

Науки о Земле

УДК 662.273.218

DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-1-4-10

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОТХОДОВ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНОВЫХ РУД СТРЕЛЬЦОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ЗАКЛАДКИ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК

ASSESSMENT OF THE WASTE APPLICATION POTENTIAL OF HYDROMETALLURGICAL TAILINGS PROCESSING OF URANIUM ORES OF STRELTSOVSKY FIELD DURING THE LAYING OF UNDERGROUND WORKINGS



A. С. Бодров, Приаргунское производственное горно-химическое объединение (ПАО «ППГХО»), г. Краснокаменск
BodrovAS@ppgho.ru

*A. Bodrov, Priargunsk Industrial Mining and Chemical Union (PJSC «PIMCU»),
Krasnokamensk*

Проведена оценка возможности применения отходов гидрометаллургической переработки урановых руд Стрельцовского месторождения для закладки подземных горных выработок. Рассмотрено перспективное направление развития горно-закладочного производства ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение». Предложен вариант сокращения объемов хвостовых отложений, накопленных за 40-летний период работы предприятия и утилизации низкоактивных отходов с размещением их в выработанном пространстве. Представлены результаты лабораторных исследований по изменению составов закладочных смесей с использованием в качестве инертного микронаполнителя гидрометаллургических отходов, проанализирована возможность их применения в горно-закладочном производстве в составах закладочных смесей. Определены физико-механические, реологические и радиационные характеристики закладочных смесей экспериментальных составов. Отмечено соответствие физико-механических и реологических характеристик экспериментальных составов закладочных смесей, приготовленных с использованием отходов гидрометаллургической переработки, требованиям, предъявляемым к подаваемой в шахту закладке. Рассмотрена возможность использования полимерных изолирующих герметиков с целью снижения интенсивности выделения радона с поверхности экспериментальных образцов закладочных смесей, установлена эффективность их применения. Представлено технико-экономическое обоснование применения отходов гидрометаллургической переработки урановых руд для закладки подземных горных выработок. Получены положительные результаты для проведения опытно-промышленных работ и последующего внедрения разработанной технологии на рудниках ПАО «ППГХО»

Ключевые слова: уранодобывающее предприятие; переработка гидрометаллургических отходов; горно-закладочное производство; закладочные смеси; экспериментальные образцы; подземные горные выработки; поверхностное хвостохранилище; низкоактивные отходы; радон; Стрельцовское месторождение

The feasibility of using waste hydrometallurgical processing of uranium ores of Streltsovsky ore field during the laying of underground mine workings is evaluated. One of the perspective directions of mining backfill development of PJSC «Priargunsk Industrial Mining and Chemical Union» is considered. The option of reduction of volumes of tail deposits and utilization of low-active waste with their placement in mine workings is offered. The results of laboratory researches on change of composition of backfill material with use as inert microfiller of tails of hydrometallurgy are presented. The possibility of their application in the development of mining backfill production as a component of backfill material is analyzed. Physicomechanical, rheological and radiation characteristics of backfill material of experimental structure are defined. The compliance of physico-mechanical and rheological properties of experimental compositions of backfill material on the basis of tails of hydrometallurgical processing

to requirements imposed to the bookmark given to mine is noted. The possibility of use of the polymeric isolating sealants for the purpose of decrease in an emanation of radon from a surface of the modified backfill material is considered. The efficiency of their application is established. The feasibility study on application of waste of hydrometallurgical processing of uranium ores for a laying of mine workings is submitted. The positive results for carrying out trial works and subsequent implementation of the developed technology on the mines of PJSC «PIMCU» are received

Key words: uranium mining enterprise; processing of hydrometallurgical waste; mining and production of filling; backfill material; experimental samples; underground mining; superficial tailings dam; low-active waste; radon; Streltsovsky field

ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» является крупнейшим уранодобывающим предприятием России, разрабатывающим с 1968 г. Стрельцовскую группу урановых и молибден-урановых месторождений [2].

Основное направление деятельности предприятия – добыча и последующая переработка урановой руды с выпуском концентрата природного урана. Переработка добываемой руды осуществляется на гидрометаллургическом заводе и на участках кучного выщелачивания. Готовой продукцией предприятия является закись-окись урана U_3O_8 [7].

Горно-геологические и горнотехнические условия залегания рудных тел предопределили применение в качестве основной систему разработки горизонтальными слоями с нисходящей выемкой и твердеющей закладкой. Закладочные массивы формируют разнoprочными составами с созданием несущих слоев в нижней части погашаемых секций, в дальнейшем подрабатываемых снизу и сбоку [3]. Эта технология обеспечивает безопасность очистной выемки, в т.ч. и по радиационному фактору [8]. Кроме того, она отличается высоким уровнем извлечения полезного ископаемого из недр.

Эффективно действовавшая на протяжении всего времени технология добычи и переработки урановой руды в условиях рыночной экономики из-за резкого колебания цен на уран и роста себестоимости его добычи перестала удовлетворять требованиям рентабельности производства. Высокая себестоимость обусловлена существенными затратами на приготовление твердеющей закладки и погашение ею выработанного пространства [5]. Кроме того, велики за-

траты на захоронение радиоактивных отходов, которые в 2017 г. могут составить свыше 300 млн р/год.

Следует отметить, что более чем за 40-летний период работы предприятия накоплено свыше 60 млн т гидрометаллургических отходов общей площадью в поверхностном контуре хвостохранилища 6 км². При этом объем размещения ежегодно увеличивается в среднем на 1 млн м³, что негативно влияет на экологию региона.

Радиоактивные отходы представляют собой большую угрозу жизнедеятельности людей как непосредственно в уранодобывающем регионе, так и прилегающих районах. Задача уменьшения и ликвидации поверхностных хвостохранилищ является весьма актуальной для уранодобывающих предприятий [9; 10].

В целях сокращения общей площади поверхностных хранилищ и уменьшения объема существующих хвостовых отложений целесообразна их утилизация. Исходя из отечественного и зарубежного опыта предприятий горнорудной промышленности, оптимальным вариантом утилизации хвостов различного технологического цикла является использование их в качестве компонентов закладочного материала с последующим размещением в подземных выработках.

Специалисты Центральной научно-исследовательской лаборатории «ППГХО» в течение длительного времени поэтапно прорабатывали и совершенствовали экспериментальные составы закладочных материалов на основе гидрометаллургических отходов [1]. В результате чего определены составы, отвечающие нормативно-техническим требованиям, действующим на предприятии.

Результаты лабораторных исследований экспериментальных составов твердеющих закладочных смесей, приготовленных с использованием гидрометаллургических отходов в качестве микронаполнителя, представлены в табл. 1–3.

В ходе проведения исследований установлено, что физико-механические свойства экспериментальных составов твердеющих закладочных смесей, приготовленных с использованием гидрометаллургических отходов в качестве микронаполнителя,

удовлетворяют необходимым требованиям, предъявляемым к реологическим характеристикам подаваемой в шахту закладки. Согласно действующей на предприятии нормативно-технической документации, разработанные экспериментальные составы удовлетворяют необходимым требованиям и могут быть использованы для погашения камер, образовавшихся при очистной выемке, либо при погашении одиночных горных выработок, не обнажаемых дальнейшими горными работами.

Таблица 1/Table 1

Реологические характеристики экспериментальных составов закладочных смесей

The rheological characteristics of the experimental compositions of laying mixes

Номер состава/но. composition	Серия/шифр Series /cipher	Состав экспериментальной закладочной смеси, кг/м³/The composition of the experimental filling mixture, kg/m³				Реологические характеристики/ Rheological characteristic			
		гидрометаллургические хвосты/ hydrometallurgical tails	песчано-гравийная порода/sand and gravel	цемент/ cement	вода/ water	растекаемость, мм/flow out, mm	сопротивление сдвигу, Па/ the shear resistance, Pa	коэффициент расслаиваемости/ factor peelability	коэффициент старения/ aging factor
1	0/2	0	1620	200	320	160	60,2	2,0	2,3
2	2,5/2	250	1173	200	395	159	44,0	3,3	3,2
3	5/2	500	594	200	520	159	44,0	3,3	3,2
4	7,5/2	750	29	200	640	163	45,9	2,7	2,1

Таблица 2/Table 2

Прочность на одноосное сжатие экспериментальных образцов закладочных смесей

Strength on axial compression test of the laying mixes samples

Номер состава/но. composition	Серия/шифр Series /cipher	Состав экспериментальной закладочной смеси, кг/м³/The composition of filling mixturekg/m³				Прочность на одноосное сжатие, МПа, в срок твердения / Durability on monoaxial compression, MPa, in time of curing			
		гидрометаллургические хвосты/ hydrometallurgical tails	песчано-гравийная порода/sand and gravel	цемент/ cement	вода/ water	7 сут /7 days	14 сут /14 days	28 сут/ 28 days	90 сут/ 90 days
1	0/2	0	1620	200	320	1,5	2,2	3,1	3,3
2	2,5/2	250	1173	200	395	1,2	1,6	2,5	2,6
3	5/2	500	594	200	520	0,9	1,0	1,3	2,5
4	7,5/2	750	29	200	640	0,9	1,0	1,0	3,7

Таблица 3/Table 3

Радиационноопасные факторы, фиксируемые на поверхности экспериментальных образцов закладочных смесей

Radiation hazardous factors, fixed on the surface of the experimental samples of laying mixes

Номер состава/ no. composition	Серия/шифр Series/cipher	Обозначение/ Designation	Средние значения измерений (за период наблюдения 180 сут)/Average measurement values (during the observation period of 180 days)			
			α-излучение, α-частиц* мин/см ² / α-rays, α-particles * min/cm ²	β-излучение, β-частиц* мин/см ² / β-radiation, β-particles * min/cm ²	γ-излучение, МкЗв/ч/ γ-radiation, MSv/h	плотность потока радона, мБк/(м ² с)/ radon flux density MBq/(m ² s)
1	0/2	X-0/Ц-200	0,56	2,46	0,24	20,2
2	2,5/2	X-250/Ц-200	2,02	2,24	0,34	139,9
3	5/2	X-500/Ц-200	1,58	9,59	0,46	130,8
4	7,5/2	X-750/Ц-200	3,20	10,56	0,57	147,6
5	X	Гидрометаллургические хвосты	8,72	43,6	0,78	264,7

При погашении подземных выработок твердеющими смесями с применением в качестве инертного материала хвостов гидрометаллургического передела ожидаемый экономический эффект с учетом тарифа за размещение радиоактивных отходов в поверхностных хвостохранилищах составит свыше 50 млн р/год.

Тем не менее, ситуация на подземных урановых рудниках «Приаргунского производственного горно-химического объединения» довольно сложная, так как гидрометаллургические отходы – это радиоактивные отходы низкой активности, которые выделяют опасный газ – радон. Размещение их в подземных выработках, в составах закладочных смесей приведет к увеличению эманации радона в рудничную атмосферу [4].

С целью предотвращения возможных негативных последствий радиационноопасных факторов требуется разработка конкретных мер и методов борьбы с радоновыделением. При этом необходимо учесть, что конструктивные и технологические реше-

ния должны удовлетворять условию отсутствия свободных поверхностей заложенного массива.

При таком подходе к реализации мероприятий, направленных на поддержание состояния рудничной атмосферы на должном радиационно-безопасном уровне, требуется разработка технологии герметизации и изоляции закладываемых выработок.

Для решения ключевой задачи по снижению интенсивности выделения радона специалисты Центральной научно-исследовательской лаборатории и лаборатории радиационной безопасности ПАО «ППГХО» исследовали полимерный изолирующий материал – двухкомпонентный герметик, представляющий собой однородную композицию водной эмульсии поливинилацетата с гипсовой основой. Суть исследований заключалась в фиксировании проявления радиационноопасных факторов на поверхности сформированных экспериментальных образцов закладочных смесей до и после нанесения герметика [6]. Результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4/Table 4

Влияние герметика на интенсивность выделения радона**Effect of sealant on the intensity of radon release**

№ п/п /No. p/p	Серия/шифр /Series/cipher	Наименование материала/Identification of the substance	Наличие герметика, количество слоев/The presence of the sealant, the number of layers	Результаты измерений/Measurement results	
				плотность потока радона, мБк/(м ² с)/radon flux density MBq/(m ² s)	объемная активность радона, Бк/м ³ /radon volume activity, Bq/m ³
1	T-1рд/ T-1rd	Закладочная смесь с урановой рудой/ Stowing mixture with uranium ore	Без герметика/ Without sealant	287,0	198169,1
			Один изолирующий слой/ One insulating layer	55,8	81179,6
			Два изолирующих слоя/ Two insulating layer	13,1	23310,8
2	T-2хв/ T-2hv	Закладочная смесь с гидрометаллургическими отходами/Stowing mixture hydrometallurgical waste	Без герметика/ Without sealant	170,7	81334,1
			Один изолирующий слой/ One insulating layer	32,0	20483,2
			Два изолирующих слоя/ Two insulating layer	16,0	–

Данные табл. 4 свидетельствуют об эффективности применения полимерного изолирующего материала для снижения интенсивности выделения радона. Так, например, при нанесении одного слоя герметика толщиной до 2 мм на поверхность экспериментальных образцов закладочного материала плотность потока радона уменьшилась в среднем в 5 раз, а при повторном нанесении – до 22 раз. Объемная активность радона при нанесении двух слоев общей толщиной до 4 мм уменьшилась в среднем по двум образцам в 8 раз.

Таким образом, проведенные исследования показали, что по прочностным и

реологическим характеристикам использование отходов гидрометаллургической переработки урановых руд технически возможно при условии герметизации заложенного массива испытанным изолирующим материалом с целью снижения эманации радона в рудничную атмосферу.

В задачи дальнейших исследований входит разработка технологии приготовления и доставки закладочных смесей до погашаемых выработок, ее опытно-промышленные испытания и внедрение на рудниках ПАО «ППГХО».

Список литературы

1. Балякин В. В., Исьянов О. А., Морозов А. А. [и др.]. Отчет о НИОКР Проведение научно-исследовательских работ по использованию хвостов ГМЗ для комплексной закладки горных выработок. Краснокаменск: ОАО «ППГХО», 2014. 27 с.
2. Ищукова Л. П., Игошин Ю. А., Авдеев Б. В. Геология Уруплюнгуевского рудного района и молибден-урановых месторождений Стрельцовского рудного поля. М.: Геоинформмарк, 1998. 524 с.
3. Колесаев В. Б., Бакулин В. А. Развитие закладочного производства в ОАО «ППГХО» // Горный журнал. 2008. № 8. С. 41–42.
4. Морозов А. А. Возможность использования отходов гидрометаллургической переработки урановых руд – хвостов ГМЗ для закладки горных выработок // Кулагинские чтения: мат-лы конф. Чита, 2014. С. 63–70.

5. Монтиanova A. N. Формирование закладочных массивов при разработке алмазных месторождений в криолитозоне. М.: Горная книга, 2005. 597 с.
6. Морозов А. А., Ледков В. В. [и др.]. Аннотационный отчет о работе горной лаборатории ЦНИЛ в 2012 году. Краснокаменск: ОАО «ППГХО», 2013. 54 с.
7. ПАО «ППГХО». Предприятие уранового холдинга «АРМЗ» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.priargunsky.armz.ru> (дата обращения: 01.12.2016).
8. Шурыгин С. В., Белоусов А. С., Алексеев О. Н. Совершенствование системы разработки маломощных рудных тел в ОАО «ППГХО» // Горный журнал. 2013. № 8 (2). С. 19–20.
9. Franks D. M. Sustainable Development Principles for the Disposal of Mining and Mineral Processing Wastes // Resources Policy, 2011, vol. 36, no. 2, pp. 114–122.
10. Jenk U., Paul M. Flooding of the Underground Uranium Leach Operation at Konigstein // Uranium Past and Future: Proceeding of the 7th International Conference on Uranium Mining. 2012. 363 p. Available at: <https://www.bookdepository.com> (accessed 01.12.2016).

References

1. Balyakin V. V., Isyanov O. A., Morozov A. A. [et al.]. *Otchet o NIOKR Provedenie nauchno-issledovatelskih rabot po ispolzovaniyu hvostov GMZ dlya kompleksnoy zakladki gornyh vyrabotok* [Report on scientific work. Conducting of research projects on the use of HMP tails for integrated laying mining]. Krasnokamensk: JSC «PIMCU», 2014. 27 p.
2. Ischukova L. P., Igoshin Yu. A., Avdeev B. V. *Geologiya Urulyunguevskogo rudnogo rayona i molibden-uranovyh mestorozhdeniy Streltsovskogo rudnogo polya* [Geology of Urulyunguevsk ore district and molybdenum-uranium deposits of Streltsovsky ore field]. Moscow: Geoinformmark, 1998. 524 p.
3. Kolesaev V. B., Bakulin V. A. *Gorny zhurnal* (Mining Journal), 2008, no. 8, pp. 41–42.
4. Morozov A. A. *Kulaginskie chteniya* (Kulagin readings): Collected articles of conf. Chita, 2014, pp. 63–70.
5. Montyanova A. N. *Formirovanie zakladochnyh massivov pri razrabotke almaznyh mestorozhdeniy v kriolitozone* [Formation of filling mass in the development of diamond deposits in the permafrost zone]. Moscow: Gornaya Kniga, 2005. 597 p.
6. Morozov A. A., Ledkov V. V. [et al.]. *Annotatsionny otchet o rabote gornoj laboratoriï CSRL v 2012 godu* [Annotation report of the Central Research Mining Laboratory in 2012]. Krasnokamensk: JSC «PIMCU», 2013. 54 p.
7. PAO «PPGHO». *Predpriyatie uranovogo holdinga «ARMZ»* (PSC «PIMCU». The company «ARMZ» Uranium Holding) Available at: <http://www.priargunsky.armz.ru> (accessed 01.12.2016).
8. Shurigin S.V., Belousov A. S., Alekseev O. N. *Gorny zhurnal* (Mining Journal), 2013, no. 8 (2), pp. 19–20.
9. Franks D. M. Resources Policy (Resources Policy), 2011, vol. 36, no. 2, pp. 114–122.
10. Jenk U., Paul M. Uranium Past and Future (Uranium Past and Future): Proceeding of the 7th International Conference on Uranium Mining. 2012. 363 p. Available at: <https://www.bookdepository.com> (accessed 01.12.2016).

Коротко об авторе

Briefly about the author

Бодров Антон Сергеевич, начальник самостоятельного бюро инженерно-геологических изысканий, закладочных работ и строительных материалов Центральной научно-исследовательской лаборатории, ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» (ПАО «ППГХО»), г. Краснокаменск, Россия, аспирант, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: закладка выработанного пространства, охрана окружающей среды, радиационная безопасность
BodrovAS@ppgho.ru

Anton Bodrov, head of the Independent Engineering and Geological Surveys Bureau, Backfill Works and Building Materials of the Central Research Laboratory of «Priargunsk Industrial Mining and Chemical Union» (PJSC «PIMCU»), Krasnokamensk, Russia, postgraduate student, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: laying of underground mine workings, environmental protection, radiation safety

Образец цитирования

Бодров А. С. Оценка возможности применения отходов гидрометаллургической переработки урановых руд Стрельцовского месторождения для закладки подземных выработок // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2017. Т. 23. № 1. С. 4–10.

DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-1-4-10

Bodrov A.S. Assessment of the waste application potential of hydrometallurgical tailings processing of uranium ores of Streletsovsky field during the laying of underground workings // Transbaikal State University Journal, 2017, vol. 23, no. 1, pp. 4–10.

Дата поступления статьи: 23.12.2016 г.
Дата опубликования статьи: 31.01.2017 г.

