых плесах гавадки смыывают наносы, но во многих случаях этот процесс рас-

тягивается на много лет. Водный центр университета Аляски, а также междометственные группы ихтиологов принимают ПДК взвесей в сбросных водах на уровне 0,12 г/л. Фактически же замутненность вод ниже припсков в сотни раз превышает естественный фон и многократно - уровень ПДК. В р. Рингароома (о. Тасмания) с 1870 г. сбрасываются отходы 50 рудников по добыче олова, расположенные в бассейне данной реки [59]. За этот период в водоток поступило 40 млн. м³ тонких взвесей, обусловивших чрезвычайно сложную динамику речного русла и загрязнивших его на участке в 75 км. Максимальная мощность слоя отложений достигает 10 м.

В одной из рек, принимающей неочищенные и частично очищенные сточные воды медных рудников (Папуа-Новая Гвинея), количество твердой взвеси увеличилось с фонового уровня 76 до 800 мг/л, причем содержание меди во взвеси колебалось в пределах 90-1120 мг/кг [76].

Другая причина резкого увеличения доли взвешенных форм химических элементов, мигрирующих с поверхностными водами, связана со значительным возрастанием абсолютных концентраций в самой взвеси. При этом довольно часто даже при невысокой мутности воды (на уровне фона) очень высокие абсолютные концентрации многих элементов во взвеси обуславливают формирование их контрастных техногенных аномалий в речной сети (табл. 8).

Таким образом, техногенные аномалии химических элементов, мигрирующих во взвешенной форме, могут быть обусловлены повышенной мутностью или высокими концентрациями поллютантов в самой взвеси. Естественно, что наиболее контрастно аномалии будут проявляться при совместном воздействии обоих факторов. Эти важные положения необходимо учитывать при оценках степени техногенного воздействия на водные системы.

Высокие содержания и огромные массы взвешенных форм химических элементов обуславливают возникновение очень контрастных и протяженных аномалий в донных отложениях во-

дотоков, которые в прогнозе могут определять качество воды и являться вторичными источниками загрязнения.

В табл. 9 приведены данные о составе и протяженности потоков рассеяния, полученные при исследовании донных отложений в одном из горнорудных районов, в котором ведется добыча, обогащение и переработка полиметаллических руд [43]. Прежде всего обращает внимание увеличение комплексности техногенных литохимических аномалий в ряду воздействия "разведка-добыча-обогащение-переработка руд". Одновременно во много раз возрастает интенсивность накопления многих химических элементов. Резко меняются соотношения между ними в рядах концентрации. Уровень загрязнения сопутствующими элементами часто выше, чем таковой главными компонентами добываемых руд. Для горнорудных и горно-обогажительных предприятий уровень загрязнения во многом зависит от продолжительности срока их эксплуатации и объемов перерабатываемых руд. Заметно увеличивается протяженность потоков рассеяния и возрастает устойчивость техногенных аномалий в пространстве.

В отличие от потоков рассеяния в равнинных урбанизированных районах, характерной особенностью которых является ярко выраженная неоднородность распределения типоморфных элементов [41], потоки рассеяния в горнопромышленных районах обладают заметно более однородным в пространстве распределением интродуцированных элементов, это связано с особенностями аккумуляции и гранулометрического состава речного материала в горных реках. Как правило, существующая вариация в распределении проницаемых на общем высоком уровне содержания элементов. В периферийных частях потоков при общем снижении концентрации неоднородность пространственного распределения заметно возрастает. Для большей части контрастно накапливающихся элементов отмечается согласованное распределение вниз по потоку. При переходе потока рассеяния в водоток более крупного порядка интенсивность накопления за счет разбавления природным материалом заметно снижается.

Принципиальным является следующий факт. Несмотря на то, что в районах действия горнодобывающих и горно-обогажительных предприятий качественный состав техногенных источников (отвалы, отходохранилища) в принципе адекватен природным (рудным), соотношения между элементами в рядах концентрации (в техногенных геохимических ассоциациях) в условиях загрязнения принципиально иные, чем в природных условиях, а общий уровень их концентрирования в техногенных потоках значительно выше, чем в рудных.

Таблица 8
Ассоциации химических элементов в твердой части промышленных сливов вольфрамово-молибденового ГОКа [29]

Слив	Коэффициент концентрации относительно фонового содержания		
	7-1000	100-1000	10-100
С обогащательной фабрики в хвостохранилище	Bi	Sb	Sn-W-Mo
С хвостохранилища	Bi	W-Sb-Sn	Mo-Zn
			Co-Cr-V-P
			Mn-Pb-Cu-V-Sn-Cr

Разовые гидрохимические опробования рек Северной Осети показали, что рудные потоки характеризуются содержаниями в растворе речных вод в пределах фоновых. Несколько повышены уровни растворенных и взвешенных форм химических элементов в пределах территорий проведения геологоразведочных работ. Более контрастные аномалии, особенно во взвешенных формах, проявляются в районах горнорудных и горно-обогатительных предприятий (табл. 10), причем более высокие концентрации отмечаются вблизи старых обогатительных фабрик. Однако наиболее интенсивные и протяженные аномалии в воде фиксируются в зоне воздействия металлургического завода (табл. 11), где подавляющая часть практически всех изученных элементов мигрирует во взвешенных формах. Таким образом, уровни содержания и протяженность потоков, а также устойчивость техногенных гидрохимических аномалий во времени также резко возрастают в ряду воздействия "разведка-переработка руд", что особенно четко отмечается по взвешенным формам элементов.

Таблица 10

Химические элементы в воде рек
горнопромышленных ландшафтов, мкг/л [43]

Место опробования	Медь		Кадмий	Свинец		Цинк
	В	Р		В	В	
Фон	1	1	18	1	1	1
Ниже рудников, эксплуатируемых 150 лет	1	1	14,6	1,8	8,7	2,4
Ниже горно-обогатительной фабрики, эксплуатируемой 90 лет	1	40,2	26,4	5,9	26,4	8
Ниже шламоохранилища	1,7	1	30	2,2	9,6	5,4
18 км ниже шламоохранилища	1,6	1,4	18,5	1,8	5,2	4,4
Район геологоразведочных работ	2	1,1	26,6	1	1,5	2,5
Ниже нового рудника	1,5	1,3	17	2	4	1,6
Ниже горно-обогатительной фабрики, эксплуатируемой 15 лет	3,2	1,8	31,4	2	4,3	2,5
20 км ниже предыдущей фабрики	1,7	3,5	10,8	3	2,7	16,7

Примечание. «В» и «Р» - соответственно коэффициент концентрации относительно фона во взвешенной и растворенной формах; «%» - доля в процентах взвешенной формы от суммы В+Р.

Источники загрязнения	Кoeffициент концентрации относительно фонового содержания		Протяженность потоков рассеяния	Ириодный		Геологоразведочные выработки		Горнорудные предприятия		Горно-обогатительные предприятия		Металлургическое предприятие		Материал из шламо- и хвостохранилищ		Полиметаллические руды				
	>100	30-100		35 лет	20 лет	15 лет	90 лет	Ag-Cd-Zn-Pb	Mo-Sn-Bi-Jn-Hg	Pb-Cd	Ba-Zn-Cu	Bi-Mo	Sn-Co-Nb	Ag	Ag-Pb	Cd-Zn-Ag-Pb	Cu-Bi	Mo	Sn-Co	Y-Ga-Sr
			1-3 км	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			5 км (по устью)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			6 км (переход в сторону водоток)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			>6 км	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			>40 км	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			>60 км	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			>80 км	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ассимиляция химических элементов в донных отложениях рек
горнопромышленного ландшафта (Северная Осетия)

Таблица 9

Во всех случаях техногенное воздействие приводит к резкому изменению природного (характерного для данного района) соотношения двух основных форм миграции химических элементов - растворенной и взвешенной - и прежде всего за счет увеличения доли взвешенной формы в общем балансе. Это хорошо прослеживается в отношении меди для горнорудных предприятий и в отношении кадмия, цинка, меди для металлургического завода. По мере удаления от источника загрязнения наряду с общим снижением концентраций подобные нарушения исчезают в результате более интенсивного осаждения из миграционного потока взвешенного материала. Именно за счет высоких содержаний и значительных масс взвешенных форм химических элементов происходит образование контрастных и протяженных аномалий в донных отложениях водотоков. Для распространения зон загрязнения вниз по потоку огромное значение имеют волновой характер полководий на горных реках, а также паводки и перемещение речного материала по дну. Поскольку в водном потоке, как правило, доминирует взвешенная форма химических элементов, то часто наблюдается линейное уменьшение их валовых концентраций с удалением от источника загрязнения.

В механизме формирования техногенных литохимических потоков рассеяния может проследиваться сезонность. Так, степень накопления многих химических элементов в донных отложениях в зоне влияния молибден-вольфрамового ГОКа возрастала в зимнюю межень и снижалась в период весеннего половодья [29]. В приводимом случае наибольшие расхождения наблюдаются для основных элементов сливов (молибден, вольфрам, олово) в сфере влияния ГОК; в фоновых условиях они значительно меньше. Это связано с нарушением естественной годовой динамики взвешенного вещества - резко увеличивается его содержание в водах ниже сливов зимой, что не характерно для рек ледникового питания. В естественных условиях минимальные содержания взвешенного вещества наблюдаются в период зимней межени (реки находятся на грунтовом питании), максимальные - во время паводков. Более благоприятные условия для его накопления в донных отложениях вблизи источника загрязнения создаются зимой, когда содержание взвешенного вещества увеличивается на фоне снижения расходов и уменьшения скоростей течения реки.

Таким образом, горнодобывающая промышленность оказывает существенное влияние на миграцию химических элементов, которое проявляется в возникновении в водных системах конт-

Приложение. Основные обозначения см. табл. 10. В таблице приведены средние данные за 5-дневный период отбора проб в реке

Место отбора проб в реке	Кальций		Медь		Свинец		Цинк					
	В	Р	В	Р	В	Р	В	Р				
2 км ниже р.ручья, принимающего сток завода	325	24,2	89	42,7	2,3	88,2	64,8	2	96,1	33	4,2	92,8
30 км ниже р.ручья	58	13,8	71,6	11	1,1	79,8	16,1	1	60	17,8	3,8	88,5
50 км ниже р.ручья	31	33	48	2,9	1,7	40,5	3,8	-	-	5,6	1	82,2
Местный фон	1	1	37,5	1	1	28,9	1	-	-	1	62,2	

Таблица 11. Химические элементы в воде реки в зоне влияния завода по выплавке цветных металлов, мг/л [43]

растных и протяженных аномалий. Появление последних обусловлено потерями вещества в технологической цепи и вовлечением его в миграцию. Все аномалии имеют полиэлементный характер, что хорошо согласуется с составом промышленных стоков. Наиболее резко и стабильно аномалии проявлены для твердофазной составляющей потоков рассеяния. Даже после прекращения эксплуатации месторождений загрязненные донные отложения могут являться вторичным источником поступления веществ в водную фазу. В этой связи представляется принципиальным выяснение форм нахождения химических элементов в донных отложениях рек горнорудных районов. Интересные результаты получены японскими авторами [77], которые изучили формы нахождения тяжелых металлов как в горнодобывающих, так и в городских районах. Показано, что для первых до 70-80% металлов от валового содержания было связано с формами, входящими в рудные минералы, а для донных отложений городских районов эти фракции составили только 20-30%, большая часть элементов (Cd, Zn, Cu, Pb) связывалась с органикой и глинистой фракцией осадков. Шведские ученые, изучавшие распределение ряда химических элементов в донных отложениях небольшой реки, протекающей в районе старых медных рудников, действовавших в 1850-1902 гг., установили, что осаждение алюминия, железа, марганца, меди, кадмия, цинка происходит в виде гидроксидов, входящих в обменный комплекс. Медь и свинец активно связываются также с органическим веществом [58].

Принципиальное изменение геохимической структуры водных экосистем проявляется в достаточно широком спектре разнообразных, как правило отрицательных, биогеохимических и биологических реакций гидробионтов, обусловленных чрезмерным поступлением токсичных элементов и их соединений. Это приводит к интенсивному накоплению поллютантов в живых организмах, нарушению биогеохимических циклов и резкому изменению структуры биоценозов.

В Канаде (район г. Йеллоунайф) при разработке золоторудных месторождений происходил сброс отходов в озеро. Это привело к значительному накоплению мышьяка в водных растениях (до 260-3600 мг/кг в зависимости от вида) [79]. После 100 лет интенсивной добычи свинца в юго-восточной части бассейна р. Миссури отвалено около 227 млн. т отвалов пустой породы. В различных оргонах и тханах рыб и моллюсков, обитающих в ручьях, дренарующих зону отвалов, были зафиксированы концентрации свинца, превышающие установленный во многих странах санитарный уровень (1 мг/кг сырого веса) [53].

Гибель рыб и моллюсков отмечалась у побережья Чили, куда поступают отходы медных рудников, расположенных в районе Сальвадора (до 39 тыс. т в день). Наблюдалось накопление кадмия в пищевой цепи, в том числе в печени некоторых птиц (до 49,3-89,7 мг/кг сырой массы). При максимальных концентрациях фиксировался некроз почек. Содержание меди в организме птиц и беспозвоночных незначительно, что, возможно, объясняется гибелью особей. Мясо многих птиц употребляется в пищу, что может представлять реальную угрозу здоровью людей [78]. В мышцах и печени лосося и кумжи, отловленных в районах сброса кислотных стоков рудников, уровни содержания меди, цинка и кадмия в несколько раз превосходили фоновые концентрации, причем содержания меди и кадмия превышали установленные стандарты [80].

Особую опасность представляет загрязнение водной среды ртутью, элементом, способным в природных условиях трансформироваться в высокотоксичные органические соединения и активно накапливаться в пищевой цепи. Так, в реках бассейна Амазонки, дренающих районы золотодобычи, отмечены значительные концентрации этого металла в различных компонентах водной среды. При амальгамировании, применении при добыче золота в этом регионе, в окружающую среду поступает до 130 т ртути в год. Ртуть интенсивно накапливается в донных отложениях рек (до 157 мг/кг). Уровни содержания ртути в организмах рыб в 5 раз превышали установленные в Бразилии санитарные нормы, достигая 2,7 мг/кг сырой массы [71].

Интенсивное загрязнение водной среды и активное включение металлов в пищевые цепи приводит к нарушению естественной структуры гидробиоценозов. В тундровой зоне, в результате длительного сброса использованной оловодобывающими предприятиями воды, в р. Хрома биомасса зоопланктона уменьшилась в 1500 раз, а улов ценной рыбы - более чем в 8 раз. Загрязнение отрицательно воздействовало и на рыбопродуктивность р. Лены. Так, за последние 30 лет численность нельмы сократилась в 6 раз, муксуна - в 10 раз (Ноговицын и др., 1984). В р. Вилюй в зоне влияния стоков алмазодобывающей промышленности за последние 30 лет значительно снизилось видовое разнообразие, а также биомасса зоопланктона (Соколова, 1990). В одной из горных рек ФРГ, дренающей старые выработки, отмечены высокие концентрации свинца, цинка, кадмия и зафиксировано общее уменьшение числа видов беспозвоночных макроорганизмов на 34% по сравнению с контрольным участком [66].

Загрязнение водных систем и пойменных территорий представляет прямую угрозу для населения. Так, индийские ученые ус-

Специфика экологических и гигиенических последствий техногенного и природного загрязнения окружающей среды горнопромышленных территорий заключается в комплексности состава загрязняющих веществ, среди которых определяющую роль играют токсичные химические элементы. Сравнительно небольшое значение имеют органические загрязняющие вещества. Пути поступления поллютантов в организм человека в горнопромышленных районах, как правило, многообразны: в районах ГОКов - это воздушный путь и продукты питания, выращенные на загрязненных почвах, питьевые воды; в зонах природных аномалий - через питьевые воды и продукты питания; для ряда элементов не исключен воздушный путь [30].

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, созданной В.И.Вернадским и возглавлявшейся многими годами А.П.Виноградовым и В.В.Ковальским. Исследования, в частности, показали, что даже при сравнительно небольших средних уровнях накопления элементов в породах и почвах в геохимических полях (концентрации в породах и почвах всего в 2-4 раза выше кларковых уровней) наблюдаются серьезные экологические последствия, приводящие к различному нарушению в живых организмах.

Одним из наиболее известных эндемических заболеваний, обусловленных геохимическими особенностями окружающей среды, является болезнь Кашина-Бека (уровская). Это тяжелейшее в развитых стадиях поражение костно-суставной системы в виде деформирующего остеохондроза имеет четкую географическую локализацию и распространено в некоторых районах Восточной Сибири, Кореи и Китая.

А.П.Виноградовым была выдвинута биогеохимическая гипотеза формирования очагов заболеваний. Рядом последующих работ очаги распространения заболеваний были связаны с неблагоприятным соотношением химических элементов в природных телах и, в частности, с избытком стронция на фоне недостатка кальция и некоторых микроэлементов. Однако новейшие исследования А.В.Вошенко, Н.Н.Дружковой-Алексинцевой, Л.В.Зайко и др. позволили получить данные, поставившие под сомнение материалы по кальциево-стронциевому дисбалансу в районе уровской эндемии и обосновавшие связь заболеваний с фосфорно-марган-

тановили, что высокие содержания свинца в стоках (до 75 мкг/л) и в почвах, испытывавших воздействие этих стоков в районе обогатительной фабрики (в 13-24 раза выше фона), привели к накоплению металла в молоке коров и к свинцовым отравлениям животных [73]. В окрестностях заброшенного свинцово-цинкового рудника в Северном Уэльсе паводки способствовали загрязнению тяжелых металлами заливных пастбищ, что обусловило значительное накопление свинца в листьях и корнях луговых растений (до 230 мг/кг), существенно превышающее допустимые нормы [46]. В районе уранового рудника в Колорадо для орошения были использованы рудничные воды [51]. Это вызвало увеличение содержания урана в травах и овощах, концентрация молибдена достигала 110-190 мг/кг (при фоне 1-8 мг/кг), урана - 0,2-2 мг/кг (при фоне 0,02-0,07 мг/кг).

Воздействие горной промышленности на водотоки может быть настолько сильным, что сказывается многие десятки лет после прекращения функционирования предприятий. Некоторые примеры, свидетельствующие об устойчивости зон загрязнения в горнопромышленных районах, были приведены выше. Имеются сведения о том, что в районе старых выработок химический состав поверхностных водотоков восстанавливается в течение 15-20 лет [47]. Однако многочисленные материалы указывают на чрезвычайно длительное воздействие горных работ. Так, свинцовые рудники в Уэльсе возникли еще до римского владычества, а основной период их деятельности приходился на 1750-1900 гг. В настоящее время здесь фиксируется достаточно высокий уровень загрязнения водотоков, в первую очередь донных отложений, свинцом, цинком, медью [50].

Более того, даже проведение различных рекультивационных мероприятий не снижает уровня загрязнения. Так, в 1974 г. на наиболее загрязненном участке р.Молонгло (Австралия), до 1939 г. загрязнявшаяся стоками горнодобывающей промышленности, были удалены загрязненные донные отложения, старые отвалы пород были выровнены, засыпаны чистой почвой и засажены травами; приняты также меры по уменьшению количества поступающих в реку вод склонового стока. Однако данные 1982 г. показали, что состояние реки по-прежнему остается неудовлетворительным: продолжается поступление в речные воды больших количеств тяжелых металлов (прежде всего меди, цинка и свинца), подавляющих жизнедеятельность гидробионтов, причем загрязнение реки наиболее существенно в периоды минимального стока [68].

цевой интоксикацией. Установление роли фосфора и марганца при формировании очагов эндемии болезни Кашина-Бека ставит задачу эколого-геохимической переоценки эпидемиологических данных по остеохондрозам, а может быть и по другим костно-суставным заболеваниям и, что главное, задачу оценки геохимической обстановки в районах нового освоения с близкими ландшафтно-геохимическими условиями.

В настоящее время в горных районах на высотах свыше 1000 м проживает более 330 млн. человек, т.е. порядка 8% всего населения мира (в пределах б. СССР около 20% населения). Определенная их часть в той или иной степени испытывает негативное воздействие горнопромышленного производства. Естественно, что наибольшему риску в горнопромышленных районах подвергаются рабочие, непосредственно связанные с добычей и обогащением руд и испытывающие широкий спектр отрицательных воздействий - шумовых, вибрационных, тепловых, химических и т.п. Так, у рабочих золотых рудников в Южной Африке уже в 1912 г. известна профессиональная этиология силикоза, которая получила неофициальное признание в 1950-х гг., а официальное - в 1973 г. и связанная в основном с воздействием кремниевой пыли [55]. Специальные исследования смертности среди 2059 рудокопов, добывающих олово в рудниках Великобритании, и 476 человек, работавших на поверности, за период с 1941 по 1986 г. выявили очевидную позитивную взаимосвязь между продолжительностью работы под землей и частотой развития рака легкого, силикоза и силикогуберкулеза [56]. Для работающих на поверхности такой взаимосвязи не отмечено. У проработавших под землей 10-20 лет возрастала также частота развития лейкозов.

В сообщениях Всемирной организации здравоохранения, посвященных воздействию ртуты, говорится, что самая высокая концентрация ртуты в воздухе наблюдается в условиях горнорудных разработок. Концентрация ртуты в моче горнорабочих может достигать 2175 мкг/л. При добыче различных металлов ртутная руда может присутствовать в пласте и воздействовать на работающих. Имеются указания на то, что уровни ртуты в моче горнорабочих, связанных с добычей металлов (не ртуты), достигали 30-700 мкг/л, а несколько шахтеров были даже госпитализированы. Известен также случай массового отравления парами элементарной ртуты в результате пожара на ртутном руднике в Идрии, произошедшем в прошлом столетии.

В г. Галине (штат Канзас, США) у рабочих рудника по добыче свинца и кадмия были установлены статистически значимые взаимосвязи паралича, хронической патологии почек, гипертонии,

болезней сердца, рака кожи и анемии с уровнем загрязнения различных компонентов окружающей среды [67].

Прямые исследования воздействия атмосферы, загрязненной выбросами горнопромышленных предприятий, на здоровье населения практически отсутствуют, не считая лишь указаний на рост аллергических и некоторых других заболеваний. В принципе ситуация и последствия здесь не должны отличаться от хорошо известных случаев других источников загрязнения, для которых установлены значимые положительные корреляции в цепи "выброс-воздух - геохимическая аномалия выпадений и почв - человек". Материал выбросов через цель "выпадения - почва" приводит к загрязнению растений, которые могут являться потенциальным источником поступления поллютантов в организм человека [30].

Следует подчеркнуть, что для детей, проживающих в поселках горнорудных предприятий и испытывающих воздействие выбросов, очень велика также опасность поступления в организм химических элементов из почв и с пылью, заносимой в дома на рабочей одежде родителей.

Имеются данные зарубежных исследователей, свидетельствующие о том, что в районах полиметаллических рудников фиксируется корреляция между распределением в почвах свинца и уровнем заболеваемости атеросклерозом и кариссом. Однако прямые данные о влиянии свинца отсутствуют и, скорее всего, этот элемент играет роль индикатора каких-то иных неблагоприятных условий.

Влияние выбросов очень сильно зависит от состава пыли. Так, сравнение токсичности некоторых видов пылей показало, что по степени проявления патогенных свойств очень различны пыли медного концентрата, медной, медно-никелевой и никелевой руд [8]. Например, хорошо известно у горных рабочих заболевание - силикоз - развивается в более тяжелых формах в случае обогащения пыли металлами. Имеются указания о мутагенности атмосферных выбросов предприятий по комплексной переработке медно-сульфидных руд.

В США были получены статистические данные за период 1952-1977 гг., свидетельствующие об определенном возрастании смертности среди населения, проживающего в районе влияния урановых рудников [75]. У людей, живущих в районе золотых приисков вдоль р. Мадейра (юго-западная часть бассейна Амазонки), обнаружены повышенные концентрации ртуты в волосах, причем наиболее высокие уровни (до 26,7 мкг/г при допустимом физиологическом уровне в 2 мкг/г) отмечались вблизи расположения установок по выделению золота с использованием амальгамирова-

1. АВЕССАЛОМОВА И.А., ПЕТРУШИНА М.Н. Геохимическая оценка состояния среды города в сфере воздействия горно-металлургического производства // Ученые записки Тартуского ун-та. 1985. N 704. С.50-55.
2. АНТРОПОГЕННЫЕ изменения земельных ресурсов зарубежных стран // Итоги науки и техники. Серия "Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов". Т.10. - М., ВИНИТИ, 1981. - 180 с.
3. БРЕДИХИН А.А., ФЕДОРОВ В.И. Эксплуатация технологического автотранспорта на карьере // Горный журнал. - 1992. - N 2. - С.25-26.
4. БУРЯК В.А. Освоение мелких месторождений полезных ископаемых - первоисточник задачи сегодняшнего дня // Горный журнал. - 1992. - N 2. - С.31-33.
5. ВАСИЛЬЕВ М.В. Транспортные процессы и оборудование на карьерах. - М.: Недра, 1986. - 240 с.
6. ВЕРНАДСКИЙ В.И. Геохимия марганца в связи с учением о полезных ископаемых // Труды Конференции по генезису руд железа, марганца и алюминия. - М.: Л.; изд-во АН СССР, 1937. - С.229-246.
7. ГЕРЦЕВА Н.С. Обработка цианидсодержащих стоков // Охрана окружающей среды на предприятиях цветной металлургии. Экспресс-информация. - М., ЦИИЭИ, 1983. - Вып.2. - 7 с.
8. ГИГИЕНА труда в горнодобывающей промышленности. - М.: Медицина, 1978.
9. ГЛАЗОВСКАЯ М.А. Природные аналоги техногенных геохимических аномалий // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. - М.: Наука, 1982. - С.131-166.
10. ГРИГОРЯН С.В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке рудных месторождений. - М.: Недра, 1987. - 408 с.
11. КАБАТА-ПЕНЦИАС А., ПЕНЦИАС Х. Микроэлементы в почвах и растениях. - М.: Мир, 1989. - 439 с.
12. КОМАРНИЦКИЙ Г.М. Проблемы охраны природы при освоении недр // Минеральное сырье и природа. - Новосибирск, 1990. - С.4-7.
13. КОНОВА Н.И., ТЮРЮКАНОВА Э.Б. О выносе и перемещении марганца в районе Читурского месторождения // Тяжелые металлы в окружающей среде. - М., изд-во МГУ, 1980. - С.81-91.
14. КОНОРЕВ М.М., РОСЛЯКОВ С.М., КИЯНКО А.А., БРЕДИХИН А.А. Опыт применения нетрадиционного метода снижения токсичности выбросов в атмосферу карьеров технологическим транспортом // Горный журнал. 1992. - N 3. - С.15-19.

ния [62]. Обогащение волос ртутью свидетельствует о высоком риске ртутного загрязнения для населения. Повышенные (до 14,7-44,1 мкг/мл) содержания свинца в крови детей были зафиксированы в зоне влияния отвалов старого рудника в Западном Уэльсе [46].

Многолетние исследования близ района золотодобывающих шахт около г. Галифакс (Канада) показали, что в результате сброса мышьяксодержащих стоков увеличилась концентрация этого элемента в питьевых колодцах (до 5 мг/л, или в 100 раз выше ПДК), а у жителей данного района были выявлены случаи хронического мышьякового отравления [39].

В общем случае, имеющиеся материалы указывают на значительную экологическую и гигиеническую опасность практически всех известных типов геохимических аномалий, формирующихся в окружающей среде горнорудных районов. Однако необходимо отметить, что данные аспекты проблемы преобразования окружающей среды в горнопромышленных районах являются наименее изученными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщение материалов по экогеохимическим исследованиям состояния окружающей среды горнопромышленных территорий показывает, что при распространении ныне существующих разведки, добычи, обогащения и переработки руд формирование зон загрязнения является закономерным и неизбежным следствием применяемых технологий.

В потенциале практически любое месторождение служит мощным источником загрязнения комплексного характера, что связано с обязательным присутствием повышенных концентраций широкой ассоциации токсичных химических элементов в добываемых рудах, а также в отходах как собственно горнопромышленного производства, так и сопутствующих производств. В конечном счете это приводит к резкому неблагоприятному воздействию на все основные жизнеобеспечивающие ресурсы - воздух, воду, пищевые продукты, а также вызывает отрицательные биологические реакции всех живых организмов, в том числе человека.

Имеющийся опыт свидетельствует о том, что геохимические исследования на современном этапе являются наиболее эффективными с позиций оценки состояния окружающей среды. Именно поэтому необходима разработка и осуществление специализированной комплексной научно-технической программы по эколого-геохимическим исследованиям горнопромышленных территорий на государственном уровне.

15. ЛО ХУДУН. Новая технология комплексной обработки промышленных сточных вод Дэсинского междурудного месторождения // Хуаньлэин баоху // Environ. Prot. - 1990. - N 4. - С.5-6.
16. МОСИЩЕЦ В.Н. Добыча урановых руд в СНГ // Горный журнал. - 1992. - N 4. - С.10-12.
17. МОСИЩЕЦ В.Н., ГРЯЗЦОВ М.В. Горные работы и окружающая среда. - М.: Недра, 1978. - 192 с.
18. ПОВИКОВ А.А., ПЕРФИЛЬЕВ В.Б., БАБАЯНЦ Г.М. Технический прогресс на горнодобывающих предприятиях металлургической промышленности // Горный журнал. - 1992. - N 4. - С.3-6.
19. ПОВИКОВ Э.А., БЛЕХЦИН И.Я. Минерально-сырьевой потенциал. Освоение и рациональное использование. - Л.: Недра, 1987. - 95 с.
20. НОВОЕ в развитии минерально-сырьевой базы редких металлов. Сырьевая база, производство и потребление редких металлов за рубежом. - М.: ИМГРЭ, 1991. - 257 с.
21. ОБОРИН В.В., ВЕТЛУЖСКИХ В.П. Об оценке экологической безопасности взрывных работ на карьерах // Тез.докл. конф. "Эффективная технология, способы и средства, обеспечивающие современные требования к экологии при разработке месторождений полезных ископаемых". - М., 1990. - С.94-95.
22. ОЗЕРОВА Н.А. Ртуть и эндогенное рудообразование. - М.: Наука, 1986. - 232 с.
23. ОСИПОВ Ю.Б., ЗИЛИНГ Д.Г. Изменения окружающей среды под влиянием предприятий горнодобывающей промышленности // Итоги науки и техники. Серия "Гидрология и инженерная геология". - Т.14. - М.: ВИНТИ, 1990. - С.1-64.
24. ПАРФЕНОВА Л.П. Воздействие на окружающую среду неуправляемого выщелачивания металлов из рудных отвалов // Геоэкология: проблемы и решения. - М., 1991. - С.118-119.
25. ПРИКЛАДНЫЕ и экологические аспекты минералогии. - М.: Наука, 1991.
26. РОЗАНОВ Л.Л. Теоретические основы геотехноморфологии. - М.: ИГАН СССР, 1990. - 189 с.
27. САЕТ Ю.Е. Вторичные геохимические ореолы при поисках рудных месторождений. - М.: Наука, 1982. - 168 с.
28. САЕТ Ю.Е. Методические основы эколого-геохимических исследований при геологоразведочных работах // Разведка и охрана недр. - 1986. - N 5. - С.35-39.
29. САЕТ Ю.Е., ОНИЩЕНКО Т.Л., ЯНИН Е.П. Методические рекомендации по геохимическим исследованиям рудных месторождений при проведении геологоразведочных работ для оценки воздействия на окружающую среду горнодобывающих предприятий. - М., ИМГРЭ, 1986. - 99 с.
30. САЕТ Ю.Е., РЕВИЧ Б.А., ЯНИН Е.П. и др. Геохимия окржающей среды. - М.: Недра, 1990. - 335 с.
31. САЕТ Ю.Е., ЯНИН Е.П., АЛЕКСИИНСКАЯ Л.Н. Геохимические критерии различия рудных и антропогенных потоков рассеяния в поверхностных водотоках // Гидрогеохимические методы поисков рудных месторождений. - Новосибирск: Наука, 1983. - С.87-95.
32. СЕКИСОВ Г.В., КАТАКОВА З.Е., СЕЛЕЗНЕВ П.Н. Минерально-сырьевая база Дальневосточного региона России // Горный журнал. - 1992. - N 1. - С.7-11.
33. СОСТОЯНИЕ природной среды и природоохранная деятельность в СССР в 1989 г., часть II (Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. Обзорная информация. Вып.1-2). - М., ВИНТИ, 1991. - 200 с.
34. СМIRHOV В.С., ПЕРМЯКОВ Р.С. Народнохозяйственная эколого-экономическая оценка открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых // Горный журнал. - 1992. - N 1. - С.59-62.
35. ТАБАКСБАТ Л.С., РАПОПОРТ А.М. Эколого-экономическая оценка сброса рудничных вод в окружающую среду горнорудного района // Рациональное использование недр и охрана окружающей среды. - Л., ЛПИ, 1990. - С.113-117.
36. ТЮРЮКАНОВА Э.Б., КОНОВА Н.И. Миграция Mn в почвенно-растительном покрове и природных водах Чиаурского марганцевого субрегиона биосферы // Тр. Биогехим.лаб., вып.18. - М.: Наука, 1980, с.76-78.
37. ФИЛИППОВ Н.Ф. Вовлечение в подземную добычу некондиционных окисленных железных руд как показатель комплексности использования минерально-сырьевых ресурсов // Горный журнал. - 1992. - N 3. - С.37-40.
38. ХАЗАНОВ М.И. Искусственные грунты, их образование и свойства. - М.: Наука, 1975. - 135 с.
39. ХОРВАТ А. Изучение уровня мышьяка в организме людей, проживающих на территории с повышенным его содержанием // Гигиена и санитария. - 1981. - N 6. - С.62-65.
40. ЮШКИН Н.П., ПАВЛИШИН В.И. Минералогические проблемы экологии // Минералогический журнал. - 1991. - Т.13, N 1. - С.36-45.
41. ЯНИН Е.П. Техногенные потоки рассеяния химических элементов в донных отложениях поверхностных водотоков // Сов.геология. - 1988. - N 10. - С.101-109.

42. ЯНИН Е.П., КАШИНА Л.И., ТИМОШКИН Г.А. и др. Геохимические особенности потоков рассеяния химических элементов в горнодобывающих районах // Геохимия техногенеза, Ч. II. Иркутск, 1985. - С.108-111.
43. ЯНИН Е.П., ТИМОШКИН Г.А. Техногенные потоки рассеяния химических элементов в поверхностных водотоках горно-промышленных ландшафтов // Биогеохимические методы при изучении окружающей среды. - М., ИМГРЭ, 1989. - С.37-44.
44. ЯНИН Е.П., ТОЛЕРЕНКО В.В. Некоторые задачи по охране природы краевых ледниковых образований Нечерноземного центра // Материалы геологического изучения территории Белоруссии. - Минск, Наука и техника, 1981. - С.148-153.
45. ANNEGARN H.J. et al. Composition and size of dust in a gold mine atmosphere // J. Mine Vent. Soc. S. Afr. - 1988. - Vol. 41, N 1. - P.1-10.
46. APPLIED Environmental Geochemistry. - Academic press geology series. - London, 1983.
47. BECKER Ch.W. et al. Water quality of mined and unmined watersheds in east Tennessee // J. Tenn. Acad. Sci. - 1986. - Vol. 61, N 4. - P. 98-104.
48. BOOTH H. Some tips on reclaiming tips // Prof. Eng. - 1990. - Vol. 3, N 8. - P. 47-48.
49. BRYAN G.W., HAMMERSTONE L.G. Heavy metals in the burrowing bivalve *Scrobicularia plana* from contaminated and uncontaminated estuaries // J. Mar. Biol. Assoc. U.K. - 1978. - Vol. 58, N 2. - P. 91-98.
50. DAVIES B.E. Consequences of environmental contamination by lead mining in Wales // Hydrobiologia. - 1987. - Vol. 149. - P. 213-220.
51. DREESEN D.R. et al. Environ. Sci. and Technol. - 1982. - Vol. 16, N 10. - P. 702-709.
52. FERRARA R. et al. Mercury in abiotic and biotic compartments of an area affected by a geochemical anomaly (Mt. Amiata, Italy) // Water, Air and Soil Pollut. - 1991. - Vol. 56, Special volume. - P. 219-233.
53. FOSTER P. et al. Metals in an acid mine stream and Estuary // Sci. Total Environ. - 1978. - Vol. 9, N 1. - P. 75-86.
54. GALE N.L., WIXSON B.G. The impact of abandoned lead mines on aquatic organisms in Missouri's old lead belt // Heavy Metals Environ. Int. Conf., Athens, Sept., 1985, v.1 - Edinburg, 1985. - P. 685-687.
55. HNIZDO E. et al. Emphysema type in relation to silica dust exposure in South African gold miners // Amer. Rev. Respir. Disease. - 1991. - Vol. 143, N 6. - P. 1241-1247.
56. HODGSON J.T., JONES R.D. Mortality of uk. tin miners 1941 to 1986 // Radiat. Prot. Dosim. - 1991. - Vol. 36, N 2-4. - P. 327-329.
57. JONSON M. et al. Lead and zinc in the terrestrial environment around derelict motalliferous mines in Wales (U.K.) // Sci. Totae Environ. - 1978. - Vol. 10, N 1. - P. 61-78.
58. KAZLSSON S. et al. Chemical characterization of stream-bed sediments receiving high Loadings of acid mine effeucts // Chem. Geol. - 1988. - Vol. 67, N 102. - P. 1-15.
59. KHIGHTON A.D. River adjustment to changes in sediment load: the effects of tin mining on the Ringarooma River, Tasmania, 1975-1984 // Earth Surface Process. and Landforms. - 1989. - Vol. 14, N 4. - P. 333-359.
60. LEITA L. et al. Heavy metal bioaccumulation in lamb and sheep bred in smelting and mining areas of S.W. Sardinia (Italy) // Bull. Environ. Contam. and Toxicol. - 1991. - Vol. 46, N 6. - P. 887-893.
61. LINDBERY S.E. et al. Atmospheric emission and plant uptake of mercury from agricultural soils near the Almaden mercury mine // J. Environ. Qual. - 1979. - Vol. 8, N 4. - P. 572-578.
62. MALM O. et al. Mercury pollution due to gold mining in the Madeira River Basin, Brazil // AMBIO. - 1990. - Vol. 19, N 1. - P. 11-15.
63. MANSIKANIEMI H. Measurement of sediment transport in the Schefferville mining areas, central Quebec-Labrador peninsula // McGill Sub-Arct. Res. Rap. - 1980. - N 30. - P. 65-80.
64. MATTHEWS H., THORNTON J. Agricultural implications of Zn and Cd contaminated land ut Shipham. Somerset // Trace subst. Environ. Health. - Columbia, 1980. - P. 478-488.
65. MYHRA S. Some environmental aspects of uranium mining and milling in northern Australia // Search. - 1978. - Vol. 9, N 1. - P. 400-406.
66. MULLER M., WUSSON M. Beein-flussung der Makrobenthoszoonoze in es Schwermetallbelastung // Decheniana. - 1990. - Vol. 143. - P. 400-413.
67. NEUBERGER J.S. et al. Health problems in Galena, Kansas: A heavy metal mining superfund site // Sci. Total Environ. - 1990. - Vol. 94, N 3. - P. 261-271.
68. NORRIS R.H. Mine Waste Pollution of the Molonglo River: Effectiveness of Remedial Works at Captains Flat Mining Area // Austral. J. Mar. and Freshwater Res. - 1986. - Vol. 37, N 2. - P. 147-157.
69. PAIN St. After the goldrush // New Sci. - 1987. - Vol. 115, N 1574. - P. 36-40.
70. PATEL C.B., PANDEY G.S. Permeation of toxic metals in surface soil through iron ore slime discharge // J. Inst. Eng. (India). Met. and Mater. Sci. Div. - 1989. - Vol. 69, N 2. - P. 42-44.

71. PFEIFFER W.C. et al. Mercury concentration in inland waters of gold-mining areas in Rondonia, Brazil // *Sci. Total Environ.* - 1989. - Vol. 87-88. - P. 233-240.
72. ПРОКОРОВИЧ Н.П. Acidic surface deposits in California and Nevada // *Calif. Geol.* - 1981. - Vol. 34, N 1. - P. 7-11.
73. RAMESH V. Bhor Krishnamachari L.A. Environmental lead Toxicity in Cattle // *Bull. Env. Cont. Toxicol.* - 1980. - N 1. - P. 113-142.
74. ROBERTS R.D., JOHNSON M.S. Dispersal of heavy metals from abandoned mine workings and their transference through terrestrial food chains // *Environ. Pollut.* - 1978. - Vol. 16, N 4. - P. 293-308.
75. SANDQUIST G., ROGERS V. Lung cancer risk in the vicinity of uranium tailing sites // *Trans. Amer. Nucl. Soc.* - 1985. - N 49. - P. 71-73.
76. SMITH R.E. et al. Investigations of the impact of effluent from OR Tedi copper mine on the fisheries resource in the Fly River // *Environ. Monit. and Assessment.* - 1990. - Vol. 14, N 2. - P. 315-331.
77. ТАДА F. et al. Характеристики тяжелых металлов в донных отложениях рек, протекающих через рудники и города // *Jap. J. Limnol.* - 1982. - Vol. 43, N 4. - P. 225-229.
78. VERMEER K., CASTILLA S.C. High cadmium residues observed during a pilot study in shorebirds and their prey downstream from the El Salvador copper mine, Chile // *Bull. Environ. Contam. and Toxicol.* - 1991. - Vol. 46, N 2. - P. 242-248.
79. WAGEMANN R. et al. Arsenic in sediments, water and aquatic biota from lakes in the vicinity of Yellowknife // *Arch. Environ. Contam. and Toxicol.* - 1978. - Vol. 7, N 2. - P. 161-191.
80. WILSON D. et al. Copper, zinc and cadmium concentrations of resident trout related to acid-mine wastes // *Calif. Fish. and Game.* - 1981. - Vol. 67, N 3. - P. 176-186.

Содержание

Введение	1
Общая характеристика преобразования окружающей среды в горнопромышленных районах	2
Руды и первичные оролы как источники загрязняющих веществ	8
Природные и техногенные аномалии химических элементов в горнопромышленных районах	13
Природные гипергенные геохимические аномалии как зоны загрязнения	14
Техногенные геохимические аномалии в горнопромышленных районах	16
Геохимические преобразования наземных экосистем	17
Геохимические преобразования водных экосистем	24
Геоигиеническая оценка геохимических аномалий в горнопромышленных районах	41
Заключение	44
Литература	45

РГАСНТИ 38.33.17
УДК [50.84:553]:502.7

Янин Е.П. Экологическая геохимия горнопромышленных территорий. М., 1993. - 50 с., ил. - (Геоэкологические исследования и охрана недр). Обзор / АО "Геоинформмарк". - Библиогр.: с. 45-50 (80 назв.).

В обзоре на основе анализа материалов отечественных и зарубежных авторов рассматриваются эколого-геохимические особенности горнопромышленных территорий. Дается анализ процессов техногенного загрязнения окружающей среды; показаны возможности экологической геохимии в решении научно-методических и практических задач охраны горных ландшафтов.

Е.П. Янин

*Экологическая геохимия
горнопромышленных территорий*

Научный редактор Н.П. Волынец
Технический редактор И.Г. Орлова
Корректор Х.Х. Калимулина

Подписано в печать с оригинал-макета 15.06.93.

Формат 60x84/16.

Бумага картографическая.

Усл.-печ. л. 3,02

Усл.кр.-отг. 3,25

Тираж 245 экз.

Заказ 285

АО "Геоинформмарк", 109172, Москва, ул. Володарского, 38. Тел. ред. 272-66-11

Типография ВИЭМС, 123242, Москва, Б. Грузинская, 4/6

Печать офсетная
Уч.-изд. л. 3,4