

Определение рациональных параметров «выемочной единицы» для горнотехнических условий открытой разработки фосфоритовых месторождений

А. Ю. Ерошев¹, С. И. Фомин²✉

¹АО «ВНИИ Галургии», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет Екатерины II», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ fominsi@mail.ru

Резюме. Для определения оптимальных границ карьера необходимо создание блочной модели месторождения, на основе которой может быть получена предельная и вложенные оболочки карьера, произведен обоснованный выбор границ карьера, определены параметры выемочных единиц. Временные этапы отработки карьера могут быть получены на основе установленных вложенных оболочек, позволяющих формировать участки временно нерабочего борта для усреднения и стабилизации коэффициента вскрыши. Выбор контуров карьера оказывает прямое влияние на производительность, продолжительность эксплуатации месторождения, объемы как промышленно значимых запасов полезного ископаемого, так и вскрышных пород, удаляемых из карьера. Параметры рабочей зоны карьера служат определяющим фактором при выборе способа вскрытия, расположения системы съездов и размещении объектов инфраструктуры горнодобывающего предприятия, включая поверхностные здания, сооружения и транспортные артерии. Величина выемочной единицы по-разному проявляется на стадиях нормирования и фактического определения потерь руды и должна учитывать горно-геологические и горнотехнические условия карьеров, разрабатывающих фосфоритовые месторождения. При нормировании потерь достаточно знать достоверные контуры залежей, количество и качество балансовых запасов по выемочным единицам и теоретические связи между потерями и засорением. Однако фактическое определение потерь и засорения полезных ископаемых при отсутствии технических средств, необходимых для их учета, возможно лишь косвенным путем: по уравнениям баланса руды и металла. Результаты исследований могут быть полезными при проектировании и планировании горных работ для горнотехнических условий открытой разработки фосфоритовых месторождений.

Ключевые слова: фосфоритовые месторождения, рудное месторождение, открытая разработка, качество руды, оптимальный объем, выемочная единица, коэффициент вскрыши, потери, разубоживание

Благодарности, признательность: Авторы признательны компаниям ТОО «Казфосфат» и АО «ВНИИ Галургии» за содействие в организации исследований, предоставление геологических данных и ценные экспертные комментарии. Финансирование исследования осуществлено за счет собственных средств.

Для цитирования: Ерошев А.Ю., Фомин С.И. Определение рациональных параметров «выемочной единицы» для горнотехнических условий открытой разработки фосфоритовых месторождений. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (3): 33-38. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-3-33-38>.

Determination of «mining unit» rational parameters for the opencast mining conditions of phosphorite ore deposits

A. Yu. Eroshev¹, S. I. Fomin²✉

¹VNII Galurgii JSC, Saint Petersburg, Russian Federation

²Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation

✉ fominsi@mail.ru

Abstract. The choice of opencast contours has a direct impact on productivity, the duration of field operation, and the volume of both industrially significant mineral reserves and overburden removed from the opencast mine. The parameters of the opencast's working area serve as a determining factor in choosing the opening method, the location of the technological system, and the location of

mining infrastructure facilities, including surface buildings, structures, and transport arteries. When deciding what to understand by a mining unit, one should proceed from the purposes for which this concept is introduced, and the objective mining and geological conditions of the field development. In an effort to achieve a real technical and economic effect resulting from loss and clogging control, the difference between mining units is insignificant, since control over the extraction of minerals must be carried out systematically, especially when mining ore - waste rock contacts. Monitoring the development of reserves only by comparing actual production figures with their planned or regulatory values, as is currently being done, cannot be effective regardless of whether it is carried out over the operational horizon or over the opencast as a whole. When determining a mining unit, it is necessary to take into account the expediency and cost-effectiveness of accounting for the extracted ore in terms of quantity and quality of mineral raw materials. The purpose of the study was to consider the techniques of definition the optimal mining unit during opencast mining for technical conditions of steeply dipping ore deposits. Mining-technical analysis to achieve a real technical and economic effect resulting from loss and clogging control, the difference between excavation units is insignificant, since control over the extraction of minerals must be carried out systematically, especially when mining ore - waste rock contacts. To determine the rational parameters of the opencast's working area serve as a determining factor in choosing the opening method, the location of the technological system, and the location of mining infrastructure facilities, including surface buildings, structures, and transport arteries. The research results can be useful when designing and planning mining operations for the geological conditions of opencast phosphate deposits.

Keywords: opencast mining, ore quality, optimal volume, ore deposits, mining unit, stripping ratio, economic loss, mineral dilution

Acknowledgments: The authors are grateful to Mining and Processing Complex, Kazphosphate LLP, VNII Galurgii JSC for their assistance in organizing the research, providing geological data, and valuable expert comments. The research was funded by the authors.

For citation: Eroshev A.Yu., Fomin S.I. Determination of «mining unit» rational parameters for the opencast mining conditions of phosphorite ore deposits. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (3): 33-38. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-3-33-38>.

Введение

В теории и практике недропользования применяются различные трактовки термина «выемочная единица», получившие отражение в нормативных документах, таких как Закон РФ «О недрах», Налоговый кодекс РФ, Правила охраны недр. В современных условиях, когда функции по нормированию, оценке фактических эксплуатационных потерь и засорения руд передаются от Ростехнадзора структурам МПР РФ, целесообразно применять системный подход к обоснованию понятия «выемочная единица».

В нормативных документах отмечается, что нормирование потерь и засорения следует проводить по каждому выемочному блоку при обеспечении высокой достоверности оконтуривания залежи в пределах выемочного блока. Под «выемочной единицей» понимается наименьший участок месторождения, обрабатываемый одной системой разработки, для которого определены балансовые запасы и ведется отдельный учет добычи рудной массы по количеству и содержанию в ней металла [1–6], или минимальный участок месторождения с относительно однородными геологическими условиями, обработка которого осуществляется одной системой разработки и технологической схемой выемки (уступ, блок, панель, лава, камера и т. п.) и в пределах которого с достаточной достоверностью определены запасы и возможен первичный учет извлечения полезных ископаемых и компонентов [7–10].

При нормировании эти величины определяются как расчетные на основе математического моделирования отработки контактов. Отсутствие мобильных взвешивающих устройств и аппаратуры по экспресс-анализу качества рудной массы в навалу непосредственно в забоях, применение в крупных карьерах каскадного взрывания, когда отбитая горная масса перемещается с вышележащих на нижележащие горизонты, перегрузочных складов, аккумулирующих добываемую руду с нескольких горизонтов, приводит к тому, что достоверный учет добычи и потерь полезных ископаемых возможен только по карьере в целом. Поэтому

на стадии фактического определения потерь в крупных карьерах «выемочную единицу» представляет весь карьер в годовых контурах отработки.

Стремление уменьшить размер «выемочной единицы» оправдано, так как это может повысить оперативность и действенность контроля над рациональным использованием запасов полезных ископаемых при добыче. В идеале этот размер следует довести до объема ковша экскаватора, но пока переход даже к такой «выемочной единице», как эксплуатационный горизонт, а тем более взрывной блок, требует разработки и внедрения мобильных взвешивающих устройств по определению количества руды в транспортных сосудах на каждом эксплуатационном горизонте карьера.

При стремлении к достижению реального технико-экономического эффекта, полученного в результате контроля над потерями и засорением, разница между «выемочными единицами» (уступ или карьер в целом) незначительна, так как контроль над добычей полезного ископаемого должен вестись систематически, особенно при отработке рудо-породных контактов. Контроль отработки запасов только путем сравнения фактических показателей добычи с их плановыми или нормативными значениями, как это делается сейчас, не может быть эффективным независимо от того, будет ли он выполняться по эксплуатационному горизонту или по карьере в целом.

При определении «выемочной единицы» необходимо принимать во внимание целесообразность и эффективность затрат на поуступный учет добываемой руды по количеству и качеству минерального сырья.

Цель исследования: определение рациональных параметров «выемочной единицы» для горнотехнических условий открытой разработки фосфоритовых месторождений.

Объект исследований

Результаты исследований основаны на анализе опыта работы карьеров по добыче фосфоритовых руд при отработке сложноструктурных месторождений.

Методы исследования

Модель запасов создана путем регуляризации, заключающейся в приведении ячеек блочной модели к одному размеру, удовлетворяющему понятию минимальной «выемочной единицы». Это общепризнанный мировой метод, применяемый для оптимизации границ карьеров в крупных горнодобывающих компаниях (ПАО «Полюс», Rio Tinto Group, ПАО «Селигдар» и т. д.) [11–15].

Оптимизатор «выемочных единиц» Mineable Stope Optimiser (MSO) основан на методе, имеющем расширенные настройки, определяющие области в пределах ресурсной модели месторождения, которые экономически целесообразно отрабатывать. Формирование рациональной рабочей зоны карьера возможно на основе блочной модели месторождения при унификации элементарных блоков к требованиям минимальной «выемочной единицы» (Selective Mining Unit – SMU).

Результаты исследований

В результате проведенного анализа была проведена оптимизация параметров «выемочных единиц». Уменьшение размера «выемочной единицы» не может привести к существенному сокращению фактических потерь и разубоживания в карьерах, так как оно будет лишь способствовать повышению оперативности контроля над рациональным использованием недр, но не повлияет существенно на технологию горных работ. Раздельное взрывание руды и породы, обеспечивающее возможность прямых методов учета потерь и засорения, приведет к значительному и неоправданному снижению производительности горных работ.

Кроме того, раздельное взрывание влечет за собой снижение числа одновременно взрывающихся рядов скважин, дополнительный разброс и перемешивание руды и породы в приконтактных зонах. Повышение достоверности учета потерь и разубоживания достигается за счет роста их уровня, что нельзя признать целесообразным. Наоборот, необходимо стремиться к увеличению числа одновременно взрывающихся рядов скважин, росту объемов взрывных блоков, что помимо сокращения простоев, повышения выхода горной массы с 1 м скважины, роста производительности оборудования позволит дополнительно снизить потери и разубоживание за счет более полного сохранения структуры массивов приконтактных зон.

Принятие «выемочной единицы» по горизонту вместо карьера в целом приводит к недопустимому росту погрешностей в определении фактических потерь. При реализации проекта уточняются различные горнотехнические параметры, влияющие на нормативы эксплуатационных потерь: изменение направления развития горных работ, вариация долей согласных и несогласных заходов при добыче руды, изменение положения очистных заходов относительно поверхности контакта руды с породой (в плане) и др.

Уменьшение размера «выемочной единицы» само по себе не приведет к существенному сокращению фактических потерь и разубоживания руды, что лишь повысит оперативность контроля над рациональным использованием недр, но не окажет влияния на технологию ведения горных работ.

Раздельное взрывание руды и вмещающих пород, позволяющее применять прямые методы учета потерь и разубоживания, приведет к значительному и необоснованному снижению производительности карьера.

Для горнотехнических условий карьера по добыче фос-

форитов оптимизация выемочных единиц была выполнена в двух вариантах:

- 1) «выемочная единица» размером 5 на 5 м с углом откоса рабочего уступа 30°;
- 2) «выемочная единица» размером 5 на 5 м с углом откоса рабочего уступа 40°.

Под минимальной «выемочной единицей» понимается минимальный подсчетный объем руды, который может быть селективно добыт и перемещен транспортными средствами к месту потребления, складирования или переработки.

Как правило, на рудных карьерах параметры SMU характеризуются высотой уступа, а в плане – прямоугольником со сторонами, равными или превышающими параметры ковша экскаватора [16]. Тоннаж как функция объема и плотности горной массы для выемочного блока не должен быть меньше грузоподъемности используемой модели транспортного средства. Размер SMU для каждого месторождения обосновывается с учетом горно-геологических и горнотехнических условий отработки и анализов результатов добычи руды. Поскольку разброс содержаний в SMU намного меньше, чем в пробах, коррекция основания уменьшает распределение. При этом изменяется часть распределения, превышающая выбранное бортовое содержание, что изменяет тоннаж и содержания по сравнению с бортовыми и может рассматриваться как отражение влияния потерь и разубоживания руды, а также ожидаемого извлечения полезных компонентов.

Варианты исходных данных для построения модели запасов руды при различных размерах «выемочной единицы» представлены в таблице 1.

Для подсчета объемов запасов в каркасах MSO подготовлена рудопородная модель, выполнено объединение блочной модели ресурсов с породной моделью месторождения.

Оптимизация выемочных единиц выполнена в двух вариантах:

- «выемочная единица» размером 5 м на 5 м с углом откоса рабочего уступа 30°;
- «выемочная единица» размером 5 м на 5 м с углом откоса рабочего уступа 40°.

Высота «выемочной единицы» во всех рассмотренных вариантах принята 7,5 м, что соответствует установленным параметрам отработки уступов.

Сравнительные результаты реализации моделей запасов по вариантам MSO представлены в таблице 2.

Анализ данных, представленных в таблице 2, позволяет сделать вывод, что наибольшее влияние выполаживания угла откоса рабочего уступа оказывает на величину запасов бедной руды по рассмотренным вариантам. Выполнен сравнительный анализ вариантов отработки рудных блоков под углами откосов уступов 30° и 40° на примере гидравлического экскаватора Komatsu PC1250 типа «обратная лопата».

На эпюре рабочих зон (рисунок) показаны три режима работы, выделенные цветом: голубой – длина рукояти 5,7 м; красный – длина рукояти 4,5 м; черный – длина рукояти 3,4 м.

Для оценки возможности экскавации на эпюру нанесены уступы, принятые в каркасах MSO: красный – уступ с углом откоса 30° нижним черпанием; синий – уступ с углом откоса 40° нижним черпанием; фиолетовый – минимальный угол выемки верхним черпанием. Анализ представленных данных позволяет сделать вывод, что при угле откоса 30° отработка уступа возможна только за две заходки, и, как следствие, уменьшается производительность экскаватора.

Таблица 1 / Table 1

Варианты исходных данных построения модели запасов руды для различных размеров «выемочной единицы» /
Options for the initial data for building a ore reserve model for various sizes of the mining unit

Тип руды / Ore type	Модель ресурсов / Ore reserve model		«Выемочная единица» 3 на 3 м / Mining unit		«Выемочная единица» 5 на 5 м / Mining unit		«Выемочная единица» 7 на 7 м / Mining unit	
	Колич. тыс. т / Quantity, thousand tons	P ₂ O ₅ , %	Колич. тыс. т / Quantity, thousand tons	P ₂ O ₅ , %	Колич. тыс. т / Quantity, thousand tons	P ₂ O ₅ , %	Колич. тыс. т / Quantity, thousand tons	P ₂ O ₅ , %
Бедная руда / Poor ore	181 476	25,43	192 353	23,14	195 180	23,10	200 070	23,00
Богатая руда / Rich ore	94 239	29,96	63 332	29,42	59 943	29,40	54 392	29,37
Всего / Total	275 715	26,98	255 685	24,70	255 123	24,58	254 462	24,36
Потери / Loss, %	0		15,7		16,3		17,3	
Разубоживание / Mineral dilution, %	0		9,1		9,5		10,3	

Таблица 2 / Table 2

Результаты анализа данных по реализации моделей запасов по вариантам MSO /
Results of data analysis on the implementation of inventory models according to MSO options

Тип руды / Ore type	MSO (30°)		MSO (40°)		Отклонение / Deviation	
	Руда / Ore, т	P ₂ O ₅ , %	Руда / Ore, т	P ₂ O ₅ , %	Руда / Ore, т	P ₂ O ₅ , %
Запасы / ore reserve	272 208 969	25,59	266 831 938	25,08	-5 377 031	-0,51
Бедная руда / Poor ore	72 899 856	29,71	70 435 074	29,72	-2 464 782	0,01
Богатая руда / Rich ore	190 858 174	25,10	185 509 357	24,72	-5 348 817	-0,38
Концентрат / Concentrate	697 766	12,36	937 711	12,34	239 945	-0,03
Порода / Overburden	7 753 173	0,00	9 949 796	0,00	2 196 623	0,00
Потери / Loss, %	7,4		9,4		-	
Разубоживание / mineral dilution, %	3,1		4,1		-	

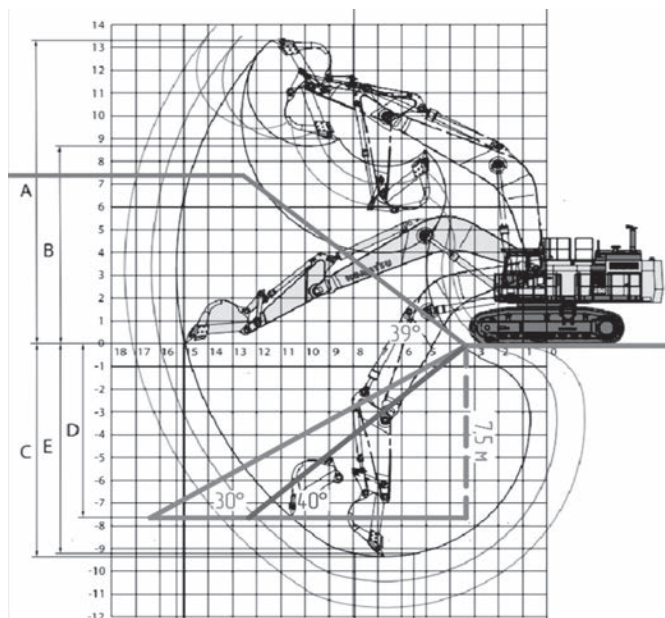


Рис. Технологическая схема рабочих зон гидравлического экскаватора Komatsu PC1250 с уступами каркасов MSO /

Fig. Technological scheme of the Komatsu PC1250 hydraulic excavator working zones with MSO frame steps

При отработке уступа с углом откоса 40° нижним черпанием, где зубья ковша вплотную подходят к границе «красной линии», необходимо использовать рукоять максимальной длины, что обусловлено отсутствием запаса для поворота ковша. Напротив, при отработке уступа с аналогичным углом

с помощью верхнего черпания требуется экскаватор с укороченной рукоятью. Следует отметить, что чем длиннее рукоять экскаватора, тем меньше номинальный объем горной массы, который он способен вместить. По данным производителя, при угле откоса 30° объем ковша составляет 3,4 м³, а при 40° – 5,2 м³.

Заключение

1. Рациональным решением в данных горнотехнических условиях является отработка уступа под углом 40° способом верхнего черпания экскаватором Komatsu PC1250 типа «обратная лопата» с рукоятью длиной 3,4 м и ковшом объемом 5,2 м³ (или аналогичной моделью).

2. В иных случаях, когда экскаватор оснащен ковшом объемом 3,4 м³, его производительность снижается. Учитывая данные по производительности и незначительную разницу в объемах руды по каркасам MSO, для оптимального формирования границ карьера целесообразно применять модель запасов, полученную на основе MSO с углом откоса 40°.

3. Основные усилия горнодобывающих предприятий и контролирующих органов необходимо направлять не на уменьшение размеров выемочной единицы, а на внедрение ресурсосберегающих технологий.

4. Необходимо в каждой выемочной единице выделять границы контактной рудо-породной зоны посредством оконтуривания контактных зон, позволяющее минимизировать величину среднеквадратического отклонения содержания полезных компонентов в пределах выемочной единицы, так

как при приближении к периферии рудных тел содержание полезных компонентов снижается.

5. Параметры выемочной единицы должны обеспечивать объем работы горного оборудования на период не менее одних суток для возможности оперативного планирования суточных объемов добычи в целом по карьере и требуемых поставок руды на обоганительную фабрику. Ширина выемоч-

ной единицы должна быть не менее одной ширины заходки добычного оборудования.

6. Определение параметров выемочной единицы рудных карьеров следует проводить с учетом применяемой технологии горных работ и обеспечения нормативных потерь и разубоживания руды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Ерошев А.Ю. Организация рационального недропользования на основе оптимизации выемочной единицы для горнотехнических условий карьеров по добыче фосфоритов. *Научные исследования – основа современной инновационной системы: сборник статей Международной научно-практической конференции*: в 2 ч. Уфа, 2025; 1: 52-55.
- Eroshev A. Yu. Organization of rational subsurface use based on optimization of the excavation unit for mining conditions of phosphorite quarries. *Scientific research is the basis of a modern innovation system: a collection of articles of the International Scientific and Practical Conference*: at 2 p.m. Ufa, 2025; 1: 52-55. (In Russ.).
- Капутин Ю.Е. Обоснование бортового содержания и оптимизация стратегии развития открытых горных работ. Санкт-Петербург, 2017; 280.
Kaputin Yu.E. Substantiation of on-board maintenance and optimization of the strategy for the development of open-pit mining operations. St. Petersburg, 2017: 280. (In Russ.).
- Фомин С.И., Говоров А.С. Обоснование выбора бортового содержания полезных компонентов в руде при проектировании карьеров. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023; 12: 169-178. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_12_0_169.
- Fomin S.I., Govorov A.S. Substantiation of the choice of the cut-off content of useful components in the ore in the design of opencast. *Mining informational and analytical bulletin*. 2023; 12: 169-178. (In Russ.). https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_12_0_169.
- Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю. и др. Открытые горные работы – XXI век: Справочник. Под ред. К. Ю. Анистратова. Москва, 2019; 1: 640.
Anistratov Yu.I., Anistratov K.Yu. et al. Opencast mining – XXI century. Handbook. Edited by K.Y. Anistratov. Moscow, 2019; 1: 640. (In Russ.).
- Капутин Ю.Е. Информационные технологии планирования горных работ. Санкт-Петербург, 2008: 420.
Kaputin Yu.E. Information technologies of mining planning. St. Petersburg, 2008: 420. (In Russ.).
- Трубецкой К.Н., Краснянский Г.Л., Хронин В.В. Проектирование карьеров: Учеб. для вузов: В 2 т. 2-е изд., перераб. и доп. Москва, 2001; I: 519.
Trubeckoj K.N., Krasnyanskij G.L., Hronin V.V. Quarry Design: Textbook for Higher Education Institutions: In 2 vols. Moscow, 2001; I: 519. (In Russ.).
- Арсентьев А.И. Производительность карьеров. Санкт-Петербург, 2002: 85.
Arsentev A.I. Quarry productivity. Saint Petersburg, 2002: 85. (In Russ.).
- Анистратов К.Ю., Анистратов Ю.И., Щадов М.И. Горное дело. Москва, 2010: 700.
Anistratov K.Yu., Anistratov Yu.I., Shchadov M.I. Mining. Moscow, 2010: 700. (In Russ.).
- Аленичев В.М., Сытенков В.Н., Корнилов С.В. и др. Стратегия управления открытыми горными работами. *Горный журнал*. 2020; 3: 34-39. <https://doi.org/10.17580/gzh.2020.03.06>.
- Alenichev V.M., Sytenkov V.N., Kornilov S.V., et al. Open pit mining management strategy. *Mining Magazine*. 2020; 3: 34-39. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/gzh.2020.03.06>.
- Соколов И.В., Смирнов А.А., Никитин И.В. Методика экономической оценки долгосрочных стратегических решений при комбинированной разработке рудных месторождений. *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. 2021; 3: 314-325. <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2021-3-1-308-319>.
- Sokolov I.V., Smirnov A.A., Nikitin I.V. Methodology of economic evaluation of long-term strategic decisions in the combined development of ore deposits. *News TulGU. Earth Sciences*. 2021; 3: 314-325. (In Russ.). <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2021-3-1-308-319>.
- Armstrong M., Lagos T., Emery X., et al. Adaptive open-pit mining planning under geological uncertainty. *Resources*. 2021; 72: 515-529. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102086>.
- Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. Санкт-Петербург, 2002: 424.
Kaputin Yu.E. Mining computer technologies and geostatistics. St. Petersburg, 2002: 424. (In Russ.).
- Лушников В.Н., Селиванов Д.А., Бережной В.П. Надежность прогнозирования геотехнических рисков при ведении открытых горных работ. *Горный журнал*. 2023; 1: 4-13. <https://doi.org/10.17580/gzh.2023.01.015>.
- Lushnikov V.N., Selivanov D.A., Berezhnoy V.P. Reliable prediction of geotechnical risks in open pit mining. *Mining Magazine*. 2023; 1: 4-13. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/gzh.2023.03.05>.
- Seyyed-Omid Gilani J., Sattarvand M., Hajihassani S.S., et al. Stochastic particle swarm based model for long term production planning of open pit mines considering the geological uncertainty. *Resources Policy*. 2020; 68: 8-12. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101738>.
- Hustrulid W., Kuchta M. Open Pit Mine: Planning & Design. Rotterdam; Brookfield, VT: A.A. Balkema, 1998; 735.
- Fomin S.I., Ivanov V.V., Semenov A.S. et al. Incremental open-pit mining of steeply dipping ore deposits. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2020; 15: 1306-1311.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Андрей Юрьевич Ерошев –

аспирант АО «ВНИИ Галургии», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация. Заместитель генерального директора по горно-перерабатывающему комплексу ТОО «Казфосфат», г. Алматы, Республика Казахстан

Сергей Игоревич Фомин –

д-р техн. наук, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II. г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: fominsi@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0939-1189>

Критерии авторства:

А. Ю. Ерошев – идея исследований, формулировка конфликта текущей парадигмы и новых фактов, написание научной работы; С. И. Фомин – оценка результатов и коррекция написанной работы; выборка и сбор материала для исследований.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 19.05.2026

Поступила после рецензирования: 07.06.26

Принята к публикации: 19.06.2026

ABOUT THE AUTHORS

Andrey Yu. Eroshev –

Postgraduate student of VNII Galurgii JSC. Saint Petersburg, Russian Federation. Deputy General Director for Mining and Processing Complex, Kazphosphate LLP. Almaty, Republic of Kazakhstan

Sergey I. Fomin –

Dr. Sci. (Eng.), Professor at the Department of mining, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University. Saint Petersburg. Russian Federation; e-mail: fominsi@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0939-1189>

Contribution:

Andrey Yu. Eroshev – research concept, formulation of the conflict between the current paradigm and new facts, drafting the manuscript; Sergey I. Fomin evaluation of results and revision of the manuscript; data sampling and collection for the research.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 19.05.2026

Revised: 07.06.26

Accepted: 19.06.2026