

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.Бгаатов, 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. Техногенные 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 рекултивации 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. км<sup>2</sup> [2].

Таблица 1  
Перемещение грунтов в материальном производстве, км<sup>3</sup> [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 приrost 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 биогеогенностью. 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 выщелачиваемеди 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, водохозяйственном, 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 число 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.м<sup>3</sup> 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	Va-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	Va-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	Va-As-Sb-Ag-Pb-Zn-Au-Bi-Cu-Mo-Sn-Co-W-Be
Медные	Va-As-Pb-Zn-Ag-Sn-Cu-Bi-Co-Ni-Mo
Медно-молибденовые	Cu-Mo-As-Ag-Pb-Zn-Bi-Co-Ni-Be-W
Полиметаллические	Va-Sb-As-Ag-Pb-Zn-Cu-Bi-Mo-Co-Sn-W
Урановые <b>82</b>	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	Va-As-Cu-Ag-Pb-Zn-Co-Ni-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 слабее 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, вскрышныхми 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 горнопромышленных 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 эрогенеза 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  $250 \text{ км}^2$ , из них на  $120 \text{ км}^2$  концентрации свинца, меди, цинка, кобальта, олова, молибдена превышают фоновые значения в 5-10 раз и на площади  $25 \text{ км}^2$  - 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 обогажительных 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 обогажительных 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 км<sup>2</sup>. 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-свинцово-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]:

