

## ПРИМЕНЕНИЕ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ЗАКЛАДКИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА РУДНИКОВ

А.А. Куликова<sup>1</sup>, А.М. Ковалева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС»

**Аннотация:** Для повышения безопасности и эффективности отработки подземным способом рудных месторождений, которые находятся в непосредственной близости от населенных пунктов, существует необходимость создавать искусственный массив, используя закладку. Такие мероприятия позволяют управлять горным давлением и впоследствии не допускать просадок и деформаций земной поверхности. Рассмотрен актуальный вопрос об использовании отходов горно-обогатительных предприятий в качестве закладки выработанного пространства. Авторами приведены требования, предъявляемые к материалам, которые используются для закладки, представлены характеристики её. Отечественный и зарубежный опыт показал, что использование хвостов обогащения является отличным и доступным материалом для закладки. При использовании хвостов обогащения можно снизить себестоимость добычи руды, также впоследствии отпадает потребность в отводе земельных угодий на новые хранилища отходов обогащения. Анализ результатов применения хвостов обогащения выявил, что целесообразно для закладки использовать «сгущенные» хвосты обогащения, так как при сгущении снижаются объемы отходов, экономится вода за счет использования восстановленной, получается податливый материал, который обладает хорошей текучестью и способен долгое время быть в разжиженном состоянии и не расслаиваться. Такой материал может транспортироваться по трубопроводу на большие расстояния до места закладки в выработанное пространство и уже на месте можно в него добавлять вяжущее вещество. В качестве вяжущего вещества используют не только цемент, но и отходы в виде шлаков и золы. В статье авторами приведена блок-схема последовательности закладки в отработанные камеры на основе «сгущенных» хвостов и приведен выбор рационального размещения узла сгущения «текущих» хвостов.

**Ключевые слова:** закладка, подземная разработка, искусственный массив, выработанное пространство, хвосты обогащения, горный массив, «сгущенные» хвосты, глубокие горизонты, рудник.

**Для цитирования:** Куликова А.А., Ковалева А.М. Применение хвостов обогащения в качестве закладки выработанного пространства рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2–1. – С. 144–154. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-144-154.

### Use of tailings of enrichment for laying of the developed space of mines

A.A. Kulikova<sup>1</sup>, A.M. Kovaleva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NUST «MISiS», Moscow, Russia

**Abstract:** To improve the safety and efficiency of mining ore deposits by the underground method, which are in close proximity to settlements, there is a need to create an artificial massif using a backfill. Such measures make it possible to control rock pressure and subsequently prevent subsidence and deformation of the earth's surface. The article deals with the topical issue of using the waste of mining enterprises as a backfill of the worked-out area. The authors give the requirements for the materials that are used to fill the goaf. The characteristics of the ways of backfilling the mined-out area of mines with the use of various wastes of mining enterprises are presented. Domestic and foreign experience has shown that the use of tailings is an excellent and affordable material for filling. When using tailings, it is possible to reduce the cost of ore mining, and subsequently there is no need to allot land to new storage facilities for waste. Analysis of the results of the use of tailings revealed that it is advisable to use "thickened" tailings for backfill, since when thickening the volumes of waste are reduced, water is saved due to the use of recovered water, a pliable material is obtained that has good fluidity and can be in a liquefied state for a long time and do not delaminate. Such material can be transported by pipeline over long distances to the place of filling in the goaf and already in place it is possible to add a binder to it. As a binder, you can use not only cement, but also waste in the form of slag and ash. In the article, the authors provide a block diagram of the sequence of filling in spent chambers on the basis of "thickened" tails and the choice of a rational placement of the thickening unit for "current" tails.

**Key words:** backfill, underground mining, artificial massif, mined-out space, tailings, mountain massif, "thickened" tailings, deep horizons, mine.

**For citation:** Kulikova A. A., Kovaleva A. M. Use of tailings of enrichment for laying of the developed space of mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2–1):144-154. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-144-154.

---

## Введение

Подземная разработка месторождений, которые располагаются вблизи населенных пунктов и обработка которых идет по камерным системам и с углублением, сопровождается необходимостью закладки выработанного пространства. Это связано с обеспечением безопасности и эффективности разработки, с управлением горным давлением, сохранением целостности поверхности, а также эффективным использованием ресурсов. Для закладки используют породы, которые находятся поблизости от рудников, но в связи с ростом объема добычи руды появляется потребность и в закладочных работах.

Таким образом, возникает необходимость поиска новых материалов для закладки выработанного пространства. Перспективным решением является использование в каче-

стве закладочного материала отходов горно-обогачительных предприятий. Это открывает возможность не только обеспечения непрерывного потока материалов для закладочных работ, но и уменьшения себестоимости добычи руды.

## Опыт применения хвостов обогащения в качестве закладки выработанного пространства

Ранее при добыче руды выработанное пространство оставляли открытым или проводили обрушение вмещающих пород, но такие методы приводили к проседанию поверхности. Используемые крепи не давали гарантии поддержания выработок больших размеров. Поэтому в странах, где развита горнодобывающая промышленность, чаще всего начинали проводить подземные горные работы с закладкой выработанного пространства. Такая технология

связана с увеличением глубины отработки месторождений, так как увеличивается горное давление, проявляется удароопасность, а впоследствии деформация и просадка земной поверхности. Система разработки с закладкой выработанного пространства применялась при плохой устойчивости руд и вмещающих пород и в случаях, когда горные работы распространялись под селитебной зоной. Использование закладки повышало качество отработки пластов за счет селективной выемки рудных тел, имеющих сложное строение [1–5].

Для закладки выработанного пространства изначально использовалась сухая, сыпучая закладка, а затем гидравлическая. С применением сыпучей закладки были выявлены недостатки, связанные со значительной усадкой, которая не обеспечивала поддержание породы и дневной поверхности. В блоках на границе с сыпучей закладкой при выемке наблюдались большие потери рудной мелочи в закладке, которые создавали пожароопасность при самовозгорающейся руде [6–8]. Появилась необходимость использования монолитных закладок (с вяжущими веществами). Применение такой закладки дает возможность разрабатывать сложные месторождения на более глубоких горизонтах с обводненными породами и самовозгорающейся рудой. Для монолитной закладки использовались изначально пустая порода и отходы шахты, но для лучшей связанности добавлялся цемент, что привело к возрастанию стоимости закладочного материала. Необходимо было искать новые материалы, которые могли бы стать связующими в закладке [9]. Для создания качественного искусственного массива необходимо было учитывать не только свойства закладочного материала, которые бы влияли на проч-

ность массива, но и возможность легкой транспортировки и размещения закладки.

Материал должен удовлетворять следующим требованиям:

- образованный из него массив должен иметь прочную и плотную структуру с малой воздухопроницаемостью, минимальную усадку;
- не иметь возможности к самовозгоранию (состав горючих сланцев не более 20 %, серы — 5–8 %);
- не слеживаться и не замерзать при хранении на складах;
- не менять плотность при транспортировке;
- быть доступным по цене;
- содержать глинистые частицы и пылевидные фракции в пределах 10–15 %;
- крупность и форма частиц материала важна при транспортировке;
- не должен обладать абразивными свойствами;
- не должен повышать кислотность при контакте с шахтными водами;
- не должен изменять свойства схватывания закладочной смеси, вододерживающую способность массива и угол растекания.

Приведенные требования можно предъявлять ко всем видам закладок. Но ошибочным является и то, что предъявляются требования только к материалу для закладки. Образованный искусственный массив может подвергаться значительным изменениям. Для этого при использовании в качестве закладки отходов горного производства необходимо проводить лабораторные эксперименты, исследуя образцы на прочность, усадку и другие параметры [10].

Анализ отечественного и зарубежного опыта показал, что с точки зрения экономики хвосты обогатительных фабрик являются отличным и доступ-

ным материалом для закладки. Хвосты обогащения — это отходы горно-обогатительных предприятий, которые складываются в хвостохранилище, при этом предприятию необходимо нести затраты сначала на строительство, а потом на их содержание. С эксплуатацией хвостохранилищ растёт и себестоимость продуктов горнодобывающей промышленности. В связи с ростом добычи появляется потребность в отводе земельных угодий под новые хвостохранилища. Использование хвостов снижает затраты и даёт возможность получения однородной нерасплаивающейся при транспортировке смеси, в отличие от песков, песчано-гравийных смесей и отвалных пород. Недостаточные дренажные свойства и сильная усадка закладки из пустых пород делает их менее привлекательными для таких целей. А использование «сгущенных» хвостов (пасты) закладочных смесей позволяет получать цементирующуюся закладку с хорошими дренажными свойствами [11, 12]. Характеристика способов закладки представлена в табл. 1.

Сгущение хвостов обогащения до состояния пасты (также называемой «сгущенные» хвосты) имеет следующие преимущества:

- восстановленная вода используется повторно;
- снижается объём отходов за счёт сгущения, следовательно, снижаются расходы на утилизацию;
- обратное заполнение горных выработок (шахт) без дорогостоящей фильтрации.

«Сгущенные» хвосты представляют собой плотный гелеобразный материал, который содержит связанные мелкие шламодные частицы (20 мкм) и не отделяющуюся часть воды, позволяющую легко течь при транспортировке (рис. 1) [13, 14].

Закладочный материал в виде пасты транспортируется по трубе, демонстрируя течение суспензии со структурным ядром. Более крупные частицы движутся в центре ядра с определенной скоростью, а более мелкие коллоидные частицы, которые находятся вблизи стенок трубы, продвигаются с меньшей скоростью и создают так называемый «смазочный слой». Достигается это благодаря ионизации мельчайшей твердой составляющей пасты, за счет обладания противоположными зарядами трубы и частиц, а также сил трения происходит отток коллоидных частиц к стенкам трубы (рис. 2).

Пока паста без вяжущего вещества, она легко может транспортироваться на длинные расстояния и находиться в разжиженном состоянии, но потеря давления в системе должна компенсироваться транспортным ядром или насосом. Это качество «сгущенных» хвостов открывает большие возможности и позволяет сгущать хвосты как на поверхности, так и непосредственно в горных выработках. Без вяжущего вещества паста при движении может переходить в разжиженное состояние и находиться в нем длительное время, не расслаиваясь и после приложения к ней давления, сохраняя способность двигаться далее по трубам. Вяжущее вещество подается непосредственно перед закладкой в выработанное пространство. Прочность закладки зависит от водоудерживающей способности хвостов и от типа используемого вяжущего вещества. В качестве вяжущего вещества можно использовать не только цемент, но и различные шлаки, золу уноса и другие отходы производств [15–17].

Сгущение хвостов обогащения до состояния пасты может осуществляться в вертикальных сгустителях с применением флокулянтов или в пластинчатых сгустителях особой кон-

Таблица 1  
 Характеристика способов закладки  
 Characteristics of bookmarking methods

№ п/п	Показатели	Способ закладки		
		Пустая порода	«Текущие» хвосты	«Сгущенные» хвосты
1	Состояние	Сухая	60 – 75 % твердого	65 – 85 % твердого вещества
2	Транспортирование	Перепуск пород, инъекторы	Трубопровод, скважины	Трубопровод, скважины
3	Использование цемента	Необязательно	Необязательно	Обязательно
4	Расслоение	При перепуске пород	При транспорте пульпы	отсутствует
5	Наполняемость	С трудом	Невозможно	Легко
6	Производительность	100 – 400 т/ч	100 – 400 т/ч	50 – 200 т/ч



Рис. 1. «Паста», или «сгущенные» хвосты  
 Fig. 1. «Pasta» or «thickened tails»

струкции, позволяющей материалу отстаиваться в тонком слое до нужной консистенции. Причем пластинчатые сгустители могут устанавливаться непосредственно в горных выработках [18].



Рис. 2. Продвижение «сгущенных» хвостов в трубопроводе  
 Fig. 2. Promotion of «thickened» tailings in the pipeline

Блок-схема последовательности действий закладки на основе «сгущенных» хвостов представлена на рис. 3.

Выбор рационального места размещения узла сгущения «текущих» хвостов зависит от выбранного способа сгущения.

Предельная длина  $L_T$  самотечного транспортирования по горизонтали, м:

$$L_T = \frac{9,81 \cdot \rho_c \cdot H \cdot K_H}{\Delta\rho} - \left( \frac{H \cdot K_H}{\sin\beta} + \sum_1^n n_k \cdot l_k \right) \quad (1)$$

где  $\rho_c$  – плотность смеси закладки, т/м<sup>3</sup>;  $H$  – вертикальная высота трубопровода, м;  $K_H$  – коэффициент наполнения закладкой вертикальной части трубопровода, равен 0,7 – 0,8;  $\Delta\rho$  –



Рис. 3. Блок-схема последовательности действий закладки на основе «сгущенных» хвостов  
 Fig. 3. Flowchart of the sequence of actions of the bookmark based on "thickened" tails

удельные потери давления (напора) при движении смеси по трубопроводу, 0,1 Па/м;  $\beta$  – угол наклона трубопровода к горизонту, 55 град;  $\left(\sum_1^n n_k \cdot l_k\right)$  –

суммарная эквивалентная длина колен и поворотов, расположенных по длине трубопровода, м.

Также необходимо определить нормативную прочность закладки. Для стадии выемки запасов блока нормативная прочность рассчитывается:

$$\sigma_{сж1}^H = \frac{K_3}{K_\phi K_D} \sigma_{сж1} \quad (2)$$

где  $K_3$  – коэффициент запаса прочности ( $K_3 = 1,5 - 2$ ), учитывает непостоянство прочностных свойств, отрицательное влияние взрывных работ, увеличение прочности закладки в шахтных условиях, отклонение фактических параметров от проектных;  $K_D$  – коэффициент, учитывающий длительную прочность искусственного целика (равен 0,5 – 0,7, если искусственные опоры работают при незаложенных камерах, например, при двухстадийной выемке, или

1 – при кратковременном нагружении искусственных опор);  $K_\phi$  – коэффициент формы, учитывающий влияние соотношения геометрических размеров целика на его несущую способность:

$$\text{при } a_{ц} > h_{ц} \quad K_\phi = \sqrt{\frac{a_{ц}}{h_{ц}}},$$

$$\text{при } a_{ц} < h_{ц} \quad K_\phi = 0,6 + 0,4 \frac{a_{ц}}{h_{ц}},$$

где  $a_{ц}$  – ширина целика, м;  $h_{ц}$  – высота целика, м;  $\sigma_{сж1}$  – напряжения в искусственном массиве, МПа:

$$\sigma_{сж1} = K_a \frac{S_{пр}}{S_{ц}} \gamma_{п} H_{пр} + \gamma_3 h_{ц},$$

где  $K_a$  – коэффициент, учитывающий влияние угла наклона залежи  $\alpha$ .

Коэффициент  $K_a$  рассчитывается в зависимости от ориентации длинной стороны целиков. При расположении целиков длинной стороной по простиранию – по формуле:

$$K_a = \cos 2\alpha + v \sin 2\alpha$$

где  $v$  – коэффициент бокового распора пород ( $v = 0,2 - 0,4$ );  $\gamma_{п}$ ,  $\gamma_3$  – объем-

ный вес соответственно пород кровли и закладки, МН/м<sup>3</sup>;  $S_{кр}$ ,  $S_{ц}$  — площадь соответственно кровли, приходящаяся на искусственную опору, и поперечного сечения целика, м<sup>2</sup>;  $H_{пр}$  — высота перегружающей толщи, м.

Расчет нормативной прочности закладки для камер  $\sigma_{сж2}^H$  производится по формуле, МПа:

$$\sigma_{сж2}^H = \frac{K_3}{K_\phi K_d} \sigma_{сж2},$$

где  $\sigma_{сж2}$  — напряжение в искусственном массиве, МПа.

$$\sigma_{сж2} = \frac{K_a K_H \gamma_{пH}}{a_{ц}} + \gamma_3 h_{ц},$$

где  $K_H$  — коэффициент, учитывающий, какая часть веса столба пород нагружает искусственный массив;  $H$  — глубина залегания от поверхности, м;  $a_{ц}$  — ширина искусственного целика, м.

Расход вяжущего вещества рекомендуется определять по формуле, кг/м<sup>3</sup>:

$$Ц = \left( \frac{\sigma_{сж}}{a \sigma_{ц}} \right)^{\frac{1}{b}},$$

где  $a$ ,  $b$  — эмпирические коэффициенты;  $\sigma_{ц}$  — предел прочности эталонной закладки, МПа, зависящий от марки применяемого вяжущего вещества.

Производственная мощность закладочного комплекса  $Q_k$  (м<sup>3</sup>/год) определяем:

$$Q_k = P \frac{K_{нд} K_y}{\rho_p},$$

где  $P$  — годовая производительность рудника, т/год;  $\rho_p$  — плотность руды, т/м<sup>3</sup>;  $K_{нд}$  — коэффициент неравномерности добычи ( $K_{нд} = 1,25 - 1,3$ );  $K_y$  — коэффициент усадки, для твердеющей закладки  $K_y = 1,01 - 1,02$  [19].

## Заключение

В связи с возникновением геологических и промышленных рисков для повышения безопасности и эффективности отработки подземным способом рудных месторождений, располагающихся вблизи населенных пунктов [20, 21] возникает необходимость закладки выработанного пространства. Закладка выработанного пространства позволяет управлять горным давлением, создавать искусственные массивы, которые сохраняют целостность поверхности, а также использовать отходы горно-обогатительных предприятий, тем самым снижая себестоимость добычи руды [4].

Проведенный анализ опыта использования отходов горно-обогатительных предприятий показал, что для закладки выработанного пространства целесообразно использовать «сгущенные» хвосты обогащения, так как при сгущении получается материал, способный в течение длительного времени не расслаиваться и легко транспортироваться до места закладки. Это открывает большие возможности для его использования при различных способах разработки, дает возможность сгущать хвосты на поверхности и в горных выработках, а уже на месте закладки в выработанное пространство добавлять вяжущее вещество. Прочность образовавшихся искусственных массивов можно регулировать за счет выбора вяжущего вещества.

Таким образом, используя «сгущенные» хвосты обогащения можно создать искусственные массивы, обладающие хорошими дренажными и прочностными свойствами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kolikov K.S., Mazina I.E., Manevich A.I.* Stress-strain analysis in coal and rock mass under traditional mining with full caving and in technology with backfilling. *Eurasian Mining*. 2018, no 2, pp. 15–17. DOI: 10.17580/em.2018.02.04.
2. *Баловцев С.В., Шевчук Р.В.* Геомеханический мониторинг шахтных стволов в сложных горно-геологических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 8. — С. 77–83. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-8-0-77-83.
3. *Batugin A.* Critically stressed areas of earth's crust as medium for man-caused hazards. Paper presented at the E3S Web of Conferences, 2018, Vol. 56. DOI:10.1051/e3sconf/20185602007.
4. *Pleshko M., Kulikova E., Nasonov A.* Assessment of the technical condition of deep mine shafts. MATEC Web of Conferences, 2018, 239, 01021. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823901021>.
5. *Manevich A.I., Tatarinov V.N., Kolikov K.S.* Detection of crustal deformation anomalies with regard to spatial scale effect. *Eurasian mining*. 2019, no 2, pp. 19–22. DOI: 10.17580/em.2019.02.03.
6. *Filin A.E., Zinovieva O.M., Kolesnikova L.A., Merkulova A.M.* Prospects of safety control in combination of mining and metallurgy industries. *Eurasian Mining*. 2018. No. 1. Pp. 31–34. DOI: 10.17580/em.2018.01.07.
7. *Пелипенко М.В., Баловцев С.В., Айнбиндер И.И.* К вопросу комплексной оценки рисков аварий на рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 11. — С. 180–192. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-180-192.
8. *Волков Е.П., Стовманенко А.Ю., Анушенков А.Н.*, Совершенствование технологии и оборудования для утилизации твердых промышленных отходов путем добавления их в состав литых твердеющих закладочных смесей // Известия Уральского государственного горного университета. — 2017. — № 4 (48). — С. 84–89.
9. *Беркович В.Х., Пропп В.Д., Старцев В.А.* Инъекционный способ возведения искусственных целиков: Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений // Сборник докладов IX Международной научно-технической конференции. Отв. за выпуск Н.Г. Валиев. — 2020. — С. 51–55.
10. *Андреев М.Н., Богуславский Э.И.* Разработка состава закладочного материала и испытания его прочностных свойств // Записки Горного института. — 2011. — Т. 189. — С. 130–133.
11. *Скопницева О.В., Ганова С.Д., Бузин А.А., Федотова В.П.* Мероприятия по борьбе с пылью при погрузке и транспортировании твердых полезных ископаемых // Горный журнал. — 2019. — № 12. — С. 76–79. DOI: 10.17580/gzh.2019.12.16.
12. *Газиев У.А., Рахимов Ш.Т.* Разработка оптимальных составов закладочных смесей с применением отходов горно-металлургической промышленности // Современные технологии в строительстве, теплоснабжении и энергообеспечении. Материалы международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им.Н.И. Вавилова», кафедра «Строительство и теплогазоснабжение», 2015. — С. 78–80.
13. *Кузьмин Е.В., Святецкий В.С., Марковец В.В.* Сгущение отходов переработки урановых руд с получением пасты для подземного размещения // Горный журнал. — 2018. — № 7. — С. 73–77. DOI: 10.17580/gzh.2018.07.14.
14. *Yin S., Shao Y., Wu A., Wang H., Wang Y., Liu X.* A systematic review of paste technology in metal mines for cleaner production in China // *Journal of Cleaner Production*. 2020. T. 247. P. 119590.
15. *Егоров М.А., Бучельникова А.И.* Использование техногенных отходов при производстве закладочных работ для условий отработки Сафьяновского месторождения // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений.



Сборник докладов VI Международной научно-технической конференции. — 2017. — С. 15–17.

16. Ялымов Р.Н., Тажибаев Д.К., Исагалиева С.У. Использование отходов производства для приготовления закладочных смесей на Хайдарканском ГАО // Современные проблемы механики. — 2018. — № 34 (4). — С. 57–65.


17. Qi C., Fourie A. Cemented paste backfill for mineral tailings management: review and future perspectives. *Minerals Engineering*. 2019. Т. 144. P. 106025.

18. Олизаренко В.В., Шарипов Р.Х., Туркин И.С. Закладка выработанных пространств рудников с применением вертикальных сгустителей // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. — Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГГУ», 2017 — С. 206–210.

19. Голик В.И., Дмитрак Ю.В., Комащенко В.И., Качурин Н.М. Управление свойствами твердеющих смесей при закладке выработанного пространства рудных месторождений // Записки Горного института. — 2020. — Т. 243. — С. 285–292. DOI: 10.31897/rmi.2020.3.285.

20. Куликова Е.Ю., Виноградова О.В. Риски как причина снижения промышленной безопасности при строительстве подземных сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 7. — С. 146–154. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-146-154.

21. Kulikova E. Yu., Balovtsev S.V. Risk control system for the construction of urban underground structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 962(4), 042020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042020>.

22. Pleshko M., Kulikova E., Nasonov A. Assessment of the technical condition of deep mine shafts. *MATEC Web of Conferences*, 2018, 239, 01021. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823901021>. 

## REFERENCES

1. Kolikov K.S., Mazina I.E., Manevich A.I. Stress-strain analysis in coal and rock mass under traditional mining with full caving and in technology with backfilling. *Eurasian Mining*. 2018, no. 2, pp. 15–17. DOI: 10.17580/em.2018.02.04.

2. Balovtsev S.V., Shevchuk R.V. Geomechanical monitoring of mine shafts in difficult ground conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 8, pp. 77–83. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-8-0-77-83. [In Russ].

3. Batugin A. Critically stressed areas of earth's crust as medium for man-caused hazards. Paper presented at the E3S Web of Conferences, 2018, Vol. 56. DOI:10.1051/e3sconf/20185602007.

4. Pleshko M., Kulikova E., Nasonov A. Assessment of the technical condition of deep mine shafts. *MATEC Web of Conferences*, 2018, 239, 01021. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823901021>.

5. Manevich A.I., Tatarinov V.N., Kolikov K.S. Detection of crustal deformation anomalies with regard to spatial scale effect. *Eurasian mining*. 2019, no. 2, pp. 19–22. DOI: 10.17580/em.2019.02.03.

6. Filin A.E., Zinovieva O.M., Kolesnikova L.A., Merkulova A.M. Prospects of safety control in combination of mining and metallurgy industries. *Eurasian Mining*. 2018. no. 1. Pp. 31–34. DOI: 10.17580/em.2018.01.07.

7. Pelipenko M.V., Balovtsev S.V., Aynbinder I.I. Integrated accident risk assessment in mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 11, pp. 180–192. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-180-192. [In Russ].

8. Volkov E.P., Stovmanenko A. Yu., Anushenkov A.N. Sovershenstvovaniye tekhnologii i oborudovaniya dlya utilizatsii tverdykh promyshlennykh otkhodov putem dobavleniya ikh v sostav litykh tverdeyushchikh zakladochnykh smesey. *Izvestiya Ural'skogo*

*gosudarstvennogo gornogo universiteta* [Improvement of technology and equipment for the disposal of solid industrial waste by adding them to the composition of cast hardening filling mixtures. Bulletin of the Ural State Mining University]. 2017, no. 4 (48), pp. 84–89. [In Russ].

9. Berkovich V. Kh., Propp V.D., Startsev V.A. In”yeksionnyy sposob vozvedeniya iskusstvennykh tselikov: Innovatsionnyye geotekhnologii pri razrabotke rudnykh i nerudnykh mestorozhdeniy. Sbornik dokladov IX Mezhdunarodnoy nauchno.-tekhnicheskoy konferentsii. Otv. za vypusk N.G. Valiyev [Injection method for the construction of artificial pillars: Innovative geotechnologies in the development of ore and non-metallic deposits // Collection of reports of the IX International Scientific and Technical Conference. Resp. for the release of N.G. Valiev]. 2020, pp. 51–55. [In Russ].

10. Andreev M.N., Boguslavsky E.I. *Razrabotka sostava zakladochnogo materiala i ispytaniya yego prochnostnykh svoystv* [Development of the composition of the filling material and testing of its strength properties]. Journal of Mining Institute. 2011. T. 189, pp. 130–133. [In Russ].

11. Skopintseva O.V., Ganova S.D., Buzin A.A., Fedotova V.P. Measures to reduce dusting during loading and transportation of solid mineral resources. *Gornyy Zhurnal*. 2019, no. 12, pp. 76–79. DOI: 10.17580/gzh.2019.12.16. [In Russ].

12. Gaziev U.A., Rakhimov Sh. T. Razrabotka optimal’nykh sostavov zakladochnykh smesey s primeneniyyem otkhodov gorno.-metallurgicheskoy promyshlennosti. Sovremennyye tekhnologii v stroitel’stve, teplosnabzhenii i energoobespechenii. Materialy mezhdunarodnoy nauchno.-prakticheskoy konferentsii. FGBOU VO «Saratovskiy GAU im. N.I. Vavilova», kafedra «Stroitel’stvo i teplogazosnabzheniye» [Development of optimal compositions of stowing mixtures with the use of waste mining and metallurgical industry. Modern technologies in construction, heat supply and energy supply. Materials of the international scientific and practical conference. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saratov GAU named after N.I. Vavilov”, Department of Construction and Heat and Gas Supply], 2015, pp. 78–80. [In Russ].

13. Kuzmin E.V., Svyatetsky V.S., Markovets V.V. Thickening of uranium ore mill tailings with paste production for underground disposal. *Gornyy zhurnal*. 2018, no. 7, pp. 73–77. DOI: 10.17580/gzh.2018.07.14. [In Russ].

14. Yin S., Shao Y., Wu A., Wang H., Wang Y., Liu X. A systematic review of paste technology in metal mines for cleaner production in China. *Journal of Cleaner Production*. 2020. T. 247. P. 119590.

15. Egorov M.A., Buchelnikova A.I. Ispol’zovaniye tekhnogennykh otkhodov pri proizvodstve zakladochnykh robot dlya usloviy otrabotki Saf’yanovskogo mestorozhdeniya. Innovatsionnyye geotekhnologii pri razrabotke rudnykh i nerudnykh mestorozhdeniy. Cbornik dokladov VI Mezhdunarodnoy nauchno.-tekhnicheskoy konferentsii [The use of technogenic waste in the production of stowing operations for the conditions of development of the Safyanovskoe deposit. Innovative geotechnologies in the development of ore and non-metallic deposits. Collection of reports of the VI International Scientific and Technical Conference]. 2017, pp. 15–17. [In Russ].

16. Yalymov R.N., Tazhibayev D.K., Isagalieva S.U. *Ispol’zovaniye otkhodov proizvodstva dlya prigotovleniya zakladochnykh smesey na Khaydarkanskom GAO. Sovremennyye problemy mekhaniki* [Use of production waste for the preparation of filling mixtures at the Khaidarkan GAO. Modern problems of mechanics]. 2018, no. 34 (4), pp. 57–65. [In Russ].

17. Qi C., Fourie A. Cemented paste backfill for mineral tailings management: review and future perspectives. *Minerals Engineering*. 2019. T. 144. Pp. 106025.

18. Olizarenko V.V., Sharipov R. Kh., Turkin I.S. *Zakladka vyrabotannykh prostranstv rudnikov s primeneniyyem vertikal’nykh sgustiteley. Tekhnologicheskoye oborudovaniye dlya*

*gornoy i neftegazovoy promyshlennosti* [Bookmarking of mined-out areas of mines with the use of vertical thickeners. Technological equipment for the mining and oil and gas industry]. Yekaterinburg: GOU VPO "UGGU", 2017, pp. 206 – 210 [In Russ].

19. Golik V.I., Dmitrak Yu. V., Komashchenko V.I., Kachurin N.M. Management of hardening mixtures properties when stowing mining sites of ore deposits. *Journal of Mining Institute*. 2020. Vol. 243. p.285 – 292. DOI:10.31897/PMI.2020.3.285. [In Russ].

20. Kulikova E. Yu., Vinogradova O.V. Risks as a cause of industrial safety inhibition in underground construction. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(7):146 – 154. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-146-154.

21. Kulikova E. Yu., Balovtsev S.V. Risk control system for the construction of urban underground structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 962(4), 042020. <https://doi.org/10.1088/1757 – 899X/962/4/042020>.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Куликова Александра Анатольевна*<sup>1</sup> – старший преподаватель, e-mail: alexaza\_@mail.ru;  
*Ковалева Анастасия Михайловна*<sup>1</sup> – студентка, e-mail: asya-kovaleva@yandex.ru;  
<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС».

**Для контактов:** Куликова А.А., e-mail: alexaza\_@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Kulikova A.A.*<sup>1</sup>, Senior Lecturer, e-mail: alexaza\_@mail.ru;

*Kovaleva A.M.*<sup>1</sup>, student, e-mail: asya-kovaleva@yandex.ru;

<sup>1</sup> NUST «MISiS», Moscow, Russia.

**Corresponding author:** Kulikova A.A., e-mail: alexaza\_@mail.ru.

Получена редакцией 28.12.2020; получена после рецензии 18.01.2021; принята к печати 01.02.2021.

Received by the editors 28.12.2020; received after the review 18.01.2021; accepted for printing 01.02.2021.

