

К НАДЕЖНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ РУД В ХРАНИЛИЩАХ

В. И. Голик¹, А. А. Белодедов², Мулухов К. К.¹, В. А. Масленников³, В. Х. Дзапаров¹

¹Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ), г. Владикавказ, Россия

²Южно-Российский государственный политехнический университет (ЮРГТУ), г. Новочеркасск, Россия

³Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ, г. Шахты, Ростовская обл., Россия

Аннотация: Целью статьи является восстановление качества экосистем региона за счет минимизации ущерба от хранения хвостов производства. Хранение хвостов предусматривает: их изъятие из оборота сельскохозяйственных угодий; загрязняет атмосферу, поверхностные и подземные воды; но одновременно хвосты содержат металлы и редкие элементы, извлечение которых возможно при совершенствовании технологии. Поэтому хранение хвостов должно обеспечивать возможность их последующего вовлечения в производство. Поскольку хвостохранилища играют ведущую роль в химическом загрязнении, то основным мероприятием по минимизации их негативного влияния становится закрепление стенок хранилищ. Методика исследований включала в себя анализ теории и практики санации деградированных земель, моделирование, расчеты эколого-экономической обоснованности и результаты апробация решений. На примере хранилищ Садонского свинцово-цинкового комбината дана характеристика количества и качества хвостов, а также их состояния. Приведены сведения о состоянии хранения хвостов в России и за рубежом. Приведены результаты реализации традиционных способов предотвращения трансгрессии компонент хвостов. В качестве альтернативы исследованы способы закрепления с добавкой поверхностно-активных веществ и продуктами выщелачивания. Обоснованы преимущества закрепления элементов хвостохранилища отходами карбонатов и маточными растворами выщелачивания с созданием физико-химических барьеров путем использования растворов или их смешения в процессе истечения сквозь минералы. Приведены сведения о показателях закрепления массивов хвостохранилищ. Показано, что новые способы закрепления массивов в хранилищах в большей мере отвечают концепции рационального и гуманного природопользования.

Ключевые слова: хвосты обогащения, химизация, окружающая среда, карбонаты, растворы выщелачивания

Для цитирования: К надежности закрепления хвостов обогащения руд в хранилищах / В. И. Голик, А. А. Белодедов, К. К. Мулухов [и др.] // Маркшейдерия и недропользование. 2024. № 4. С. 35-42. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_35_42.

TO THE RELIABILITY OF SECURING ORE DRESSING TAILINGS IN STORAGEES

V. I. Golik¹, A. A. Belodedov², K. K. Mulukhov¹, V. A. Maslennikov³, V. H. Dzaparov¹

¹North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (GTU), Vladikavkaz, Russian Federation

²Yuzhno-Russian State Polytechnic University (YURSTU), Novocherkassk, Russian Federation

³Institute of Service and Enterprise (branch) of DSTU, Shakhty, Rostov region, Russian Federation

Abstract: The purpose of the article is to restore the quality of the region's ecosystems by minimizing damage from the storage of production tailings. Tailings storage removes agricultural land from circulation, pollutes the atmosphere, surface and groundwater, at the same time, tailings contain metals and rare elements, the extraction of which is possible with the improvement of technology, therefore their storage should ensure the possibility of subsequent involvement in production. Since tailings dumps play a major role in chemical pollution, the main measure to minimize their negative impact is to fix the walls of the storage facilities.

Materials and Methods. The research methodology includes an analysis of the theory and practice of rehabilitation of degraded lands, modeling, calculations of ecological and economic validity and the results of approbation of solutions.

Results. Using the example of the storage of the Sadonsky lead – zinc Combine, the characteristics of the quantity and quality of tailings, as well as their condition, are given. Information is provided on the state of tailings storage in Russia and abroad. The results of the implementation of traditional methods for preventing transgression of tail components are presented. As an alternative, methods of fixation with the addition of surfactants and leaching products have been studied. The advantages of fixing the elements of the tailings basin with carbonate waste and leaching masterbatch solutions with the creation of physiological and chemical barriers by using solutions or mixing them in the process of penetration through minerals are substantiated. Information is provided on the indicators of securing tail storage arrays. It is shown that new ways of securing arrays in storage facilities are more consistent with the concept of rational and humane environmental management.

Keywords: enrichment tailings, chemicalization, environment, carbonates, leaching solutions

For citation: Golik V. I., Belodedov A. A., Mulukhov K. K., et. al. To the reliability of securing ore dressing tailings in storagees. Mine Surveying and Subsoil Use. 2024;(4):35-42. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_35_42.

Введение

Общее количество добываемого в мире минерального сырья оценивается приблизительно в 100 млрд. тонн в год и удваивается за каждые 10 лет. Отходы горного производства имеют ресурсный потенциал, образуя техногенные месторождения, поэтому их хранение должно обеспечивать возможность последующего вовлечения в производство [1-3].

В то же время, экологические показатели горнопромышленного региона могут быть улучшены за счет рационального использования деградированных земель в окрестностях предприятий. Восстановление потенциала санируемых земель является актуальной экологической проблемой современности.

Хвосты - отходы процессов переработки полезных ископаемых, в которых содержание ценного компонента ниже минимального значения для руд. Их хранение изымает из оборота сельскохозяйственные угодия, загрязняет атмосферу, поверхностные и подземные воды (рис. 1).

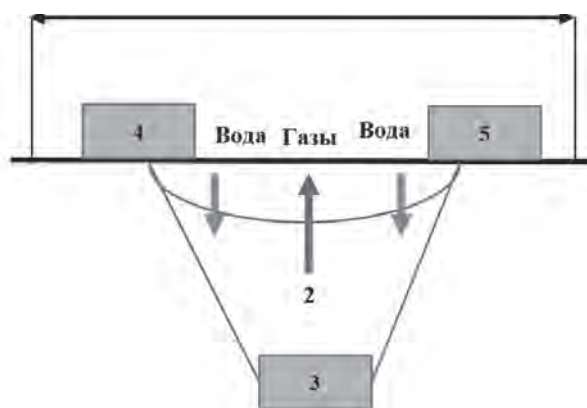


Рис. 1. Влияние горных работ на экосистемы:

1 - зона жизнедеятельности; 2 - разделяющая зона; 3 - месторождение;
4 - хвосты добычи; 5 - хвосты переработки

Fig. 1. The impact of mining operations on ecosystems:

1 - zone of vital activity; 2 - dividing zone; 3 - deposit;
4 - tailings of extraction; 5 - tailings of processing

Хвостохранилище — гидротехническое сооружение для приема и хранения хвостов переработки руд. В нем происходит постепенное оседание твердой фазы хвостов. В то же время хвосты содержат металлы и редкие элементы, извлечение которых традиционными методами на данный момент этапа и развития техники и технологии является нерентабельным. С развитием техники и технологии, повышением комплексности использования руд и ростом потребности в сырье, хвосты становятся востребованными для вторичной переработки.

Прогнозируется использование 30-40 % твердых отвалов горного производства в качестве стройматериалов, 20-30 % - для закладки выработанного пространства в шахтах и карьерах [4-6].

Загрязнение и разрушение экосистем окружающей среды достигает значительных масштабов, а в условиях высокогорных территорий Северного Кавказа, оно обостряется расчлененностью рельефа и естественной изоляцией [4-6].

Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отвалов шахт и прогноз эффективных технологий повышения качества деградированных земель приведен в статьях [7-9].

В ряде работ исследована эффективность вовлечения хвостов обогащения в производство при освоении новых технологий извлечения металлов из хвостов выщелачивания и повышение экономической эффективности горнодобывающих предприятий за счет вовлечения в эксплуатацию техногенных георесурсов [10-12].

Системный обзор технологии производства пастообразных материалов в шахтах для более чистого производства содержится в работе [13].

Вопросы получения упрочняющих материалов в результате процессов выщелачивания рассмотрены в ряде работ [14-17].

Теории и практике использования систем искусственного интеллекта в процедурах аудита современного горного производства и применения геоинформационных технологий для решения трехмерных геоэкологических задач посвящены труды [18-20].

Металлические месторождения Северного Кавказа заслуживают особого внимания, поскольку последствия их эксплуатации определяют положение экосистем на Юге России.

Поскольку хвостохранилища являются генератором металлизированных стоков и играют приоритетную роль в химическом загрязнении, то основным мероприятием по минимизации их негативного влияния на экологию территорий становится закрепление стенок хранилищ.

Цель работы: восстановление качества экосистем региона за счет минимизации ущерба от хранения хвостов производства.

Объект исследований

В хранилищах Садонского СЦК (Унальское и Фиагдонское) складировались хвосты, содержащие химические элементы: цинка - 0,08 %, свинца - 0,16 %, серы - 2 %, кремнезема - 64 % и др. компоненты. Основные компоненты хвостов обогащения Садонского комбината приведены в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

Состав хвостов обогащения
Composition of enrichment tailings

Компоненты / Components	Хвостохранилище / Tailings storage facility	
	Фиагдонское, % / Fiyadonskoe, %	Мизурское, % / Misurian, %
Pb	0,13	0,16
Zn	0,15	0,08
Au (г / т)	0,008	0,01
Ag(г / т)	3,55	5,13
Bi	0,002	0,002
Cd	0,003	0,001
Fe	3,78	4,52
Si	57,9	64,0
Ca	6,25	0,89
Mg	2,15	0,60
Al	10,24	5,36
As	0,06	0,05

Площадь Унальского хвостохранилища составляет 61 га, количество песков - 2593 тыс. тонн.

Площадь Фиагдонского хвостохранилища составляет 56 га, количество отходов - 2313 тыс. тонн.

Хвостохранилище Фиагдонской обогатительной фабрики

ки характеризуется гранулометрическим составом: больше 0,15 мм – 15 %, 0,15 – 0,074 мм – 25 %, меньше 0,074 мм – 60 %. Удельный вес обезвоженных хвостов – 2,8 т/м³. Содержание свинца в хвостах 0,16 %, цинка 0,36 %, в т. ч. растворимых солей этих металлов соответственно, 0,016 и 0,04 %. В хвосты уходили остатки реагентов, мг/дм³: медный и цинковый купоросы – 3,8, известь – 6,1, цианистый натрий и ксантогенат.

В результате деятельности Предприятия «Висмут» в 14 хвостохранилищах гидрометаллургического завода на площади 7 км², находилось 160 млн. м³ хвостов. Отвалы хвостов содержали серный колчедан, остатки радиоактивных минералов и др. вредные компоненты.

Методы и материалы исследований

В работе применялись методы анализа теории и практики санации деградированных земель, построения функциональных зависимостей между агротехнологическими и экономическими показателями, физического и экономико-математического моделирования, расчеты эколого-экономической обоснованности и апробации принимаемых решений.

Методы закрепления отходов были основаны на том, что взаимодействие реагента с хвостами осуществляется путем их смешивания в поверхностном слое или путем пропитки слоя. Реагент вводился в хвосты в порошкообразном состоянии или в виде эмульсий и растворов и перемешивался с хвостами.

Обсуждение результатов исследований

Отвалы на месте исследований (Унальское хвостохранилище) покрыли защитным слоем минерального водоупорного и газонепроницаемого грунта, на который нанесли почвенный слой – основу для озеленения.

Санация предприятий «Висмут» по масштабам работ является единственным прецедентом в мире.

Аналогичные задачи при закрытии урановых рудников и реабилитации территорий решали в Северной Америке и Франции.

На хвостохранилище Михайловского ГОК использовали поверхностно-активный раствор с профилактической обработкой верхнего слоя хвостохранилища: 10 % - раствор, 12 % - глина, 78 % - вода. На обрабатываемой поверхности образуется прочный слой толщиной 3...4 мм.

Незначительное количество исследований посвящено развитию принципиально нового направления управления состоянием массива хвостохранилищ – придания им новых свойств, в том числе прочности при формировании отвалов.

Традиционные способы закрепления хвостов характеризуются следующими показателями.

Способ глинизации

Пригодны тяжелые суглинки, делювиальные супеси и легкие суглинки с большим содержанием грубообломочного материала. Содержание глинистых частиц 5,3 ... 8,5 %.

При добавке 10 % глины хвосты приобретают связность и в сухом состоянии имеют сопротивление разрыву – 0,5 кг/см². При добавке к песку суглинка повышение прочности составляет около 10 % при добавке к песку 10 процентного грунта и около 25 % при добавке 50 % процентного грунта. Наибольшая плотность и прочность достигаются при добавке 50 % суглинка – 22 %.

При добавке суглинка до 10-25 % потери образцов в весе под действием ветра со скоростью 15-17 м/с составляли от 3 до 8 %, а при большей скорости произошло развевание.

Образцы с добавками более 75 % обнаружили стойкость по отношению к ветровой эрозии. Потери при скорости ветра до 40 м/с составили 0,2-0,3 %.

Способ цементации

Портландцемент имел состав (%): алит – 57,85, белит – 12,77, алюмоферрит – 16,36, алюминаты – 6,31, остальные – 6,61. Удельная поверхность (после помола) – 3000 см²/г. Тонкость помола – через сито с диаметром отверстий 0,085 мм проходит 88 %.

Добавка 1 % цемента марки 300 и 400 к хвостам не придает достаточной прочности. При извлечении из формы образцы распадались. При погружении в воду прочность снижалась до нуля. При добавке 2 % цемента марки 400 сопротивление разрыву составило 0,270 кг/см² в воздушно-сухом состоянии и 0,207 кг/см² в водонасыщенном.

Цемент марки 300 обеспечивал достаточную прочность при добавках более 3 %. При такой добавке цемента прочность образцов мала. При добавках цемента менее 3 % в процессе увлажнения и высушивания связи между песчинками разрушаются. При добавках 1 и 2 % песчинки легко отделяются от массы.

Испытания на развевание показали слабую сопротивляемость ветровой эрозии образцов, закрепленным портландцементом, где развевание даже при добавках 5 % цемента при скорости ветра до 40 м/сек превышает 1 %. При закреплении же глиноземистым цементом сопротивление увеличивается, лишь при добавке 4 % цемента получены удовлетворительные результаты.

По условию механической прочности удовлетворительный результат дает добавка более 4 % цемента марки М-400.

Добавка 2 % цемента и 0,5 % извести равносильна добавке 4 % цемента. Образцы, закрепленные глиноземистым элементом при дозировке 2 %, имели потери от развевания – 31,7 %, а при добавке 0,5 % извести развевание уменьшилось до 2,7 %.

Еще более увеличивается прочность при одновременном введении в горную массу и суглинка и извести (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Прочность закрепленных образцов The strength of the fixed samples

Вид цемента / Type of cement	Глиноземистый М-300 / Alumina М-300			
Цемент /	1		2	
Известь /	0,5			
Суглинок /	10			
Состояние образца /	Воздушносухое	Водонасыщенное	Воздушносухое	Водонасыщенное
Сопротивление разрыву, Мпа /	0,225	-	0,518	0,279
	0,278	-	0,443	0,250
	0,238	-	0,355	-
	0,240	-	0,353	-
Среднее /	0,245	-	0,417	0,264

Способ силикатизации

Помимо жидкого стекла с хлоридом кальция исследовалось влияние добавок извести, песка и глинозема. Достаточная прочность достигалась при добавке 2 % силиката натрия, что соответствует введению раствора жидкого стекла с 10 %-

ной концентрацией (200 см³ на 1м³) и раствора хлорида кальция в том же объеме (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

Прочность образцов, МПа
Strength of samples, MPa

Силикат натрия, % / Sodium Silicate, %	2		4	
Состояние образца / The condition of the sample	1	2	1	2
Сопротивление сжатию / Compression resistance	1,6	3,6	до 10,0	до 10,0

Обозначения:

1 – воздушно-сухие;

2 – водонасыщенные после замораживания.

При дозировке 2 % силиката натрия и 1 % мела сопротивление разрыву после 3-х кратного водонасыщения и высушивания – 1,40-1,50 МПа, а после замораживания и оттаивания – 1,75 МПа; сопротивление сжатию – 8,2- 9,2 МПа. Добавки извести не дали ощутимых результатов.

Способ битумизации

Увеличение дозировки битума с 0,8 до 1,6 % не увеличивает прочность (табл. 4).

Таблица 4 / Table 4

Сопротивление образцов разрыву
Tear resistance of the samples

Вид эмульсии и дозировка / Type of emulsion and dosage	Сопротивление со временем, МПа, сутки / Resistance over time, MPa, day		
	5	6	7
ССБ – 0,8 %	0,277	-	0,275
	0,224	-	0,248
	0,210	-	0,288
Среднее значение	0,220	-	0,270
БС – 0,8 %	0,122	0,160	0,260
	0,105	0,195	0,233
		0,173	0,262
Среднее значение	0,113	0,176	0,250
ССБ – 1,6 %	0,214	0,250	0,320
	-	0,257	0,298
	-	0,255	0,280
Среднее значение	0,214	0,254	0,299

При насыщении образцов водой прочность понижается в ряде случаев до распада (табл. 5).

Таблица 5 / Table 5

Прочность закрепления хвостов в водонасыщенном состоянии
The strength of fixing the tails in a water-saturated state

Прочность, МПа / Strength, MPa			
ССБ – 0,8%	БС – 0,8%	ССБ – 1,6%	БС – 1,6%
0,038	0,030	0,038	Распался
0,036	0,029	0,033	Распался
0,032	Распался	0,049	-
0,033	Распался	0,048	-

При температуре 50 °С прочность по сравнению с комнатной температурой снижается на 30 %, но остается достаточной. Прочность, понижающаяся при насыщении водой, после высыхания восстанавливается.

Сопротивление сжатию после 3-х кратного замораживания и оттаивания составило 1,4...2,2 МПа при 0,8 % и 2,0...2,2 МПа при 1,6 % битума, т.е. не уменьшилось.

Воздействие струи со скоростью 40 м/сек не разрушало поверхности. Потери в весе образцов, подвергнутых 3-х кратному водонасыщению, замораживанию и оттаиванию составили 3,4 % при дозировке битума 0,8 % и 2,9 % - при дозировке 1,6 %. При дозировке 0,5...0,8 % битумная пленка сохраняет прочность.

Способ с добавкой ПВА

Увеличение прочности закрепления достигается добавками к битуму поверхностно-активных веществ, например, канифоли, сульфонафтенной кислоты, мыла, щелока, битума, дегтя, обработка растворами сульфатов и хлоридов, кремний - органическими соединениями и т.д.

В водонасыщенном состоянии образцы теряют прочность и при добавке полиаминов. Упрочнение образцов при высыхании происходит быстрее. Добавка негашеной извести повышают водостойкость образцов. При дозировке 0,8 % битума и 0,4 % полиаминов с добавкой 0,4 % извести сопротивление разрыву составило 0,225 Мпа.

Прочность верхнего слоя хвостов повышается путем орошения водой с легко кристаллизующимися солями, образующими защитную пленку по периметру отвала.

Механизм упрочнения массива хвостохранилища исследован на плоском стенде размерами: длина 2 м, ширина 2 м, высота 2,5 м с прозрачным изолирующим корпусом (рис. 2). Масштаб моделирования 1:200.

Для образования изолирующей поверхности использованы уложенные в два слоя. Верхний слой образован отходами доломита. В нижнем слое засыпан инертный к серной кислоте алевролит с добавкой обожженной извести. Часть раствора и образующиеся кислые воды перетекают из верхнего в нижний слой, где образуется гашеная известь (рис. 2).

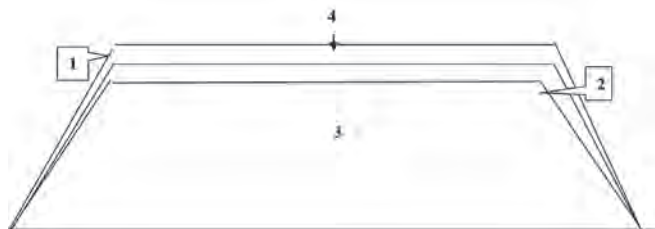


Рис. 2. Моделирование процесса закрепления массива хвостов карбонатами: 1 - первый слой; 2 - второй слой; 3 - хвосты обогащения; 4 - реагент
Fig. 2. Modeling of the process of fixing the tailings array with carbonates: 1 - the first layer; 2 - the second layer; 3 - enrichment tails; 4 - reagent

Применение доломитов и извести улучшает прочность верхнего слоя массива хвостов при сокращении времени твердения. При фильтрации через нижний слой пород отработанный раствор несет в себе частицы образовавшегося в верхнем слое гипса, который оседает на породах нижнего слоя. Таким образом, в нижнем слое образуется затвердевший массив, прочность которого сравнима с прочностью бетонной смеси.

Закрепление продуктами выщелачивания

Схемы природного выщелачивания хвостов основаны на осаждении металлов определенными минералами. Металлы перемещаются из одной части отвала в другую, где происходит их избирательное осаждение.

Технологии с закреплением хвостов кольматацией известны из практики уранового рудника «Бык» на Северном Кавказе. Условия выщелачивания: объемный вес-2,2 т/м³; удельный вес- 2,6 т/м³; влажность- 8,5 %; коэффициент крепости по Протодяконову: гранит-порфиров 10...15; мергелей, аргиллитов и песчаников- 2-6; коэффициент фильтрации -<0,1 м/сутки. Вещественный состав выщелачиваемой массы: кварца и полевого шпата...66,5 %; карбонатов -1,0%; глинистых минералов - 6,0 %; сульфидов - десятые доли процентов.

В качестве реагента применяли 3% водный раствор серной кислоты, подаваемый в количестве 60...100 л/м²час. Скорость просачивания раствора 3...6 м/час. Выход металло-содержащих растворов составлял 0,7...1 м³/т руды при концентрации металла около 145 мг/л. Извлечение металла из руды в раствор составляло 60...67 %; а извлечение металла из продуктивных растворов – около 98 %.

Результатом гидратации является консервация минералов хвостохранилища в форме, недоступной разрушению под действием природных факторов. Наибольшая прочность закрепления зафиксирована в нижней части хранилища.

Обсуждение

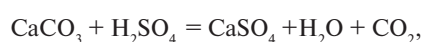
Наиболее эффективным для закрепления элементов хвостохранилища являются отходы карбонатов и маточные растворы выщелачивания.

При создании физико-химические барьеров смешение кислых и щелочных вод изменяет pH среды и вызывает осаждение металлов: медь осаждается при pH 5,0...5,5, а цинк — при pH 6,5...7,0.

Новые технологии предусматривают образование геохимических барьеров путем использования растворов или их смешения в процессе истечения сквозь минералы с различными свойствами.

Цемент в качестве вяжущей компоненты заменяется продуктом выщелачивания карбонатов, роль которых могут играть доменные гранулированные шлаки, шлаки, золы уноса сланцев и углей при сжигании их в топках электростанций.

Породы, содержащие карбонаты, могут использоваться в качестве вяжущего, потому что при воздействии на них кислотными растворами получается гипс:



Для создания прочной и монолитной закладки достаточно превратить в гипс 20-30 % известняка или доломита.

Способы закрепления массивов хвостохранилищ сведены в табл. 6.

При хранении в отвалах сульфиды осаждают рассеянные элементы, например, индий осаждается сульфидами меди, ртути и цинка, а таллий - сульфидом мышьяка. Образующиеся минералы и их гели адсорбируют медь, кобальт, барий, литий, цинк, свинец и таллий.

Правомерны промежуточные выводы:

- консервация хвостохранилищ снижает только параметры загрязнения пылью;
- на загрязнение металлами консервация существенного влияния не оказывает;
- основная цель консервации хвостохранилищ состоит в сохранении вторичного сырья для переработки технологиями будущего.

В хвостохранилище Мизурской фабрики процесс вы-

щелачивания свинца и цинка моделировали на стенде при температуре 18...20 °С и давлении 760 мм рт. ст. через модель пропускали 150 дм³ раствора. для определения концентраций цинка порядка 5 мг/дм³ использован титриметрический метод. Для определения содержания свинца был использован фотометрический хроматный метод.

Результаты моделирования сведены в табл. 7.

Таблица 6 / Table 6

Показатели закрепления массивов хвостохранилищ Indicators of consolidation of tailings storage arrays

Технология / Technology	Прочность, МПа / Strength, MPa		
	Минимальная / Minimum	Максимальная / Maximum	Средняя / Average
Глинизация /	0.05	2.2	1.1
Цементация /	0.22	6.6	1.7
Силикатизация /	0.1	10	3.2
Битумизация /	0.1	2	1.2
Комбинированная с добавкой ПВА /	0.1	3.3	1.4
Закрепление травами /	Появление пленки (около 0.01)		
Карбонатизация /	0.3	1.5	0.8
Химическое закрепление /	0.3	0.46	0.67

Таблица 7 / Table 7

Выщелачивание хвостов активированными стоками Leaching of tailings with activated effluents

Количество анолита, дм ³ / The amount of anolyte, dm ³	Содержание в фильтрате, мг/дм ³ / Substance in the filtrate, mg/dm ³	
	Свинец / Lead	Цинк / Zinc
10	106	340
30	87,1	307
50	89,1	280
70	55,1	266
90	39,8	220
110	34,0	160
130	21,5	117
150	14,0	85,3

Совокупность физико-химических процессов включает феномен гидратации – взаимодействие веществ с водой, в результате чего они связываются друг с другом. В результате гидратации образуются закрепляющие массив гидраты, прочность которых на одноосное сжатие приведена в табл. 8.

Таблица 8 / Table 8

Прочность химически закрепленных хвостов Strength of chemically fixed tails

Место отбора проб / Sampling location	Прочность, сутки, МПа / Strength, day, MPa		
	7	28	90
Верх /	нет	0.3	0.4
Середина /	нет	0.42	0.52
Низ /	0.26	0.67	0.77
Средняя /	-	0.46	0.56

Маточные растворы для упрочнения элементов хвостохранилищ являются продуктом технологий с выщелачиванием (рис. 3).

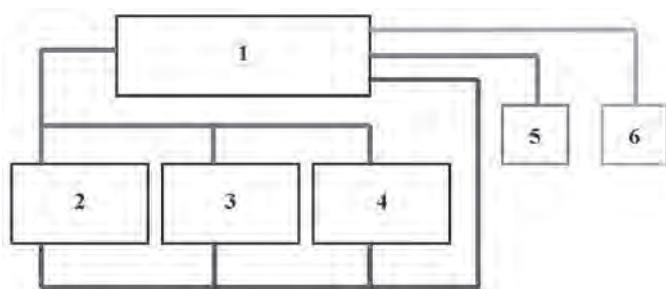


Рис. 3. Схема извлечения металлов выщелачиванием: 1 – цех переработки растворов реагентов; 2 – подземное выщелачивание; 3 – кучное выщелачивание; 4 – выщелачивание в дезинтеграторе; 5 – металлы; 6 – хвосты
Fig. 3. Scheme of metal extraction by leaching: 1 – reagent solution processing workshop; 2 – underground leaching; 3 – heap leaching; 4 – leaching in a disintegrant; 5 – metals; 6 – tailings

Новые способы закрепления массивов в хранилищах отвечает концепции рационального природопользования в

большей мере, поскольку при решении основной проблемы одновременно решает и эколого – экономические проблемы, утилизируя отходы технологии будущего – выщелачивания металлов.

Заключение

Хранение хвостов обогащения должно предусматривать возможность вовлечения их в производство при освоении новых технологий переработки.

Основным мероприятием по минимизации их негативного влияния становится закрепление элементов конструкции хранилищ для предупреждения химизации экосистем окружающей среды продуктами хранения хвостов.

Варианты закрепления элементов хвостохранилища отходами карбонатов и маточными растворами выщелачивания с созданием физико-химических барьеров в большей мере отвечают концепции гуманного отношения к окружающей среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Technology for nonwaste recovery of tailings of the mizur mining and processing plant / V. I. Golik, R. V. Klyuev, N. V. Martyushev [et. al.] // *Metallurgist*. – 2023. – Vol. 66, No. 11-12. – P. 1476-1480. DOI: 10.1007/s11015-023-01462-y
2. Prospects for return of valuable components lost in tailings of light metals ore processing / V. I. Golik, R. V. Klyuev, N. V. Martyushev [et. al.] // *Metallurgist*. – 2023. – Vol. 67, No. 1-2. – P. 96-103. DOI: 10.1007/s11015-023-01493-5
3. Reuse and Mechanochemical Processing of Ore Dressing Tailings Used for Extracting Pb and Zn / V. I. Golik, R. V. Klyuev, N. V. Martyushev [et. al.] // *Materials*. – 2023. – № 16. 7004. <https://doi.org/10.3390/ma16217004>
4. Chongchong, Qi Cemented paste backfill for mineral tailings management: Review and future perspectives / Qi Chongchong A. Fourie // *Minerals Engineering*. – 2019. – Vol. 144. 106025.
5. Дмитрак, Ю.В. Минерально-сырьевая база цветной металлургии России / Ю. В. Дмитрак, Б. С. Цидаев, В.Х. Дзапаров, Г.Х. Харебов // *Вектор Гео Наук*. – 2019. – Т. 2, № 1. – С. 9-18.
6. Методология выбора подземной геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений : монография / И. В. Соколов, Ю. Г. Антипин, И. В. Никитин ; под общ. ред. д-ра техн. наук И. В. Соколова; Мин-во науки и высш. обр. РФ. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2021. — 340 с.
7. Качурин, Н.М. Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отводов шахт Восточного Донбасса / Н. М. Качурин, Г. В. Стась, Т. В. Корчагина, М. В. Змеев // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2017. – Вып. 1. – С. 170-182.
8. Карамушка В. П., Камнев Е. Н., Кузин Р. З. Рекультивация объектов добычи и переработки урановых руд. – М.: Издательство «Горная книга», 2014. – 183 с.
9. Vaikuntam Iyer Lakshmanan, Raja Roy, V. Ramachandran. Innovative Process Development in Metallurgical Industry: Concept to Commission. — Springer, 2015. – 440 p. DOI: 10.1007/978-3-319-21599-0
10. Комащенко, В. И. Эколого-экономическая целесообразность утилизации горнопромышленных отходов с целью их переработки / В. И. Комащенко // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. — 2015. — № 4. — С. 23-30.
11. Ляшенко, В. И. Природоохранные технологии освоения сложноструктурных месторождений полезных ископаемых / В. И. Ляшенко // *Маркшейдерский вестник*. — 2015. — № 1(104). — С. 10-15.
12. Повышение экономической эффективности горнодобывающих предприятий за счет вовлечения в эксплуатацию техногенных георесурсов / С. Е. Гавришев, С. Н. Корнилов, И. А. Пыталев, И. В. Гапонова // *Горный журнал*. — 2017. — № 12. — С. 46-51. — DOI 10.17580/gzh.2017.12.09
13. A systematic review of paste technology in metal mines for cleaner production in China / Shenghua Yin, Yajian Shao, Aixiang Wu, Hongjiang Wang, Xiaohui Liu et al. // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – Vol. 247. 119590.
14. Palaniandy, S. Impact of mechanochemical effect on chalcopryrite leaching / S. Palaniandy // *International Journal of Mineral Processing*. – 2015. – Vol. 136. – P. 56-65. DOI: 10.1016/j.minpro.2014.10.005
15. Enhancement of copper dissolution by mechanochemical activation of copper ores: Correlation between leaching experiments and DEM simulations / M. Minagawa, S. Hisatomi, T. Kato [et. al.] // *Advanced Powder Technology*. – 2018. – V. 29(3). – P. 471-478. DOI: 10.1016/j.appt.2017.11.03
16. Исследование влияния активационной обработки на галитовые отходы обогащения при приготовлении закладочной смеси / Ч. Б. Конгар-Сюрюн, В. В. Фараджов, Ю. С. Тюляева, А. М. Хайрутдинов // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. — 2021. — № 1. — С. 43-57. — DOI 10.25018/0236-1493-2021-1-0-43-57
17. Балихин, А. В. Минерально-сырьевая база урана: современное состояние и перспективы развития. Обзор / А. В. Балихин // *Комплексное использование минерального сырья*. — 2019. — № 1(308). — С. 36-50. — DOI 10.31643/2019/6445.05
18. Валиев, Н. Г. К вопросу об использовании систем искусственного интеллекта в процедурах аудита современного горного производства (проблематика решения задач современного горного производства с использованием мультиагентных си-

стем) / Н. Г. Валиев, С. С. Головырин, В. В. Макаров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № S23. – С. 134–139.

19. Половов, Б. Д. Особенности имитационного анализа уровней геомеханических рисков горнотехнических объектов / Б. Д. Половов, Н. Г. Валиев, К. В. Кокарев // Горный журнал. – 2016. – № 12. – С. 8–13. – DOI 10.17580/gzh.2016.12.02.

20. Яицкая, Н. А. Геоинформационные технологии при решении трехмерных геоэкологических задач: пространственная интерполяция данных / Яицкая Н. А., Бригида В. С. // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – №12(1). – С. 162–173. DOI: 10.46698/VNC.2022.86.27.012.

REFERENCES

1. Golik VI, Klyuev RV, Martyushev NV, et. al. Technology of waste-free disposal of tailings of the Mizur mining and processing plant. *Metallurgist*. 2023;66(11-12):1476–1480. DOI: 10.1007/s11015-023-01462-y

2. Golik VI, Klyuev RV, Martyushev NV, et. al. Prospects for the return of valuable components lost in the tailings of processing of light metal ores. *Metallurgist*. 2023;67(1-2):96–103. DOI: 10.1007/s11015-023-01493-5

3. Golik VI, Klyuev RV, Martyushev NV, et. al. Mechanochemical processing and Reuse of enrichment tailings used to extract PB and zinc. *Materials*. 2023;16:7004. <https://doi.org/10.3390/ma16217004>

4. Chongchong Qi, Fourier A. Backfilling from cemented mass for the management of tailings dumps of minerals: an overview and prospects for the future. *Mineral engineering*. 2019;144: 106025.

5. Dmitrak YuV, Tsidaev BS, Dzaparov VKh, et. al. Mineral resource base of non-ferrous metallurgy of Russia. *Vector Geo Sciences*. 2019; 2(1):9–18 (In Russ.).

6. Methodology of underground geotechnology selection in hybrid ore mining / I.V. Sokolov, Yu.G. Antipin, I.V. Nikitin. Yekaterinburg: Ural University Press, 2021 (In Russ.).

7. Kachurin NM, Stas GV, Korchagina TV, et. al. Geomechanical and aerogasodynamic consequences of mining the territories of the mining branches of the mines of Eastern Donbass. *Izvestiya Tula State University. Ser. of Earth Sciences*. 2017;1:170–182. (In Russ.).

8. Recultivation of uranium ore mining and processing facilities / V.P. Karamushka, E.N. Kamnev, R.Z. Kuzin. Moscow: Gornaya Kniga Publishing House, 2014 (In Russ.).

9. Innovative Process Development in Metallurgical Industry: Concept to Commission / Vaikuntam Iyer Lakshmanan, Raja Roy, V. Ramachandran. Springer, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-21599-0

10. Komashchenko VI. Ecological and economic expediency of mining waste disposal for the purpose of their processing. *Izvestiya Tula State University. Earth Sciences*. 2015;4:23–30 (In Russ.).

11. Lyashenko VI. Environmental technologies in the development of mineral deposits of complex structure. *The Surveyor's Bulletin*. 2015;1:10–15 (In Russ.).

12. Gavrishev SE, Kornilov SN, Pytlev IA, et. al. Improving the economic efficiency of mining enterprises due to the commissioning of technogenic georesources. *Mining Journal*. 2017;12:46–51 (In Russ.).

13. Shenghua Yin, Yajian Shao, Aixiang Wu, et. al. A systematic review of the technology of production of pasty materials in metallurgical mines for cleaner production in China. *Journal of Cleaner Production*. 2020; 247:119590.

14. Palaniandi S. The effect of mechanochemical action on chalcopryite leaching. *International Journal of Mineral Processing*. 2015;136:56–65. DOI: 10.1016/J.minpro.2014.10.005

15. Minagawa M, Hisatomi S, Kato T, et. al. Enhancement of copper dissolution by mechanochemical activation of copper ores: correlation between leaching experiments and DEM modeling. *Advanced powder technology*. 2018;29(3):471–478.

16. Kongar - Suryun ChB, Faradzov VV, Tyulyaeva YuS, et. al. Investigation of the effect of activation treatment of halite enrichment waste in the preparation of masonry mixture. *Mining information and analytical bulletin*. 2021;1:43–57. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-43-57

17. Balikhin AV. Mineral resource base of uranium: current state and development prospects. Review. *Complex use of mineral raw materials*. 2019;(1):36–50 (In Russ.).

18. Valiev NG, Golovyryin SS, Makarov VV. On the use of artificial intelligence systems in audit procedures of modern mining production (problems of solving problems of modern mining production using multi-agent systems). *Mining information and analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2017;S23:134–139 (In Russ.).

19. Polovov BD, Valiev NG, Kokarev KV. Features of simulation analysis of levels of geomechanical risks of mining facilities. *Mining Journal*. 2016;12:8–13 (In Russ.).

20. Yaitskaya NA., Brigida VS. Geoinformation technologies in solving three-dimensional geoecological problems: interpolation of spatial data. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2022;12(1):162–173 (In Russ.). DOI: 10.46698/VNC.2022.86.27.012

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Гolik Владимир Иванович –

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Горное дело Северо-Кавказского горно-металлургического института (ГТУ), г. Владикавказ, Россия, e-mail: v.i.golik@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Vladimir I. Golik –

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Mining Department of the North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (GTU), Vladikavkaz, Russian Federation, e-mail: v.i.golik@mail.ru

Белодедов Андрей Александрович -

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Горное дело Южно-Российского государственного политехнического университета (ЮРГТУ), г. Новочеркасск, Россия

Мулухов Казбек Казгериевич –

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Теоретическая и прикладная механика, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ), г. Владикавказ, Россия

Масленников Станислав Александрович -

кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительства и техносферной безопасности Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ, г. Шахты, Ростовская обл., Россия

Дзапаров Вячеслав Хаматканович - кандидат технических наук, доцент Северо-Кавказского горно-металлургического института (ГТУ), г. Владикавказ, Россия

Andrey A. Belodedov -

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Mining Department of Yuzhno-Russian State Polytechnic University (YURSTU), Novocherkassk, Russian Federation

Kazbek K. Mulukhov –

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Theoretical and Applied Mechanics, North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (GTU), Vladikavkaz, Russian Federation

Stanislav A. Maslennikov -

Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Construction and Technosphere Safety of the Institute of Service and Enterprise (branch) of DSTU, Shakhty, Rostov region, Russian Federation

Vyacheslav Kh. Dzaparov -

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (GTU), Vladikavkaz, Russian Federation

Критерии авторства / Contribution:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей / The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.