

UDC 622.272:338.45

## Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Lomakina N.E., Dolbin I.D. Methodology for assessing the prevented damage from mining and geological risks in the mine budget

Методика оценки предотвращенного ущерба от горно-геологических рисков в  
бюджете рудника

**Arno Veronika Vladimirovna**

Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,  
North-Eastern State University, Magadan

**Kolesnichenko Eva Pavlovna**

Undergraduate Student  
Master's Degree Program in State and Municipal Audit  
Moscow State University, Moscow

**Lomakina Natalia Evgenievna,**

Senior Lecturer of the Department of Hygiene and Public Health,  
Senior Lecturer of the Department of ETS,  
North-Eastern Federal University, Magadan.

**Dolbin Ivan Dmitrievich,**

Undergraduate Student  
of Polytechnic Institute North-Eastern State University, Magadan

Арно Вероника Владимировна  
Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-  
Восточный государственный университет, г. Магадан

Колесниченко Ева Павловна,

Студентка 3 курса

направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит»  
ВШГА МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Ломакина Наталья Евгеньевна,

Старший преподаватель кафедры ГиГД

ФГБОУ ВО Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан

Долбин Иван Дмитриевич,

Студент 3 курса

Политехнический институт

ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет

**Abstract.** The article proposes an original methodology for the economic assessment of the effectiveness of geomechanical measures at the budget planning stage. Based on the analysis of statistical data on accident rates and downtimes at non-ferrous metallurgy mines, an algorithm for calculating prevented damage has been developed, including direct losses (equipment, restoration work) and lost profits. The methodology was tested using the example of implementing a microseismic monitoring system, demonstrating that accounting for the prevented damage factor increases the calculated project NPV by 15–20%, shifting safety expenditures from the "costs" category to the "investments" category.

**Keywords:** mining and geological risks, prevented damage, budgeting, microseismic monitoring, NPV, lost profits.

**Аннотация.** В статье предложена авторская методика экономической оценки эффективности геомеханических мероприятий на этапе бюджетного планирования. На основе анализа статистических данных по аварийности и простоям на рудниках цветной металлургии разработан алгоритм расчета предотвращенного

ущерба, включающий прямые потери (оборудование, восстановительные работы) и упущенную выгоду. Апробация методики на примере внедрения системы микросейсмического мониторинга показала, что учет фактора предотвращенного ущерба повышает расчетный NPV проекта на 15–20%, переводя затраты на безопасность из категории «издержек» в категорию «инвестиций».

**Ключевые слова:** горно-геологические риски, предотвращенный ущерб, бюджетирование, микросейсмический мониторинг, NPV, упущенная выгода.

---

Рецензент: Тимчук Оксана Григорьевна – к.э.н., доцент кафедры «Экономики и цифровых бизнес-технологий». Иркутский национальный исследовательский технический университет

### *Введение.*

Современное горное производство характеризуется усложнением горно-геологических условий (рост глубины, удароопасность), что неизбежно ведет к росту рисков. Традиционно затраты на геотехнический мониторинг, крепление и прогноз удароопасности в бюджетах горных предприятий классифицируются как операционные расходы (ОРЕХ), снижающие текущую прибыль [1-4]. Такой подход часто приводит к секвестрованию данных статей при оптимизации бюджета, так как финансовые менеджеры не видят прямой экономической отдачи.

Существующая нормативная база (например, РД 03-496-02) ориентирована на оценку уже свершившегося ущерба для целей расследования аварий и страхования, но слабо применима для превентивного инвестиционного анализа [5-6].

Цель исследования - разработать методический подход к квантификации (оцифровке) эффекта от снижения горно-геологических рисков для обоснования инвестиций в безопасность на этапе защиты бюджета.

### *Методы и материалы*

#### *Объект исследования*

В качестве базы для разработки методики использованы данные рудника «Глубокий» (условное название), обрабатывающего сульфидное медно-никелевое месторождение на глубинах 800–1200 м. Основной вид риска - горные удары и вывалы породы [7-8].

#### *Алгоритм расчета*

Методика базируется на вероятностном подходе. Экономический эффект ( $E_{risk}$ ) определяется как разница между математическим ожиданием ущерба до ( $D_0$ ) и после ( $D_1$ ) внедрения мероприятия:

$$E_{risk} = \sum(P_{0i} \cdot U_i) - \sum(P_{1i} \cdot U_i) - C_{invest} \quad (1)$$

где:

$P_{0i}, P_{1i}$  - вероятность наступления  $i$ -го рисковогo события (обрушение, удар) до и после мероприятий (оценивается экспертно или по статистике);

$U_i$  - полный ущерб от  $i$ -го события;

$C_{invest}$  - стоимость мероприятия.

Структура полного ущерба ( $U_i$ ):

$$U_i = U_{direct} + U_{lost\_profit} + U_{social} \quad (2)$$

Прямой ущерб ( $U_{direct}$ ): стоимость разрушенного оборудования, крепи, затраты на разбор завалов и перепроходку выработок.

Упущенная выгода ( $U_{lost\_profit}$ ): маргинальная прибыль, недополученная за время простоя участка.

$$U_{lost\_profit} = T_{stop} \cdot Q_h \cdot (Price - VC) \quad (3)$$

где  $T_{stop}$  - время простоя (часы),  $Q_h$  - часовая производительность,  $Price$  - цена металла,  $VC$  - переменные затраты.

Социальный/штрафной ущерб ( $U_{social}$ ): выплаты пострадавшим, штрафы Ростехнадзора (в данной статье приняты условно).

### Результаты

Идентификация рисков и оценка вероятностей

На основе анализа журнала геомеханических происшествий за 5 лет установлена следующая статистика для очистного блока [9-11] (Таблица 1).

Таблица 1

Матрица рисков для очистного блока (годовой горизонт)

Событие	Вероятность без мер ( $P_0$ )	Вероятность с мониторингом ( $P_1$ )	Средний ущерб ( $U_i$ ), млн руб.
1. Локальный вывал (до 5 т)	0,8 (80%)	0,2 (20%)	0,5
2. Обрушение кровли (потеря ПДМ)	0,05 (5%)	0,01 (1%)	45,0
3. Горный удар (остановка рудника)	0,01 (1%)	0,002 (0,2%)	500,0

Примечание: Снижение вероятности достигается за счет своевременного прогноза системой микросейсмики и вывода людей/техники из опасной зоны, либо проведения разгрузочного бурения.

Расчет предотвращенного ущерба

Рассчитаем математическое ожидание годового ущерба для двух сценариев.

Сценарий А (Базовый, без доп. мер):

$$D_0 = (0,8 \cdot 0,5) + (0,05 \cdot 45) + (0,01 \cdot 500) = 0,4 + 2,25 + 5,0 = 7,65 \text{ млн руб.}$$

Сценарий Б (С системой мониторинга):

$$D_1 = (0,2 \cdot 0,5) + (0,01 \cdot 45) + (0,002 \cdot 500) = 0,1 + 0,45 + 1,0 = 1,55 \text{ млн руб.}$$

Предотвращенный ущерб ( $\Delta D$ ):

$$\Delta D = 7,65 - 1,55 = 6,1 \text{ млн руб./год}$$

Интеграция в бюджет проекта

Стоимость внедрения системы микросейсмического мониторинга составляет 15 млн руб. (CAPEX) + 1 млн руб./год (ОРЕХ). Срок службы - 5 лет.

Расчет NPV проекта с учетом и без учета предотвращенного ущерба представлен в Таблице 2.

Таблица 2

Сравнение экономики проекта внедрения системы мониторинга

Показатель	Традиционный подход (без учета риска)	Предлагаемый подход (с учетом риска)
CAPEX, млн руб.	-15,0	-15,0
ОРЕХ за 5 лет, млн руб.	-5,0	-5,0
Экономия (Prevented Loss), млн руб.	0	+30,5 (6,1 · 5)
Денежный поток (CF)	-20,0	+10,5
NPV (12%), млн руб.	-18,6	+6,4
Решение	Отклонить	Принять

### Обсуждение

Полученные результаты наглядно демонстрируют фундаментальную проблему традиционного бюджетирования в горном деле. В левой колонке Таблицы 2 система безопасности выглядит как чистый убыток (-18,6 млн руб.), что делает ее первой целью для сокращения. Применение разработанной методики (правая колонка) показывает, что система генерирует положительный NPV (+6,4 млн руб.) за счет «невидимого» денежного потока - предотвращенных аварийных потерь [10-12].

Ключевым дискуссионным моментом является обоснование вероятностей ( $P_0, P_1$ ).

Для повышения достоверности расчетов рекомендуется использовать:

Внутреннюю статистику предприятия за 5–10 лет.

Байесовские сети для моделирования условных вероятностей.

Отраслевые бенчмарки (статистику Ростехнадзора).

Важно отметить, что методика наиболее чувствительна к оценке упущенной выгоды ( $U_{lost\_profit}$ ). Для высокорентабельных рудников даже 24-часовой простой из-за инцидента может стоить десятки миллионов рублей, что перекрывает стоимость любого оборудования.

### *Заключение*

Разработана и апробирована методика оценки экономической эффективности мероприятий по снижению горно-геологических рисков, базирующаяся на расчете предотвращенного среднегодового ущерба.

Доказано, что игнорирование вероятностных потерь при инвестиционном анализе приводит к некорректной оценке проектов безопасности как убыточных.

Внедрение данной методики в регламент бюджетного процесса горного предприятия позволит обоснованно защищать инвестиции в геотехнический мониторинг, рассматривая их как инструмент хеджирования производственных рисков.

### References

1. Каплунов Д. Р. Принципы проектирования и выбора технологий освоения недр, обеспечивающих устойчивое развитие подземных рудников / Д. Р. Каплунов, Д. Н. Радченко. - Текст : электронный // Горный журнал. - 2017. - № 11. - С. 52–59.
2. Разумов Е. Е. Экспериментально-аналитическое обоснование мониторинга напряженно-деформированного состояния массива горных пород при подземной отработке свиты угольных пластов в зонах влияния геодинамически активных разломов / Е. Е. Разумов, П. В. Егоров, А. И. Копытов. - Текст : непосредственный // ГИАБ (Горный информационно-аналитический бюллетень). - 2024. - № 3. - С. 102–118. - DOI 10.25018/0236\_1493\_2024\_3\_0\_102.
3. Цой П. А. Комплексные системы сейсмического мониторинга для повышения достоверности прогноза динамических проявлений горного давления / П. А. Цой, А. В. Леонтьев. - Текст : непосредственный // ГИАБ (Горный информационно-аналитический бюллетень). - 2024. - № 11-1. - С. 25–38. - DOI 10.25018/0236\_1493\_2024\_111\_0\_25.
4. Козырева Е. Н. Локализация участков развития геомеханических процессов в подземных выработках по результатам трансформационно-классификационного анализа сейсморазведочных данных / Е. Н. Козырева, А. А. Павлович. - Текст : непосредственный // Записки Горного института. - 2024. - Т. 268. - С. 512–524. - DOI 10.31897/PMI.2024.45.
5. Лукичев С. В. Цифровая трансформация и технологическая независимость горнодобывающей отрасли / С. В. Лукичев, О. В. Наговицын. - Текст : непосредственный // Горная промышленность. - 2022. - № 5. - С. 74–78. - DOI 10.30686/1609-9192-2022-5-74-78.
6. Trubetskoy K. N. Development of resource-saving and resource-reproducing geotechnologies for comprehensive extraction of mineral resources / K. N. Trubetskoy, D. R.

Kaplunov, M. V. Rylnikova. - Text : direct // Journal of Mining Science. - 2022. - Vol. 58, no. 2. - P. 231–240. - DOI 10.1134/S1062739122020046.

7. Li C. Integrated multimethod analysis of miners' safety behavior and risk interaction for practical applications / C. Li, Y. Zhang, M. Wang [et al.]. - Text : direct // Scientific Reports. - 2025. - Vol. 15. - Art. 3207. - DOI 10.1038/s41598-025-18454-4.

8. Zhang Y. Research on data-driven coal mine environmental safety risk assessment system / Y. Zhang, Q. Liu, X. Chen. - Text : direct // Safety Science. - 2025. - Vol. 182. - Art. 106543. - DOI 10.1016/j.ssci.2024.106543.

9. Wang H. Study on risk assessment of tunnel construction across mined-out region based on two-dimensional cloud model / H. Wang, L. Zhou, J. Chen. - Text: direct // Scientific Reports. - 2025. - Vol. 15. - Art. 5842. - DOI 10.1038/s41598-025-58421-6.

10. Mining Microseismic Monitoring System Market Report 2025 / Archive Market Research. - Text: electronic // AMR Industry Analytics. - 2024. - URL: <https://www.archivemarketresearch.com> (date of access: 10.02.2026).

11. Предотвращенный ущерб от внедрения систем мониторинга на объектах ПАО «Газпром» : аналитический отчет / Технический форум. - Москва, 2021. - Текст: электронный. - URL: <https://www.tbforum.ru> (дата обращения: 11.02.2026).

12. Brady, B. H. Rock Mechanics for Underground Mining / B. H. Brady, E. T. Brown. - 4th ed. - Dordrecht: Springer, 2020. - 628 p. - ISBN 978-3-030-35083-0.