

## ОХРАНА ТРУДА

УДК 622.861

DOI: 10.21440/0536-1028-2023-3-97-112

### Систематизация техногенных рисков индустриального характера на горнодобывающих предприятиях

Аленичев В. М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

*e-mail: alenichev@igduran.ru*

#### Реферат

**Целью исследований** является выработка общего подхода к систематизации признаков защищенности горнопромышленных территорий, природных и техногенных объектов. **Актуальность работы** обусловлена необходимостью обеспечения безопасности хозяйственной деятельности на территории ведения горных работ.

**Методология проведения исследований.** Недропользование связано с необходимостью учета множества факторов, приводящих к риску реализации принимаемых решений. Риск рассматривается как потенциальная, численно оцениваемая вероятность реализации неблагоприятных событий (ситуаций), сопровождающих их последствий в виде аварий, человеческих жертв, потерь, ущерба, убытков и т. п. Риск – это количественная оценка опасностей, характеризующих ситуацию, имеющую неопределенность исхода при обязательном проявлении неблагоприятных последствий. Состояние безопасности любого объекта горнодобывающего предприятия целесообразно оценивать рядом показателей – индикаторов, характеризующих устойчивость системы к негативным воздействиям, которые обусловлены инфраструктурными, природными, геологическими, технологическими, экономическими и финансовыми факторами. Ситуация риска, обусловленная статистическими процессами, связана с сопутствующими условиями: наличием неопределенности, необходимостью альтернативного выбора и возможностью вероятностной оценки принимаемых вариантов (альтернатив). Негативные явления при недропользовании проявляются в виде деформирования бортов и отвалов, обрушения отдельного уступа или их группы, разрушения транспортных и энергетических коммуникаций, камнепада, отклонения технологического процесса обогащения от запроектированного, нарушения техногенных объектов и эколого-биологической среды, которые следует трактовать как техногенные катастрофы индустриального характера.

**Результаты.** Обоснована классификация рисков как многомерной категории по факторам (причинам) возникновения, движущая сила которых порождает негативный процесс и определяет его характеристики или отдельные черты.

**Выводы.** Систематизация различных рисков на основании инфраструктурных, горно-геологических, технологических и экологических факторов обеспечивает на начальном этапе формирования рисков определение их характеристик и разработку системы управляющих мероприятий для обеспечения устойчивого функционирования горнодобывающего предприятия.

**Ключевые слова:** риск; мониторинг; инфраструктурные факторы; геологические факторы; технологические факторы; геомеханические факторы; экологические факторы; виды рисков; индикаторы защищенности; техногенные образования.

**Работа выполнена по теме 2 (Госзадание № 075-00412-22ПР), Регистрационный № 123012300006-0.**

**Введение.** Сферы человеческой деятельности, связанные с необходимостью учета множества влияющих условий и факторов, приводят к риску реализации принимаемых решений. Объективная природа риска обусловлена вероятностной

сущностью и многовариантностью природных, техногенных, технологических и других процессов, экологических и экономических отношений [1, 2].

В теории и практике понятие «риск» имеет многостороннюю и многозначную направленность. Востребованность в слове риск возникла в результате осознания людьми ответственности за принимаемые решения. Однозначного понимания сущности риска не существует, но несмотря на это он рассматривается как объективная категория, позволяющая оценить возможность трансформации потенциальной опасности в действительности. Поэтому риск рассматривается как потенциальная, численно оцениваемая вероятность реализации неблагоприятных событий (ситуаций), сопровождающих их последствий в виде аварий, человеческих жертв, потерь, ущерба, убытков и т. п. [3, 4].

В настоящее время существует множество вариантов классификаций рисков как многомерной категории по факторам (причинам) возникновения, возможности предвидения, длительности воздействия, сферам проявления и т. п. [5, 6]:

- риск как вероятность убытка; риск как величина возможного убытка;
- риск как функция, являющаяся в основном результатом вероятности и величины убытка;
- риск как эквивалент вариации распределения вероятностей всех возможных последствий рискованного хода дела;
- риск как полувариация распределения всех исходов, взятая лишь для негативных последствий и по отношению к некоторой установленной базовой величине;
- риск как взвешенная линейная комбинация вариации и ожидаемой величины.

**Методология проведения исследований.** Следует отметить, что в узком смысле риск характеризуется как количественная оценка опасностей. Другими словами, риск – количественная оценка опасностей, характеризующих ситуацию, имеющую неопределенность исхода при обязательном проявлении неблагоприятных последствий. Ситуация риска, обусловленная статистическими процессами, связана с сопутствующими условиями [7, 8]:

- наличием неопределенности;
- необходимостью альтернативного выбора (отказ от выбора также разновидность выбора);
- возможностью вероятностной оценки принимаемых вариантов (альтернатив).

При этом наблюдается тесная связь между риском, вероятностью и неопределенностью. Причиной возникновения рисков является неопределенность, которая имеет место во всех сферах деятельности и состояниях природных и технологических объектов недропользования. Риск отражает состояние ситуации, характеризующейся неопределенностью исхода и обязательным наличием неблагоприятных факторов, способных породить негативные события.

Возникновение риска вызывается фактором (причиной), движущая сила которого (-ой) порождает негативный процесс и определяет его характеристики или отдельные черты. Объективная природа технических рисков обусловлена вероятностной сущностью природных, техногенных, технологических и производственных процессов, характеризующихся нечеткостью и размытостью описания объектов. Наличие факторов, влияние которых не является детерминированным, приводит к неопределенности результатов. Неполная и неточная информация, используемая на стадии принятия решений, порождает события, риск зарождения и развития которых зависит от конкретной ситуации, характеризующейся неопределенностью исхода в виде обязательной реализации негативных или позитивных событий. Негативное событие характеризуется ситуацией, являющейся результатом нарушения первоначального состояния системы, объекта, процесса и субстанции.

Создавшаяся ситуация ограничивает и/или исключает дальнейшую безопасную деятельность для выполнения поставленных целей, планов, задач и других обязательств.

Способность природного и техногенного объекта, ситуации и процесса к самосохранению при внутренних и внешних воздействиях определяется защищенностью, характеризующей безопасностью их состояния. Безопасность сложной системы обеспечивается условиями, при которых действие внешних и внутренних факторов не приводит к риску возникновения (появления) негативных ситуаций и событий в соответствии с имеющимися на данном этапе потребностями, знаниями и представлениями. Риск отражает состояние ситуации, имеющей неопределенность исхода и характеризующейся обязательным наличием неблагоприятных факторов, способных породить негативные события. В общем случае под риском при недропользовании понимается появление неблагоприятного события, которое оценивается вероятностью его реализации и последствиями в виде нарушения состояния и устойчивости техногенных и природных объектов.

Методологические принципы исследований, направленных на поиск решений для обеспечения безопасности, базируются на системности подхода, мониторинге и анализе аргументов (совокупности геоданных), необходимых для оценки вероятности проявления конкретного вида риска [9, 10].

**Риски на горнодобывающем предприятии** в общем случае обычно проявляются в виде негативных событий, которые приводят к потенциальной угрозе его функционирования (*Методические указания по оценке рисков развития деформаций, мониторингу и управлению устойчивостью бортов и уступов, карьеров, разрезов и откосов отвалов*. М.: ИПКОН РАН, 2022. 90 с.). Риски в горнодобывающей отрасли подразделяют обычно на риски основной, вспомогательной и обеспечивающей деятельности. Риски основной производственной деятельности обычно классифицируются как технологические, технические и техногенные (аварийные). Первые обусловлены нарушением технологических процессов при добыче, транспортировании и обогащении, размещении пустых пород и некондиционного сырья в отвалах. Причиной технических рисков являются ошибки, допущенные при проектировании горнопромышленного комплекса, недостатки технологии, неправильный выбор основного горнотранспортного оборудования и отсутствие высококвалифицированных кадров для его эксплуатации и ремонта.

Существует общепринятое мнение, что техногенная катастрофа является следствием умышленных или неумышленных действий человека [11, 12]. Негативные явления при недропользовании в виде деформаций и обрушения горных пород в выработках; сползания, осыпи, обрушения и оплывины откосов; провалы земной поверхности и обрушения кровли; стрельания, толчки, микроудары, горные удары, локальные землетрясения; прорыв дамб накопителей отходов производства (шламо- и хвостохранилищ) и гидроотвалов; сейсмическое воздействие взрывов на здания и сооружения; взрывы газов и пыли, эндогенные и экзогенные пожары; прорывы воды с водоносных горизонтов и затопления; нарушение земель на стадии разработки месторождений; загрязнение почвы, поверхностных, грунтовых и подземных вод следует трактовать как техногенные катастрофы индустриального характера. Эти риски в горном деле как отрасли техногенной деятельности характеризуются разными факторами (причинами), основными из которых являются изменения геомеханических и гидрогеологических свойств вмещающих пород и горного массива в процессе отработки месторождения, нарушения технологии, отклонения фактических параметров элементов системы разработки от проектных, геодинамические подвижки, определяющие первичное и вторичное

напряженно-деформированное состояние (НДС) [12–14], (*О безопасности: Федеральный Закон № 390-ФЗ: [принят Гос. Думой РФ 07.12.2010 г.: одобрен Советом Федерации 15.12.2010 г.]*).

В общем случае основные приемы управления техногенными рисками сводятся к следующим операциям:

- определение причин (факторов) риска;
- выявление аргументов (параметров), определяющих зарождение и развитие негативного события или явления;
- обоснование индикаторов, определяющих стабильное состояние объекта (явления);
- снижение уровня опасности путем реализации комплекса инженерных и организационно-технических мероприятий, обеспечивающих постоянное и стабильное состояние объекта (явления) и сохранение соответствия технологических процессов нормативным;
- сохранение допустимых характеристик (последствий) риска за счет использования средств защиты.

**Профилактические меры по снижению вероятности зарождения и развития природных и антропогенных рисков** при недропользовании сводятся в основном к мониторингу состояния природных и техногенных объектов, непрерывному наблюдению за изменением физико-механических, технологических и гидравлических (влагоемкость, водоотдача, водоустойчивость, капиллярность, набухание, усадка, просадочность, смачиваемость, абсорбция, адсорбция, липкость) свойств горных пород, за первичным и вторичным напряженно-деформированным состоянием горного массива (*Методические указания по оценке рисков ...; О безопасности: Федеральный Закон № 390-ФЗ...*), [15].

При использовании физико-технических геотехнологий возникновение техногенных рисков обусловлено недостаточной достоверностью и полнотой имеющихся геоданных, несоответствием технологических параметров системы разработки и ее элементов горнотехническим условиям и нарушением нормативных регламентов. Возникающие при недропользовании неблагоприятные ситуации и последствия можно трактовать как потенциальные события, отрицательно влияющие на функционирование предприятия и достижение поставленной цели. Снижение неопределенности при выборе неизбежного решения способствует повышению количественной и качественной оценки вероятности достижения планируемого результата.

Природа зарождения рисков определяется проектом разработки месторождения, анализом состояния природных и техногенных объектов, реализацией технологических процессов добычи и переработки минерального сырья, принятием недостаточно обоснованных организационно-технических мероприятий по эффективному и безопасному развитию горно-технологического комплекса, оценкой возможности достижения предполагаемого результата, неудачами и отклонениями от цели. Несмотря на неопределенность и недостаточную достоверность геоданных, используемых при проектировании горного предприятия и в процессе разработки месторождения, предоставляется возможность оценить реализацию негативных процессов с использованием статистических числовых характеристик случайных аргументов, описывающих исходное состояние исследуемого объекта или явления.

В общем случае чрезвычайные ситуации техногенного характера на производствах происходят по следующим причинам: нарушение техники безопасности и трудовой дисциплины, низкая квалификация сотрудников, отсутствие ответствен-

ного руководства, нарушение технологических регламентов и правил технического обслуживания, износ оборудования, недостаточное геоинформационное описание состояния природных и техногенных объектов, недочеты или брак при строительстве.

В процессе разработки месторождения горнодобывающее предприятие выступает с точки зрения его функционирования как объект риска, что отражается на его производственно-хозяйственной деятельности из-за влияния инфраструктурных, природных, геологических, технологических, экономических, финансовых и других факторов [6, 9]. Причина зарождения и развития неблагоприятных процессов на горнотехнических объектах обусловлена неопределенностью геологических данных, прочностных свойств пород и горного массива, а также моделей (аналитических зависимостей), используемых для расчета параметров и показателей, обеспечивающих сохранность природных и техногенных образований [16]. Следовательно, риск при недропользовании как потенциальная, численно оцениваемая вероятность реализации неблагоприятных событий (ситуаций), сопровождающих их последствий в виде аварий, человеческих жертв, потерь, ущерба, убытков и т. п., зависит от неопределенности горно-геологических данных (ошибки обнаружения, расположения и соотношения рангов блочных структур и различных разновидностей пород, погрешности определения границ основных разломов и литологических разновидностей) и геомеханических параметров пород и горного массива (модуль деформации, угол внутреннего трения, сцепление, поровое давление и другие свойства), а также погрешности модели, заключающейся в непредсказуемости получения достоверных результатов, вероятность которых не гарантирована даже при использовании в расчетах точных значений аргументов (параметров и показателей).

Использование неопределенной и недостоверной геоинформации на различных «жизненных» этапах горнодобывающего предприятия (проектирование, строительство, эксплуатация и ликвидация) приводит в период разработки месторождения к техногенным катастрофам индустриального характера, подразделяемым на три вида неблагоприятных ситуаций: техногенные катастрофы, техногенные аварии и техногенные инциденты.

Принимая во внимание, что основным источником наполнения бюджета Российской Федерации является недропользование, ориентированное на реализацию научно-обоснованных технологических и производственно-технических решений и организационных мероприятий, обеспечение комплексного и полного использования минерального сырья является актуальной задачей [9, 12]. Поэтому развитие научно-методических основ устойчивого функционирования и защищенности горнотехнических систем как состояние безопасности всех объектов горнодобывающего предприятия целесообразно оценивать комплексом количественных характеристик и взаимосвязанных показателей – индикаторов, характеризующих стабильность системы к негативным процессам за счет выявления величины допустимых отклоняющих воздействий, а также уровня риска или ущерба, причиненного вреда.

Одной из актуальных проблем обеспечения устойчивого развития горнотехнических систем как в долгосрочном, так и в краткосрочном плане является управление природно-техногенным риском [1–3, 13–15], под которым понимают его заблаговременное предвидение, выявление определяющих факторов, реализацию мероприятий по его снижению за счет их целенаправленного изменения. Несвоевременное выявление рисков геодинамического происхождения, причиной которых является геологическая среда, приводит к негативным ситуациям в виде

опасности инженерно-технического, социально-экономического, экологического и другого характера. Успешное решение данной достаточно сложной задачи возможно только на основе научно-методических рекомендаций, включающих анализ основных факторов, определяющих устойчивое и безопасное функционирование горнодобывающего комплекса, методы и математические модели, позволяющие проведение расчета необходимых количественных и прогнозных оценок.

**Возникновение и развитие техногенных катастроф** обусловлено совместным действием объективных и субъективных факторов, создающих условия для реализации негативного события.

Непосредственными причинами техногенных катастроф могут быть:

- просчеты при проектировании, связанные с человеческой неопределенностью, обусловленной невозможностью точного предсказания в процессе работы поведения людей, отличающихся друг от друга уровнем образования, опытом, творческими способностями и интересами;

- геоинформационная и техническая неопределенность; геоинформационная неопределенность связана с горно-геологическими данными, свойствами горного массива и пород, неадекватностью используемых моделей расчета (аналитических закономерностей) для определения основных параметров и показателей техногенных объектов; техническая неопределенность обусловлена сложностью технологии, непредсказуемостью производственных процессов и надежности оборудования, объемом производства, уровнем автоматизации, темпами обновления и т. д.;

- недостаточная продуманность (обоснованность) размещения производства при анализе инфраструктуры;

- некачественное строительство и/или отступление от проекта;

- человеческий фактор, выражающийся в нарушении требований технологических процессов из-за недостаточной подготовки или недисциплинированности и халатности персонала, его невнимательности и нарушения правил эксплуатации техники, транспорта, приборов и оборудования.

На основании изложенного можно сделать вывод, что в основе техногенного риска индустриального характера на горнодобывающем предприятии лежат неопределенность и недостоверность геоданных, неопределенность ситуации при ее осуществлении, вероятностная природа человеческой деятельности и др.

**Объективная природа техногенных рисков в горнодобывающей отрасли** обусловлена вероятностной сущностью природных и технологических процессов, многовариантностью отношений, которые проявляются в результате антропогенных факторов воздействия на технологию и производственные процессы при добыче минерального сырья. Объективность риска обусловлена тем, что он сопровождает все реально происходящие явления, процессы и стороны деятельности. В общем случае под риском понимается совокупность опасностей с вероятностью наступления неблагоприятного события, т. е. риск представляет собой ситуацию оценки вероятности ухудшения состояния (положения). Основным моментом для понимания риска является выяснение роли понятия вероятность и неопределенность, поскольку в узком смысле риск – это количественная оценка опасностей, вызываемых фактором – причиной, являющейся движущей силой любого процесса, определяющей его характер или отдельные черты.

При разработке месторождений оценку и корректировку неопределенностей горно-геологических условий, структуры породного массива и его параметров, физико-механических свойств пород и гидрогеологических условий в пределах каждого исследуемого участка целесообразно проводить с использованием методов

анализа относительной частоты и распределения вероятностей, скорректированных при необходимости субъективными оценками на основе имеющихся данных [16]. Однако выполнение такой оценки и принятия за нее ответственности отдельными лицами является достаточно нетривиальной деятельностью, связанной с ее объективностью и оправданностью. Поэтому при обосновании сложных решений по стабильности геотехногенных объектов при разработке месторождений открытым способом необходимы более строгие методы количественной оценки степени достоверности рекомендуемых конечных результатов.

С учетом указанных положений выбор комплекса индикаторов по данным картографического, геодезического, фотограмметрического и дистанционного зондирования для оценки защищенности, характеризуемой в том числе ненарушенностью горнопромышленных территорий, природных и техногенных объектов и прогноза развития негативных процессов при недропользовании, является актуальной задачей. Возникающие при этом задачи, обусловленные изменением окружающей среды и горно-геологических условий, принятым геотехнологическим укладом, потребностями рынка и другими причинами, анализируются и рассматриваются с позиций минимизации рисков их появления на стадиях принятия предпроектных решений, строительства, эксплуатации и ликвидации предприятия [8, 13, 17], (*О безопасности: Федеральный Закон № 390-ФЗ...*).

**Систематизация различных рисков**, выявленных на основании установленных признаков и критериев, позволяет объединить их в более общие понятия, учитывающие факторы, порождающие негативные явления, виды деятельности, стадии проектирования и тип объектов, что позволит на начальном этапе формирования рисков выявить источники их появления и разработать систему мероприятий по их управлению и устранению [8, 18], (*Методические указания по определению параметров бортов и уступов карьеров, резцов и откосов отвалов. М.: ИПКОН РАН, 2022. 80 с.*). При этом методы оценки техногенных рисков на горнодобывающих предприятиях зависят от существа реализуемого проекта и принятых проектных решений, влияние которых распространяется на сценарии зарождения и эскалации негативных проявлений. Перечень возможных (убедительных) событий определяется путем моделирования с использованием аналитических, вероятностно-статистических и других методов. Наиболее эффективный способ диверсификации рисков на антропогенных объектах горного производства – исключение или снижение их негативных последствий. Недропользование на горнопромышленных территориях всегда сопровождается деформацией земной поверхности, нарушением гидрологических и гидродинамических условий, естественных природных процессов и загрязнением природной среды. В регионе изменяются атмосферные и почвенные условия, образуются депрессионные воронки, наблюдаются другие негативные явления.

Объектом наблюдения и оценки с позиций геоинформационного мониторинга в первую очередь следует рассматривать инженерную инфраструктуру территории, где планируется функционирование добывающего предприятия, а также горный массив, в границах которого находится месторождение полезных ископаемых [8], (*Методические указания по оценке рисков...*). Принятый способ разработки и сущность внутренней структуры геотехнологии предопределяют вероятность появления сопутствующих негативных последствий. Надежность выбранных технологических и технических решений достигается при соблюдении безопасных условий разработки и экологически допустимых изменений состояния природной среды. Поэтому целесообразно выделение комплекса взаимосвязанных и взаимосвязан-

ных факторов, определяющих процессы взаимодействия природной среды и техносферы горнодобывающего предприятия.

**Факторы, вызывающие негативные события при недропользовании:** инфраструктурные, природные, геологические, технологические, экологические, экономические, финансовые. Структурная схема систематизации техногенных рисков на горнопромышленных территориях, природных и техногенных объектах и в технологических процессах добычи и обогащения представлена в табл. 1.

**Инфраструктурные факторы.** В настоящее время из-за различных подходов и классификаций разнообразных активов (объектов), расположенных на территории горнодобывающего предприятия, строгого определения термина «инфраструктура» не существует [18, 19]. В общем случае инфраструктура характеризуется комплексом природных и техногенных объектов, социально- и информационно ориентированных систем, находящихся на рассматриваемой территории и предназначенных для длительного использования. Базовая инфраструктура горного предприятия оценивается с точки зрения наличия энергоснабжающих сетей, железных и автомобильных дорог, дамб, плотин, водоемов, телекоммуникационные линии и других объектов жизнеобеспечения. Для обеспечения устойчивого развития горнодобывающего предприятия необходим непрерывный контроль и анализ взаимосвязей существующей инфраструктуры и фактического состояния структуры предприятия с точки зрения сохранности природных ресурсов, складирования отходов перерабатывающего производства и обеспечения эколого-биологической и других видов безопасности.

Риски инфраструктурного фактора связаны с изъятием земель, размещением отдельных экологически опасных техногенных объектов, отсутствием необходимых ресурсов (водных, энергетических), необходимостью привлечения и размещения трудовых ресурсов.

**Природные факторы.** Природные факторы, характеризующие свойства неживой природы, включают метеорологические, погодные, климатические, геологические, гидрологические, геоморфологические и другие условия. Некоторые из них прямо или косвенно влияют на фауну и флору непосредственно через изменение температуры, давления, влажности воздуха, солености воды, содержания кислорода в воздухе, структуры почвы, содержания флюидов. Другие: гидрологические (обводненность территории, колебания уровня воды, ледовый режим) и геоморфологические (напряженно-деформированное состояние горного массива, современная геодинамика) – могут оказывать существенное влияние на выбор внутренней структуры геотехнологии.

**Горно-геологические условия,** классифицируемые как статические и динамические геоданные [9], также играют существенную роль при разработке месторождения полезного ископаемого. К статическим геоданным относятся глубина залегания, форма залегания (пластообразная, линзообразная, жилы, штокообразная, рудные гнезда, трубки), число рудных тел (залелей), параметры залегания, мощность, угол падения и простирание пласта (рудного тела), свойства горного массива и породы и полезного ископаемого, в том числе строение залежи, морфология и рудоносность, характер контактов, физико-механические и другие свойства, предопределяющие способ разработки месторождения. Динамические геоданные, учитывающие первичное напряженно-деформированное состояние массива, геотехногенные и геомеханические подвижки, вторичное НДС в техногенной зоне, количество балансовых запасов, текущие промышленные запасы, потери, разубоживание, эксплуатационные запасы, содержание полезного компонента, текстурно-структурные характеристики рудного массива (крупность,

форма зерен, распределение по площади и глубине), влияют на выбор внутренней структуры прогнозируемой геотехнологии [9]. В формировании крупномасштабных деформаций в масштабе бортов карьера играет роль совокупность следующих факторов: структуры различных рангов, прочностные свойства пород, обводненность борта и поровое давление в породном массиве.

**Технологические факторы.** Производственная структура горнодобывающего комплекса включает техногенные образования в виде карьера (разреза), отвалы пустых пород и забалансовых руд, дамбы, приконтурный массив, объекты перегрузки, размещения и накопления отходов (гидроотвалы, хвостохранилища и т. п.). Состав и взаиморасположение основных объектов горного производства определяются применяемой технологией разработки месторождения, включающей комплекс приемов, методов и процессов: осушение горного массива и подготовка его к выемке и транспортированию, предобогащение и сортировка, формирование и поддержание выработанного пространства.

Комплекс *вспомогательные технологические операции* необходим для систематического выполнения работ по обеспечению безопасности основных технологических процессов.

**Экологические факторы,** обусловленные интенсивным развитием недропользования, приводят к загрязнению природной среды, нарушению естественных процессов, сокращению запасов природных ресурсов и другим нежелательным явлениям, что сопровождается негативными последствиями для экологического состояния окружающей среды. При этом наряду с абиотическими и биотическими проявляются антропогенные факторы, зависящие от деятельности человека и приводящие к загрязнению среды обитания. Формирование техногенных объектов из отходов промышленного производства сопровождается накоплением тяжелых металлов в почве и водоемах в результате растворения и выщелачивания токсичных горных пород и минералов с последующим переносом вредных примесей фильтрационными потоками. Откачка карьерных и шахтных вод приводит к образованию депрессионных воронок, изменению гидрогеологических и атмосферных условий, обезвоживанию и засолению почвенного слоя на территориях, прилегающих к зонам горных разработок.

Источниками **финансового и экономического рисков** являются инфляция, изменение процентных ставок и обменных курсов, рыночная конкуренция, колебания цен на минеральное сырье и его спрос.

Особое внимание в настоящее время обращается на риски, связанные с обеспечением безопасности производства и труда. Возможность приватизации, национализации, изменения в национальном законодательстве и местных нормативных актах (например, налог на прибыль, положения по охране окружающей среды) приводят к возникновению **политического риска**.

Безусловно, можно выделить **специфические риски**, возникающие в горнодобывающей промышленности, которые могут повлиять на процесс подготовки и эксплуатации месторождений, выбор основных и вспомогательных процессов.

**Выводы.** Риск при недропользовании как потенциальная, численно оцениваемая вероятность реализации неблагоприятных событий (ситуаций), сопровождающих их последствий в виде аварий, человеческих жертв, потерь, ущерба, убытков и т. п. зависит от неопределенности горно-геологических данных (ошибки обнаружения, расположения и соотношения рангов блочных структур и различных разновидностей пород, погрешности определения границ основных разломов и литологических разновидностей) и геомеханических параметров пород и горного массива (модуль деформации, угол внутреннего трения, сцепление, поровое давление и другие свойства), а также погрешности модели, заключающейся

Таблица 1. Систематизация признаков защищенности горнопромышленных территорий, природных и техногенных объектов  
 Table 1. Systematization of the signs of mining territories, natural and man-made features safety

Факторы риска	Объекты рисков	Виды рисков	Способ снижения риска	Индикаторы защищенности		Способы оценки
				вербальный	количественный	
Инфраструктурные	Водоемы, плотины, дамбы; подземные воды; энергетические и транспортные коммуникации; техногенные и социальные объекты; лесные, сельскохозяйственные и другие уголья	Изъятие земель; нарушение элементов инфраструктуры; нарушение целостности земной поверхности; отсутствие необходимых георесурсов; воздействие на лесные, охотничьи и рыбные ресурсы; размещение и привлечение производственного персонала	Выбор: рационального способа разработки и структуры комплекса; эффективных технологий добычи и переработки сырья; места складирования и хранения отходов	Сохранность и возможность развития инфраструктуры; реализация природоохранных мероприятий. Визуальный мониторинг	Наличие свободных площадей, $K > 1$ $K = S_{\text{П}} / S_{\text{Ф}}$ , $S_{\text{П}}$ – прогнозируемая площадь изъятия земель под технологический комплекс; $S_{\text{Ф}}$ – свободная площадь на территории инфраструктуры.	Матричный (низкий–средний–высокий)
Геологические	Месторождение	Неподтверждение: запасов и качества ПИ, содержания и структурно-текстурных свойств ПИ; формы залегания и числа рудных тел (пластов); геологических свойств ПИ и вмещающих пород; гидрогеологических условий. Наличие природных флюидов	Повышение достоверности: горно-геологических условий; технологических и геомеханических свойств полезных ископаемых и пород; геодинамических характеристик горного массива; гидродинамических режимов подземных вод. Нейтрализация вредных веществ	Перевод запасов в более высокую степень разведанности. Инструментальный мониторинг	$C_2 \rightarrow C_1 \rightarrow B \rightarrow A$	Технико-экономическое обоснование кондиций с учетом результатов доразведки

Продолжение таблицы 1

<p>Технологические, условия, зависящие от производственной структуры горнодобывающего комплекса</p>	<p>Карьерное пространство</p>	<p>Оползни уступов и бортов; нарушение транспортных, энергетических и других коммуникаций; обводненность и затопление рабочей зоны; опасное загрязнение карьерной атмосферы</p>	<p>Увеличение ширины площадок и берм безопасности; уменьшение угла откоса уступов; создание подпора; разделения уступов на подступы. Реконструкция водоотлива</p>	<p>Отсутствие оползней уступов и бортов. Состояние рабочей зоны карьера, обеспечивающее плановую добычу сырья. Визуальное и инструментальное наблюдение за состоянием бортов, уступов, откосов и водоотлива</p>	<p>Углы наклона бортов и откосов уступов, учитывающие: прочностные свойства пород и горного массива; обводненность борта и поровое давление в породном массиве; коэффициенты фильтрации; интенсивность водопритока. Определение устойчивых углов бортов и откосов уступов с использованием моделей и/или функциональных закономерностей или корреляционных зависимостей с указанием их доверительных интервалов</p>	<p>Мониторинг: прочностных свойств пород и горного массива; структур различных рангов; гидрогеодинамических режимов подземных вод и источников их питания; вторичного НДС в приконтурной зоне; параметров буровзрывных работ при установке уступов в предельное состояние</p>
	<p>Приконтурная зона карьера</p>	<p>Заколы в бортах. Проседание поверхности</p>	<p>Формирование устойчивого положения бортов карьера за счет: расширения площадок на уступах; уменьшения угла откоса уступов; разделения уступов на подступы</p>	<p>Отсутствие деформаций в приконтурной зоне. Комплекс маркшейдерских, геотехнических, гидрогеологических наблюдений. Визуальные и инструментальные наблюдения за состоянием бортов</p>	<p>Углы наклона бортов и откосов уступов, учитывающие: вторичное НДС в приконтурной зоне; гидрогеодинамический режим подземных вод и источников их питания; коэффициенты интенсивности водопритока</p>	<p>Мониторинг: прочностных свойств горного массива; вторичного НДС в приконтурной зоне; гидрогеодинамического режима подземных вод и источников их питания; коэффициентов фильтрации</p>

Продолжение таблицы 1

Факторы риска	Объекты рисков	Виды рисков	Способ снижения риска	Индикаторы защищенности		Способы оценки
				вербальный	количественный	
Технологические, условия, зависящие от производственной структуры горнодобывающего комплекса	Отвалы	Нарушение устойчивости: оползни отвальных уступов; выдавливание основания; проседание поверхности отвала	Уменьшение углов откоса и высоты отвала. Создание предотвала. Учет: наклона поверхности основания; наличия подработанного пространства	Устойчивое и рабочее состояние отвала. Комплекс маршейдерских, геотехнических, гидрогеологических наблюдений	Оценка адекватности фактических условий отвалообразования проектным. Оценка НДС отвалов и их оснований	Мониторинг: физико-механических свойств пород отвала; гидродинамического режима в теле отвала
	Дробильно-обогажительная фабрика (ДОФ)	Отклонение от планового: фактического содержания компонентов в концентрате и хвостах; извлечения металла в концентрат и потерь в хвостах	Корректировка режима обогащения на основе уточненных геоданных	Контроль за стабильностью технологического процесса	Отклонения содержания в готовой продукции и хвостах, выход концентрата	Уточнение: технологических свойств полезного ископаемого; химического состава; структурно-текстурного строения

Окончание таблицы 1

Технологические, условия, зависящие от производственной структуры горнодобывающего комплекса	Гидроотвалы, хвосто- и шламоохранилища, пруды-накопители	Деформация тела, поверхности и внешних откосов дамбы; оползание склонов; переливы воды через гребень дамбы; увеличение объема фильтра	Мониторинг водного режима и отклонений от допустимых технологических параметров гидроотвальных работ. Исключение подземной подработки естественного основания	Устойчивое положение внешних откосов. Объем фильтра	Прочностные свойства пород дамбы. Уровень депрессионной поверхности. Гидравлическое давление в основании дамбы. Коэффициент фильтрации. Поровое давление. Горизонтальные смещения в откосе	Методы гидрогеомеханического, маркшейдерского и технологического контроля. Разработка гидрофиль-грационной модели, учитывающей поровое давление
Экологические	Окружающая среда: земельные, лесные, охотничьи и рыбные ресурсы; открытые и подземные водоемы, грунтовые воды; окружающий атмосферный воздух	Нарушение ландшафта; загрязнение почв и техногенных грунтов; загрязнение открытых и подземных водоемов, грунтовых вод; нарушение гидрогеохимических процессов на горно-промышленной территории; истощение минеральных и водных ресурсов	Создание искусственных геохимических барьеров. Имобилизация тяжелых металлов. Мероприятия по нейтрализации кислых вод. Обустройство каскада прудов-осветлителей	Нормы ПДК	Уровни ПДК для разных объектов внешней среды	Мониторинг концентраций. Разработка методов снижения негативных явлений и процессов

в непредсказуемости получения достоверных результатов, вероятность которых не гарантирована даже при использовании в расчетах точных значений аргументов (параметров и показателей).

Негативные явления при недропользовании, проявляющиеся в виде деформаций бортов и отвалов, обрушения отдельных уступов или их групп, разрушения транспортных и энергетических коммуникаций, камнепада, отклонения технологического процесса обогащения от запроектированного, нарушения техногенных объектов и эколого-биологической среды целесообразно классифицировать как техногенные катастрофы индустриального характера.

Систематизация рисков, сопровождающих разработку месторождений твердых полезных ископаемых, по инфраструктурным, геологическим, технологическим и экологическим факторам позволяет выявить движущую силу конкретного негативного процесса, на этапе его зарождения и развития определить характеристики и разработать мероприятия по управлению.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Моисеев Н. Н. Судьба цивилизации. Путь Разума. М.: МНЭПУ, 1998. 228 с.
2. He X., Montillet J., Fernandes R., Bos M., Yu K., Hua X., Jiang W. Review of current GPS methodologies for producing accurate time series and their error sources // *Journal of Geodynamics*. 2017. Vol. 106. P. 12–29.
3. Ланцов А. Е. Инфраструктура: понятие, виды и значение // *Экономика, статистика и информатика*. 2013. № 3(47). С. 47–52.
4. Фомичев Е. С. Риски в сфере основной деятельности горнодобывающих предприятий // *Горная промышленность*. 2003. № 6(48). С. 23–27.
5. Боярко Г. Ю. Стратегические отраслевые риски горно-добывающей промышленности: автореф. дис. ... д-ра экон. наук. Томск, 2002. 43 с.
6. Смирнова В. И., Скороход А. Ю. Операционные риски, объекты и источники возникновения // *Novainfo*. 2017. № 64. С. 135–138. URL: <https://novainfo.ru/article/12827> (дата обращения: 13.04.2022).
7. Десять рисков для компаний металлургической и горнодобывающей отраслей. URL: <http://finance.tltnews.ru/news/article20C38/default.asp> (дата обращения: 26.08.09).
8. Лушников В. Н., Селиванов Д. А., Бережной В. П. Надежность прогнозирования геотехнических рисков при ведении открытых горных работ // *Горный журнал*. 2023. № 1. С. 4–13.
9. Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П., Сабянин Г. В. Методология определения сложности структуры рудных месторождений как объекта разработки // *ФТПРПИ*. 2012. № 6. С. 75–86.
10. Господариков А. П., Киркин А. П., Трофимов А. В., Ковалевский В. Н. Определение физико-механических свойств горных пород при применении противоударных разгрузочных мероприятий // *Горный журнал*. 2023. № 1. С. 26–34.
11. Hoek E., Brown E. T. The Hoek-Brown failure criterion and GSJ // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2018. Vol. 11. Iss. 3. P. 445–463.
12. Мазуров Б. Т. Математическое моделирование при исследовании геодинамики. Новосибирск: Сибпринт. 2019. С. 59, 282, 291.
13. Цветкова А. Ю. Обзор основных рисков предприятий горнодобывающей и металлургической отраслей в современных условиях // *Записки горного института*. 2011. Т. 194. С. 339–342.
14. Шаклеин С. В., Рогова Т. Б. Оценка риска пользования недрами. Кемерово, 2009. 123 с.
15. Зубков А. В., Сентябов С. В. Астрофизическая и другие компоненты напряжений горных массивов // *Известия вузов. Горный журнал*. 2022. № 2. С. 70–81. DOI: 10.21440/0536-1028-2022-3-70-81
16. Hoek E., Brown E. T. The Hoek-Brown failure criterion and GS1 – 2018 edition // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2018. P. 1–19.
17. Руководство по проектированию бортов карьера / [Питер Стейси и др.]; под ред. Джона Рида, Питера Стейси; пер. с англ. Екатеринбург: Правовед: Полиметалл, 2015. 527 с.
18. Кубиньски В., Петров А., Сала Д., Савон Д. Ю. Анализ рисков в горнодобывающей промышленности, связанных с безопасностью работы // *ГИАБ*. 2017. № 11. С. 168–176.
19. Диев В. С. Философская парадигма риска // *ЭКО*. 2008. № 11. С. 27–39.

Поступила в редакцию 20 февраля 2023 года

#### Сведения об авторах:

**Аленичев Виктор Михайлович** – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник аналитической группы Института горного дела УрО РАН. E-mail: [alenichev@igduran.ru](mailto:alenichev@igduran.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4303-728X>

## Systematization of industrial technogenic risks at mining enterprises

Viktor M. Alenichev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

### Abstract

**Research objective** is to develop a general approach to systematizing the signs of mining territories, natural and man-made features safety.

**Research relevance** is due to the need to ensure the safety of economic activity in the territory of mining.

**Methods of research.** Subsoil use implies taking into account multiple factors that lead to the risk of decisions implementation. Risk is considered as a potential, numerically estimated probability of the unfavorable events (situations), their consequences in the form of accidents, human casualties, losses, damages, material losses, etc. Risk is a quantitative assessment of the hazards characterizing a situation with uncertain outcome and obligatory manifestation of unfavorable consequences. It is advisable to assess the safety status of any mining enterprise site by a number of indicators that characterize the system's resilience to negative impacts caused by infrastructural, natural, geological, technological, economic and financial factors. The risk situation caused by statistical processes is associated with accompanying conditions: the presence of uncertainty, the need for an alternative choice, and the possibility of accepted options (alternatives) probabilistic evaluation. Negative phenomena in subsoil use are manifested in the form of deformation of pit walls and dumps, collapse of an individual or a group of pit benches, destruction of transport lines and power supply utilities, rockfall, beneficiation process flow deviations from the designed one, violations of man-made features and the ecological and biological environment, which should be interpreted as man-made disasters of an industrial nature.

**Results.** The classification of risks as a multidimensional category is justified by the factors (causes) of occurrence, the driving force of which generates a negative process and determines its characteristics or individual features.

**Conclusions.** The systematization of various risks based on infrastructural, mining-geological, process flow and environmental factors ensures, at the initial stage of risk formation, the determination of their characteristics and the development of a system of management measures to ensure the sustainable functioning of a mining enterprise.

**Keywords:** risk; monitoring; infrastructural factors; geological factors; process factors; geomechanical factors; environmental factors; types of risks; safety indicators; man-made features.

**The research** has been carried out on theme 2 (State task no. 075-00412-22PR), registration number 123012300006-0.

### REFERENCES

1. Moiseev N. N. *The fate of civilization. The Path of Reason*. Moscow: MNEPU Publishing; 1998. (In Russ.)
2. He X., Montillet J., Fernandes R., Bos M., Yu K., Hua X., Jiang W. Review of current GPS methodologies for producing accurate time series and their error sources. *Journal of Geodynamics*. 2017; 106: 12–29.
3. Lantsov A. E. Infrastructure: concept, types and value. *Ekonomika, statistika i informatika = Economics, Statistics and Computer Science*. 2013; 3 (47): 47–52. (In Russ.)
4. Fomichev E. C. Risks in the sphere of the main activity of mining enterprises. *Gornaia promyshlennost = Mining Industry*. 2003; 6(48): 23–27. (In Russ.)
5. Boiarko G. Iu. *Strategic sectoral risks of the mining industry: DSc in Economics abstract of diss.* Tomsk; 2002. (In Russ.)
6. Smirnova V. I., Skorokhod A. Iu. Operational risks, objects and sources of occurrence. *NovaInfo*. 2017; 64: 135–138. (In Russ.) Available from: <https://novainfo.ru/article/12827> [Accessed 13 April 2022].
7. *Ten risks for companies in the metallurgical and mining industries*. (In Russ.) Available from: <http://finance.tltnews.ru/news/article20C38/default.asp> [Accessed 26 August 2009].
8. Lushnikov V. N., Selivanov D. A., Berezhnoi V. P. Reliable prediction of geotechnical risks in open pit mining. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2023; 1: 4–13. (In Russ.)
9. Trubetskoi K. N., Galchenko Iu. P., Sabianin G. V. Evaluation methodology for structural complexity of ore deposits as development targets. *Fiziko-tekhicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2012; 6: 75–86. (In Russ.)

10. Gospodarikov A. P., Kirkin A. P., Trofimov A. V., Kovalevskii V. N. Determination of physical and mechanical properties of rocks using anti-burst distress measures. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2023; 1: 26–34. (In Russ.)
11. Hoek E., Brown E. T. The Hoek-Brown failure criterion and GSI. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2018; 11(3): 445–463.
12. Mazurov B. T. *Mathematical modelling in geodynamics research*. Novosibirsk: Sibprint Publishing; 2019. p. 59, 282, 291. (In Russ.)
13. Tsvetkova A. Iu. Overview of the main risks of mining and metallurgical enterprises. *Zapiski gornogo instituta = Journal of Mining Institute*. 2011; 194: 339–342. (In Russ.)
14. Shaklein S. V., Rogova T. B. *Assessment of the risk of subsoil use*. Kemerovo; 2009. (In Russ.)
15. Zubkov A. V., Sentiabov S. V. Astrophysical and other components of rock mass stress. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2022; 2: 70–81. (In Russ.) Available from: doi: 10.21440/0536-1028-2022-3-70-81
16. Hoek E., Brown E. T. The Hoek-Brown failure criterion and GSI – 2018 edition. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2018: 1–19
17. Peter Stacy et al. *Guide to the design of quarry sides. Translation from English*. Ekaterinburg: Pravoved: Polimetall Publishing; 2015. (In Russ.)
18. Kubinski V., Petrov A., Sala D., Savon D. Iu. Analysis of hazards in the mining industry. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tehnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2017; 11: 168–176. (In Russ.)
19. Diev V. S. Philosophical paradigm of risk. *ECO*. 2008; 11: 27–39. (In Russ.)

Received 20 February 2023

#### Information about the author:

**Viktor M. Alenichev** – DSc (Engineering), Professor, chief researcher of the analytical group, Institute of Mining UB RAS. E-mail: alenichev@igduran.ru

**Для цитирования:** Аленичев В. М. Систематизация техногенных рисков индустриального характера на горнодобывающих предприятиях // Известия вузов. Горный журнал. 2023. № 3. С. 97–112. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-3-97-112

**For citation:** Alenichev V. M. Systematization of industrial technogenic risks at mining enterprises. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2023; 3: 97–112 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2023-3-97-112