М.А.Пашкевич

УДК 622.88:502.65

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕХНОГЕННЫХ МАССИВОВ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

В работе производится оценка техногенной нагрузки предприятий горно-добывающей и перерабатывающей отраслей, вызывающих загрязнение земельных и водных ресурсов, атмосферного воздуха и, как следствие этого, повышение заболеваемости населения. Наибольшие загрязнения и нарушения компонентов природной среды связаны с хранилищами твердых и жидких отходов, занимающих в России более 120 тыс га.

Разработка классификации хранилищ отходов, их всесторонняя характеристика и оценка риска их воздействия на природную среду является весьма актуальной проблемой, поскольку позволяет предотвратить или снизить негативное влияние хранилищ отходов на окружающую среду путем целенаправленного выбора типа и конструкции хранилищ для проектируемых предприятий, разработки комплекса мероприятий по оздоровлению и рекультивации территорий, находящихся в зоне влияния, сократив расходы на строительство, эксплуатацию хранилищ и природоохранные мероприятия.

Реализация земельной реформы требует усиления государственного контроля за использованием, охраной земель и вод на основе широкомасштабного внедрения передовых методов контроля за состоянием земельных и водных ресурсов, разработки экологических нормативов и требований при использовании вод и земель. Приводятся результаты разработки и внедрения новых экспресс-методов оценки воздействия твердых отходов на земельные и водные ресурсы.

Предлагается более полная классификация техногенных массивов по принципу образования, определяется их многофакторное влияние на компоненты природной среды, дается методологический подход к эколого-экономической оценке риска воздействия техногенных массивов на окружающую среду.

An estimation of man-caused impact of mining and mineral processing enterprises on land and water storage, atmosphere and, as a result, increase of population morbidity rate, has been given. The largest pollution and environmental disturbance are connected with hard and liquid waste storage places, which occupy more than 120 hectares in Russian Federation. The problem of creation of waste storage classification, their thorough characterisation and environmental risk estimation is very pressing. Solving this problem will help to prevent or reduce environmental impact of storage places by means of justified choice of type and design of waste storage for projectible enterprises and development of a package plan for environmental sanitation and reclamation of the territories under the impact. It will also help to cut down construction, operation and environmental expenses. Land reform realisation requires reinforcement of state supervision over land and water usage and their preservation on the basis of large-scale introduction of advanced means of control of the land and water conditions as well as development of ecologically safe norms and requirements of land and water usage. Results of development and introduction of new express estimation methods of hard waste impact on land and water storage are given an account of. A new complete classification of man-caused tracts, based on their formation principle, their multivariable environmental influence and a methodological approach to the ecological and economical estimation of environmental impact risk of the man-caused tracts are also given.

* * *

Проблема безопасного складирования отходов добычи и переработки минерального сырья является одной из наиболее актуальных проблем современности. Так, площади занятые техногенными массивами только в Российской Федерации, составляют более 1,5 млн га. Экологическая напряженность природной среды, порождаемая сбросами в нее твердых, жидких и газообразных отходов горно-добывающей и горно-перерабатывающей промышленности, непрерывно растет и территориально не ограничивается рай-

оном складирования отходов. Вследствие ветровой и водной эрозии загрязняющих компонентов территории техногенных массивов провоцируют формирование атмо-, лито- и гидрогеохимических ореолов и потоков загрязнения.

Горно-добывающая и горно-перерабатывающие предприятия являются одним из наиболее интенсивных источников загрязнения природной среды твердыми отходами, составляющими более 90 % объема добываемого минерального сырья. Результатом такого воздействия является образование техногенных массивов геологических структур, сложенных породами или антропогенными наносами, отличающихся по своему составу (химическому, гранулометрическому, бактериологическому) и свойствам (физико-механическим, фильтрационным, сорбционным и пр.) от фоновых пород, их вмещающих. Формы и размеры техногенных массивов определяются преимущественно технологическими процессами.

По генезису техногенные массивы классифицируются на три группы: насыпные и намывные массивы и техногенные наносы (рис.1).

Характерными особенностями насыпных техногенных массивов являются нарушенность структуры пород в теле насыпи, обусловливающая снижение прочности по сравнению с естественным залеганием и увеличение фильтрационных свойств отложений; существенное изменение прочности пород насыпей во времени; нарушение водного баланса территории; попадание на поверхность земли, в зону гипергенеза глубинных пород, залегающих в иной кислотно-щелочной и окислительно-восстановительной обстановке, что приводит к выщелачиванию из них вредных веществ.

Намывные массивы следует рассматривать как объекты повышенной экологической опасности с учетом возможностей загрязнения воздуха, подземных и поверхностных вод, почвенного покрова на обширных территориях. При традиционной технологии намыва во внутренних зонах гидроотвалов и хвостохранилищ формируются мощные (до 50-100 м) толщи тонкодисперс-

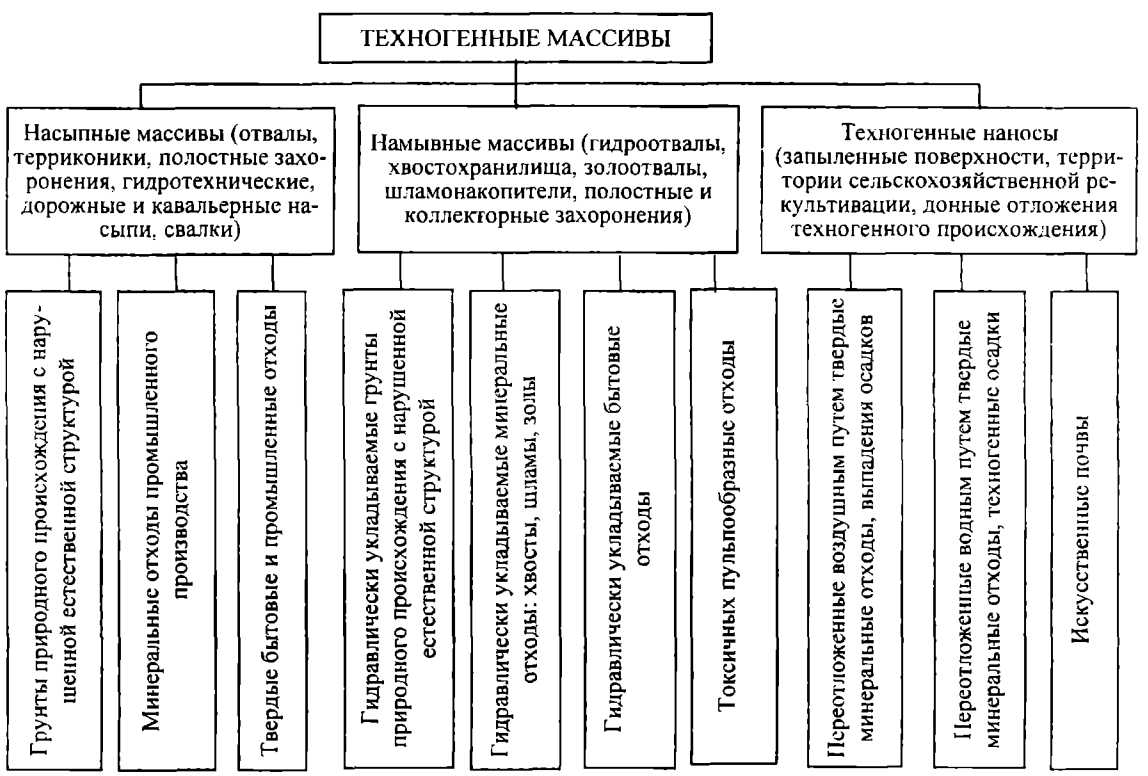


Рис.1. Классификация техногенных массивов

ных материалов, находящихся в течение десятилетий в неуплотненном состоянии, что предопределяет их низкую несущую способность и исключает возможность использования намывных территорий.

Техногенные наносы представляют собой маломощные техногенные массивы, имеющие большую протяженность или площадь. Техногенные наносы формируются на территориях крупных промышленных центров, вследствие газо- и пылевоздушных организованных и неорганизованных выбросов промышленных, сельскохозяйственных предприятий и транспорта в атмосферу.

Формирование загрязненных донных отложений водных объектов является результатом осаждения взвешенных в воде механических, коллоидных примесей, химических осадков сбросов промышленных, коммунально-бытовых и сельскохозяйственных предприятий в поверхностные воды.

В результатом техногенного преобразования состава приповерхностных отложений, поверхностных и подземных вод, атмосферного воздуха изменяется баланс вещества в литосфере, гидросфере (наземной и подземной) и атмосфере, что приводит к образованию ореолов и потоков загрязнения:

- сам техногенный массив является литохимическим ореолом загрязнения;
- в зоне воздействия техногенного массива вследствие пылесдувания и газовыделения с его поверхности происходит формирование атмохимических и переотложенных литохимических ореолов и связанных с ними нарушений и загрязнений почвенного покрова, растительности и пр.;
- временными и постоянными потоками из техногенного массива выносятся и переотлагаются горные породы, что служит причиной формирования гидро- и литохимических потоков загрязнения;

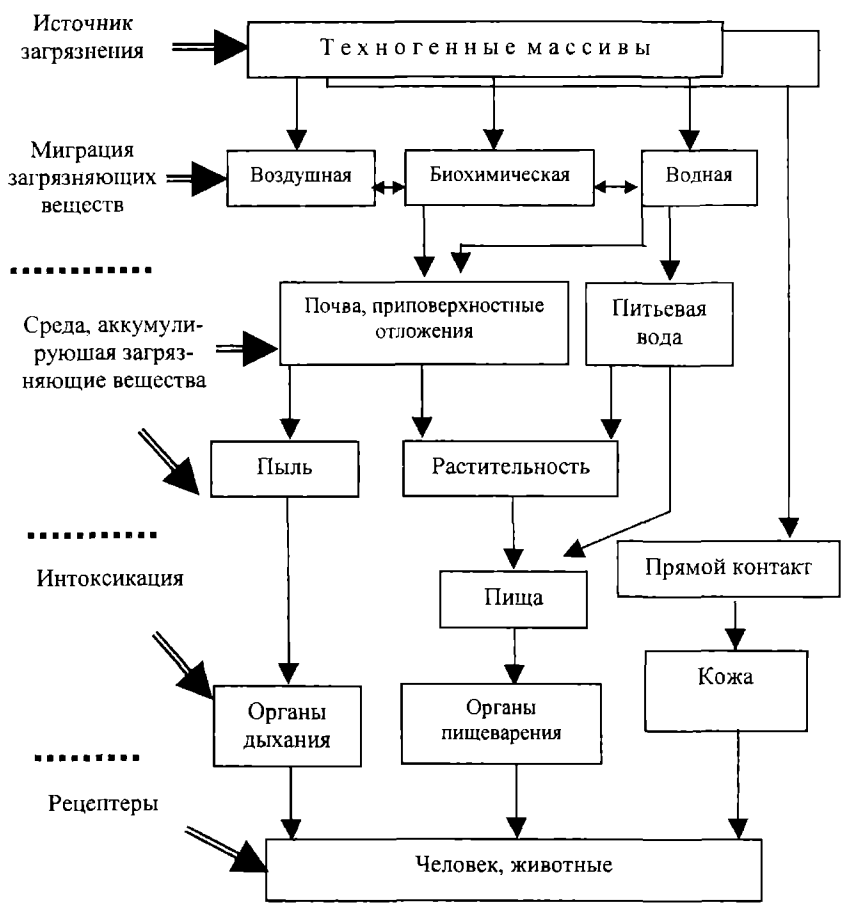


Рис.2. Схема воздействия техногенных массивов на природную среду

• инфильтрация атмосферных осадков, поверхностных и подземных вод через техногенные отложения приводит к формированию гидрогеохимических ореолов и потоков загрязнения.

С территории техногенных массивов загрязнения распространяются по одному или по нескольким направлениям, последовательно или одновременно и аккумулируются в различных средах (рис.2).

Несмотря на высокую экологическую опасность техногенных массивов до настоящего времени не существует методов комплексной количественной оценки их воздействия на компоненты природной среды, базирующихся на общепринятых критериях опасности для объектов экологической защиты: атмосферного воздуха, природных вод, приповерхностных отложений, биотических компонентов, человека.

Как правило, экспертиза техногенного воздействия хранилищ отходов основывается на методах выборочных проб или производится по валовому содержанию загрязняющих веществ в массиве, что порождает ошибочные оценки сложившейся ситуации.

Исследования взаимодействия техногенных массивов с природной средой позволили выявить основные группы факторов, которые необходимо учитывать при оценке воздействия техногенных массивов на окружающую их среду:

• Общее количество заскладированных вредных веществ, их физическое состояние и свойства (реактивность и токсичность загрязнителей).

• Мобильность загрязняющих веществ. В этой группе факторов выделим следующие:

– строение и состав зоны аэрации;

– расположение техногенного массива относительно уровня грунтовых вод;

– характерные свойства водоносных горизонтов, подстилающих техногенные массивы;

– механизм переноса загрязнителя в подземных водах;

– возможность образования новых техногенных водоносных горизонтов в теле техногенных массивов и подстилающих их породах;

– интенсивность воздушной миграции загрязнителей;

– конструкция защитных сооружений.

Наиболее значительной техногенной нагрузке подвергается природная среда в районах складирования сульфидсодержащих отходов. Вследствие окисления сульфидной серы происходит формирование кислых дренажных вод и соответственно лито- и гидрогеохимических ореолов загрязнения с крайне низкими значениями показателя pH. Это приводит к полному уничтожению растительности, трансформации состава покровных отложений, поверхностных и подземных вод. Процесс формирования кислоты: скорость и пределы падения pH дренажных вод, вид зависимости концентрации ионов H^+ от времени $pH = f(t)$ – определяется концентрацией пирита и других сульфидных минералов в породе; степенью кристаллизации сульфидных минералов; кристаллографией пирита; активностью протекания биохимических процессов; типом и содержанием в породах или отходах минералов, нейтрализующих кислотность (карбонатов, глинистых минералов, фельдшпатов, фосфатов).

Основные трудности исследований формирования кислых дренажных вод пиритсодержащими породами и отходами связаны с большим разнообразием сульфидсодержащих пород и эффектом возобновления со временем процессов формирования ионов H^+ после нейтрализующей кислоту обработки пород и отходов.

До настоящего времени основными тестами по определению риска формирования кислых дренажных вод в европейских странах, США и Канаде являлись опыты в статических условиях и по балансовой схеме.

При тестировании в статических условиях предварительно измельченная и взвешенная проба отходов помещается в контакт с определенным количеством жидкости, с перемешиванием или без него, в течение 12-36 ч. После разделения фаз инфильтрат анализируется на интересующие компоненты. Основными причинами широкого распространения кратковременных тестов являются минимальные затраты времени, средств, материалов для организации опыта; возмож-

ность воспроизведения исследований в широком круге условий. Но кратковременные тесты с сульфидсодержащими породами имеют низкую достоверность вследствие большой инерционности процессов растворения сульфидных минералов.

Стандартная схема проведения тестов по балансовой схеме предполагает проведение экспериментов в течение 0,5-3 месяцев. В этом случае отходы помещаются в колонну, через которую фильтруется жидкость, которую затем собирают и анализируют. В длительных экспериментах создаются условия, более близкие к реальности: не производится обработка пробы, используется значительная масса отходов, создается реальная модель фильтрации, что позволяет исключить в определенной мере влияние гетерогенеза и оценить кинетику процесса. Тем не менее за трехмесячный период иногда формирования кислых вод не происходит, хотя натурные эксперименты показывают обратное. Увеличение времени экспериментов повышает достоверность исследований, но одновременно приводит к их удорожанию в 3-5 раз. Многочисленные лабораторные эксперименты показывают, что снижение достоверности трехмесячных тестов происходит в менее 10 % случаях исследования пород с содержаниями сульфидов

Исследования минерального и химического состава сульфидсодержащих пород позволили разработать экспресс-метод определения риска формирования кислых дренажных вод, который базируется на определении следующих показателей:

- кислотного потенциала породы (AP),
- потенциала нейтрализации (NP),
- коэффициентов потенциальной опасности кислотного заражения территории

$$NNP = NP - AP;\ NNP' = NP/AP. \qquad (1)$$

Кислотный потенциал породы определяется, исходя из минерального анализа породы, пересчетом процентного содержания сульфидной серы $C_{сульф}$ в процентное содержание серной кислоты $C_{H_2SO_4}$, формирующейся при выветривании породы:

$$C_{H_2SO_4} = C_{сульф} \frac{М.м.H_2SO_4}{А.м.S}, \qquad (2)$$

где М.м. и А.м. – соответственно молекулярная и атомная массы.

Затем содержание серной кислоты пересчитывается в AP, который, как и NP, измеряется в единицах, эквивалентных тоннам кальцита CaCO3, затрачиваемым на нейтрализацию килотонн сульфидсодержащих пород.

Для расчета щелочного потенциала используются результаты соляно- или сернокислотной атаки сульфидсодержащей породы до фиксированного значения pH.

Если значения коэффициентов $NNP \geq 0$ и $NNP' \geq 1$, то сульфидсодержащие породы не являются опасными, т.е. не обладают способностью формировать кислоту. В случае $NNP < 0$ и $NNP' < 1$ степень опасности пород определяется следующим образом: при $NNP' < 0,5$ породы формируют кислоту; при $0,5 < NNP' < 1$ породы обладают потенциальной способностью формировать кислоту в будущем.

Достоверность результатов тестирования сульфидсодержащих отходов различного генезиса и состава методом определения кислотного и нейтрализующего потенциалов (табл.1) подтверждается натурными наблюдениями на опытных площадках в течение 4-6 лет. Исследования показали, что предложенный метод позволяет с высокой экспрессностью и достоверностью прогнозировать формирование кислых дренажных вод для различных типов сульфидсодержащих пород и отходов, определять размеры и контрастность лито- и гидрогеохимических ореолов загрязнения, управлять складированием сульфидсодержащих отходов.

Мероприятия по оценке и снижению интенсивности поступления загрязняющих компонентов с территории техногенного массива предлагается проводить, исходя из количественной оценки их экологической опасности по значениям риска техногенного воздействия.

Риск техногенного воздействия является многофакторной величиной, характеризующей последствия этого воздействия, включающей величину как фактического, так и возможного эколого-экономического ущерба

Таблица 1

Результаты определения кислотного и нейтрализующего потенциалов различных сульфидсодержащих пород

Номер образца	Описание породы	Содержание сульфидной серы, %	Щелочной потенциал NP, т/10^3 т $CaCO_3$	Кислотный потенциал AP, т/10^3 т $CaCO_3$	NNP	NNP'
1	Порода, состоящая из двух минералов: кварца и пирита	28,3	2,50	884,38	–881,88	0,0028
2	Песчанистый сланец, содержащий пирит и галенит	17,1	7,50	534,06	–526,56	0,014
3	Пиритсодержащий пелит	1,6	910,00	50,94	859,06	17,86
4	Пиритсодержащий пелит	32,3	5,00	1010,31	–1005,31	0,0049
5	Глауконитовый песок	1,1	22,00	37,50	–5,50	0,59
6	Смесь глауконитовых пиритсодержащих песков (70 %) с карбонатной глиной (30 %)	0,8	98,00	26,00	72,00	3,77

от влияния конкретных негативных факторов с учетом вероятностей их воздействия. В случаях достоверных событий значения риска эквивалентны значениям ущерба.

Эколого-экономический риск воздействия техногенных массивов на природную среду R предлагается определять как сумму рисков воздействия R_{ij} на n компонентов природной среды (рецепторов, принимающих воздействия) с учетом возникновения m последствий воздействия (рис.3):

$$R = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} R_{ij}, \qquad (3)$$

где $R_{ij} = K_{ij}^{R} Y_{ij}$; K_{ij}^{R} – коэффициент риска техногенного воздействия на i-й компонент природной среды с учетом возникновения j последствий воздействия; Y_{ij} эколого-экономический ущерб от возможного воздействия техногенного массива на i-й компонент природной среды с учетом возникновения j последствий воздействия.

В качестве объектов природной среды, на которые распространяется воздействие техногенных массивов (рецепторов воздействия), выступают: человек, земли, природные воды, атмосферный воздух, минеральное сырье, визуальный ландшафт.

Коэффициент риска предлагается определять вероятностью возникновения j последствий при воздействии на i-й компонент (P_{ij}^{R}) природной среды в зависимости от степени уязвимости рецептера C_i^{Y} которая определяется защищенностью компонентов природной среды (природной и технической); расстоянием от техногенного массива; физико-географическими особенностями территории (роза ветров, средняя скорость ветра, направление и скорость водных потоков, температура, влажность воздуха и пр.):

$$K_{ij}^{R} = P_{ij}^{B} C_i^{Y} \qquad (4)$$

Разработанная методология определения экологического риска позволяет количественно оценить опасность техногенных массивов и уровень экономических затрат, необходимых для ее предотвращения.

Суммарные экономические затраты складываются из двух составляющих, связанных с экологическим риском складирования отходов:

- затрат на обеспечение экологической безопасности техногенных массивов;
- эколого-экономического ущерба, нанесенного различным компонентам природной среды.

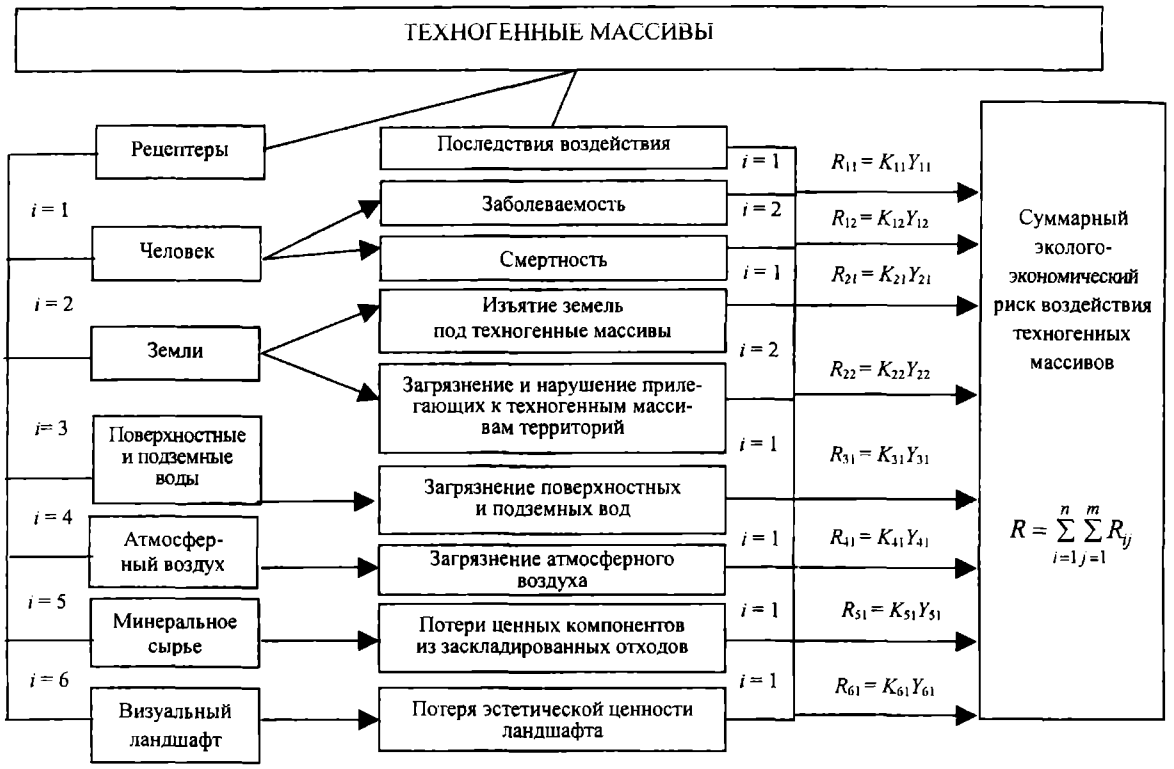


Рис. 3. Блок-схема определения эколого-экономического риска воздействия техногенных массивов на природную среду

В решении экономических задач, связанных с выбором оптимального варианта расходов, важная роль отводится выявлению функциональных зависимостей рассматриваемых видов затрат от уровня техногенного воздействия. Для этого устанавливают зависимость экономических затрат от достигаемого при этих затратах уровня экологической безопасности и риска. Общий вид функций, выражающих зависимость затрат на обеспечение экологической безопасности, значений эколого-экономического риска и кривой суммарных экономических затрат от достигаемого при этих затратах уровня безопасности, представлен на рис.4. Анализ характера графических зависимостей показывает, что оптимальный вариант расходов может быть найден путем исследования кривой $Q(G)$.

Точка минимума на кривой $Q(G)$ соответствует равенству $A(G) = B(G)$, которое свидетельствует, что в этой точке экономические расходы на обеспечение безопасности $A(G)$ равны экономическому эквиваленту ущерба $B(G)$, который следует ожидать при данном уровне безопасности (риска).

Снижение эколого-экономического ущерба на практике может быть достигнуто различными путями. Выбор варианта производится по минимальным значениям функции $Q(G)$, выражающей суммарные экономические затраты.

Для моделирования безопасности техногенных массивов рассмотрим характер изменения суммарных затрат в зависимости от значений эколого-экономического риска. В простейшем случае функция суммарных затрат имеет линейный характер. Суммарные затраты на обеспечение безопасности и значения эколого-экономического риска даются в относительных единицах. Графики (рис.5) построены для четырех вариантов затрат:

• 1 затраты на снижение риска не производятся, т.е. $A(G) = 0$;

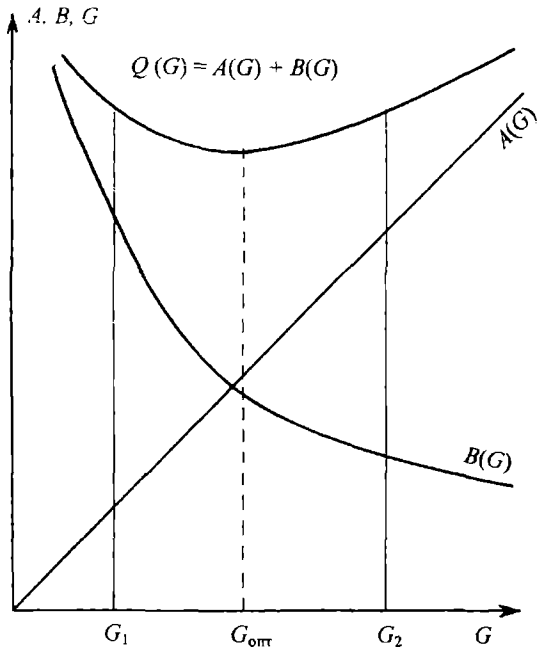


Рис.4. Вид графических зависимостей расходов на обеспечение экологической безопасности

G – уровень безопасности; G_1 и G_2 – допустимые уровни обеспечения экологической безопасности (экологического риска) для сохранения компонентов природной среды; $G_{опт}$ – оптимальный уровень экологической безопасности; $A(G)$ – функция, отражающая изменение экономических расходов на обеспечение уровня безопасности (экологического риска), $B(G)$ – функция, отражающая закономерности снижения эколого-экономического ущерба по мере повышения уровня безопасности; $Q(G)$ – функция, выражающая суммарные экономические затраты

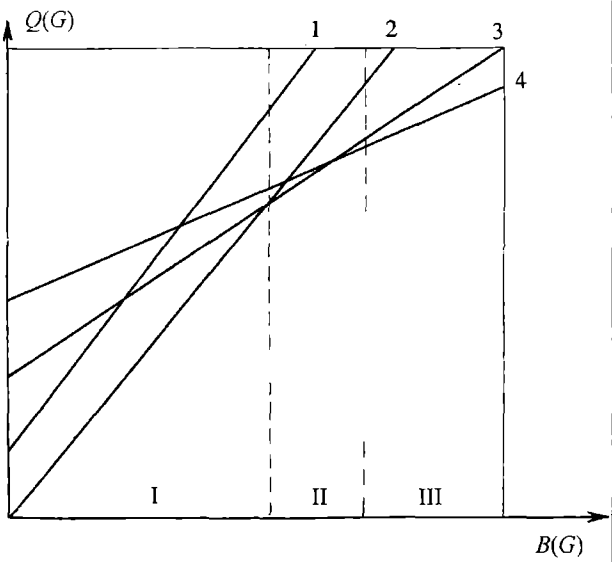


Рис.5. Суммарные затраты на обеспечение экологической безопасности (в относительных единицах)

• 2 – затраты на риск составляют 0,25 от общих затрат по первому варианту, принятых за единицу;

• 3 – затраты на риск составляют 0,5 от общих затрат;

• 4 – затраты на риск составляют 0,95 от общих затрат.

На рис.5 вертикальными пунктирными линиями выделены три области. Для I области наиболее подходящим является вариант 1, при котором в этой области суммарные затраты минимальны, для II области вариант 3, для III области – вариант 4 по тем же основаниям.

Таким образом, применительно к конкретным условиям на шкале эколого-экономического риска представляется возможным выделить ряд областей, для каждой из которых можно выбрать наиболее выгодную в экономическом отношении стратегию обеспечения безопасности.

Сопоставление фактических данных с полученной оценочной шкалой дает возможность классифицировать техногенные массивы по степени их опасности на техногенные массивы высокой (класс *A*), средней (класс *B*) и низкой (класс *C*) экологической опасности.

Для техногенных массивов класса *A* характерны следующие признаки:

• заскладированные отходы содержат вещества классов 1 и 2 опасности, с высокой миграционной способностью;

• компоненты природной среды имеют низкую защищенность;

• защитно-дренажные сооружения отсутствуют или малоэффективны;

• техногенные массивы располагаются в густонаселенной местности, в районах высокопродуктивных земельных угодий или особо охраняемых природных территорий и объектов.

В этих случаях экологическая безопасность должна быть максимальной и соответственно затраты на предотвращение риска могут быть соизмеримы со значениями суммарных экономических затрат на предотвращение ущерба от воздействия техногенных массивов на компоненты природной среды.

Техногенные массивы класса *B* подразделяются на две группы. Техногенные мас-

сивы 1-й группы содержат токсичные соединения, миграционная способность которых ограничивается либо их химическими свойствами, либо высокой природной или технической защищенностью компонентов природной среды, и располагаются в районах повышенной экологической защиты. Для 2-й группы техногенных массивов характерно складирование токсичных загрязнителей в малонаселенных районах с низкопродуктивными угодьями и малозначащими ландшафтами. Складирование отходов в хранилища класса *B* предполагает уровень приемлемого риска, т.е. затраты на предотвращение риска техногенного воздействия хранилищ должны составлять около 50 % от значений суммарных экономических затрат.

В горно-добывающей и горно-перерабатывающей отраслях промышленности к техногенным массивам класса *A* и *B* можно отнести сульфидсодержащие отвалы и хвостохранилища, содержащие повышенные концентрации тяжелых металлов; солеотвалы; хранилища тонкодисперсных отходов обогащения и металлургического передела; хранилища, содержащие нефтепродукты. Техногенные массивы класса *C* содержат, как правило, инертные отходы (отвалы вскрышных и вмещающих пород), располагающиеся вне населенных пунктов. Наиболее рациональным является формирование техногенных массивов класса *C* при нулевых затратах на снижение экологического риска.

Выбор мероприятий обусловливается уровнем опасности техногенного массива, горно-геологическими и технологическими условиями их формирования, а также количеством средств, выделяемых на снижение экологического риска. В этой связи необходимо детальное обследование территории техногенного массива с проработкой ряда вариантов.

Обеспечение безопасного складирования отходов на стадии строительства и эксплуатации хранилищ может быть достигнуто созданием защитно-дренажных сооружений, экранирующих отходы от подстилающих их подземных вод. Защитно-дренажные сооружения должны быть устойчивы: к химически активным инфильтратам, к физическим (перепадам влажности и температуры) и механическим (деформации) воздействиям.

Система защитно-дренажных сооружений для техногенных массивов классов *A* должна включать слой глин (как правило, бентонитовых), геомембрану (одну или несколько) из тонких синтетических водонепроницаемых материалов, геотекстиль (полимерный водопроницаемый текстильный натуральный или синтетический материал), гравийный материал или геокомпозит, искусственный водоупорный слой, сопровождающий дренирующий слой, представляющий собой инъекцию глинистого субстрата.

Вертикальные экраны (противофильтрационные завесы в виде стенки из уплотненного материала) исключают боковое перемещение вредных веществ в основании, транзитную фильтрацию через отходы и распространение загрязненных вод. Утечки выявляют при помощи системы контроля, которая должна обеспечивать обслуживание и ремонт герметизационных устройств на больших глубинах.

Мероприятия по обеспечению безопасности закончивших срок эксплуатации хранилищ отходов преследуют цель ликвидации путей загрязнения и на этой основе уменьшения или предупреждения загрязнения окружающей среды. При этом опасность должна быть устранена как для источников загрязнения, так и для их окрестностей.

Классификация методов очистки включает в качестве существенного показателя место проведения работ (табл.2). Мероприятия, проводимые «в массиве», обычно трудноуправляемы и требуют больших затрат времени, однако они дешевле, так как исключают затраты на выемку и транспортировку отходов.

Планирование мероприятий по снижению экологической опасности техногенных массивов производится сопоставлением альтернативных решений по очистке и оздоровлению территории техногенного массива по следующим показателям:

• мобильности и мобилизационной способности остаточных веществ в отходах;

Таблица 2

Мероприятия по снижению экологического риска техногенных массивов

Вид мероприятия	Место проведения	Мероприятия	Последующее обеспечение
Обеспечение безопасности посредством ликвидации путей загрязнения	«В массиве»	Пассивные гидравлические и пневматические методы (понижение уровня подземных вод путем водоотвода, газоулавливание)	Контроль. Ремонтные работы в случае необходимости. Возобновление работ
	«В массиве»	Изоляция	
	«Вне массива»	Иммобилизация	
Ликвидация загрязнений	«В массиве» и «вне массива»	Активные гидравлические и пневматические методы (водоотбор, каптаж грунтового газа)	Уборка отходов при потребности: контроль, возобновление мероприятий
	То же	Химико-физическое воздействие (экстракция, сжатие, адсорбция, окисление, восстановление, осаждение)	
	«Вне массива» и «в массиве»	Биологические методы	Контроль
Перемещение	«Вне массива»	Выемка и переукладка отходов на свалку	
		Утилизация отходов	

• свойствам грунтов после очистки (структура, содержание воды, воздуха и других веществ);

• безопасности работ и соблюдении ограничения их по времени;

• возможности минимизации вторичных техногенных загрязнений;

• потреблению электроэнергии и химических реактивов;

• стоимости работ.

При ликвидации загрязнения образуются гидросмеси из композиции различных веществ, разрушаются существующие в загрязненном материале формы связи и силы, их обеспечивающие, вредные вещества разлагаются или преобразуются. Целью мероприятий по обеспечению безопасности является прекращение распространения вредных веществ.

Пассивные гидравлические методы предназначаются для грунтовых вод и позволяют изменить направление потока подземных вод при помощи нагнетания или отбора воды через инфильтрационные или поглощающие скважины (колодцы). Такие мероприятия эффективны большей частью лишь в качестве кратковременных и требуют довольно высоких энергозатрат.

Методы иммобилизации преследуют цель ограничения миграционной способности загрязняющих веществ за счет введения в техногенный массив компонентов, повышающих его монолитность. Перемещение отходов производится для их утилизации или обеспечения безопасного хранения на специально оборудованных свалках.

Реализация теоретических разработок и рекомендаций была проведена на Lmt «Hydrometal» при проектировании нового хвостохранилища и разработке комплекса природоохранных мероприятий с предотвращенным эколого-экономическим ущербом более 5 млн долларов, при проектировании комплекса мероприятий по оздоровлению экологической ситуации в районе карьера Lemaire, накопителей рудничных вод ОАО «Норильский Никель», территории хвостового хозяйства ОАО «Фосфаты».