

**ГЕОТЕХНОЛОГИЯ
(ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ)
GEOTECHNOLOGY
(UNDERGROUND, OPEN AND CONSTRUCTION)**

Научная статья

УДК 61.51:52.45.19

DOI: 10.26730/1999-4125-2022-3-41-53

**ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО
СОСТАВА ОТБИТОЙ РУДНОЙ МАССЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ
ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРИ СИСТЕМЕ ЭТАЖНОГО ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ОБРУШЕ-
НИЯ РУДЫ ФИЗИЧЕСКИМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ**

**Малиновский Евгений Геннадьевич,
Голованов Алексей Иванович,
Ахпашев Богдан Андреевич**

Сибирский федеральный университет

*для корреспонденции: meg2054@yandex.ru



Информация о статье

Поступила:

09 марта 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

7 июня 2022 г.

Принята к публикации:

17 июня 2022 г.

Ключевые слова:

пологие и наклонные залежи
руд, физическое
моделирование, система
разработки этажного
обрушения с торцевым
выпуском, потери и
разубоживание руды,
подземная разработка

Аннотация.

Работа направлена на усовершенствование технологии выемки запасов пологих и наклонных рудных залежей путем учета влияния гранулометрического состава руды на величину потерь и разубоживания при выпуске руды под обрушенными породами. Исследование влияния гранулометрического состава рудной массы произведено путем физического моделирования торцевого выпуска руды при системе этажного принудительного обрушения.

Моделирование торцевого выпуска руды произведено в масштабе 1:100. Отгрузка горной массы имитировалась моделью ковша погрузочной машины. В качестве руды использовалась белая мраморная крошка, классифицированная по крупности на классы -3; +3 -5; +5 -7; +7 -10 мм. Порода - щебень крупностью +7 -10 и +10 мм.

Выпуск рудной массы производился из одного и трех слоев. Физическое моделирование проведено для трех гранулометрических составов отбитой рудной массы: фактического, улучшенного без негабаритов при размере кондиционного куска 700 мм и среднего по руднику, а также для четырех мощностей рудного тела. Для имитации фактической крупности отгружаемой горной массы модель была разделена на части пропорционально участкам с тремя характерными распределениями гранулометрического состава.

Установлены зависимости изменения потерь и разубоживания по мере отгрузки рудной массы различного гранулометрического состава, которые могут быть учтены при проектировании технологии отработки запасов системой этажного принудительного обрушения с торцевым выпуском и для повышения эффективности отработки запасов подземным способом.

Для цитирования: Малиновский Е.Г., Голованов А.И., Ахпашев Б.А. Исследования влияния гранулометрического состава отбитой рудной массы на показатели извлечения при системе этажного принудительного обрушения руды физическим моделированием // Вестник Кузбасского

Введение. Физическое моделирование выпуска рудной массы под обрушенными породами помимо аналитических расчетов является одним из основных методов определения нормативных показателей извлечения.

Натурные исследования процессов при добыче руды и результаты физического моделирования способны раскрыть особенности их протекания, дать представление об общей картине их развития и приближенные количественные величины.

Физико-математическому моделированию выпуска рудной массы посвящены многочисленные работы отечественных и зарубежных исследователей [1- 14].

Необходимо соблюдение следующих условий подобия: геометрического, кинематического и динамического.

При физическом моделировании выпуска руды должны быть соблюдены масштабы моделирования механического подобия. Другие масштабы, связанные с изменениями теплового, химического характера и т.п., могут не учитываться.

Материал и методы исследования. Объектом исследований является торцевой выпуск руды под обрушенными породами.

Физическое моделирование, рассмотренное в статье, проведено для горно-технологических условий конкретной камеры. Угол падения рудного тела и буро-доставочного орта (БДО) – 8°. Мощность рудного тела – 17 м. Расстояние между осями буро-доставочных выработок - 14,4 м. Предохранительный породный слой над выработкой – 2,8 м. Линия наименьшего сопротивления (расстояние между веерами) $w = 2,5$ м. Наклон вееров в сторону выработанного пространства – 85°.

Коэффициент разрыхления k_p отбитой рудной массы при отбойке в зажиме обычно принимается равным 1,3, тогда толщина выпускаемого слоя

$$b = w \cdot k_p = 2,5 \cdot 1,3 = 3,25 \text{ м}$$

Моделирование торцевого выпуска руды произведено в масштабе 1:100 [15].

Для отгрузки горной массы из камеры принята ПДМ типа ЛН514Е, для которой в принятом масштабе моделирования изготовлен ковш (рис. 1) шириной 2,8 см.

В качестве руды использовалась белая мраморная крошка, классифицированная по крупности на классы –3; +3 –5; +5 –7; +7 –10 мм. Порода – щебень +7 –10 и +10 мм.

Объемная масса (плотность) руды и породы в массиве составила 2,79 г/см³ для мрамора и 2,75 г/ см³ для щебня.

В ходе имитации выпуска осуществлялось внедрение ковша в навал руды на постоянную глубину. Горная масса, попавшая в ковш, вручную по цвету сортировалась на руду и породу. Вес руды и породы в каждом ковше фиксировался. Периодически производилась фотосъемка процесса выпуска.



Рис. 1. Ковш ПДМ для физического моделирования
Fig. 1. Bucket from a loading and delivery machine for physical modeling

Выпуск при экспериментах останавливался после того, как в 10 и более ковшах не фиксировалось наличие руды.

Выпуск рудной массы производился из одного и трех слоев. Рудные слои разделялись шиберами из оцинкованного железа толщиной 1 мм. Для имитации трения на шибера со стороны потока отбитой руды наклеивалась наждачная бумага. Для этой же цели были обклеены и рудопородные откосы. Отбиваемые слои руды на момент закладки модели отделялись от боковой породы прямоугольными листами из ДВП толщиной 3 мм с гладкими поверхностями.

Физическое моделирование проведено для трех гранулометрических составов отбитой рудной массы: фактического по выемочной единице БДО 9-1-1-2, улучшенного без негабаритов при размере кондиционного куска 700 мм и среднего по руднику, а также для четырех мощностей рудного тела. С учетом ограниченного объема в статье показаны только основные результаты моделирования по исследованию влияния гранулометрического состава на полноту и качество извлечения запасов при мощности рудного тела 17 м.

При отбойке руды восходящими веерами при ее выпуске происходит увеличение крупности кусков рудной массы в зависимости от продолжительности ее извлечения относительно начального момента.

Для имитации *фактической* крупности отгружаемой горной массы модель была разделена на части пропорционально участкам с тремя характерными распределениями гранулометрического состава (табл. 1).

Таблица 1. Фактический грансостав выпускаемой руды
Table 1. Actual grain-size distribution of the ore produced

Часть рудного слоя	Высота, м	Грансостав
нижняя (припочвенная)	3,9	-300 (51,25%), -700 (46,25%), +700 (2,5%)
средняя	8,2	-300 (39,29%), -700 (48,07%), +700 (12,64%)
верхняя (подкровельная)	4,9	-300 (0%), -700 (53,00%), +700 (47,00%)

Для засыпки руды в моделях, имитирующих выпуск рудной массы фактического гранулометрического состава из БДО 9-1-1-2 (на три веера), делались первоначальные навески:

- для припочвенного слоя – 1,5 кг фракции:
-3 мм (0,76 кг); +3 -7 (0,69 кг), в том числе +3 -5 (0,49 кг), +5 -7 (0,2 кг); +7 (0,04 кг);
- для среднего слоя – 2,00 кг:
-3 мм (0,78 кг); +3 -7 (0,96 кг), в том числе +3 -5 (0,6 кг), +5 -7 (0,36 кг); +7 (0,25 кг);
- для подкровельного слоя – 2,00 кг:
-3 мм (0,00 кг); +3 -7 (1,06 кг), в том числе +3 -5 (0,4 кг), +5 -7 (0,606 кг); +7 (0,94 кг).

Далее производилась засыпка слоев и через разницу первоначальных навесок и оставшейся ее частью определялись весовые объемы заложенной в модель руды.

Всего израсходовано 3582,48 г руды, на один слой – 1194,16 г. Плотность руды в отбитом виде составила

$$\rho_{отб} = 3582,48/2363,4 = 1,52 \text{ г/см}^3.$$

При установленной плотности мрамора (руды) в массиве $\rho_{мас} = 2,79 \text{ г/см}^3$ коэффициент разрыхления руды определяется из выражения

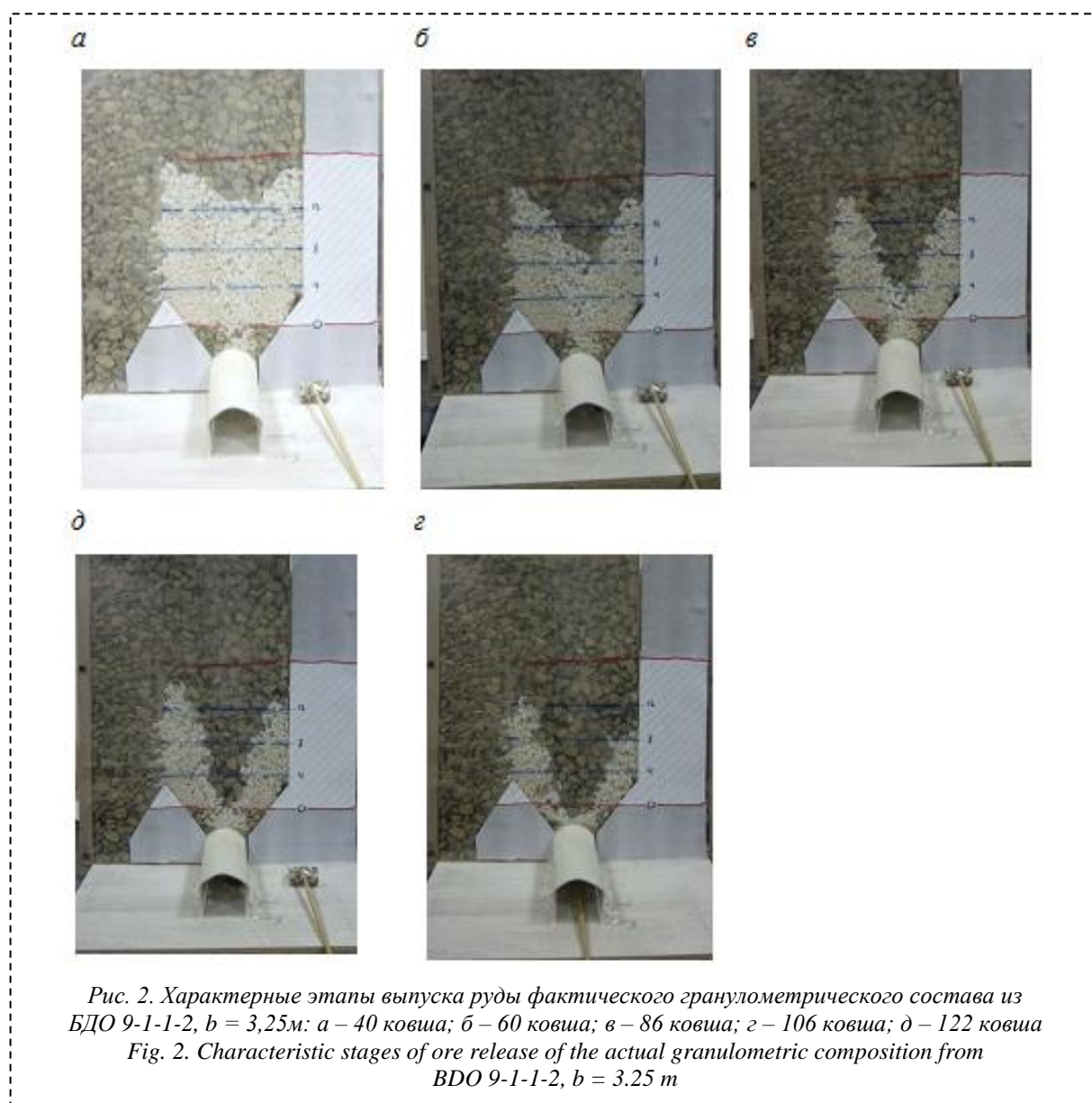
$$k_p = 2,79/1,52 = 1,83.$$

Породная часть модели засыпалась следующим образом:

- отбитая порода предохранительного слоя над БДО – щебенкой крупностью +7 -10 мм;
- обрушенные породы налегающей толщи – щебенкой крупностью +7-15 мм.

Заложенная модель имитирует фактический гранулометрический состав, зафиксированный при отработке выемочной единицы БДО 9-1-1-2.

При выемке 1 слоя фиксировался только вес выпущенной рудной массы. При этом в выработанном пространстве формировались потери отбитой руды, чтобы максимально учесть влияние оставленных потерь в отбитом виде на последующие их показатели. Фотографии процесса выпуска руды из модели БДО 9-1-1-2, $b = 3,25 \text{ м}$, когда породная воронка внедрения достигает контрольных высотных отметок по мощности рудного тела, показаны на рис. 2.



Выпуск 2 и 3-го слоев производился с одновременным замером добытой чистой руды и породы в каждом ковше ПДМ.

Добыто чистой руды 760,78г, породы – 966,81г.

Потери по слою на момент окончания выпуска составили 36,3%.

Разубоживание – 56,0%.

График изменения потерь и разубоживания представлен на рис. 3.

Исследования влияния *улучшенного* гранулометрического состава на показатели извлечения произведены из условия отсутствия в горной массе класса +700 мм для четырех мощностей рудного тела m_p : 10, 14, 17 и 26 м.

Во всех опытах принят следующий гранулометрический состав руды: -3 мм (30%); +3 -5 (60%); +5 -7 (10%). Предварительно готовилась навеска из трех фракций по их процентному соотношению и смесь перемешивалась. Затем засыпалась модель, и по разнице веса навески и остатка определялся фактический объем руды в исследуемом слое.

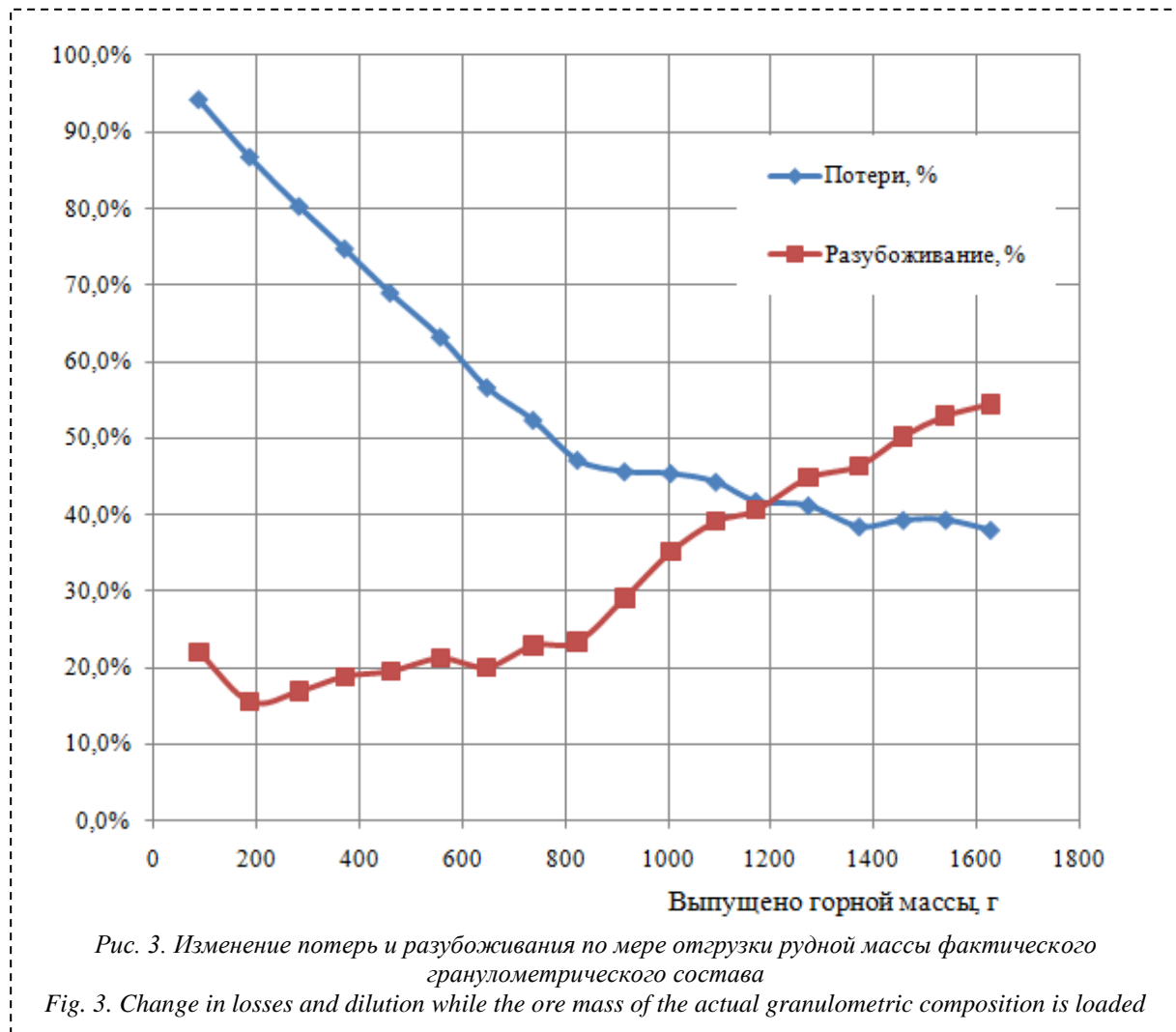
В статье приводятся результаты физического моделирования только для мощности рудного тела 17 м.

Объем засыпки руды в слое равен 787,8 см³. $\rho_{\text{омб}} = 1,68\text{ г/см}^3$, $k_p = 1,66$.

Всего из модели выпущено 158 ковшей.

Добыто чистой руды 704,58г, породы – 770,57 г.

Потери по слою на момент окончания выпуска составили 46,8%.



Разубоживание – 52,2%.

Фотографии процесса выпуска руды гранулометрического состава без негабаритов, когда породная воронка внедрения достигает контрольных высотных отметок по мощности рудного тела, показаны на рис. 4.

Изменение потерь и разубоживания по мере отгрузки рудной массы представлено на рис. 5.

Моделирование процесса выпуска для среднего гранулометрического состава отбитой рудной массы по руднику -100 (42,5%); - 200 (3,2%); - 400 (5,8%); - 600 (6,7%); - 800 (7,6%); - 1000 (8,9%); + 1000 (25,3%);

Объем засыпки руды в слое равен $787,8 \text{ см}^3$. $\rho_{\text{отб}} = 1,78 \text{ г/см}^3$, $k_p = 1,57$.

Всего из модели выпущено 179 ковшей.

Добыто чистой руды 732,32 г, породы – 931,01 г.

Потери по слою на момент окончания выпуска составили 47,9%.

Разубоживание – 56,0%.

Фотографии процесса выпуска руды среднего гранулометрического состава отбитой рудной массы по руднику, когда породная воронка внедрения достигает контрольных высотных отметок по мощности рудного тела, показаны на рис. 6.

Изменение потерь и разубоживания по мере отгрузки рудной массы представлено на рис. 7.

Итоговые зависимости исследуемых гранулометрических составов на показатели извлечения показаны на рис. 8 и 9.



Результаты исследований.

1. При исследуемых гранулометрических составах рудной массы минимальные потери соответствуют фактическому грансоставу по мере всего процесса выпуска. Графики изменения потерь для средних по руднику и без негабаритов примерно схожи.

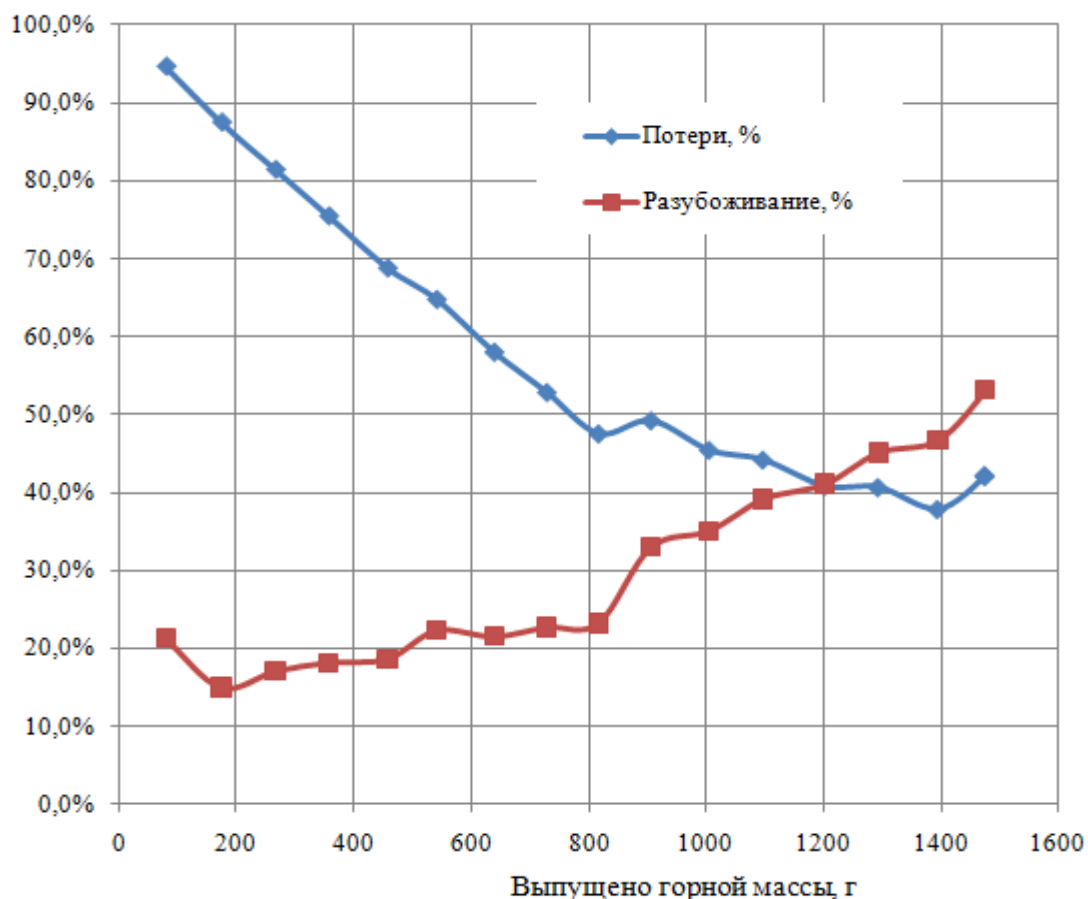


Рис. 5. Изменение потерь и разубоживания по мере отгрузки рудной массы руды гранулометрического состава без негабаритов

Fig. 5. Change in losses and dilution during loading of the ore mass of the granulometric composition without oversized fractions

2. Для принятых горно-технологических условий отрицательное влияние на полноту извлечения запасов при выпуске оказывает равномерное распределение по высоте камеры крупности отбитой руды как при полном отсутствии фракций +700 мм, так и при значительном ее содержании – 35% и более.

3. Разубоживание для фактического грансостава становится максимальным после выпуска 700 г или 50% выпущенной горной массы модели.

4. Полное отсутствие в выпускаемой руде фракции от +700 мм и более приводит к ухудшению полноты извлечения запасов, но снижает затраты на выпуск и вторичное дробление.

Заключение.

В результате проведенных исследований установлены зависимости изменения потерь и разубоживания по мере отгрузки рудной массы различного гранулометрического состава. Полученные зависимости могут быть учтены при проектировании технологии отработки запасов системой этажного принудительного обрушения с торцевым выпуском и для повышения эффективности отработки запасов подземным способом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Именитов В. Р., Ковалев И. А., Уралов В. С. // Моделирование обрушения и выпуска руды. М : МГИ, 1961. 151 с.

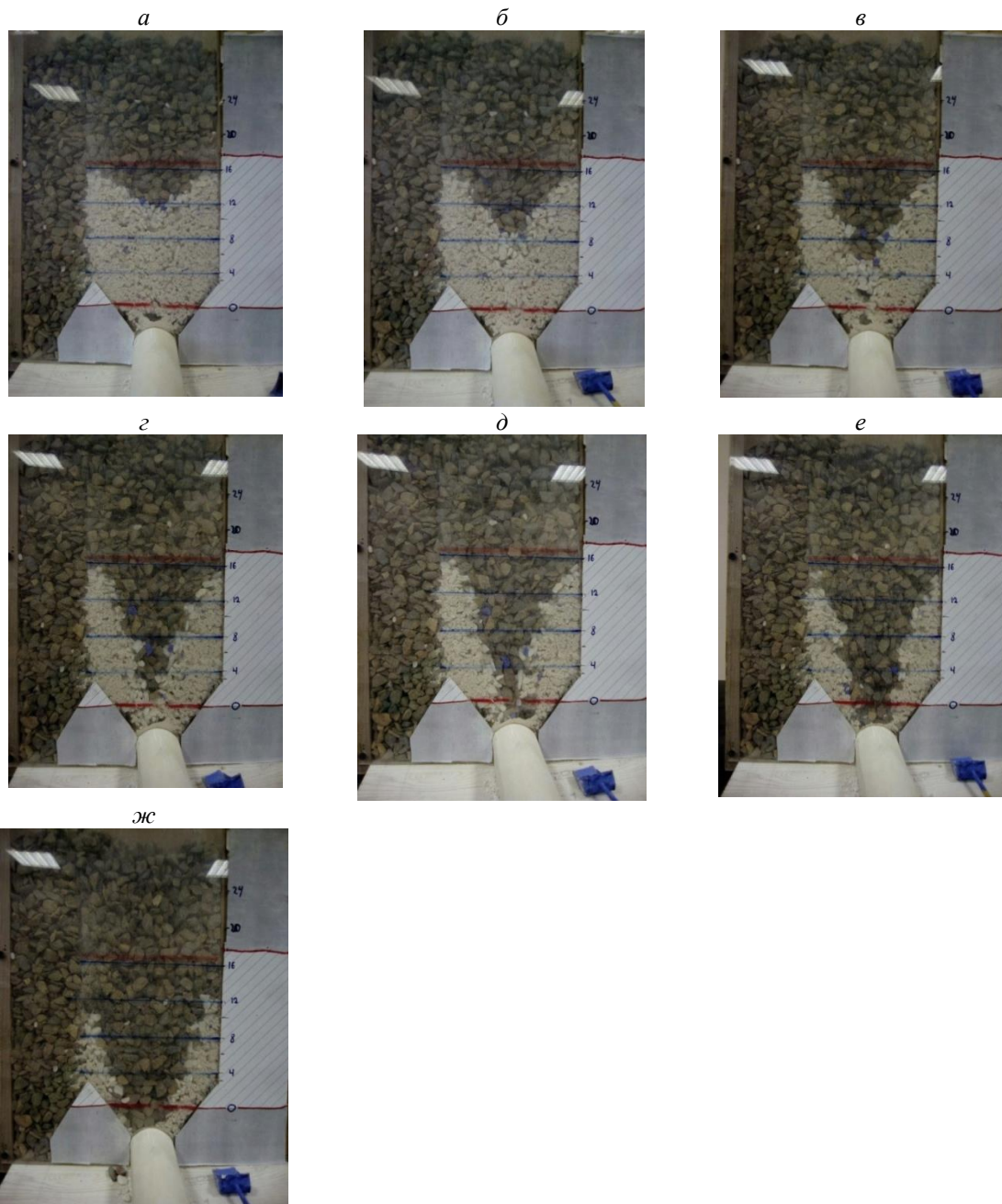


Рис. 6. Характерные этапы выпуска руды среднего гранулометрического состава: а – 37 ковшей; б – 50 ковшей; в – 65 ковшей; г – 73 ковша; д – 79 ковшей; е – 110 ковшей; ж – 179 ковшей, выпуск остановлен

Fig. 6. Characteristic stages of caving ore of medium granulometric composition: a – 37 buckets; b – 50 buckets; c – 65 buckets; d – 73 buckets; e – 79 buckets; f – 110 buckets; g – 179 buckets, production stopped

2. Дубынин Н. Г. Выпуск руды при подземной разработке. М. : Недра, 1965.
3. Малахов Г. М. [и др.] Теория и практика выпуска руды. М. : Недра, 1968.
4. Мартынов В. К. [и др.] К вопросу о переносе результатов моделирования выпуска руды на натуре // Сб. Разработка рудных месторождений. 1970. №14. С. 13-17.
5. Just G. D., Free G. D. "The gravity flow of material in the sublevel caving mining system", in Proceedings of the 1st Australia-New Zealand Conference on Geomechanics, Melbourne. Institution of Engineers, Australia, Sydney. 1971. Pp. 88-97.
6. Хартович Ю. И. О закономерностях истечения руды при использовании сил гравитации // Горный журнал. 1971. №10. С. 26-29.
7. Just G. D., Free G. D., Bishop G. A. "Optimization of ring burden in sublevel caving", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 1973. Vol. 10. Pp. 119-131.

8. Куликов В. В. Выпуск руды. М. : Недра, 1980. 303с.

9. Peters D. C. "Physical modeling of the draw behavior of broken rock in caving". Quarterly of the Colorado School of Mines. 1984. Vol. 79 no. 1.

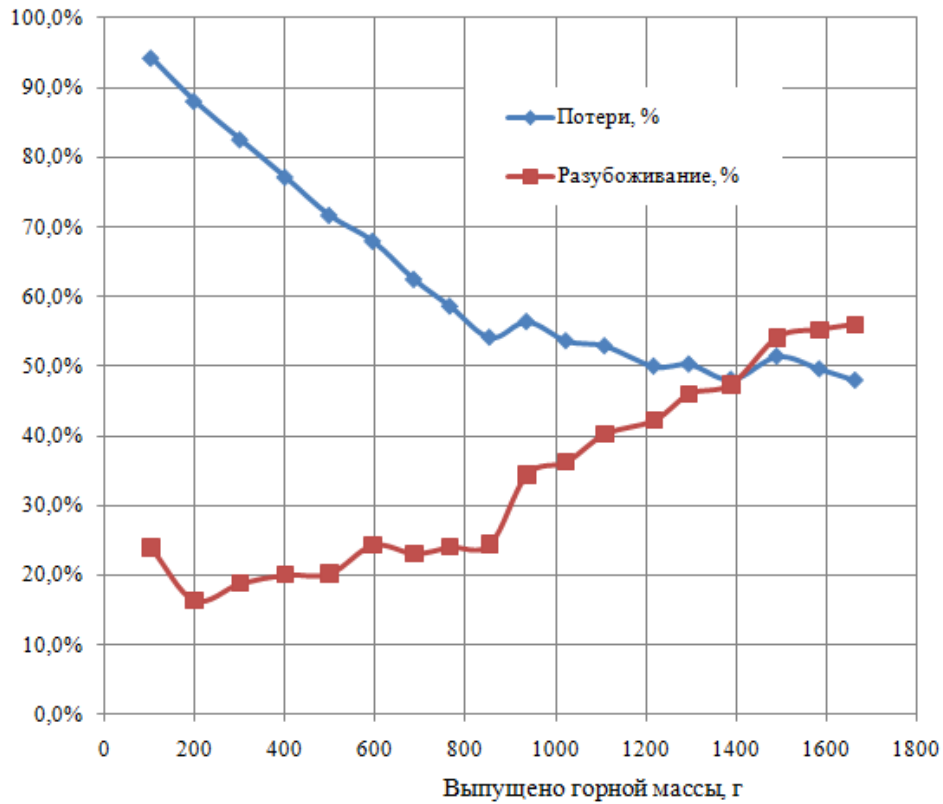


Рис. 7. Изменение потерь и разубоживания по мере отгрузки рудной массы среднего гранулометрического состава по руднику
 Fig. 7. Change in losses and dilution during loading of the ore mass of the average granulometric composition at the ore mine

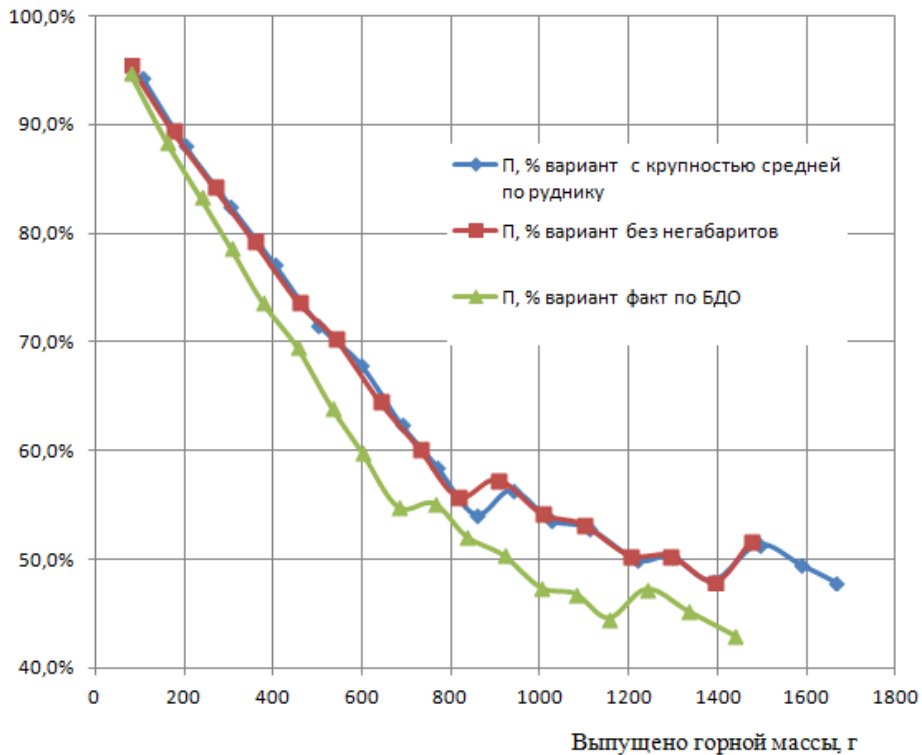


Рис. 8. Изменение полноты извлечения руды по мере отработки запасов различного

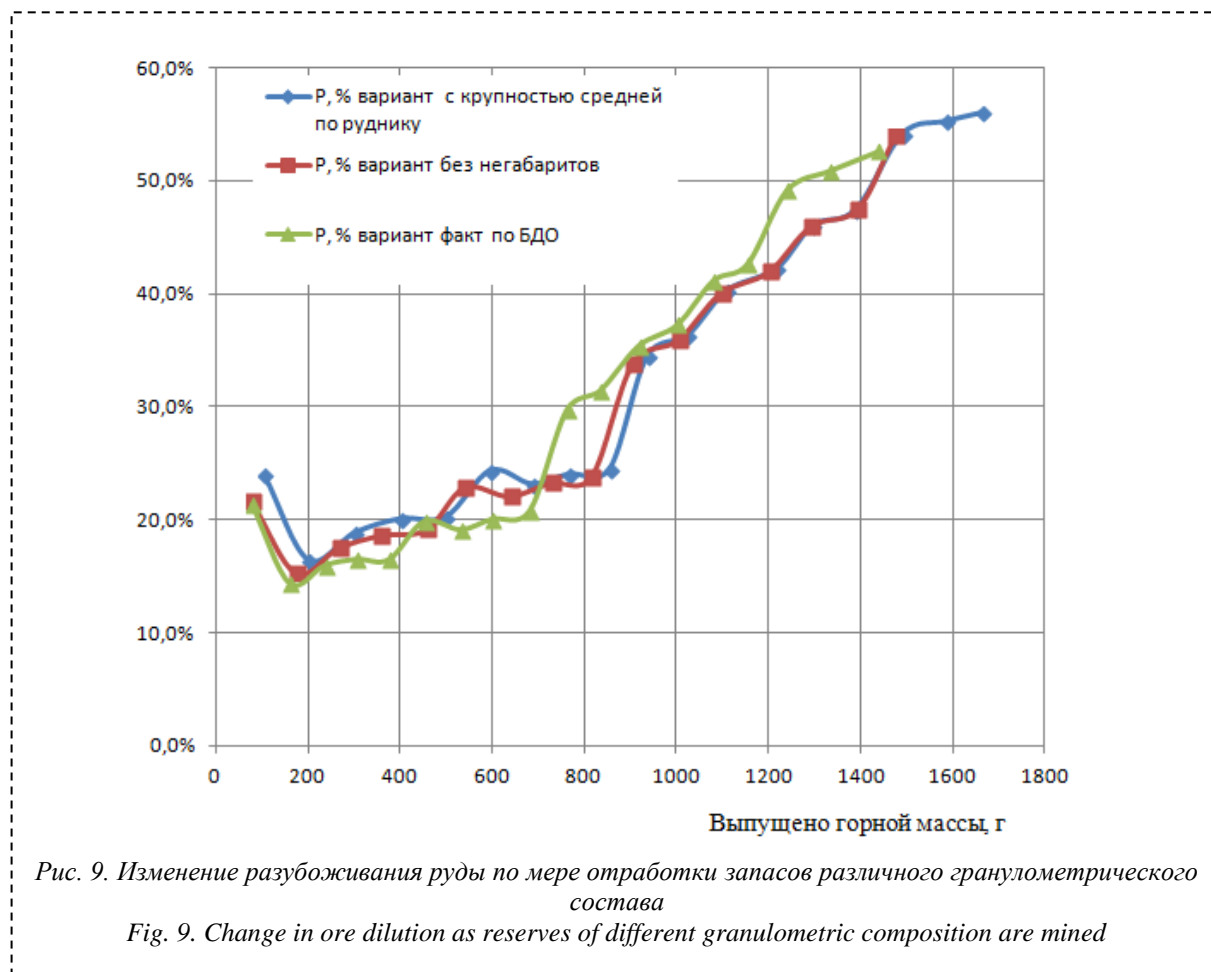


Рис. 9. Изменение разубоживания руды по мере отработки запасов различного гранулометрического состава

Fig. 9. Change in ore dilution as reserves of different granulometric composition are mined

10. Rustan A. "Gravity flow of broken rock - what is known and un-known", in Proceedings MassMin 2000, Brisbane, Ed. G. Chitombo. The AusIMM, Melbourne. 2000. Pp 557-567.

11. Зеньков Д. К. Обоснование параметров технологии торцевого выпуска при регулировании гранулометрического состава руды // Дисс. ... канд. техн. наук. М.: МГТУ, 2002.

12. Power G. R. "Modelling granular flow in caving mines: large scale physical modelling and full scale experiments", PhD thesis, The University of Queensland, Brisbane. 2004.

13. Ермакова И. А. Управление формированием потоков при выпуске руды из блоков в системах разработки с обрушением // Дисс. ... док. Техн. наук. Кемерово: ГОУ ВПО КГТУ, 2007.

14. Калиниченко В. А. Определение доминирующих зависимостей параметров и фигур выпуска разноплотненной руды на моделях из эквивалентных материалов. Кривой Рог: Вестник КТУ. 2010. Вып. 26. С. 49-52.

15. Малиновский Е. Г., Ахпашев Б. А., Голованов А. И., Гильдеев А. М. Сравнение результатов физического моделирования и натурального эксперимента по торцевому выпуску руды при системе этажного принудительного обрушения для пологих залежей // Известия вузов. Горный журнал. 2019. №7. С. 34-44.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Малиновский Евгений Геннадьевич, доцент кафедры «Подземная разработка месторождений», Институт горного дела, геологии и геотехнологий, Сибирский федеральный университет, (660025, Россия, г. Красноярск, пр. Красноярский рабочий, 95), канд. техн. наук, meg2054@yandex.ru

Голованов Алексей Иванович, доцент кафедры «Подземная разработка месторождений», Институт горного дела, геологии и геотехнологий, Сибирский федеральный университет, (660025, Россия, г. Красноярск, пр. Красноярский рабочий, 95), канд. техн. наук, stu-prm@yandex.ru

Ахпашев Богдан Андреевич, доцент кафедры «Подземная разработка месторождений», Институт

горного дела, геологии и геотехнологий, Сибирский федеральный университет, (660025, Россия, г. Красноярск, пр. Красноярский рабочий, 95), канд. техн. наук, stu-prm@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

Малиновский Евгений Геннадьевич – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; сбор и анализ данных; выводы.

Голованов Алексей Иванович – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; выводы.

Ахпашев Богдан Андреевич – обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; выводы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

STUDIES OF THE INFLUENCE OF THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF THE BROKEN ORE MASS ON THE EXTRACTION INDICATORS WITH A SYSTEM OF FORCED BLOCK CAVING OF ORE BY PHYSICAL MODELING

Evgeny G. Malinovsky, Aleksey I. Golovanov, Bogdan A. Ahpashev

Siberian Federal University

*for correspondence: meg2054@yandex.ru



Article info

Submitted:
09 March 2022

Approved after reviewing:
7 June 2022

Accepted for publication:
17 June 2022

Keywords: flat and inclined ore deposits, physical modeling, a system of forced sub-level caving, loss and dilution of ore, underground mining

Abstract.

The work is aimed at improving the technology of extracting the reserves of shallow and inclined ore deposits by taking into account the influence of the granulometric composition of ore on the amount of losses and dilution during the release of ore under collapsed rocks. The study of the influence of the granulometric composition of the ore mass was carried out by physical modeling of the sub-level caving of ore with a system of forced block caving. The simulation of the sub-level ore caving was carried out on a scale of 1:100. The shipment of rock mass was simulated by a bucket model of a loading machine. White marble chips were used as an ore classified by size into classes -3; +3 -5; +5 -7; +7 -10 mm. Crushed stone with a size of +7 -10 and +10 mm was used as rock.

The ore mass was produced from one and three layers. Physical modeling was carried out for three granulometric compositions of the broken ore mass: the actual, improved without extra dimensions at the size of the conditioned piece of 700 mm and the average for the mine, as well as for four thicknesses of the ore body. To simulate the actual size of the loaded rock mass, the model was divided into parts proportionally to the sections with three characteristic distributions of granulometric composition.

The dependences of the change in losses and dilution while the ore mass of various granulometric composition is unloaded have been established, which can be taken into account when designing the technology of mining the reserves with a system of forced sub-level caving and for the increase in the efficiency of mining reserves underground.

For citation: Malinovsky E.G., Golovanov A.I., Ahpashev B.A. Studies of the influence of the granulometric composition of the broken ore mass on the extraction indicators with a system of forced block caving of ore by physical modeling. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022; 3(151):41-53. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2022-3-41-53

REFERENCES

1. Imenitov V.R. [et al.] Modeling of collapse and ore release. M: MGI; 1961. 151 p.
2. Dubinin N. G. The ore in underground development. M.: Nedra; 1965.
3. Malakhov G. M. [et al.] Theory and practice of ore. M.: Nedra; 1968.
4. Martynov V.K. [et al.] On the question of transferring the results of modeling ore output to nature. *Sb. Development of ore deposits*. 1970; 14: 13-17.
5. Just G.D., Free G.D. "The gravity flow of material in the sublevel caving mining system". *Proceedings of the 1st Australia-New Zealand Conference on Geomechanics*. 1971. Institution of Engineers, Australia, Sydney. Pp 88-97.
6. Khartovich Yu.I. On the regularities of ore outflow when using gravity forces. *Mining Journal*. 1971; 10: 26-29.
7. Just G.D., Free G.D., Bishop G.A. "Optimization of ring burden in sublevel caving". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 1973; 10: 119-131.
8. Kulikov V.V. Ore release. M.: Nedra; 1980. 303 p.
9. Peters D.C. 1984. "Physical modeling of the draw behavior of broken rock in caving". *Quarterly of the Colorado School of Mines*. 1984; 79(1).
10. Rustan A. "Gravity flow of broken rock - what is known and un-known". *Proceedings MassMin*. 2000. Pp 557-

567.

11. Zenkov D.K. Substantiation of the parameters of the technology of end discharge when regulating the granulometric composition of ore. Diss. ...candidate of Technical Sciences. Moscow: Moscow State University; 2002.

12. Power G.R., "Modelling granular flow in caving mines: large scale physical modelling and full scale experiments", *PhD thesis*. The University of Queensland. 2004.

13. Ermakova I.A. Control of the formation of flows during the release of ore from blocks in mining systems with collapse. Diss. ...doc. Technical sciences. Kemerovo: GOU VPO KSTU; 2007.

14. Kalinichenko V.A. Determination of the dominant dependencies of parameters and figures of output of differently compacted ore on models of equivalent materials. *Bulletin of KTU*. 2010; 26: 49-52.

15. Malinovsky E.G., Akhpashev B.A., Golovanov A.I., Gildeev A.M. Comparison of the results of physical modeling and a full-scale experiment on the end release of ore with a system of floor forced collapse for shallow deposits. *News of universities. Mining magazine*. 2019; 7: 34-44.

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Evgeny G. Malinovsky, associate professor of the Department " Underground mining", Institute of Mining, Geology and Geotechnologies, Siberian Federal University, (95, Krasnoyarskiy Rabochiy Avenue, Krasnoyarsk, 660025, Russia), C. Sc. in Engineering, meg2054@yandex.ru

Aleksey I. Golovanov, associate professor of the Department " Underground mining", Institute of Mining, Geology and Geotechnologies, Siberian Federal University, (95, Krasnoyarskiy Rabochiy Avenue, Krasnoyarsk, 660025, Russia), C. Sc. in Engineering, stu-prm@yandex.ru

Marina A. Plakhotnikova, associate professor of the Department " Underground mining", Institute of Mining, Geology and Geotechnologies, Siberian Federal University, (95, Krasnoyarskiy Rabochiy Avenue, Krasnoyarsk, 660025, Russia), stu-prm@yandex.ru

Contribution of the authors:

Evgeny G. Malinovsky – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; data collection; data analysis; drawing the conclusions.

Aleksey I. Golovanov – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; drawing the conclusions.

Bogdan A. Akhpashev – reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; drawing the conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.

