



сколькo неконтролируемый самопроизвольный процесс обрушения кровли может привести к катастрофической просадке вышележащих слоев горных пород, нарушению гидрогеологического режима подземных вод.

С экономической точки зрения СГД дешевле в 5–7 раз, чем шахтный, и в 2–3 раза, чем открытый способы [3]. При небольших финансовых затратах этот способ добычи полезного ископаемого поддается полной автоматизации и компьютеризации технологии СГД позволяет создавать практически безлюдные горнодобывающие производства.

#### **Влияние горнодобывающего комплекса на рельеф и геодинамические процессы**

Развитие горнодобывающей промышленности в регионе с каждым годом будет усиливать ее влияние на состояние геологической среды. Это проявляется как в изменении геологического строения района добычи железорудного сырья, так и в активизации различных геодинамических процессов, обусловленных техногенным воздействием на литосферу. Геодинамические процессы разнообразны, среди них различают: геомеханические, геохимические и геобиохимические.

Геомеханические явления на железорудных месторождениях представлены наиболее широко. К ним относятся: сдвигание горных масс, обрушения, обвалы, осыпи, горные удары, оползни, сели, эрозия, дефляция и др.

Образование, характер и интенсивное проявление геомеханических явлений на Бакcharском месторождении будут обусловлены тремя основными следствиями горных работ: перемещением горных масс, изменением местного базиса эрозии и разрушением горных массивов, минеральных агрегатов и индивидов с образованием дисперсных обломочных фракций с большой удельной поверхностью.

С перемещением горных масс будет связано изменение местного базиса эрозии и, как следствие этого, усиление энергии рельефа, от которой зависит скорость и направление геомеханических процессов как в пределах комплекса, так и на прилегающих к нему территориях. Рельеф в данном случае будет оказывать большое влияние на формирование стока поверхностных и подземных вод. Для экологической оценки окружающей среды это обстоятельство имеет большое значение.

Распространение на относительно ограниченной территории горного отвода техногенного рельефа будет обуславливать здесь широкое распространение активных неравновесных склонов.

Если на обычном склоне перенос вещества осуществляется поверхностными потоками, то на насыпных склонах существенную роль играет перераспределение вещества внутри отвала.

Таким образом, геодинамические процессы будут представлять собой естественную реакцию природной системы на техногенное воздействие и в некоторых случаях существенно влиять на ре-

зультаты хозяйственной деятельности в горнодобывающих районах. Поэтому изучение геодинамических процессов и организация соответствующего вида мониторинга на Бакcharском железорудном месторождении в случае его отработки будут иметь важное научное и практическое значение.

#### **Влияние горнодобывающего комплекса на поверхностные и подземные воды**

Разработка месторождения железной руды будет способствовать усилению заболачивания земель. Попадание неотстоявшихся сточных вод в имеющуюся на водосборе гидрографическую сеть приведет к ее заиливанию. Из-за очень низкой степени дренированности территории это приведет к значительному усилению процесса заболачивания земель. Из-за возможных локальных просадок грунта скважинную гидродобычу следует начинать от дренирующего водотока к водоразделу, и при необходимости проводить земляные работы для организации сброса поверхностных вод из системы просадок к дренирующему водотоку [4].

В районе разработки месторождения может происходить не только загрязнение и истощение подземных вод, но и образование новых гидрогеологических тел, получивших название «техногенных водоносных горизонтов в гидрогеологической практике», что было установлено в горнопромышленных районах Курской магнитной аномалии [5]. Отличаются они от естественных водоносных горизонтов особыми свойствами техногенных водовмещающих пород, особенностями гидрохимического и гидродинамического режимов. Типизация техногенных водоносных горизонтов в пределах изучаемого региона позволяет выделять четыре основных типа техногенных водоносных горизонтов: промышленный, гидротехнический, а в населенных пунктах, примыкающих к горнопромышленным объектам, – коммунальный тип.

Наиболее сильно будет нарушен режим подземных вод в пределах участка первоочередной отработки Бакcharского месторождения (западный участок, пос. Бакchar). В будущем при интенсивной разработке данного месторождения здесь может образоваться депрессионная воронка.

Существенное изменение претерпят поверхностные водные источники. В зоне влияния водопонижительных систем некоторые реки окажутся в «подвешенном» состоянии, а их питание будет осуществляться за счет сброса в них дренажных вод с высоким содержанием загрязняющих веществ.

#### **Влияние горнодобывающего комплекса на почвенный покров**

Помимо своей основной биосферной функции почвенный покров выполняет и роль регионально-геохимического барьера для многих химических элементов и их соединений, в том числе и тяжелых металлов в форме органометаллических комплексов. В будущем эта функция почвенного покрова

заметно усилится на данной территории, где будет происходить преобразование естественных ландшафтов в техногенные под влиянием горнодобывающего комплекса.

В процессе добычи железной руды железо и его спутники (Cr, Cu, Co, Zn, Ni и т. д.) будут попадать на почвенно-растительный покров и почва, являясь местом максимального накопления всех выбросов, выступит в роли мощного фильтра, который будет прочно фиксировать все тяжелые металлы и существенно ослабит их попадание в наземную растительную массу и грунтовые воды (табл. 1).

**Таблица 1.** Содержание некоторых химических элементов (г/т) в пробах железной руды Бакчарского проявления (Fe, %)

Элемент	Проба		Кларк земной коры (по Н.В. Григорьеву)
	Железистые песчаники кровли (175 м)	Среднее рыхлая руда (250 м)	
Fe	9,4	42,8	3,2
Sm	24,1	25,9	3,8
Cr	53,8	209,8	55
Co	10,7	60,55	13
As	725,1	437,1	7,2
Au	0,02	0,077	0,083
Hf	0,1	3,25	4,5
Th	3,8	14,15	7,8
La	92,6	65,25	20
Ce	39,7	147,4	39
Eu	0,05	2,75	0,84
Tb	0,67	2,75	0,7
Yb	7,4	6,4	18
Lu	1,1	0,975	0,83

Из табл. 1 видно, что по сравнению с содержанием элементов в земной коре, руды месторождения высоко обогащены мышьяком, вследствие чего при разработке месторождения он, вероятно, будет попадать практически во все природные среды.

В табл. 2 представлены коэффициенты концентрации химических элементов в рудах месторождения.

**Таблица 2.** Коэффициент концентрации элементов в пробах железной руды

Коэффициент концентрации	
Песчаники кровли (175 м)	$As_{100,7}Sm_{6,34}La_{4,63}Yb_{4,11}Fe_{2,93}Lu_{1,33}Ce_{1,02}Cr_{0,98}Tb_{0,96}Co_{0,82}Th_{0,49}Au_{0,24}Hf_{0,02}$
Рыхлая руда (250 м)	$As_{60,7}Fe_{13,33}Sm_{6,82}Co_{4,66}Tb_{3,93}Cr_{3,81}Ce_{3,78}Yb_{3,56}Eu_{3,27}La_{3,26}Th_{1,81}Lu_{1,17}Au_{0,93}Hf_{0,72}$

Исследуемые почвы в основном представлены такими видами, как серые-лесные, серые-лесные глеевые и глееватые. Твердые металлы и другие ингредиенты, попадая в почву, будут адсорбироваться на коллоидные частицы, переходя в недоступные растениям формы. Все эти показатели в конечном итоге представляют собой барьер на пути накопления подвижных форм твердых металлов в почвах.

### Влияние горнодобывающего комплекса на растительный и животный мир

По результатам полевых исследований установлено, что на сохранившихся участках природной растительности смежных с промышленными зонами территориях сохранилась естественная луговая растительность. На лесных и луговых и водно-болотных участках, представленных в районе месторождения железных руд, отмечено множество видов растений.

Фауна рассматриваемой территории включает в основном виды с широкой экологической амплитудой.

Леса и луга вне границ промышленной зоны и населенных пунктов используются в качестве сенокосных угодий, пастбищ и в рекреационных целях.

Расположенный в непосредственной близости к месторождению участок заказника «Васюганский» может в определенной мере служить эталонным зонального типа животного населения. Здесь представлены характерные луговые и лесные виды, быстро исчезающие при хозяйственном вторжении в целинные сообщества.

Некоторое увеличение разнообразия животных и плотности их населения наблюдается за пределами промышленных зон предприятий и населенных пунктов в полосе до 10 км.

Таким образом, состояние экосистемы при разработке Бакчарского месторождения будет характеризоваться как напряженное:

- 1) сверхнормативные уровни загрязнения окружающей среды по ряду параметров и показателей будут выходить за пределы установленных санитарных и защитных зон;
- 2) будет констатироваться неудовлетворительное состояние биоты и экосистем на территории земельного отвода горнопромышленного предприятия;
- 3) будут наблюдаться негативные тенденции изменения биоты, выявляемые за пределами санитарно-защитной зоны предприятия, включая участки особо охраняемых природных территорий, что обусловлено воздействием комплекса горнопромышленных и промышленных предприятий, значительной селитебной нагрузкой, интенсивным ведением сельского хозяйства.

### Влияние горнодобывающего комплекса на ландшафты

Техногенез в горнопромышленных районах как фактор преобразования природных систем (в том числе геологической среды) в настоящее время приобрел не только локальное, но и региональное значение. В результате в районе разработки Бакчарского месторождения могут формироваться новые по своему генезису, структуре и функционированию техногенные ландшафты. Техногенные ландшафты в своем развитии проходят две основные фазы — техногенного формирования и пост-

техногенного развития. В техногенную фазу формируется своеобразная каркасная (литогенная) основа: рельеф и его основные характеристики, горные породы с их вещественным составом и свойствами. В посттехногенную фазу развития ландшафта литогенная основа постепенно преобразуется посредством естественных ландшафтообразующих факторов. И, как следствие этого, техногенный ландшафт постепенно трансформируется в природно-техногенный ландшафт.

Быстрое нарастание площадей техногенных ландшафтов в рассматриваемом районе делает приоритетной задачу их типизации и классификации с позиций теории ландшафтоведения и геохимии окружающей среды.

Известно несколько подходов к классификации техногенных геохимических ландшафтов [6–8]. В качестве базовых критериев мы выбрали представления [8] о видах миграции химических элементов в зависимости от форм движения материи, а также разделение ландшафтов по условиям миграции химических элементов, предложенное М.А. Глазовской [7].

В понимании указанных авторов почвы и растительность водоразделов — это центры природных геохимических ландшафтов, которые являются автономными по отношению к биогенным и биокосным компонентам пониженных элементов рельефа, так как первые не получают от них химические элементы с жидким или твердым стоком. От центра к периферии природных геохимических ландшафтов происходит закономерная смена сочетаний форм движения материи, управляющих миграцией химических элементов — от господства биологической к господству более примитивных химической и физической форм движения материи.

Главными факторами, определяющими основные направления естественных ландшафтно-геохимических процессов, являются вода и живое вещество. Первый фактор формирует атмогидрохимический круговорот веществ (АГХК), а второй фактор — биологический круговорот веществ (БИК) [7]. При этом источником энергии служит солнечная радиация.

При рассмотрении комплекса как рукотворного геохимического ландшафта обнаруживается ряд несоответствий его строения и функционирования по сравнению с природным геохимическим ландшафтом. Главным фактором, определяющим основные направления техногенных ландшафтно-геохимических процессов, является техника (носитель миграционных потоков), а вспомогательными факторами — вода и живое вещество.

Таким образом, ландшафт месторождения будет характеризоваться сочетанием двух комплексов ландшафтно-геохимических процессов: техногенного, с ведущей ролью антропогенной миграции химических элементов (вывоз веществ), и природно-техногенного, с ведущей ролью естественной миграции элементов, обусловленной гравитацион-

ным перераспределением веществ и их биологическим круговоротом. Главным источником миграции веществ в геохимическом ландшафте является энергия горнодобывающей техники, транспорта, вывозящего породу и руду.

Загрязнение окружающей среды района будет приводить к ухудшению санитарно-гигиенических условий, комфортности проживания, и, как следствие этого, негативно отражаться на состоянии здоровья людей, работающих на месторождении и проживающих вблизи них.

Основу техногенных выбросов в районе могут составлять железосиликатная пыль, окись углерода, окислы азота и другие вещества. Такие вещества, выброшенные в атмосферу, вызывают при длительном дыхании различные заболевания у человека, в том числе гиперплазию, а затем и атрофию слизистой оболочки верхних дыхательных путей, стоматиты, воспаления десен, поражение зубов. Аэрозоли железа и его оксиды при длительном воздействии откладываются в легких и вызывают бронхиты, начальную стадию эмфиземы, сухой плеврит [9, 10].

Не менее опасны для состояния здоровья пылевые частицы. Негативное воздействие их на организм человека проявляется в том, что трудно растворимые в физиологических жидкостях частицы пыли осаждаются в дыхательных путях и являются причиной таких заболеваний, как бронхит и силикоз. Последнее заболевание — это прогрессирующий фиброз легочной ткани (пылевой пневмоклероз).

Установлено, что широкомасштабное освоение железных руд, начавшееся в начале 60-х гг. прошлого века, привело к усилению техногенной нагрузки на геологическую среду в горнодобывающих районах и дестабилизации их экосистем. Например, для горнопромышленных районов Курской магнитной аномалии как территориальной совокупности предприятий по добыче и переработке железных руд, а также потребителей минерального сырья — металлургических заводов и сопутствующих им предприятий энергетического комплекса и стройиндустрии, характерно многостороннее и крупномасштабное воздействие инженерной, хозяйственной деятельности и технологических процессов на все сферы окружающей среды: литосферу, атмосферу, гидросферу и биосферу [5].

Основными источниками техногенного воздействия на геологическую среду, и прежде всего недр, в нашем случае предполагается работа предприятия и объектов, связанных с добычей и обогащением полезных ископаемых: склады полуфабрикатов и готовой продукции, водозаборы подземных вод и дренажные системы горных выработок, водоотливные установки, трубопроводы и каналы сбора вод, горнодобывающие механизмы, транспорт и др.

Горнодобывающая отрасль является важнейшим фактором современного рельефообразования территории месторождения железных руд. В про-





*а*



*б*

**Рис. 2.** Антропогенные изменения рельефа и геологической среды при использовании метода скважинной гидродобычи: а) закладка провалов отработанных скважин хвостами обогащения на Тарском месторождении; б) планировка добычного профиля после закладки и естественного обезвоживания грунта [11]

цессе техногенеза на месте естественных форм рельефа возникнут новые, не существовавшие ранее, специфические формы — отвалы, подземные пустоты, проседание земной поверхности и т. д. (рис. 2).

Указанные процессы представляют собой естественную реакцию природной системы на техногенное воздействие и могут негативно влиять на условия проживания и хозяйственную деятельность населения Бакcharского района.

В будущем степень экологической опасности предприятия горно-металлургического цикла в Бакcharском районе во многом будет определяться его геохимическим воздействием на атмосферный воздух. Загрязнение атмосферного воздуха газами и пылевыми выбросами может происходить при буровых, погрузочно-разгрузочных работах; при дроблении руды и ее переделе; а также при пылении отвалов, складов готовой продукции и т. д.

#### Выводы

Исходя из вышесказанного, можно предположить, какая ситуация сложится на Бакcharском месторождении, при его отработке методом СГД.

1. Почва будет прочно фиксировать все тяжелые металлы и существенно ослабит их попадание в надземную растительную массу и грунтовые воды.
2. Отсутствие вскрышных пород позволит сохранить в целостности культурный слой почвы, а при разработке месторождения в затопленной камере — режим поверхностных и подземных вод.
3. Под воздействием комплекса горнопромышленных и промышленных предприятий будут отмечаться негативные тенденции на измене-

ние биоты, выявляемые за пределами санитарно-защитной зоны предприятия.

4. Ландшафт будет характеризоваться сочетанием двух комплексов: техногенного, с ведущей ролью антропогенной миграции химических элементов (вывоз веществ) и природно-техногенного с ведущей ролью естественной миграции элементов.
5. Процесс рекультивации при применении метода СГД сведется к ликвидации добычных и разведочных скважин, планировке территории и передаче отведенной под рудник земли в народнохозяйственное пользование.
6. Полностью снимется вопрос вентиляции, который возникает при разработке месторождения карьерами или шахтами, тем самым обеспечиваются комфортные условия труда.
7. Применение гидравлической закладки отходов обогащения отработанных камер может существенно уменьшить объем хвостохранилищ, которые являются источниками запыленности и загазованности окружающей среды.
8. Предполагается проседание и провалы земной поверхности.
9. Вследствие отработки месторождения загрязнение окружающей среды района будет негативно отражаться на состоянии здоровья людей, работающих на месторождении и проживающих вблизи них.
10. Из-за очень низкой степени дренированности территории может усиливаться процесс заболачивания земель.
11. Питание некоторых рек будет осуществляться за счет сброса в них дренажных вод с высоким содержанием загрязняющих веществ, а другая часть будет консервироваться в отработанные рудные пласты.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Домаренко В.А., Молчанов В.И., Тепляков И.М. Геотехнологические методы разработки железорудных месторождений Западно-Сибирского бассейна // Геология и минеральные ресурсы Центральной Сибири. — 2001. — Вып. 2. — С. 169–175.
2. Арнс В.Ж., Исмаилов Б.В., Шпак Д.Н. Скважинная гидродобыча твердых полезных ископаемых. — М.: Недра, 1980. — 229 с.
3. Арнс В.Ж. и др. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых. — М.: Горная книга, 2007. — 295 с.
4. Копысов С.Г. Параметры экологически допустимой разработки Бакчарского железорудного месторождения // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. — 2011. — № 5. — С. 420–425.
5. Петин А.Н. Рациональное недропользование в железорудной провинции Курской магнитной аномалии (Проблемы и пути их решения): автореф. дис. ... д-ра географ. наук. — Астрахань, 2010. — 47 с.
6. Алексеев В.А. Экологическая геохимия. — М.: Логос, 2000. — 626 с.
7. Глазковская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1964. — 230 с.
8. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1975. — 341 с.
9. Сает Ю.Е., Янин Е.Л. и др. Геохимия окружающей среды. — М.: Недра, 1990. — 335 с.
10. Горлова О.Е. Техногенные месторождения полезных ископаемых. — Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2001. — 77 с.
11. Кустрь Л.А., Яншенко А.П. Опыт проведения рекультивационных работ при разработке Тарского циркон-ильменитового месторождения методом СГД // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: Материалы V Междунар. научно-практ. конф. — М.: Изд-во РУДН, 2006. — С. 62–67.

Поступила 16.03.2012 г.

УДК 662.2:658.567.5:502.175

## СИТУАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ПРИ СЖИГАНИИ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ ЗАРЯДОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ОТКРЫТОМ СТЕНДЕ

М.В. Попова, А.В. Литвинов, С.Н. Козлов\*, В.П. Лушев

ОАО «ФНПЦ «Алтай», г. Бийск

\*Бийский технологический институт (филиал АлтГТУ им. И.И. Ползунова), г. Бийск

E-mail: popova.maria.v@gmail.com

Рассмотрены факторы, определяющие экологическую безопасность открытого стенда при сжигании твердотопливных зарядов энергетических установок с использованием водной экологической защиты. Предложена схема структурной формализации информационно-управляющей системы обеспечения и контроля уровня выбросов продуктов сгорания в атмосферу. Определена функция экологического риска с учетом отказов информационно-управляющей системы. Даны исходные формулировки функциональных и параметрических отказов системы обеспечения экологической безопасности. Рассмотрены особенности термодинамического состояния выброса продуктов сгорания в атмосферу.

### Ключевые слова:

Экологическая безопасность, экологический риск, статическое сжигание, твердотопливные заряды энергетических установок, водное орошение струи, баланс масс, системный подход, управляющая система.

### Key words:

Environmental safety, ecological risk, static firings, solid-propellant propulsion system, water spraying jet, mass balance, systems approach, management system.

Сжигания на открытом стенде с применением водной экологической защиты (ВЭЗ) используются как один из способов огневой ликвидации (или утилизации) твердотопливных зарядов крупногабаритных энергетических установок (ЭУ) различного назначения [1, 2].

В литературе [3] вопросы экологической безопасности рассмотрены применительно к «сухим» сжиганиям твердотопливных зарядов, когда выбросы продуктов сгорания (ПС) в атмосферу подконтрольны, но не регулируемы. Использование ВЭЗ позволяет не только снизить выбросы в атмосферу, но и регулировать их величину. Цель настоящей статьи — формализовать структуру обеспечения экологической безопасности при исполь-

зовании ВЭЗ в рамках информационно-управляющей системы и определить экологические риски при отказах этой системы.

В процессе сжигания ПС твердого топлива содержащиеся вредные для окружающей среды компоненты (ВК), такие как хлористый водород, оксид алюминия и др., выбрасываются в атмосферу (рис. 1) и рассеиваются по мере подъема облака ПС. Затем часть ВК в составе аэрозолей осажается на земную поверхность.

Стенд, на котором проводятся сжигания, является кратковременным точечным источником залпового выброса ПС в атмосферу со следующими характеристиками: длительность выброса 200...300 с, масса 15...60 т, начальная температура