

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОТРАБОТКИ КАРЬЕРОВ ДЛЯ ИЗЫСКАНИЯ РЕЗЕРВОВ ПОВЫШЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ

В. Д. Кантемиров, А. М. Яковлев, Р. С. Титов✉

ФГБУН «Институт горного дела» УрО РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

✉ ukr07@mail.ru

Аннотация: Приведены основы разработанной методики, позволяющей в автоматическом режиме оценить соотношение фронтов горных работ и качественные показатели запасов полезного ископаемого (ПИ) на рабочих горизонтах карьера. Предложенная методика предназначена для автоматизированного планирования горных работ в режиме управления качеством сырья и позволяет определить резервы горного производства, установить преобладающий технологический сорт рудного сырья в анализируемых участках месторождения, выбрать рациональный способ добычи сырья с учетом его качества. Использование методики способствует повышению эффективности планирования горных работ с учетом качества сырья, что в свою очередь позволяет увеличить степень извлечения ценных компонентов и обеспечить комплексное использование минеральных ресурсов.

Ключевые слова: интенсификация горных работ, фронт горных работ, парк экскаваторов, горно-геологическая информационная система, горно-геометрический анализ, геометризация

Благодарности, признательность, финансирование: Авторы выражают особую признательность и большую благодарность коллегам из лаборатории управления качеством минерального сырья ИГД УрО РАН, а также коллективу редакции «Маркшейдерия и недропользование» за поддержку и помощь в написании и оформлении статьи. Работа выполнена в рамках НИР. Тема 1 «Методология обоснования перспектив технологического развития комплексного освоения минерально-сырьевых ресурсов твердых полезных ископаемых России» (FUWE-2025-0001), гос. задание № 075-00410-25-00. г. р. № 1022040200004-9-1.5.1

Для цитирования: Кантемиров ВД, Яковлев АМ, Титов РС. Методика оценки горнотехнических условий отработки карьеров для изыскания резервов повышения интенсивности горных работ. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(4):23-30. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-4-23-30>.

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE MINING CONDITIONS OF QUARRYING TO FIND RESERVES TO INCREASE THE INTENSITY OF MINING OPERATIONS

V. D. Kantemirov, A. M. Yakovlev, R. S. Titov✉

Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation

✉ ukr07@mail.ru

Abstract: The article presents the basics of the developed methodology, which makes it possible to automatically assess the ratio of mining fronts and qualitative indicators of mineral reserves (PI) on the working horizons of the quarry. The proposed methodology is designed for automated planning of mining operations in the raw material quality management mode and allows you to determine the reserves of mining production; to establish the predominant technological grade of ore raw materials in the analyzed areas of the deposit; choose a rational way to extract raw materials, taking into account their quality. The use of the methodology helps to increase the efficiency of mining planning, taking into account the quality of raw materials, which in turn makes it possible to increase the degree of extraction of valuable components and ensure the integrated use of mineral resources.

Acknowledgments, financial support: The authors express special gratitude and great gratitude to their colleagues from the Laboratory of Mineral Raw Materials Quality Management of the IGD Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, as well as to the editorial staff of «Surveying and Subsoil Use» for their support and assistance in writing and formatting the article. Methodology

for substantiating the prospects of technological development of the integrated development of mineral resources of solid minerals in Russia (FUWE-2025-0001), state assignment №.075-00410-25-00. born №. 1022040200004-9-1.5.1.

Keywords: mining intensification, mining front, excavator fleet, mining and geological information system, mining and geometric analysis, geometrization

For citation: Kantemirov VD, Yakovlev AM, Titov RS. Methodology for assessing the mining conditions of quarrying to find reserves to increase the intensity of mining operations. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(4):23-30. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-4-23-30>.

Введение

Ухудшение горнотехнических и горно-геологических условий добычи полезных ископаемых по мере понижения горных работ при отработке сложноструктурных месторождений способствует снижению интенсивности их отработки на глубоких горизонтах карьеров. В связи с этим возникает необходимость в создании инновационных методик, позволяющих на основе аудита состояния горных работ в карьере выявить резервы повышения интенсивности добычи и обеспечить планирование горных работ наиболее экономически эффективным способом [1–4].

Цель работы: снижение трудоемкости и повышение качества процессов планирования горных работ.

Материал и методы исследований

Блок-схема методики по оценке состояния открытых горных работ приведена на рисунке 1. Исходными данными для анализа являются блочные и каркасные модели, построен-

ные на основе погоризонтных планов с контурами рудных тел и с интервальными данными о качестве руды на основании обработки информации от скважин детальной разведки месторождения, планы и схемы развития открытых горных работ по этапам освоения месторождения ПИ.

Методика поиска резервов интенсификации горных работ основана на трех направлениях анализа [1–9]:

- оценке структуры фронтов горных работ в карьере;
- аудите запасов полезного ископаемого и объемов вскрышных пород с их распределением по горизонтам карьера;
- учете данных о фактической производительности выемочного оборудования в карьерах.

Методика апробирована на примере Центрального карьера АО «Карельский окатыш». Центральный карьер разрабатывает Костомукшское месторождение железистых кварцитов и является основным по объемам запасов на ГОКе. На период оценки горные работы в карьере велись на 17 горизон-

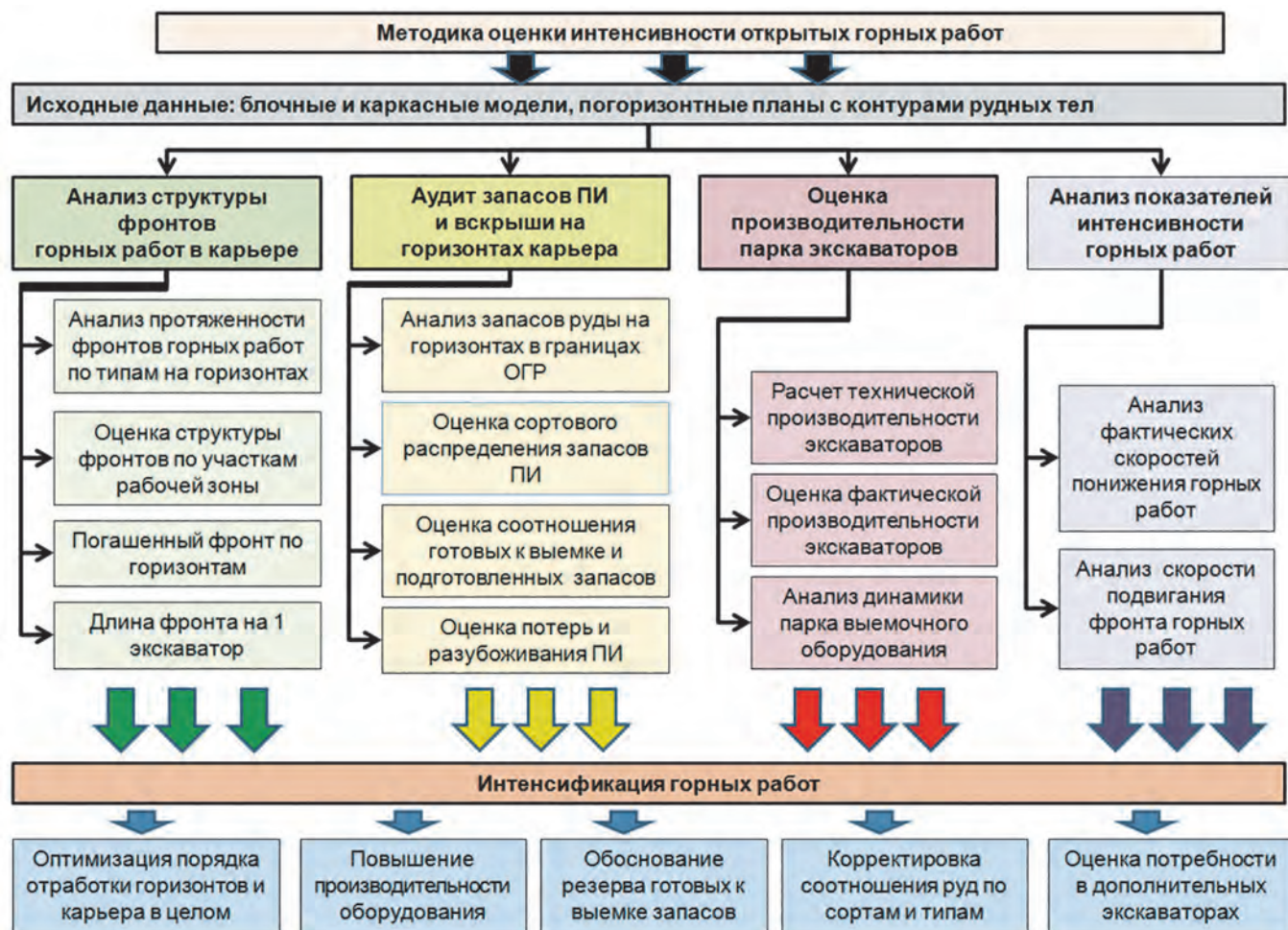


Рис. 1. Блок-схема методики оценки интенсивности открытых горных работ /
Fig. 1. Block diagram of the methodology for assessing the intensity of open-pit mining

тах (гор. +235 м ÷ -140 м). При разработке карьера используется комплекс сухой магнитной сепарации, расположенный на поверхности в районе Восточного борта. Балансовые запасы карьера превышают 500 млн т железной руды.

Анализ структуры фронтов горных работ в карьере

Фактор интенсивности развития горных работ при разработке наклонных и крутопадающих залежей, характерных для глубоких карьеров, оценивается через скорость понижения (углубки) горных работ и подвигания горных работ в горизонтальном направлении. Оценка протяженности и структуры фронта горных работ производится на основе данных горно-геометрического анализа и с использованием разработанного в лаборатории управления качеством минерального сырья (УКР) ИГД УрО РАН программного обеспечения.

Скорость подвигания фронта работ в единицу времени характеризует интенсивность отработки месторождения и зависит от мощности пласта полезного ископаемого, вида погрузочного и транспортного оборудования, а также производительной мощности карьера. При разработке наклонных и крутопадающих месторождений фронт работ карьера непрерывно перемещается к его предельному положению как в плане, так и по глубине.

С использованием разработанной на языке Python программы производилась обработка данных, систематизация по структурным типам фронтов горных работ, а также определялась длина различных типов выделенных участков фронта [10, 11]. Автоматизированный анализ структуры фронтов горных работ позволяет в блочной модели карьера выделить участки активного фронта, на котором ведутся горные работы. Оценка производилась на основе анализа ширины рабочих площадок на горизонтах карьера. Если ширина рабочих площадок на горизонте превышает 45 м (для условий Центрального карьера АО «Карельский окатыш»), то фронт считался активным, а если меньше 45 м, то фронт относился к пассивному. При этом в соответствии с проектом отработки карьера минимальная ширина рабочей площадки была принята 35 м, нормальная ширина рабочей площадки при ведении БВР – 72 м.

Последующий анализ фронта производился оператором. При этом выделялись участки фронта, которые погашены на предельном контуре карьера, и участки консервации по руде и вскрыше, которые впоследствии с помощью компьютерной программы систематизировались с выделением активного и пассивного фронтов.

Компьютерной программой определялась длина участков фронтов по следующим типам и видам горной массы (добыча руды или вскрыша):

- *активный фронт* – это участок фронта горных работ на горизонте карьера, где имеются готовые и подготовленные к выемке запасы и существует возможность размещения на вышележащем уступе (горизонте) минимальной рабочей площадки;
- *законсервированный фронт* – это участок фронта горных работ на горизонте карьера, для отработки которого необходимо обеспечить подвигание вышележащих уступов для размещения минимальной рабочей площадки;
- *погашенный фронт* – это участок фронта горных работ по достижению уступов предельного проектного положения на горизонте.

Данные о структуре фронтов горных работ с помощью разработанного программного обеспечения заносились в та-

блицу, производился статистический анализ и визуализация состояния горнотехнических условий разработки. Графической основой для анализа являлась блочная модель месторождения с выделенными рудными телами и границами карьера по этапам его разработки.

Таким образом, для каждого горизонта карьера выделялись участки вскрышного и добычного фронта по длине, в том числе:

- *активного*, где возможно подвигание горных работ, при этом параметры участка фронта позволяют организовать рабочую площадку нужной ширины на вышележащем уступе;
- *участки консервации*, где для размещения рабочей площадки необходимо подвигание вышележащего уступа.

Аудит запасов полезного ископаемого и горнотехнических условий разработки карьера

Следующим этапом анализа горнотехнических условий является аудит запасов месторождения в пределах карьерного поля. Для этого уточняются объемы между цифровыми топографическими моделями предельного проектного и текущего положений горных работ. С их помощью обосновывается остаток запасов различных типов и сортов руд и вскрышных пород. Производится оценка доли горизонта в запасах и объемах вскрыши по горизонтам карьера. Для каждого горизонта учитывается взаимосвязь с верхним и нижним горизонтом.

Анализ производился на основе общих положений горно-геометрическим методом с установлением пространственных ограничений в составе двух цифровых топографических моделей:

- предельного контура карьера на конец отработки;
- текущего положения горных работ, реализованного в блочной модели для планирования горных работ.

Результаты анализа горнотехнических условий разработки Центрального карьера АО «Карельский окатыш», выполненного в соответствии с методикой, отражены на рисунке 2.

Оценка парка забойных экскаваторов

Следующим этапом анализа интенсивности горных работ является оценка распределения экскаваторов в карьерном пространстве и их фактической производительности в сравнении с технически возможной эксплуатационной производительностью. Результаты анализа позволяют оценить коэффициент использования оборудования и технические возможности текущего парка горных машин для интенсификации горных работ [12–15].

Выемочно-погрузочные работы в карьерах АО «Карельский окатыш» на добыче и вскрыше производятся экскаваторами типа «мехлопата» ЭКГ-10, ЭКГ-15 и ЭКГ-20. Проектом предусмотрена выемка ПИ при высоте уступа 15 м с предварительным рыхлением горной массы с помощью буровзрывных работ (БВР). Результаты анализа экскаваторных работ показывают снижение фактической производительности от технически возможной в 1,3–1,9 раза (рис. 3), что связано со сложными горнотехническими условиями разработки.

Установлено, что для выполнения годовой программы ГОКа по выемке горной массы в объеме 44–46 млн м³ необходимое количество карьерных экскаваторов типа ЭКГ составит до 28 единиц при фактическом наличии 26 единиц.

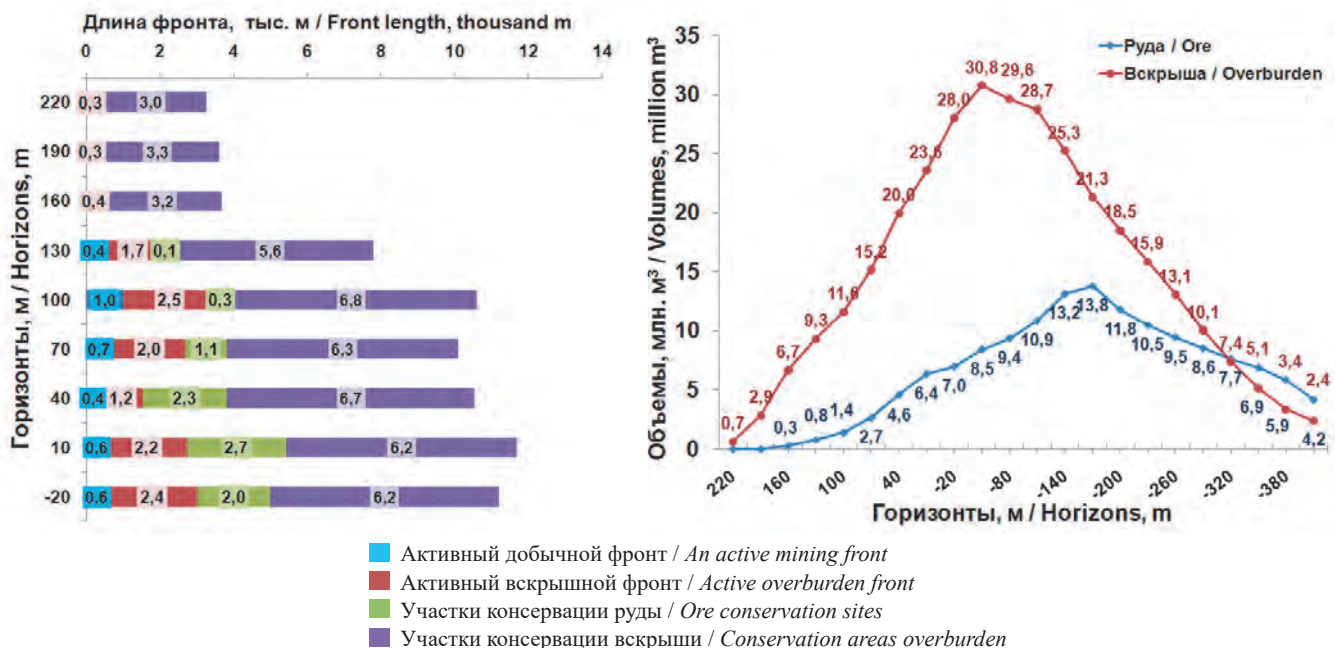


Рис. 2. Распределение фронтов горных работ и объемов руды и вскрыши по горизонтам Центрального карьера АО «Карельский окатыш» /
Fig. 2. Distribution of mining fronts and volumes of ore and overburden along the horizons of the Central Quarry of Karelsky Okatysh JSC

Протяженность активного фронта горных работ в карьере определяется следующим выражением, м:

$$\Phi_a^k = n_{p.3} \Phi_3 = \frac{Q_{гм}^k}{Q_{г.3}} \Phi_3, \quad (1)$$

где $n_{p.3}$ – количество рабочих забоев в карьере, шт.;

Φ_3 – удельный фронт горных работ, приходящийся на одну выемочную машину (длина экскаваторного блока), м;

$Q_{гм}^k$ – годовая производственная мощность карьера по горной массе, м³/год;

$Q_{г.3}$ – средняя годовая производительность экскаватора, м³/год.



Рис. 3. Производительность экскаваторов на Центральном карьере АО «Карельский окатыш» /
Fig. 3. Productivity of excavators at the Central Quarry of Karelsky Okatysh JSC

Определяется диспропорция (соотношение) общего (суммарного) и активного фронтов горных работ, дол. ед.:

$$\frac{\Phi_a^k}{\Phi_o^k} < 1, \quad (2)$$

где Φ_o^k – длина общего фронта горных работ карьера, м.

С учетом диспропорции фронтов (2) длина общего фронта горных работ карьера, обеспечивающая расстановку расчетного парка экскаваторов, будет определяться следующим выражением, м:

$$\Phi_o^k = \left(\left[\frac{Q_{г.п}^k}{Q_{г.п}^3} + \frac{Q_{г.в}^k}{Q_{г.в}^3} \right] + n_{p.3} \right) \Phi_3 = \left(\frac{Q_{гм}^k}{Q_{г.3}} + n_{p.3} \right) \Phi_3 =$$

$$= (n_{p.3} + n_{p.3.3}) \Phi_3 = N_3 \Phi_3,$$

где Φ_o^k – общий фронт горных работ карьера, м;

$Q_{г.п}^k$ – годовая производительность экскаватора по руде, м³/год;

$Q_{г.в}^k$ – годовая производительность экскаватора по вскрыше, м³/год;

$n_{p.3}$ и $n_{p.3.3}$ – количество рабочих и резервных забоев (с минимальной шириной рабочей площадки) в карьере, шт.;

N_3 – общее число забоев (экскаваторных блоков) в карьере, шт.

Исходя из практики установлено оптимальное условие организации горных работ, когда они производятся в пределах активного фронта при кратном числе забоев.

С учетом обеспечения экскаватора достаточным объемом взорванной горной массы в забое минимальная длина удельного фронта горных работ составит, м:

$$\Phi_3 \geq \frac{k_p Q_{мес}^3}{B_{б.3} h_y} = \frac{k_p Q_{мес}^3}{(W + [n_{p.с} - 1] b) h_y}, \quad (4)$$

где k_p – коэффициент резерва, требуемое количество месяцев или дней работы экскаватора по объему взрываемой массы и переходящим запасом взорванной горной массы (1–3), мес.;

$Q_{мес}^3$ – производительность экскаватора в месяц, м³/мес.;

W – ЛСПП первого ряда взрывных скважин, м;

$n_{p.с}$ – количество взрываемых рядов скважин, шт.;

b – расстояние между рядами скважин, м;

h_y – высота уступа, м.

Для обеспечения максимально возможной производительности экскаватора минимальная длина удельного фронта горных работ составит, м:

$$\Phi_3 \geq 60 \frac{k_p T_c^3}{B_{6.3} h_y} E k_3 n_{\text{ц}} \eta_o, \quad (5)$$

где T_c^3 – число часов работы экскаватора в сутки;
 E – вместимость ковша экскаватора, м³;
 k_3 – коэффициент экскавации, дол. ед.;
 $n_{\text{ц}}$ – число циклов экскавации в минуту, ед.;
 η_o – коэффициент обеспечения забоя порожняком, дол. ед.

Минимальная длина удельного фронта работ по транспортным условиям (табл.) должна удовлетворять следующему условию, м:

$$\Phi_3 \geq \frac{1000 h_y}{i} + 2 R_{\min}, \quad (6)$$

где i – уклон автосъезда, %;
 $R_{\min}$ – минимальный радиус поворота автосамосвала, м.

Таблица / Table

Оптимальные размеры удельного фронта горных работ на основе анализа работы действующих рудных карьеров / Optimal size of the specific mining front based on an analysis of the operation of existing ore pits

Объем ковша выемочной машины E, м ³ / Bucket volume of the dredging machine, m ³	Длина фронта на автомобильный транспорт при системе разработки Φ_y , м / The length of the front for road transport in the development system, m	
	продольная / longitudinal	поперечная / transverse
2,5–3	250–300	150–200
4–6	450–500	250–300
8	550–600	350–400
10–12	600–700	400–500
20 и более	750–800	400–500

Количество экскаваторов, необходимое для выполнения годового объема добычных работ с учетом их средней эксплуатационной производительности, будет определяться следующим выражением, шт.:

$$N_3 = \frac{k_n \Phi_o h_y v_{\Phi}}{Q_{\text{см}}^3 n_{\text{г}}^{\text{г}}}, \quad (7)$$

где k_n – коэффициент, учитывающий резервные забои и неравномерность ведения горных работ ($k_n = 1,1–1,25$), м;
 Φ_o – протяженность общего фронта горных работ, м;
 h_y – высота уступа, м;
 $n_{\text{г}}^{\text{г}}$ – число рабочих смен в году, шт.;
 $Q_{\text{см}}^3$ – производительность экскаватора в смену, м³/смена;
 v_{Φ} – скорость подвигания фронта горных работ, м/год.

В соответствии с существующей взаимосвязью между скоростью горизонтального подвигания фронта горных работ (уступа) и углубкой карьера, скорость подвигания фронта работ будет определяться по следующей зависимости, м/год:

$$v_{\Phi} = \frac{Q_{\text{г}}^3}{\Phi_y h_y} \quad \text{или} \quad v_{\Phi} = \frac{Q_{\text{г}}^3 N_{3y}}{\Phi_y h_y}, \quad (8)$$

где Φ_y – длина фронта работ на уступе, м;
 N_{3y} – количество рабочих забоев (экскаваторов) на уступе, шт.

Оценка развития горных работ в карьере производилась с использованием блочной модели в программном комплексе GEOVIA Surpac и обработкой графической информации в системе САПР AutoCAD [16–18]. На базе блочной модели подготовлено 15 поперечных и 5 продольных разрезов карьера с шагом 250 м (рис. 4).

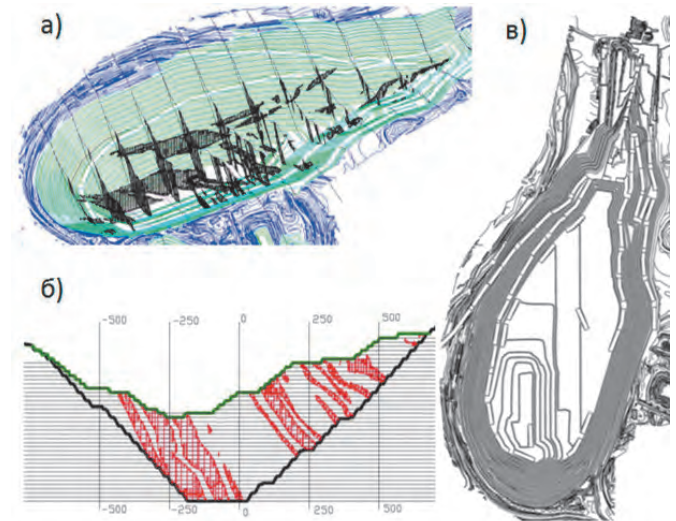


Рис. 4. Вид Центрального карьера АО «Карельский окатыш»: а – продольные и поперечные профили в изометрии (вид с восточной части карьера); б – характерный поперечный разрез в пределах Центрального карьера; в – план карьера на 2031 г. (в соответствии со стратегией развития) / Fig. 4. View of the Central quarry of Karelsky Okatysh JSC: a – longitudinal and transverse profiles in isometry (view from the eastern part of the quarry); b – characteristic cross section; within the Central Quarry; c – career plan for 2031 (in accordance with the development strategy)

Разработанная ИГД УрО РАН компьютерная программа позволяет оценить временные периоды и направления горных работ, в которых необходимо будет увеличить количество забойных экскаваторов для интенсификации добычи. Анализ производится во взаимосвязи с методикой компьютерного планирования за счет совместного оперирования исходными данными блочных и цифровых топографических моделей карьера при различных положениях горных работ.

Результаты исследований

Горно-геометрическим анализом блочной модели рудных тел в пределах конечных контуров Центрального карьера АО «Карельский окатыш», а также разрезов и погоризонтных планов положения горных работ (на 2022 г.) с использованием разработанного программного обеспечения установлено следующее:

- запасы руды в пределах Центрального карьера в основном расположены в верхней части на восточном участке месторождения, а также в глубинной зоне на западном участке (рис. 4а);
- основные запасы обрабатываемого участка месторождения сосредоточены на горизонтах +25 м ÷ –410 м (зона высотой 435 м, от поверхности глубина залегания зоны – 210 м); объем руды в пределах зоны составляет – 446,22 млн т (>93 % всей руды в предельных контурах карьера);
- на верхних 14 горизонтах (гор. +235 м ÷ +40 м) сосредоточен большой объем вскрышных пород – 64,4 млн м³, руды – 32,2 млн т, текущий коэффициент вскрыши при добыче составит до 2 м³/т;

– в соответствии со стратегией ГОКа коэффициент вскрыши на этих горизонтах должен составлять в среднем $0,99 \text{ м}^3/\text{т}$ (в два раза меньше), что практически недостижимо и является одним из возможных рисков выполнения программы развития горных работ;

– основные балансовые запасы руды на период реализации стратегии сосредоточены от гор. -25 м до гор. -410 м в объеме 107 млн т (добыча с коэффициентом вскрыши – $0,58 \text{ м}^3/\text{т}$);

– вскрышные породы в основном сосредоточены в пределах горизонтов 155 м ÷ 235 м (зона высотой 390 м);

– объем вскрыши в пределах выделенной зоны составляет 240 млн м^3 (>73 % всей вскрыши в предельных контурах карьера);

– на горизонтах +235 м ÷ +190 м находится значительный объем вскрышных пород в объеме 2 400 тыс. м^3 , который будет необходимо убрать для реализации плана развития горных работ;

– с глубиной отработки прогнозируется тенденция к улучшению качества руды, а именно увеличивается содержание $\text{Fe}_{\text{маг}}$ с 17 % на гор. +195 м до 27 % на гор. -240 м ÷ -270 м, а также увеличивается объем балансовых запасов руды и сокращается объем вскрыши;

– выделены неактивные фронты большой протяженности вдоль центральной части Восточного борта карьера в пределах горизонтов +70 м ÷ -5 м, при этом общая длина неактивного фронта горных работ – 22,6 км, в том числе по руде – 5,9 км, по вскрыше – 16,7 км;

– соотношение фронтов свидетельствует о недостаточном количестве рабочего оборудования для создания необходимых резервов готовых и подготовленных к выемке запасов.

По результатам исследований рассмотрены варианты разработки карьера со среднегодовым объемом добычи руды в 17 млн т и вскрыши ~ 18 млн м^3 до 2031 года.

Для реализации базового варианта стратегии развития ГОКа предлагается верхние горизонты юго-западного участка Центрального карьера поставить в предельное положение. После этого горные работы рекомендуются развивать в восточном направлении отдельными участками: добычной и вскрышной частью рабочей зоны по всей высоте Восточного борта.

При этом достижение планового коэффициента вскрыши ($1,05 \text{ м}^3/\text{т}$) возможно в кратчайшие сроки с гор. +70 м.

Достижение планового коэффициента вскрыши возможно со следующих горизонтов:

- западного участка карьера – с гор. +25 м;
- южного участка карьера – с гор. -110 м;
- северного участка карьера – с гор. +40 м.

Для достижения целей интенсификации горных работ на Центральном карьере потребуется увеличить парк забойных экскаваторов типа ЭКГ-10 на 2 единицы дополнительно к существующему парку в 10 единиц. При этом к 2031 году все уступы выше гор. -50 м должны быть погашены до проектного контура.

Со вводом в 2023 году в строй комплекса ЦПТ весь объем добываемой руды и вскрыши подается через него, для этого на гор. +35 м формируется концентрационный горизонт.

На рисунке 6 представлен фрагмент разработанной ИГД УрО РАН блочной модели Центрального карьера на 10-й год реализации базового варианта с формированием автомобильных съездов для снабжения комплекса ЦПТ (на гор. +35 м).

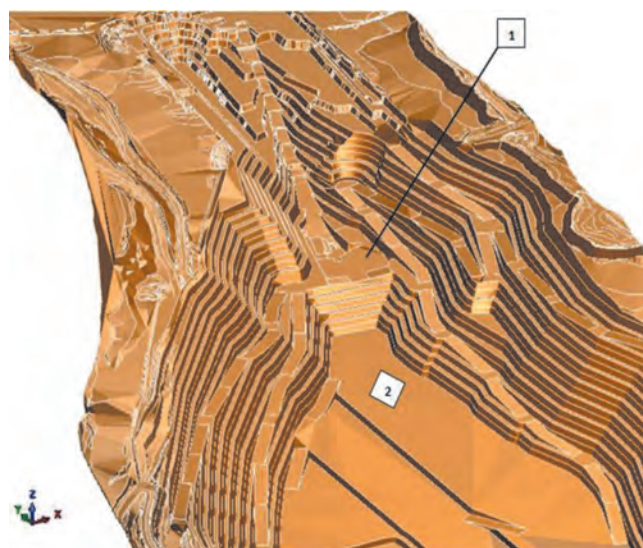


Рис. 6. Фрагмент блочной модели Центрального карьера на 10-й год реализации базовой стратегии развития ГОКа: 1 – концентрационный гор. +35 м комплекса ЦПТ; 2 – рабочий гор. -50 м /

Fig. 6. A fragment of the block model of the Central Quarry in the 10th year of the implementation of the basic development strategy of GOK: 1 – concentration hill. +35 m of the CPT complex; 2 – working mountains -50 m

Выводы

1. Представленные материалы методики и разработанное на ее базе программное обеспечение позволяют в автоматизированном режиме оценить соотношение фронтов горных работ на рабочих горизонтах карьера.

2. Анализ фронтов горных работ по типу и качеству запасов при различных положениях рабочей зоны позволяет провести аудит резервов интенсификации горного производства и своевременно выполнить корректировку режима работы карьера по руде и вскрыше в зависимости от потребностей рынка.

3. Комплексная аналитическая оценка горных работ с использованием разработанной методики позволяет определить следующие приоритетные направления интенсификации:

- обосновать резервы активных добычных фронтов по горизонтам рабочей зоны карьера;
- оптимизировать расстановку экскаваторов по горизонтам и создать условия для повышения их производительности;
- выделить узкие (проблемные) места в геометрии карьерных полей, ограничивающих развитие горных работ при их понижении.

4. Использование методики способствует снижению трудоемкости и повышению эффективности процессов планирования горных работ в карьерах, разрабатывающих сложноструктурные месторождения. Более качественное планирование горных работ с учетом свойств минерального сырья позволяет увеличить степень извлечения ценных компонентов и комплексное использование минеральных ресурсов.

5. Использование представленной методики и разработанного программного обеспечения не требует наличия на ГОКе современных средств ГГИС и специализированных программных продуктов. Для их применения достаточно офисных пакетов программ (Excel или аналогов) и редактора dxf-файлов с целью интерпретаций данных исследований. Реализация вышеизложенного комплекса методик позволяет

повысить эффективность планирования горных работ без приобретения дорогостоящих программ и дополнительного обучения пользователей, что может быть востребовано для малых предприятий и карьеров.

6. Предложенная методика актуальна в условиях импорто-

замещения программных продуктов и позволяет определить резервы горного производства; установить преобладающий технологический сорт рудного сырья в пределах анализируемых участков месторождения; выбрать рациональный способ добычи сырья с учетом его качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCE

1. Быховский ЛЗ, Тигунов ЛП. Стратегическое минеральное сырье: пути решения проблемы дефицита. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. 2015; 5: 43-49. [Bykhovsky LZ, Tiginov LP. Strategic mineral raw materials: ways to solve the shortage problem. *Mineral Resources of Russia. Economics and management*. 2015; 5: 43-49. (In Russ.)].
2. Арсентьев АИ. Производительность карьеров. Санкт-Петербург, 2002: 85. [Arsentiev AI. Productivity of quarries. St. Petersburg, 2002: 85 (In Russ.)].
3. Моссаковский ЯВ. Экономика горной промышленности. Москва, 2015: 525. [Mossakovsky YaV. Economics of the mining industry. Moscow, 2015: 525. (In Russ.)].
4. Кантемиров ВД. Технологические особенности освоения новых сырьевых баз. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014; 6: 369-373. [Kantemirov VD. Technological features of the development of new raw material bases. *Mining information and analytical bulletin*. 2014; 6: 369-373. (In Russ.)].
5. Debashish D, Abhiram KV. Fundamentals and Applications of Rock Mechanics. New Delhi: PHI Learning, 2016: 412.
6. Кузнецов ОЛ, Никитин АА, Черемисина ЕН. Геоинформатика и геоинформационные системы. Москва, 2005: 453. [Kuznecov OL, Nikitin AA, Cheremisinina EN. Geoinformatics and geoinformation systems. Moscow, 2005: 453 (In Russ.)].
7. Кантемиров ВД, Яковлев АМ, Титов РС. Оценка качественных показателей полезных ископаемых с использованием геоинформационных технологий блочного моделирования. *Геоинформатика*. 2020; 3: 29-37. [Kantemirov VD, Yakovlev AM, Titov RS Evaluation of qualitative indicators of minerals using geoinformation technologies of block modeling. *Geoinformatics*. 2020; 3: 29-37. (In Russ.)].
8. Ларионова ОБ, Пилугина ТП. Особенности компьютерной графики. *Альманах современной науки и образования*. 2008; 1: 116-118. [Larionova OB, Pilyugina TP. Features of computer graphics. *Almanac of modern science and education*. 2008; 1: 116-118. (In Russ.)].
9. Демьянов ВВ, Савельева ЕА. Геостатистика: теория и практика. Москва, 2010: 327. [Demyanov VV, Saveleva EA. Geostatistika: teoriya i praktika. Moscow, 2010: 327. (In Russ.)].
10. Mohammadpour M, Bahroudi A, Abedi M., et al. Geochemical distribution mapping by combining number-size multifractal model and multiple indicator kriging. *Journal of Geochemical Exploration*. 2019; 200: 13-26.
11. Яковлев АМ. Апробация алгоритмов автоматизированной обработки геологических баз данных в технологических схемах управления качеством минерального сырья. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2021; 5-1: 248-257. [Yakovlev AM. Approbation of algorithms for automated processing of geological databases in technological schemes for quality management of mineral raw materials. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2021; 5-1: 248-257. (In Russ.)].
12. Илимбетов АФ, Рыльникова МВ, Радченко ДН и др. Новые решения проблемы комплексного освоения рудных месторождений. *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. 2006; 4 (16): 8-13. [Ilimbetov AF, Rylnikova MV, Radchenko DN, et al. New solutions to the problem of integrated development of ore deposits. *Bulletin of the Moscow State Technical University named after G.I. Nosov*. 2006; 4 (16): 8-13. (In Russ.)].
13. Asad M. W. A. Cutoff grade optimization algorithm with stockpiling option for open pit mining operations of two economic minerals. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*. 2005; 19 (3): 176-187.
14. Clementini E, Di Felice P, van Oosterom P. A small set of formal topological relationships suitable for end-user interaction. *Advances in Spatial Databases: Third International Symposium SSD '93 Singapore, June 23-25*. Singapore, 1993.
15. Frank U. Multi-perspective enterprise modeling: foundational concepts, prospects and future research challenges. *Software & Systems Modeling*. 2014; 13 (3): 941-962.
16. Marques DM, Joao F. C. Choosing a proper sampling interval for the ore feeding a processing plant: A geostatistical solution. *International Journal of Mineral Processing*. 2014; 131: 31-42.
17. Afzal P, Madani N, Shahbeik S, et al. Multi-Gaussian kriging: a practice to enhance delineation of mineralized zones by Concentration – Volume fractal model in Dardevey iron ore deposit, SE Iran. *Journal of Geochemical Exploration*. 2015; 158: 10-21.
18. Mery N, Emery X, Caceres A, et al. Geostatistical modeling of the geological uncertainty in an iron ore deposit. *Ore Geology Reviews*. 2017; 88: 336-351.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Валерий Данилович Кантемиров –
канд. техн. наук, заведующий лабораторией
управления качеством минерального сырья,
ФГБУН «Институт горного дела» УрО
РАН, 620075, г. Екатеринбург, Российская
Федерация, e-mail: ukrkant@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-6486-2740>



ABOUT THE AUTHORS

Valery D. Kantemirov –
Cand. Sci. (Eng.), Quality management laboratory
chief, Institute of Mining, Ural Branch of
the Russian Academy of Sciences, 620075,
Yekaterinburg, Russian Federation,
e-mail: ukrkant@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-6486-2740>



Андрей Михайлович Яковлев –
канд. техн. наук, старший научный сотрудник,
лаборатория управления качеством
минерального сырья, ФГБУН «Институт
горного дела» УрО РАН, 620075,
г. Екатеринбург, Российская Федерация,
e-mail: krissy-puh@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-8285-6387>

Andrei M. Yakovlev –
Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Quality
management laboratory, Institute of Mining,
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
620075, Yekaterinburg, Russian Federation,
e-mail: quality@igduran.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-8285-6387>



Роман Сергеевич Титов –
старший научный сотрудник, лаборатория
управления качеством минерального сырья,
ФГБУН «Институт горного дела» УрО
РАН, 620075, г. Екатеринбург, Российская
Федерация, e-mail: ukr07@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-3569-2743>

Roman S. Titov –
Senior Researcher, Quality management laboratory,
Institute of Mining, Ural Branch of the Russian
Academy of Sciences, 620075, Yekaterinburg,
e-mail: ukr07@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-3569-2743>

Критерии авторства / Contribution:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей / The authors participated equally in the writing and collection of the material, as well as its processing

Конфликт интересов / Conflict of interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 25.06.2025.

Поступила после рецензирования: 27.07.2025.

Принята к публикации: 21.08.2025.

Article info

Received: 25.06.2025.

Revised: 27.07.2025.

Accepted: 21.08.2025.