

## ПОВЫШЕНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ОСНОВАНИЯ ШТАБЕЛЯ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

В.М. Герасимов<sup>1</sup>, Е.И. Нижегородцев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Забайкальский государственный университет, Чита, Россия, e-mail: kafsmim@zabgu.ru

**Аннотация:** Рассмотрена проблема повышения экологической безопасности при кучном выщелачивании благородных и редкоземельных металлов за счет повышения герметичности основания штабеля. Поскольку кучное выщелачивание предполагает селективное растворение ценных компонентов в растворах, содержащих токсичные компоненты с последующим их выделением из циркулирующих растворов, что остро встает проблема контроля за соблюдением требований экологической безопасности. В статье предлагается использовать на площадках объектов комплексную многослойную конструкцию основания штабеля, состоящую из защитно-дренажных слоев волокнистых полимерных материалов и гидроизолирующих слоев полимерной пленки. По результатам теоретических исследований и практических испытаний материалов на макроконтракты с горными породами определены оптимальные высоты верхнего и нижнего защитных слоев из волокнистых материалов. Многослойное основание штабеля, состоящее из двух защитных слоев волокнистого материала, полимерной пленки и гидроактивного герметика обеспечивает повышение герметичности конструкции основания штабеля при кучном выщелачивании руд, хвостов и концентратов. Применение предложенной конструкции штабеля позволяет снизить вероятность появления экологических рисков при использовании технологии выщелачивания.

**Ключевые слова:** кучное выщелачивание, основание штабеля, многослойная структура, защитно-дренажные материалы, гидроизолирующая пленка, фильтрация, золотосодержащие руды, конструкции противofильтрационных оснований.

**Для цитирования:** Герасимов В.М., Нижегородцев Е.И. Повышение герметичности основания штабеля кучного выщелачивания // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2. – С. 120–126. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-120-126.

### Improvement of heap leaching pile bottom impermeability

V.M. Gerasimov<sup>1</sup>, E.I. Nizhegorodcev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Transbaikal State University, Chita, Russia, e-mail: kafsmim@zabgu.ru

**Abstract:** The article addresses the problem connected with the environmental safety of heap leaching of noble and rare earth metals through improvement of impermeability of pile bottom. Heap leaching assumes selective dissolution of valuable components in toxic solutions and subsequent separation of the valuable components from pregnant solutions. Thus, it is critical to control compliance with the ecological safety standards. This study proposes an integrated multi-layered structure of the heap leaching pile bottom as drainage-and-shielding layers composed of fibrous polymers and water-proof polymeric film layers. The theoretical investigation and trials of fibrous polymer–rock macro contacts determined the optimal heights of the upper and lower shielding layers of fibrous polymers. The multi-layer pile bottom composed of two

protective polymeric layers, polymeric film and hydro-active sealing component improves impermeability of pile bottom in heap leaching of ores, tailings and concentrates. Such pile bottom structure reduces probability of ecological risks in heap leaching.

**Key words:** heap leaching, pile bottom, multi-layered structure, drainage-and-shielding materials, water-proof film, percolation, gold ore, anti-seepage bottom structure.

**For citation:** Gerasimov V. M., Nizhegorodcev E. I. Improvement of heap leaching pile bottom impermeability. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2):120-126. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-120-126.

---

## Введение

Природный потенциал горных и степных территорий Восточной Сибири и Дальнего Востока способствует развитию горной промышленности в части повышения добычи драгоценных и редкоземельных металлов. В последнее время в технологических процессах извлечения из руд ценных компонентов все больше внедряется технология кучного и подземного выщелачивания. При этом разрабатываются как бедные, так и богатые рудные поля, включая хвосты; извлекаются: золото, медь, никель, уран и др. [1–6].

С учетом наметившейся тенденции широкого применения технологии выщелачивания при разработке месторождений благородных, цветных и редкоземельных металлов, основанной на селективном растворении ценных элементов в растворах, содержащих токсичные компоненты, остро встает проблема экологической безопасности. Комплекс мер, направленных на решение этой проблемы, включает постановку следующих задач [1, 5–13]:

- предотвращение загрязнения растворами токсичных компонентов геосферы, гидросферы, воздушного бассейна;
- постоянный мониторинг степени загрязнения производственных территорий за время эксплуатации предприятий;
- горно-техническая и биологическая рекультивация техногенных участков.

Снижение вероятности появления экологических рисков при использовании

технологии выщелачивания связано с прогнозом техногенных воздействий, разработкой технических решений, предотвращающих загрязнение окружающей среды. Особое внимание уделяется конструкции гидронепроницаемых оснований штабелей руд, хвостов и концентратов, которые представляют собой многослойные системы в виде экранов глиняного, асфальтобетонного, пленочного типов [1, 5, 6, 8].

## Методы

Поисковые исследования оптимальной конструкции многослойного гидронепроницаемого основания ориентированы на использование как местных природных, так и искусственных материалов с минимальными финансовыми затратами на возведение. Распространенные компоненты оснований штабеля — глина, цемент, асфальт, бетон — слабо сопротивляются деформации растяжения; вследствие температурных и механических воздействий наблюдается появление трещин, что приводит к нарушению герметичности и прониканию в нижележащий грунтовый массив токсичных компонентов растворов. Полиэтиленовая пленка обладает невысокими механическими характеристиками, поэтому при контактном взаимодействии с крупнообломочными породами и горном давлении существует вероятность появления повреждений, разрывов.

Высокой гидронепроницаемости основания штабеля можно достичь, исполь-

зую многокомпонентную или композиционную структуру, в которой гидроизолирующие материалы сочетаются с защитными и дренажными слоями. Наиболее рациональны нежесткие гидроизолирующие материалы (полимерные пленки, прорезиненные ткани, гидроактивные герметики) и защитно-дренажные материалы (волокнистые полимерные среды) [1, 6, 8].

Из класса волокнистых полимерных материалов, обладающих однородностью структуры, высокой пористостью, химической стойкостью, высокими механическими характеристиками на растяжение и сжатие, технологичностью выделяются иглопробивные материалы из полимерных волокон (геотекстили), используемые в основаниях автомобильных, железных, карьерных дорог [14].

Комбинируя слои волокнистых защитных и гидроизолирующих материалов можно получить надежную герметичную структуру основания штабеля. Схема наиболее простой конструкции

основания штабеля, состоящего из двух слоев волокнистого материала объемной плотностью  $100 \div 150 \text{ кг/м}^3$  и заложенного между ними слоя полимерной пленки, представлена на рис. 1 [14].

Верхний защитно-дренажный слой из волокнистого материала 5 с коэффициентом фильтрации  $10^{-3} \div 10^{-4} \text{ м/с}$ , уложенный под углом  $\beta$  к горизонту, отводит технологический раствор с растворенным ценным компонентом из рудного тела 1 к коллектору 8 (см. рис. 1). В то же время этот слой воспринимает давление рудной массы штабеля, макроконтракты с гранями кусков руды, сдвиговые деформации рудного массива, тем самым предохраняя гидроизолирующий материал 4 от разрывов. Нижний волокнистый слой 3 испытывает также деформацию сжатия, предотвращает повреждение пленочного материала крупнообломочными кусками грунтового основания 2, снижает степень механических воздействий от зимнего морозного пучения и сдвигов грунта.

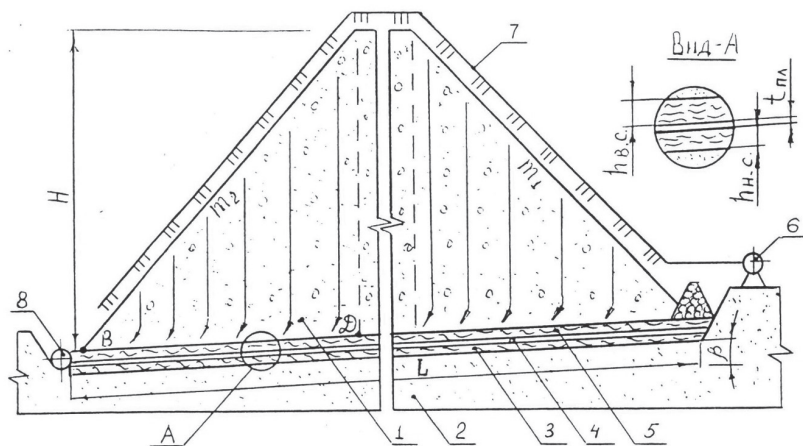


Рис. 1. Схема поперечного разреза основания для кучного выщелачивания: 1 – руда; 2 – грунтовое основание; 3 – нижний защитный слой волокнистого материала; 4 – гидроизолирующий слой; 5 – верхний защитно-дренажный слой волокнистого материала; 6 – коллектор подачи раствора; 7 – система орошения; 8 – коллектор сбора раствора

Fig. 1. Transverse section of heap leaching pile bottom: 1 – ore, 2 – soil, 3 – lower shielding layer of fibrous polymeric material; 4 – water-proof layer; 5 – upper drainage-and-shielding layer of fibrous polymeric material; 6 – solution feed reservoir; 7 – spraying system; 8 – solution collection reservoir

Высота верхнего защитно-дренажного слоя из волокнистых материалов определяется двумя показателями: обеспечением отвода технологического раствора к коллектору на основании свойств фильтрации и защитным сопротивлением давлению рудной массы.

Верхний пластовой защитно-дренажный слой волокнистого материала воспринимает просачивающийся через рудный массив технологический раствор всей поверхностью, отводит к коллектору с накоплением интенсивности дренирующего потока до максимума в точке *B* основания (рис. 1). Исходя из этого высота верхнего защитно-дренирующего слоя определяется по формуле:

$$h_d = \frac{q_p \cdot L}{K_d \cdot i}, \quad (1)$$

где  $q_p$  — интенсивность расхода технологического раствора;  $L$  — ширина защитно-дренажного слоя;  $K_d$  — коэффициент фильтрации волокнистого материала;  $i$  — уклон,  $i = \sin\beta$ .

Точка *B* основания свободна от давления руды, а точка *D* испытывает максимальное давление рудного массива и имеет наибольшую высоту  $h_{\max}$  защитно-дренажного слоя [14].

$$h_{\max} = h_d \left[ 1 - \frac{\sigma_{\max}}{0,15 \cdot 10^6 \cdot k \cdot \rho_0 \cdot h_d \cdot g} \right]^{1/n}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{\max}$  — напряжение в центральной части массива штабеля (точка *D*);  $\sigma_{\max} = \gamma \cdot H$ ;  $\gamma$  — объемный вес руды;  $H$  — высота штабеля;  $\rho_0$  — объемная плотность волокнистого материала;  $k$  — поправочный коэффициент;  $g$  — ускорение свободного падения;  $n = 2,5$  — показатель степени.

Для обеспечения отвода технологического раствора защитно-дренажным волокнистым материалом должно выполняться условие (рис. 1):

$$h_{\max} \geq q_p \left( \frac{L - m_2 \cdot H}{K_{\square} \cdot i} \right). \quad (3)$$

При ширине штабеля более 10 м предпочтительнее устраивать основание с двумя уклонами от центра массива, при этом ускоряется отвод технологического раствора к коллекторам сбора.

Зерновой состав после дробления руды представляет собой многогранники размерами до 30 мм с углами сечения граней 40–140° и диаметром острия более 2 мм.

Теоретические исследования макроконтатов гранул руды с дренажно-защитным волокнистым материалом позволили получить закономерности локального деформирования волокнистой среды. Сжатие волокон на острие контакта с гранулами руды приводит к плотному их прилеганию при напряжениях до 30 МПа, при этом сквозное проникание граней зерен руды отсутствует.

## Результаты

Экспериментальные исследования многослойного основания, состоящего из нижнего волокнистого слоя плотностью 110 кг/м<sup>3</sup> и высотой 8 мм, слоя пленки и верхнего защитно-дренажного слоя волокнистого материала той же плотности высотой 12 мм, нагружаемого конусами с углами 45°, 90°, 135° при нагрузках, соответствующих весу рудной массы штабеля высотой до 10 м, показали отсутствие контакта твердого тела с пленочным материалом. Таким образом, статические макроконтаты гранул руды и защитного волокнистого материала подтвердили высокую сопротивляемость, надежность волокнистой полимерной структуры.

Практический интерес представляет сопротивляемость защитно-дренажного материала, появляющаяся в процессе укладки руды на основание от падения гранул с транспортного средства. Испы-

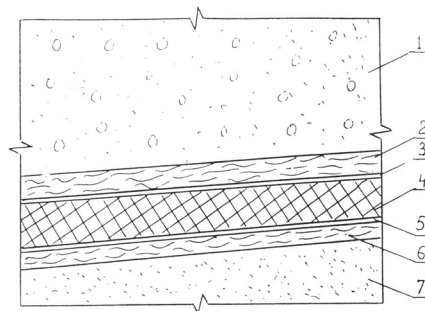


Рис. 2. Схема многослойного основания для кучного выщелачивания с гидроактивным герметиком: 1 – руда; 2 – защитно-дренажное покрытие; 3 – гидроизолирующий слой; 4 – гидроактивный герметик; 5 – гидроизолирующий слой; 6 – нижний защитный слой; 7 – грунт

Fig. 2. Layout of multi-layer heap leaching pile bottom with hydro-active sealer: 1 – ore; 2 – drainage-and-shielding cover; 3 – water-proof layer; 4 – hydro-active sealer; 5 – water-proof layer; 6 – lower shielding layer; 7 – soil

тания показали, что при падении гранул руды с высоты 2 м обеспечивается герметичность полимерной пленки, повреждения отсутствуют, а максимальные деформации волокнистой среды не превышают 75% (в пределах упругих деформаций).

Исходя из теоретических расчетов и испытаний на макроконтракты между рудной массой и защитно-дренажным волокнистым материалом определена оптимальная высота защитных материалов. Для верхнего защитно-дренажного слоя высота должна составлять 10÷20 мм в зависимости от размеров рудного штабеля, высота нижнего защитного слоя волокнистого материала может приниматься в пределах 8÷12 мм.

В особо сложных инженерно-геологических, геоэкологических и сейсмических условиях в основаниях штабелей руды для кучного выщелачивания можно использовать дополнительно пластовое покрытие из гидроактивного герметика, укладываемого между двумя слоями пленочного материала (рис. 2).

Гидроактивный герметик представляет собой мелкокристаллический или порошкообразный состав, обладающий способностью впитывать жидкость, разбухая и цементируя локальные участки при возможном разрыве верхней или нижней пленки [2].

Срабатывая на проникание токсичного компонента раствора, герметик создает непроницаемую перегородку, тем самым исключая загрязнение окружающей среды. В качестве герметика можно использовать сухую смесь гидроксида кальция и сульфата кальция. Нижний гидроизолирующий слой защищает гидроактивный герметик от попадания грунтовых вод.

### Заключение

Таким образом, представленное многослойное основание штабеля, состоящее из двух защитных слоев, полимерной пленки и гидроактивного герметика обеспечивает герметичность конструкции основания штабеля при кучном выщелачивании руд, хвостов и концентратов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аренс В. Ж., Черняк А. С. Химико-экологические проблемы выщелачивания // Горный журнал. — 1994. — № 12. — С. 8–10.

2. Заболоцкий А. И., Кайбалина Н. Б., Косарев Е. Е. Кучное выщелачивание золота из хвостов бывшей Балейской ЗИФ-1-локомотивный проект освоения Балейского золоторудного района // Рациональное освоение недр. — 2019. — № 4. — С. 42 — 46.

3. Исмаилов Т. Т. Специальные способы разработки месторождений полезных ископаемых: учебник. — М.: Изд-во МГГУ, 2008. — 331 с.

4. Секисов А. Г., Рубцов Ю. И., Манзырев Д. В. Экспериментальные исследования процессов активизационного кучного выщелачивания золота из упорных руд месторождения Погромное / Кулагинские чтения техника и технологии производственных процессов. — Чита, 2014. — С. 232 — 239.

5. Секисов А. Г., Лавров А. Ю. Перспективы использования шахтного выщелачивания при разработке золоторудных месторождений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2016. — № 1. — С. 114 — 121.

6. Сытенков В. Н., Василюк П. В. Основные положения успешной реализации проектов кучного выщелачивания // Рациональное освоение недр. — 2017. — № 4. — С. 30 — 35.

7. Воробьев А. Е., Чекушина Т. В. Классификация штабелей кучного выщелачивания металлов // Горный журнал. — 1997. — № 3. — С. 36 — 42.

8. Носырев М. В. Изменение гидроизоляционных свойств покровных отложений под воздействием серной кислоты // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2016. — № 5. — С. 177 — 182.

9. Manning T. J., Kappes D. W. Heap leaching of gold and silver ores // Gold Ore Processing. 2016. Vol. 4. no 8. pp. 413 — 428. DOI: 10.1016/B978-0-444-63658-4.00025-6.

10. Marsden J. O., Botz M. M. Heap leach modeling — A review of approaches to metal production forecasting // Minerals & Metallurgical Processing. 2017. No 2. Pp. 53 — 64. DOI: 10.19150/mmp.7505.

11. Petersen J. Heap leaching as a key technology for recovery of values from low-grade ores. A brief overview // Hydrometallurgy. 2015. Vol. 165. Pp. 206 — 212. DOI: 10.1016/j.hydromet.2015.09.001.

12. Thenpalli T., Chilakala R., Habte L., Lai Tuan, Chun Sik Kim A brief note on the heap leaching technologies for the recovery of valuable metals // Sustainability. 2019. No 12. Pp. 3347. DOI: 10.3390/su11123347.

13. Vorobyev A. E., Chekushina T. V., Vorobyev K. A., Gomes A. C. S., Honore T. Geotechnologies of heap leaching the gold from rock dumps // 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019. Conference proceedings, 2019. Pp. 841 — 848. DOI: 10.559/sgem2019/1.3/S04.108.

14. Герасимов В. М. Волокнистые полимерные материалы в геотехнологии: монография. — Чита: ЧитГУ, 2010. — 207 с. **ИДБ**

## REFERENCES

1. Arens V. Zh., Chernyak A. S. Chemical ecology of heap leaching. *Gornyi Zhurnal*. 1994, no 12, pp. 8 — 10. [In Russ].

2. Zabolotskiy A. I., Kaybalina N. B., Kosarev E. E. Heap leaching of gold from tailings of former Balei Factory — The path-making project for the Balei gold province development. *Ratsional'noe osvoenie nedr*. 2019, no 4, pp. 42 — 46. [In Russ].

3. Ismailov T. T. *Spetsial'nye sposoby razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh*: uchebnik [Special methods of mineral mining: textbook], Moscow, Izd-vo MGGU, 2008, 331 p.

4. Sekisov A. G., Rubtsov Yu. I., Manzyrev D. V. Field studies of activation heap leaching of gold from Pogromnoe rebellious ore. *Kulaginskie chteniya tekhnika i tekhnologii proizvodstvennykh protsessov* [Kulagin's Lectures: Technologies and Equipment of Production Processes], Chita, 2014, pp. 232 — 239. [In Russ].



5. Sekisov A. G., Lavrov A. Yu. Prospects for in-situ leaching in gold mining. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2016, no 1, pp. 114–121. [In Russ].
6. Sytenkov V. N., Vasilyuk P. V. Successful implementation of heap leaching projects: Essentials. *Ratsional'noe osvoenie nedr*. 2017, no 4, pp. 30–35. [In Russ].
7. Vorob'ev A. E., Chekushina T. V. Classification of metal heap leaching piles. *Gornyi Zhurnal*. 1997, no 3, pp. 36–42. [In Russ].
8. Nosyrev M. V. Alteration of waterproofing properties of overburden under the action of sulfuric acid. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2016, no 5, pp. 177–182. [In Russ].
9. Manning T. J., Kappes D. W. Heap leaching of gold and silver ores. *Gold Ore Processing*. 2016. Vol. 4. no 8. pp. 413–428. DOI: 10.1016/B978-0-444-63658-4.00025-6.
10. Marsden J. O., Botz M. M. Heap leach modeling—A review of approaches to metal production forecasting. *Minerals & Metallurgical Processing*. 2017. No 2. Pp. 53–64. DOI: 10.19150/mmp.7505.
11. Petersen J. Heap leaching as a key technology for recovery of values from low-grade ores. A brief overview. *Hydrometallurgy*. 2015. Vol. 165. Pp. 206–212. DOI: 10.1016/j.hydromet.2015.09.001.
12. Thenpalli T., Chilakala R., Habte L., Lai Tuan, Chun Sik Kim A brief note on the heap leaching technologies for the recovery of valuable metals. *Sustainability*. 2019. No 12. Pp. 3347. DOI: 10.3390/su11123347.
13. Vorobyev A. E., Chekushina T. V., Vorobyev K. A., Gomes A. C. S., Honore T. Geotechnologies of heap leaching the gold from rock dumps. *19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019*. Conference proceedings, 2019. Pp. 841–848. DOI: 10.559/sgem2019/1.3/S04.108.
14. Gerasimov V. M. *Voloknistye polimernye materialy v geotekhnologii*: monografiya [Fibrous polymeric materials in geotechnology: monograph], Chita, ChitGU, 2010, 207 p.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Герасимов Виктор Михайлович<sup>1</sup> — д-р техн. наук,  
профессор, зав. кафедрой,

Нижгородцев Евгений Иванович<sup>1</sup> — канд. техн. наук,

<sup>1</sup> Забайкальский государственный университет.

**Для контактов:** Нижегородцев Е.И., e-mail: dj\_world@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.M. Gerasimov<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Chair,

E.I. Nizhegorodcev<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.),

<sup>1</sup> Transbaikal State University, 672039, Chita, Russia.

**Corresponding author:** E.I. Nizhegorodcev,

e-mail: dj\_world@mail.ru.

Получена редакцией 17.05.2020; получена после рецензии 17.09.2020; принята к печати 10.01.2021.

Received by the editors 17.05.2020; received after the review 17.09.2020; accepted for printing 10.01.2021.

