

ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯМИ, ОТРАСЛЯМИ, КОМПЛЕКСАМИ

УДК 622.271:338.45

Арно В.В., Колесниченко Е.П., Гарифулина И.Ю., Гузенко А.Д.
**Оценка экономических последствий несоответствия
фактических и проектных объёмов горных работ на карьере**

**Assessing the Economic Consequences of Deviations between Actual and Design Mining
Volumes in an Open Pit**

Арно Вероника Владимировна,

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

Колесниченко Ева Павловна,

Студентка 4 курса направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит»
ВШГА МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Гарифулина Ирина Юрьевна,

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

Гузенко Алексей Дмитриевич,

Студент 3 курса

Политехнический институт

ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет

Arno Veronika Vladimirovna

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

University, Magadan

Kolesnichenko Eva Pavlovna

Undergraduate Student, State and Municipal Audit Programme, Moscow State University,
Moscow

Garifulina Irina Yurievna,

Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,

North-Eastern State University, Magadan

Guzenko Aleksey Dmitrievich,

Undergraduate Student

of Polytechnic Institute North-Eastern State University, Magadan

Аннотация. Цель исследования – разработать методику экономической оценки расхождений между фактическими и проектными объёмами горных работ, исключая смешение производственного отклонения и ошибки учёта. Используются методы проектно-фактического сопоставления поверхностей, факторного анализа переменных затрат, расчёта маржинального дохода и сценарной оценки предотвращаемых последствий. Разработаны десять расчётных зависимостей и модельный пример годового периода. При проектном объёме руды 100 тыс. м³ и фактическом 94 тыс. м³ недобор составляет 6 тыс. м³, или 16,2 тыс. т при плотности 2,7 т/м³.

Дополнительная вскрыша 18 тыс. м³, повторная перегрузка и восстановительные работы обуславливают прямые затраты 6,45 млн руб. Неполученный маржинальный доход при заданном условии невосполнимого в расчётном периоде дефицита равен 29,16 млн руб.; совокупное неблагоприятное последствие – 35,61 млн руб. Учётное завышение на 1,20 млн руб. представлено отдельно и не включено в ущерб. Показано, что при частичном предотвращении последствий и годовых расходах на контроль 1,20 млн руб. чистый модельный эффект составляет 23,082 млн руб./год. Результаты являются расчётными сценариями, а не данными действующего предприятия.

Ключевые слова: открытые горные работы, карьер, проектные объёмы, фактические объёмы, маркшейдерский контроль, экономические последствия, маржинальный доход, вскрыша, неопределённость измерений, двойной счёт.

Abstract. The study develops a framework for assessing the economic consequences of deviations between actual and design mining volumes while separating production deviations from accounting errors. The methodology combines surface reconciliation, incremental cost analysis, contribution margin assessment and preventive-control scenarios. A hypothetical annual case is analysed using ten calculation relationships. Design ore volume is 100,000 m³ and actual ore volume is 94,000 m³, giving a shortfall of 6,000 m³ or 16,200 tonnes at an in-situ density of 2.7 t/m³. Additional waste excavation, rehandling and restoration generate direct costs of RUB 6.45 million. Under the explicitly assumed unrecoverable output shortfall within the assessment period, foregone contribution margin equals RUB 29.16 million and total adverse consequences equal RUB 35.61 million. An accounting overstatement of RUB 1.20 million is reported separately and is not added to operating losses. With partial prevention and annual monitoring expenditure of RUB 1.20 million, the hypothetical net annual benefit is RUB 23.082 million. These values represent model scenarios, not measured enterprise results.

Keywords: open-pit mining, design volumes, actual volumes, mine surveying, economic consequences, contribution margin, waste removal, measurement uncertainty, double counting.

Рецензент: Пучкова Ольга Сергеевна – кандидат экономических наук. Доцент кафедры прикладной информатики. ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Введение.

Сопоставление фактических и проектных объёмов горных работ необходимо не только для контроля выполнения плана, но и для оценки влияния отклонений на производственную программу и финансовый результат. Однако одинаковое процентное расхождение может иметь различный смысл: дополнительная вскрыша увеличивает затраты, перенос отработки блока меняет сроки денежного потока, а ошибка геопривязки изменяет отчётный объём без соответствующего физического перемещения горной массы.

В исследованиях цепочки mine-to-mill показано, что изменение потерь и разубоживания влияет на транспортирование, усреднение и переработку руды; экономические последствия необходимо оценивать по всей технологической цепочке, а не по одному переделу [1]. При этом объёмное расхождение само по себе не доказывает ни потери полезного компонента, ни разубоживание: для такого вывода нужны геологическая модель, опробование и подтверждённая классификация материалов.

Методика измерений также влияет на результат. Ajaui и соавторы рассматривают повторяемость подсчёта объёмов по БПЛА-данным и значение базовой поверхности [2]. Полученное авторами расхождение 0,81 % характеризует сравнение двух расчётных

методов относительно программного результата, а не доказанную точность относительно известного физического объёма. Это различие важно для экономической интерпретации.

Цель статьи — разработать воспроизводимую методику разделения и оценки производственных, временных и учётных последствий несоответствия фактических и проектных объёмов. Научно-методический вклад состоит в согласовании геометрической проверки с моделью приращения затрат и маржинального результата, исключаящей двойной счёт. Работа представляет модельное исследование: натурная съёмка, экспертный опрос и проверка финансовых данных предприятия не проводились.

Материалы и методы.

Расчётный период — один год. Все объёмы добычи и вскрыши относятся к состоянию в целике; повторная перегрузка учитывается как отдельная операция в эквивалентных исходных единицах. Реальные расценки, свойства пород, договорные условия и налогообложение не использованы. Численные значения выбраны для демонстрации причинно-следственной связи и не являются нормативами.

Перед оценкой выполняются четыре проверки: совпадение дат и расчётных контуров; единая система координат и высот; совпадение версии проекта; сопоставимость состояния материала. Нельзя напрямую сравнивать кубометры в целике с кубометрами разрыхлённой горной массы. Для разрыхлённого материала нужна собственная объёмная масса или подтверждённый коэффициент разрыхления. Плотность руды и плотность вскрышных пород оцениваются отдельно.

Таблица 1

Классификация несоответствий и экономических каналов

Вид	Подтверждение	Экономическая трактовка
Недобор руды	Контур + классификация + календарный план	Маржинальный эффект или перенос денежного потока
Избыточная вскрыша	Объём и отсутствие проектной необходимости	Приращение переменных затрат
Повторная перегрузка	Диспетчерские записи; отдельные рейсы	Дополнительная операция, не новый объём выемки
Несовпадение сроков	Даты съёмки и движения материала	Временная разница, не автоматический ущерб
Ошибка учёта	Контроль геопривязки и базы	Корректировка оценки, не физический ущерб

Таблица 1 показывает, что экономизация начинается после атрибуции причины. Избыточную вскрышу нельзя считать неэффективной, если она обеспечивает будущий фронт работ и согласована с проектом; недобор нельзя считать потерянной выручкой, если поставка компенсирована складом или перенесена без снижения выпуска.



Рисунок 1 — Последовательность проверки и экономической оценки (разработка автора)

Абсолютное и относительное расхождения по виду работ j определяются как

$$\Delta V_j = V_{ф,j} - V_{п,j}; \delta_j = \frac{\Delta V_j}{V_{п,j}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

где $V_{ф,j}$ и $V_{п,j}$ — фактический и проектный объёмы, m^3 ; знаменатель должен быть положительным. При нулевом проектном объёме используется абсолютное расхождение, а процент не рассчитывается.

Геометрическая оценка строится на общей базовой поверхности Z_0 и поверхности конца периода:

$$V = \sum_i A_i \max(Z_{0,i} - Z_{1,i}; 0) \quad (2)$$

где A_i — площадь ячейки, m^2 . Насыпь рассчитывается отдельно с обратным знаком разности. Отрицательные ячейки нельзя автоматически вычитать из выемки, если требуется учёт отдельных операций. Систематический сдвиг высот b на площади A создаёт ошибку $\Delta V = Ab$; этот эффект сначала проверяется инструментально и не принимается за производственный перебор [2, 3].

$$\Delta Q_p = \max(V_{п,p} - V_{ф,p}; 0) \cdot \rho_p \quad (3)$$

где ΔQ_p — дефицит руды, т; ρ_p — плотность руды в целике, t/m^3 . Для модели принято отсутствие замещения дефицита складскими запасами, другой рудой и сверхплановой добычей до окончания периода.

$$C_{доп} = \Delta V_{в+} c_{в} + V_{повт} c_{повт} + C_{восст} \quad (4)$$

где $\Delta V_{в+}$ — дополнительная подтверждённая вскрыша, m^3 ; $c_{в}$ — её предельные переменные затраты, руб./ m^3 ; $V_{повт}$ — отдельно подтверждённый объём повторной перегрузки; $c_{повт}$ — затраты этой дополнительной операции; $C_{восст}$ — восстановительные расходы. Если расценка на вскрышу уже включает перегрузку или восстановление, соответствующие компоненты исключаются.

$$M_{уп} = \Delta Q_p \cdot m; m = r_{нетто} - c_{пер} \quad (5)$$

где m — маржинальный доход на тонну руды, руб./т; $r_{нетто}$ — доход на тонну с учётом содержания, извлечения и коммерческих условий; $c_{пер}$ — избежанные переменные затраты полного цикла. Для золоторудного объекта m не равен цене металла и требует отдельного расчёта. Использование маржинального дохода вместо валовой выручки исключает включение сэкономленных затрат в ущерб.

$$U_{период} = C_{доп} + M_{уп} \quad (6)$$

Это модель неблагоприятного последствия периода до налогов, без штрафов и без оценки аварийного риска. Постоянные расходы не прибавляются второй раз, если уже включены в сравниваемый финансовый результат. Разубоживание здесь не рассчитывается: качество материала не меняется по допущению.

$$\Delta S_{\text{уч}} = V_{\text{ош}} \cdot \text{суч} \quad (7)$$

где $V_{\text{ош}}$ — учётное расхождение, суч — ставка оценки. $\Delta S_{\text{уч}}$ — величина корректировки, а не дополнительный реальный ущерб. Нельзя одновременно прибавлять её к $S_{\text{доп}}$ и включать тот же объём в оплату работ.

Если выявлена фактическая переплата, она оценивается отдельным документированным денежным потоком.

$$V_{\text{пред}} = \alpha M_{\text{уп}} + \beta S_{\text{доп}} \quad (8)$$

Параметры α и β задают сценарную долю предотвращаемого последствия; они не являются эмпирически оценёнными коэффициентами эффективности съёмки. Контроль не устраняет все геологические и технологические причины.

$$E_{\text{год}} = V_{\text{пред}} - S_{\text{контр}}; T_{\text{прост}} = \frac{K_{\text{контр}}}{E_{\text{год}}} \quad (9)$$

где $S_{\text{контр}}$ — ежегодные затраты на контроль, $K_{\text{контр}}$ — начальные инвестиции. $T_{\text{прост}}$ применим при $E_{\text{год}} > 0$ и устойчивом годовом эффекте; это не календарный срок внедрения.

$$NPV = -K_{\text{контр}} + \sum_{t=1}^T \frac{E_t}{(1+d)^t} \quad (10)$$

где d — ставка дисконтирования, T — горизонт оценки. Годовые потоки предполагаются на конец года. Инфляция, налоги и остаточная стоимость в базовом сценарии не моделируются.

Результаты

Таблица 2

Исходные данные годового модельного примера

Показатель	Значение	Статус
Руда: проект / факт, м ³	100 000 / 94 000	Задано
Вскрыша: проект / факт, м ³	300 000 / 318 000	Задано
Плотность руды в целике, т/м ³	2,7	Задано
Повторная перегрузка, м ³	5 000	Отдельный поток
Стоимость доп. вскрыши, руб./м ³	250	Предельная переменная
Стоимость перегрузки, руб./м ³	150	Только доп. операция
Восстановительные расходы, млн руб.	1,20	Отдельно
Маржинальный доход, руб./т	1 800	Условный полный цикл
Учётное завышение, м ³ / руб./м ³	4 000 / 300	Не физический объём

По таблице 2 недобор руды составляет –6,0 %, а вскрышные работы превышают проект на 6,0 %. Проектная горная масса равна 400 тыс. м³, фактическая — 412 тыс. м³, то есть общий объём увеличился на 3,0 %. Общая положительная динамика скрывает недостаток руды и не доказывает улучшения производственного результата.

Таблица 3

Поэлементный расчёт экономического последствия

Компонент	Расчёт	Млн руб.
Дополнительная вскрыша	18 000 × 250	4.50
Повторная перегрузка	5 000 × 150	0.75
Восстановление	Задано	1.20
Прямые затраты	Сумма трёх строк	6.45
Дефицит руды	6 000 × 2,7 = 16 200 т	—
Неполученный маржинальный доход	16 200 × 1 800	29.16
Последствие периода	6,45 + 29,16	35.61
Учётная корректировка — отдельно	4 000 × 300	1.20

Таблица 3 даёт совокупное последствие 35.61 млн руб.; доля маржинального компонента составляет 81.9 %. Это показывает, что для заданного сценария экономический приоритет определяется обеспечением рудного потока, а не одним сокращением стоимости вскрыши. Учётная корректировка 1,20 млн руб. исключена из суммы: она характеризует величину исправления отчёта, но не подтверждает отдельного расхода предприятия.

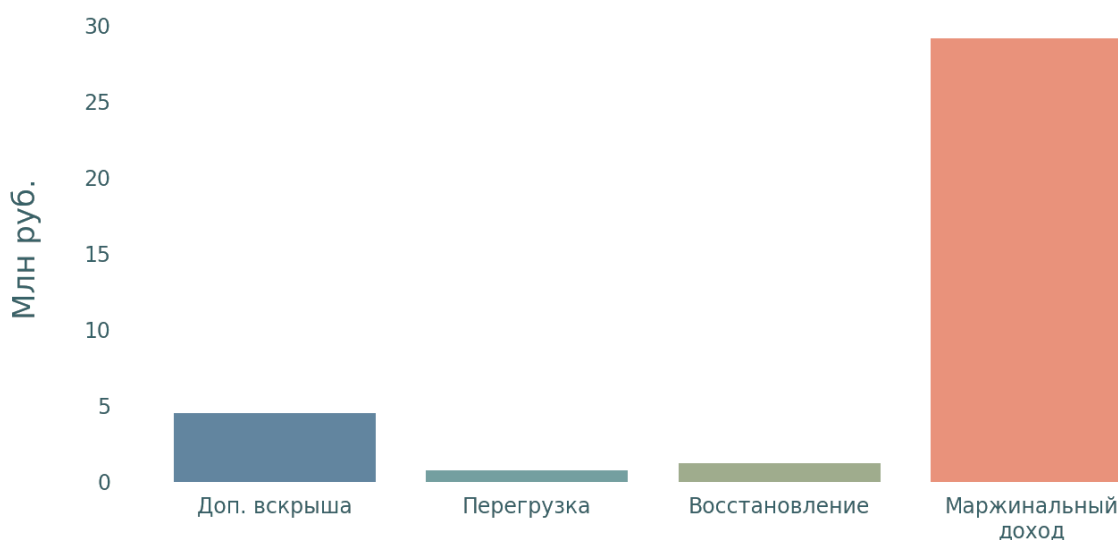


Рисунок 2 — Структура модельного экономического последствия

Если недобор восполняется в следующем году и экономическая ценность руды сохраняется, формула (5) не описывает постоянную потерю. При одинаковой марже и переносе ровно на один год стоимость задержки в текущих ценах при $d = 15\%$ составляет $29,16 - 29,16/1,15 = 3,804$ млн руб. Тогда последствие в текущей стоимости, при сохранении прямых затрат, равно 10,254 млн руб., а не 35,61 млн руб. Изменение цены, затрат и графика переработки потребует отдельного прогноза.

Таблица 4

Сценарии обращения с недобором руды

Условие	Маржинальная составляющая, млн руб.	Итог с прямыми затратами, млн руб.
Не восполнен в периоде; выпуск потерян	29,160	35,610
Весь выпуск перенесён на год; $d = 15\%$	3,804	10,254
Полная компенсация запасами без доп. затрат	0	6,450

Таблица 4 демонстрирует зависимость результата от механизма последствий. Последний сценарий предполагает, что стоимость поддержания и восстановления складского запаса не возрастает; на реальном объекте это предположение необходимо проверить. Сценарии являются альтернативными и не суммируются.

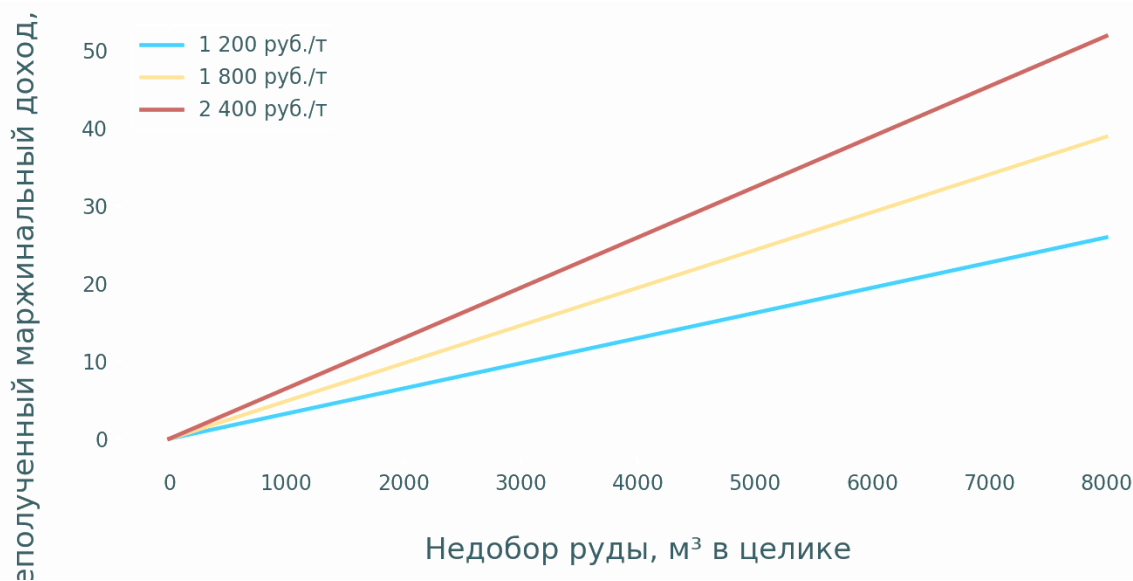


Рисунок 3 — Чувствительность неполученного маржинального дохода к недобору и марже

При недоборе 6 тыс. м³ изменение маржи с 1 800 до 1 200 руб./т снижает итог с 35,61 до 25,89 млн руб., а рост до 2 400 руб./т увеличивает его до 45,33 млн руб. Следовательно, вывод без подтвержденной маржи существенно неопределён. Расчёт

содержания и извлечения имеет не меньшее значение, чем измерение геометрического объёма [1].

Таблица 5

Модель эффекта совершенствования контроля

Показатель	Значение
Доля предотвращаемого маржинального последствия α	0,70
Доля предотвращаемых прямых затрат β	0,60
Предотвращаемое последствие, млн руб./год	24.282
Ежегодный контроль, млн руб./год	1.200
Чистый эффект, млн руб./год	23.082
Начальные инвестиции, млн руб.	3.000
Простая окупаемость, лет	0.130
NPV за 3 года при 15 %, млн руб.	49.701

По таблице 5 предотвращаемое последствие равно $0,70 \times 29,16 + 0,60 \times 6,45 = 24.282$ млн руб./год; после расходов на контроль чистый эффект — 23.082 млн руб./год. Простая окупаемость 0.130 года отражает только сценарное отношение инвестиций к равномерному годовому эффекту. При отчётных годовых денежных потоках первый положительный накопленный поток возникает в конце первого года; календарный срок запуска системы сюда не включён.

Для проверки устойчивости расчёта рассмотрена единая доля предотвращения $p = \alpha = \beta$. Безубыточность по годовому эффекту достигается при $p > 1,20/35,61 = 3,37 \%$. При $p = 10 \%$ $E_{год} = 2,361$ млн руб. и простая окупаемость составляет 1,27 года; при $p = 25 \%$ $E_{год} = 7,703$ млн руб. и окупаемость 0,39 года. Однако если исходные потери нерегулярны, эти значения не могут автоматически повторяться ежегодно.

Обсуждение

Главный методический результат состоит не в универсальной сумме ущерба, а в выделении экономического канала каждого отклонения. При одинаковом изменении объёма может возникать дополнительный расход, временное отвлечение средств, потеря выпуска либо только корректировка учётной оценки. Каждому каналу нужны собственные доказательства, единицы измерения и контрфактический сценарий «без отклонения».

Результат согласуется с подходом mine-to-mill, связывающим качество рудного потока с затратами транспортирования и переработки [1]. Вместе с тем исследование [1] посвящено потерям и разубоживанию, а настоящая модель не позволяет автоматически приравнять геометрический недобор к потерям металла. При наличии изменения качества вводится отдельный баланс металла; один и тот же эффект понижения содержания нельзя учитывать и как потерю маржи, и повторно как полную стоимость переработки той же массы.

Условно постоянные расходы при снижении выпуска могут увеличивать себестоимость тонны без увеличения общего расхода. Поэтому разница средней себестоимости, умноженная на фактический выпуск, не всегда является дополнительным денежным ущербом. Следует использовать предельные затраты и документированные изменения постоянных расходов. Аналогично стоимость запаса не равна стоимости его финансирования: отвлечение оборотного капитала и процентный расход учитываются отдельно.

Неопределённость измерений рассматривается до экономизации. Например, общий высотный сдвиг 0,03 м на площади 200 тыс. м² создаёт объёмное расхождение 6 тыс. м³, совпадающее с модельным недобором. Это не доказывает, что весь недобор ложный; пример показывает необходимость независимого контроля координат, базовой поверхности и дат. Без пространственной локализации и классификации материала ошибка не может быть приписана руде.

Полезность цифровых методов состоит в повторяемости, доступности одновременных поверхностей и возможности привязать финансовую оценку к конкретным полигонам. Сама технология БПЛА не гарантирует нормативной точности, что подтверждается различиями между оценками и условиями экспериментов [2]. Отраслевые материалы также подчёркивают роль плотности, базовой поверхности, влажности и своевременности съёмки [3]; эти материалы имеют прикладной, а не нормативный статус.

Предлагаемая программа контроля включает единый реестр проектов и эпох, независимые точки, ведомость контуров несоответствий, сверку с диспетчерскими данными, подтверждение экономических ставок и фиксацию решения. Приоритет меры определяется подтверждённым предотвращаемым эффектом, но требования безопасности не могут исключаться только из-за отрицательной окупаемости.

Ограничения работы: отсутствуют реальные измерения и финансовые документы; цена, маржа и стоимость операций заданы; α и β не оценены эмпирически; зависимость эффекта от времени не калибрована; налоги и штрафы не моделируются. Для натурной апробации нужны несколько периодов, измеренная точность, металлургический баланс, сведения о запасах и фактические предельные затраты. Наиболее значимые источники неопределённости — компенсация рудного потока, маржа, состояние материала и регулярность отклонений.

Выводы

1. Разработана методика экономической оценки несоответствия фактических и проектных объёмов, предусматривающая предварительную атрибуцию причин, сопоставимость дат, координат, контуров и состояния материала.

2. В модельном примере общий объём горных работ увеличивается на 3 %, хотя объём руды сокращается на 6 %. Поэтому выполнение плана по суммарной горной массе не подтверждает достижение экономического результата.

3. При недоборе 16,2 тыс. т и условной марже 1 800 руб./т неполученный маржинальный доход равен 29,16 млн руб.; прямые дополнительные затраты — 6,45 млн руб.; последствие периода — 35,61 млн руб.

4. Учётная корректировка 1,20 млн руб. представлена отдельно и не включена в операционный ущерб, что предотвращает смешение оценочного и денежного эффектов.

5. При переносе недополученного выпуска на один год вместо окончательной потери его маржинальный эффект при ставке 15 % уменьшается до 3,804 млн руб. Сценарии компенсации и переноса должны проверяться до определения суммы ущерба.

6. Сценарная программа контроля при $\alpha = 0,70$, $\beta = 0,60$ и ежегодных расходах 1,20 млн руб. даёт чистый эффект 23,082 млн руб./год. Значение не является доказанной эффективностью технологии и требует подтверждения на нескольких натурных периодах.

7. Практическая рекомендация — формировать ведомость «контур — причина — доказательство — экономический канал — действие», применять предельные затраты и маржинальный подход, а безопасность оценивать независимо от финансового эффекта.

Библиографический список

1. Маринин М., Маринина О., Вольняк Р. Оценка влияния потерь и разубоживания на цепочку затрат: исследование на примере золоторудных месторождений // Sustainability. — 2021. — Т. 13, № 7. — Ст. 3830. — DOI: 10.3390/su13073830.

2. Фарадж Ф. Оценка различий в разубоживании, потерях руды и прибыли при различных вручную заданных границах выемки в сравнении с оптимальным разграничением руды и пустой породы на карьерах // Mining, Metallurgy & Exploration. — 2024. — DOI: 10.1007/s42461-024-00944-0.

3. Аджайи О. Г., Ойебоаде Т. О., Самайла-Иджа Х. А., Адевале Т. Дж. Разработка системы на базе БПЛА для полуавтоматического определения объёма земляных работ // Reports on Geodesy and Geoinformatics. — 2020. — Т. 110. — С. 21–28. — DOI: 10.2478/rgg-2020-0008.

4. Альсайед А., Юнуса-Калтунго А., Куинн М. К., Арвин Ф., Набави М. Р. А. Обследование ограниченных пространств с помощью дронов и оценка объёма складов

сыпучих материалов // Remote Sensing. — 2021. — Т. 13, № 17. — Ст. 3356. — DOI: 10.3390/rs13173356.

5. Альсайед А., Набави М. Р. А. Оценка объёмов складов сыпучих материалов в открытых и ограниченных пространствах: обзор // Drones. — 2023. — Т. 7, № 8. — Ст. 537. — DOI: 10.3390/drones7080537.

6. Куинкел М. С., Чжан К., Лю П., Демиркесен С., Ксаибати К. Исследование пригодности БПЛА для оценки объёма складированной золы-уноса // Sensors. — 2023. — Т. 23, № 3. — Ст. 1242. — DOI: 10.3390/s23031242.

7. Кюннапуу Р., Кокамяги К., Либа Н. Точность расчёта объёмов складов отходов по данным БПЛА-фотограмметрии // Agronomy Research. — 2023. — Т. 21, № 3. — DOI: 10.15159/ar.23.065.