

УДК 622.03:628.511:614.838.12:622:349.5**А.А. ГУРИН**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой, **Н.В. ДОМНИЧЕВ**, ассистент кафедры
Криворожский технический университет, г. Кривой Рог**В.И. ЛЯШЕНКО**, к.т.н., с.н.с., начальник отделаГП «Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии»
(ГП «УкрНИПИПромтехнологии»), г. Желтые Воды

ПРИРОДООХРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩАХ ГОРНО–МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Приведены результаты лабораторных и промышленных исследований пылеподавления, основанного на поддержании их влажности на уровне 9–11 %, на хвостохранилищах горно-металлургического производства. Показано, что смачивание поверхности хвостов раствором природного бишофита при расходе 1–2 кг/м² позволяет снизить количество сдуваемой пыли с поверхности хвостохранилища в десятки и сотни раз в любое время года. Описаны альтернативные природоохранные технологии пылеподавления на законсервированных хвостохранилищах.

природоохранные технологии, пылеподавление, хвостохранилища, гидрометаллургическое производство, природный бишофит, хвосты гидрометаллургии, моделирование

Один из путей снижения техногенной нагрузки на окружающую природную среду – управление состоянием природных ландшафтов в окрестностях хвостохранилищ горно-металлургических производств. Так, например, экологические убытки от 1 т пылевых выбросов из хвостохранилищ Кривбасса достигают 1680 грн (по ценам 2010 г.), следовательно, разработка природоохранных технологий пылеподавления на действующих и законсервированных хвостохранилищах путем комбинирования, закрепления и утилизации хвостов является важной научной, практической и социальной задачей, требующей безотлагательного решения [1–15].

В данной статье приведены результаты создания и внедрения новых природоохранных технологий пылеподавления на хвостохранилищах горно-обогатительных комбинатов (ГОК) Кривбасса, урановых производств в Украине и России, Садонского свинцово-цинкового комбината (Российская Федерация).

Хранение промышленных отходов сопровождается загрязнением атмосферы, гидросферы, изъятием земель из биологического и хозяйственного оборота (на 1000 т хвостов отводится примерно 0,1 га земли). Отходы минерального производства содержат разнообразные химические элементы, извлечение которых в настоящее время в большинстве случаев экономически неоправданно, хотя такие отходы, представляющие собой техногенные запасы, могут быть использованы в будущем.

На ГОКах Кривбасса до 65 % массы добываемой руды превращается в отходы, которые в виде хвостов подаются в хвостохранилища (большинство из них – действующие) общей площадью более 7000 га. После намыва на хвостохранилищах образуются сухие участки, выступающие над поверхностью воды. Хвосты быстро высыхают и при скорости ветра более 4 м/с в результате ветровой эрозии становятся источниками пылевыделения (до 70% пыли крупностью менее 100 мкм), которое является наиболее опасным для органов дыхания человека. Запыленность воздуха в населенных пунктах и на территории промышленных предприятий, расположенных вблизи хвостохранилищ, может превышать предельно допустимые концентрации в десятки раз. Длительное вдыхание такого запыленного воздуха приводит к легочным заболеваниям – силикозу, пневмокониозу и др.

Для борьбы с пылением хвостохранилищ предложены различные способы:

- поддержание постоянного уровня воды над поверхностью хвостов;
- закрепление верхнего слоя хвостов пленками или корками;
- увлажнение водой;
- выращивание растительности (биологический способ);
- связывание в общей массе известью;
- выщелачивание металлов анолитом и др.



Наиболее эффективным является поддержание уровня воды над поверхностью хвостохранилища, но при высоте намыва хвостохранилищ 80–100 м удержать постоянный уровень из-за большой фильтрации воды через дамбы весьма сложно. Закрепление верхнего слоя хвостов пленками или корками из битумной эмульсии, полимеров, отходов производства и других материалов не нашло широкого применения вследствие малой механической прочности, невозможности использования при отрицательных температурах воздуха, сложности нанесения, а также высокой стоимости [1–3].

Увлажнение поверхности хвостов водой может эффективно применяться на небольших хвостохранилищах, где можно использовать временные оросительные установки, однако в Кривбассе такой способ экономически нецелесообразен и технически трудно осуществим, поскольку площадь одной карты хвостохранилища достигает нескольких гектаров, а температура хвостов в летний период +60 °С (по данным ГП «НИИБТГ» [4], для предупреждения пыления 1 га хвостохранилища необходимо использовать до 12 000 м³ воды в год).

Для закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ использовались: латексы, битумная эмульсия, универсин, глинистые суспензии, отходы пищевой промышленности, сырое сульфатное мыло (ССМ) и др., однако применяемое в промышленности покрытие из раствора ССМ служит не более 15 суток и не может использоваться при температурах атмосферного воздуха ниже 0 °С.

Существенные недостатки имеющихся средств закрепления поверхностей – высокая цена компонентов, потребность в импортном сырье, невозможность применения при отрицательных температурах воздуха, необходимость определенной подготовки перед нанесением (разогревание битумной эмульсии, смешивание ССМ, латексов), что требует наличия специального оборудования и обученного персонала. Следует отметить, что использование отходов пищевой промышленности оправданно лишь при проведении биологической рекультивации и нецелесообразно для временного закрепления участков действующего хвостохранилища. Так, например, средство «ЭКОМ» испытывалось на ОАО «Ингулецкий ГОК», но не было принято для промышленного использования в связи с высокими затратами и недостаточной эффективностью.

Необходимо подчеркнуть, что биологические способы закрепления не могут применяться на действующих хвостохранилищах из-за периодического намыва пульпы (один раз в 3–5 месяцев), хотя и эффективны на законсервированных (отработанных) [1, 2]. Наиболее распространенным способом рекультивации хвостохранилищ

является закрепление их поверхностей и стенок для предупреждения сдувания пыли и выноса токсичных ингредиентов за пределы (при выборе способа закрепления законсервированных хвостохранилищ ориентируются на создание покрытия, способного противостоять длительному физическому воздействию). Опасность деградации окружающей среды увеличивается расчлененностью рельефа и изоляцией регионов, например, в Республике Северная Осетия-Алания (Российская Федерация) токсичные продукты выноса вредных веществ за пределы хвостохранилищ многократно превышают допустимые концентрации, а уровень загрязнения приближается к критическому для живых существ [14]. Следует также учитывать возможность повторной переработки хвостов с последующей рекультивацией.

В лабораторных исследованиях процессов закрепления пылящих поверхностей, проведенных авторами, количество сдуваемой с хвостохранилищ пыли определялось по величине удельной сдуваемости в аэродинамической трубе (рис. 1). Принцип работы установки – в подаче воздуха по трубе с определенной скоростью и улавливании пыли на фильтрах, установленных в аллонжах разных диаметров. Для получения достоверных результатов замеров параметров пылеобразования пульпы, находящейся в кювете, скорости улавливания пыли и движения воздуха в трубе поддерживались одинаковыми (принцип изокинетичности).

Использование аэродинамической трубы нагнетательного типа позволило приблизить искусственный поток к естественному, что подтверждено результатами замеров потерь напора по длине трубы при скорости воздушного потока 15 м/с. Для выравнивания профиля относительных скоростей на расстоянии 4 R (R – периметр короба по сечению) от вентилятора устанавливался спрямляющий аппарат сотового типа. Для получения установившейся дефляции и развитого кинематического поля турбулентного потока предшествующая длина разгона воздушного потока составляла 12 R. Поперечное сечение короба (0,3 x 0,2 м), в соответствии с критерием моделирования, является автомодельным. Профили скоростей ветра вблизи земной поверхности и потока в трубе определяются согласно формуле [8] $V = (V_g / f) \cdot \ln(Z/Z_0)$, где V_g – динамическая скорость, м/с; Z – высота, на которой определяется скорость, м; Z_0 – шероховатость подстилающей поверхности, м; f – постоянная Кармана.

Динамическое давление воздуха в аэродинамической трубе измерялось воздухомерной трубкой, подключенной к микроманометру ММК-200. Измерение скорости воздуха дублировалось чашечным анемометром У5 (табл. 1). Пробы атмосферного воздуха на запыленность отбирались с использованием фильтров АФА-ВП-20-1 в

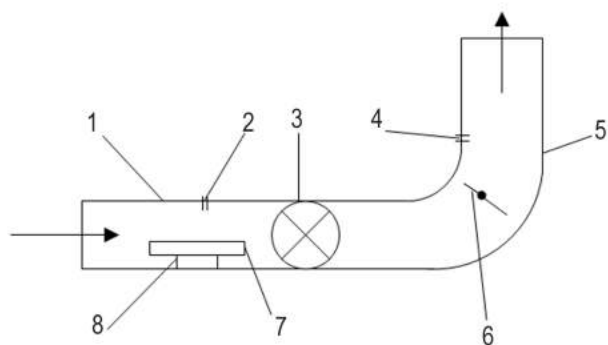


Рисунок 1 – Схема аэродинамической модели (общий вид):

1 – аэродинамическая труба; 2, 4 – соответственно отверстия для воздухомерной трубки и аллонжа; 3 – вентилятор; 5 – отводная труба; 6 – регулировочная задвижка; 7 – кювета с сыпучей горной массой (хвостами); 8 – подставка под кювету

двух разных точках по высоте трубы и усреднялись, запыленность определялась по общепринятой методике [5, 15]. Для предотвращения коагуляции частиц навеска пыли на фильтрах не превышала 30–40 мг.

Таблица 1 – Скорости воздушного потока (ветра) на различных высотах по оси трубы

Высота, на которой измеряется скорость ветра, м	Скорость воздушного потока по оси трубы, м/с								
	3	5	7	9	11	13	15	17	19
1,0	3,8	6,4	8,9	11,5	14,0	16,6	19,1	21,0	25,5
1,5	4,0	6,7	9,4	12,0	14,7	17,4	20,1	22,8	26,7
2,0	4,2	6,9	9,7	12,4	15,2	18,0	20,7	23,5	27,6
9,0	4,9	8,1	11,3	14,6	17,8	21,0	24,3	27,5	32,2
12,0	5,0	8,3	11,6	15,0	18,3	21,6	25,0	28,3	33,3

В связи с тем, что предлагаемые для закрепления поверхности хвостохранилища пленки и корки под воздействием ветра быстро разрушаются, а на сохранившуюся их часть наносится новый слой мелкодисперсной пыли, авторами [5, 6] предложено смачивать поверхность хвостов

гигроскопическими растворами хлоридов, наиболее приемлемым из которых является водный раствор природного бишофита (РПБ). Бишофит ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) добывается в Украине, по токсичности относится к четвертому классу опасности, не горюч, не взрывоопасен, хорошо растворяется в воде [7].

Исследования [6] показали, что после смачивания хвостов РПБ даже в жаркую сухую погоду испаряется медленно. При температуре воздуха более +30 °С и относительной влажности воздуха менее 60 % в течение дня на поверхности хвостов может образоваться соляная корка, препятствующая сдуванию пыли. Ночью, когда температура воздуха снижается, а влажность увеличивается, соль забирает влагу из воздуха, растворяется и увлажняет хвосты (хорошо смачивается и нанесенный ветром дополнительный слой пыли).

РПБ имеет низкую температуру замерзания (-35 °С) и может использоваться для смачивания хвостов в любое время года. Благодаря маслянистой структуре и высокой гигроскопичности РПБ хорошо связывает пылевые фракции, образуя на поверхности хвостохранилища плотный влажный слой, толщина которого при расходе раствора 1–2 кг/м² составляет 2–4 см, а первоначальная влажность – 9–11 %. Наносить РПБ следует с высоты более 1 м в распыленном виде. В этом случае он хорошо проникает в пространство между частицами и лучше их смачивает.

При проведении промышленных экспериментов хвосты смачивались гидромониторами, которые двигались по автодорогам ограждающих дамб, что позволяло обрабатывать РПБ всю площадь карты хвостохранилища. Средний расход РПБ составлял 1,5–2 кг/м² (15–20 т/га). Оптимальный эффект закрепления пылящих поверхностей достигался при применении РПБ с плотностью 1250 кг/м³. Сравнение предложенной технологии закрепления с используемыми ранее способами пылеподавления приведено в табл. 2.

В промышленных исследованиях обработка поверхности производилась 3–4 раза в год. На протяжении это-

Таблица 2 – Техничко-экономические показатели различных способов пылеподавления

Средство закрепления	Затраты закрепителя, кг/м ²	Стоимость, грн/т	Концентрация средства, %	Удельные экономические затраты, грн/м ²	Срок эффективного действия, суток
РПБ	1,5–2,0	300	100	0,30	70–75
Сырое сульфатное мыло (ССМ)	4	240	25	0,25	10–15
Средство «ЕКОМ»	6	5000	8	2,4	20–25
Масляно-жировые отходы	4	2000	6	0,48	Биологическая рекультивация
Маляс свекольный	4	420	50	0,8	
Патока зеленая	4	450	50	0,9	
Экстракт кукурузный	4	558	25	0,55	



го периода наблюдалось значительное уменьшение количества вынесенной пыли с закрепленной поверхности. Степень запыленности воздуха на выходе из карт хвостохранилища определялась по массе пыли, осевшей на фильтр за определенный отрезок времени (массовый метод), согласно формуле $C = (G_k - G_n)/Q$, где G_k, G_n – соответственно конечная и начальная масса фильтра, Q – объем прокачиваемого воздуха ($Q = qt/1000$, где q – объемный расход воздуха, t – время).

Исследования, проведенные на хвостохранилищах ОАО «Северный ГОК» и ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог», показали, что влажность верхнего слоя хвостов, обработанных РПБ, находилась в пределах 5–11 %, в то время как на контрольных (необработанных) картах она снижалась в сухую погоду до 0,3 %.

На влажность хвостов, обработанных РПБ, мало влияли морозы, снег, дожди – только после обильных длительных дождей она уменьшалась до 4 % (на контрольных необработанных картах – 1,3 %).

Запыленность воздуха (измерялась по направлению ветра на выходе из карт хвостохранилища) при скорости ветра 3–7 м/с на обработанных РПБ картах колебалась в пределах 0,16–1,4 мг/м³, тогда как на контрольных – 2,3–125,0 мг/м³. При промышленных испытаниях скорость ветра не превышала 7 м/с, поэтому не удалось выяснить, как ее увеличение повлияет на запыленность воздуха. Однако лабораторные исследования в аэродинамической трубе показали, что массовый отрыв пылинок со смоченных РПБ поверхностей начинается при скорости ветра более 10,5 м/с. Установлено также влияние временного фактора на пылеобразование закрепленных РПБ хвостов. В распоряжении исследователей было не более трех месяцев, так как действующие хвостохранилища периодически заполняют многометровым слоем пульпы, которая заливаает закрепленные участки. В лабораторных условиях поверхность хвостов, обработанная РПБ, не пылит более шести месяцев. Однако смоделировать реальные погодные условия весьма сложно.

Сравнительная технико-экономическая оценка эффективности способов закрепления пылящих поверх-

ностей с применением различных составов проведена на основании величины капитальных и эксплуатационных затрат в расчете на 1 м² поверхности, подлежащей закреплению. Расчеты показывают, что удельное пылеобразование с 1 м² при скорости ветра 5 м/с составляет 1,01 мг/с, коэффициент нестационарности пылеобразования – 0,18. По результатам расчетов установлено, что масса пыли, улавливаемой за год, составит 0,0057 т/м². При использовании РПБ количество вынесенной пыли с обработанной им поверхности хвостохранилища уменьшается. Срок эффективной службы покрытия составляет 60–75 суток. При повторной обработке расход РПБ уменьшается на 40–50 %.

Эффективность физического закрепления хвостов обогащения моделировалась в лабораторных условиях Северо-Кавказского горно-металлургического института [9]. Учитывая перспективы повторного использования хвостов, авторами исследованы возможности новой технологии закрепления, которая включает операции с хвостами: геохимическую подготовку; консервацию отвалов за счет создания изолирующих сред; контролируемое изменение состояния техногенных массивов. Состав доломита, %: SiO₂ – 2,16; CaO – 30,92; MgO – 21,99; Na₂O – 0,13; K₂O – 0,048; P₂O₅ – 1,26; S_{общ} – 0,0119; Al₂O₃ – 0,3; остальное – 43,01. Доломит содержал частицы размером 20–10 мм – 79,3 %; 10–5 мм – 18,3 %; < 5 мм – 2,3 %. Прочность гранул при одноосном сжатии – 0,03–3,1 кг/см², влажность естественная – 5,7 %, удельный вес – 2196 кг/м³, насыпной вес – 1115 кг/м³. Из пробы просеиванием отобраны гранулы крупностью до 5 мм.

Известь приготовили обжигом доломита в печи с температурой 1000 °С. Партии доломита по 0,5 кг гасили в течение 12 часов, перемешивали с песком в соотношении по весу известь/песок = 1/3, изготавливали кубики с размером ребра 70 мм, выдерживали в течение 28 дней и испытывали при одноосном сжатии на прессе. Верхний слой хвостов обрабатывали анолитом, аналогичным по составу кислым отвальным водам. Раствор попадал в нижний слой и участвовал в гашении извести. В результате на поверхности модели образовалось достаточно прочное изолирую-

Таблица 3 – Прочность закрепления в зависимости от времени (сутки), МПа

Соотношение компонентов доломит/ алевролит/ известь, %	Кислотность, pH								
	4,0			5,0			6,0		
	Сутки								
	7	28	90	7	28	90	7	28	90
50/45/5	0,40	1,2	1,4	0,38	0,87	0,99	–	–	–
45/45/10	0,60	1,29	1,4	0,40	0,91	1,12	–	0,33	0,54
40/45/15	0,65	1,36	1,5	0,43	0,99	1,16	0,38	0,4	0,69
35/45/20	0,76	1,48	1,6	0,54	1,0	1,26	0,43	0,56	0,76
30/45/25	0,84	1,52	1,7	0,61	1,12	1,39	0,48	0,64	0,85

щее покрытие. Доказано, что применение доломитов и извести увеличивает прочность верхнего слоя массива при сокращении времени его твердения. При этом в нижнем слое образуется материал, прочность которого сравнима с прочностью бетона. Прочность закрепления двухслойной конструкции зависит от времени, кислотности и соотношения компонентов (табл. 3).

Экспериментально установлено, что растворение, миграция и перераспределение элементов с упрочнением отвального массива уменьшают мобильность химических компонентов отходов. По результатам металлометрических съемок установлено, что покрытие хранилищ уменьшает интенсивность пылеобразования, не влияет на вынос металлов в экосистемы; хвосты подготавливаются для переработки в будущем.

Технологии с закреплением хвостов выщелачивания продуктами вторичной минерализации в течение 26 лет опробованы при разработке уранового месторождения «Бык» (Северный Кавказ) способом подземного шахтного выщелачивания. В качестве реагента применялся 3 %-ный водный раствор серной кислоты, при этом хвосты выщелачивания приобретали прочность 0,5–1,0 МПа [9]. Прочность закрепления хвостов в процессе выщелачивания исследована на стенде – длина и ширина 2 м, высота 0,2 м. Параметры закрепления элементов хвостохранилища изменялись в зависимости от времени и места нахождения хвостов (табл. 4).

Таблица 4 – Прочность химически закрепленных хвостов

Место отбора проб	Прочность в возрасте, МПа сутки		
	7	28	90
верх	–	0,3	0,4
середина	–	0,42	0,52
низ	0,26	0,67	0,77
средняя	–	0,46	0,56

Прочность закрепления хвостов в модели изменялась от 0,26 до 0,77 МПа (табл. 4). Активированные в процессе переработки хвосты подвергаются природному выщелачиванию, продукты которого определяют стабильность экосистем окружающей среды. Данные о прочности закрепления массива альтернативными способами приведены в табл. 5.

Таблица 5 – Прочность закрепления в возрасте 28 дней

Технология закрепления массива	Прочность, МПа		
	минимум	максимум	средняя
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		
Карбонатизация	0,3	1,5	0,8
Химическое закрепление	0,3	0,46	0,67

Авторами систематизированы технологии управления состоянием хвостохранилищ (табл. 6). Предлагаемая классификация технологий отличается от ранее известных тем, что в качестве основного критерия принят показатель выноса реагентов в природу.

Для оптимизации природоохранных технологий по хранению или вовлечению в хозяйственный оборот омертвленного сырья предложена методика, которая позволяет еще на стадии проектирования учесть многоплановые аспекты влияния хранилищ хвостов на экосистемы окружающей среды, применяя возможности геоинформационных систем типа ГИС-KMINE [13] (рис. 2).

Реализация рекомендуемой технологии управления состоянием хвостохранилищ обеспечивает

Таблица 6 – Классификация способов управления хвостохранилищами

Технология упрочнения	Вариант	Достоинства	Недостатки
верхнего слоя	глинизация	малые затраты, наличие материалов	малая прочность
	цементация	высокая прочность	высокие затраты
	силикатизация	высокая прочность	сложность
	карбонатизация	простота, надежность, утилизация карбонатов	сложная расконсервация
	биозакрепление	простота и доступность	в комбинации
всего массива	кольматация без извлечения металлов	простота, надежность, утилизация отходов	загрязнение металлами и солями
	без извлечения металлов	простота, надежность, утилизация продуктов электрохимии, экологичность	не используется возможность утилизации с получением товара
	с извлечением металлов	простота, окупаемость, экологичность	нет

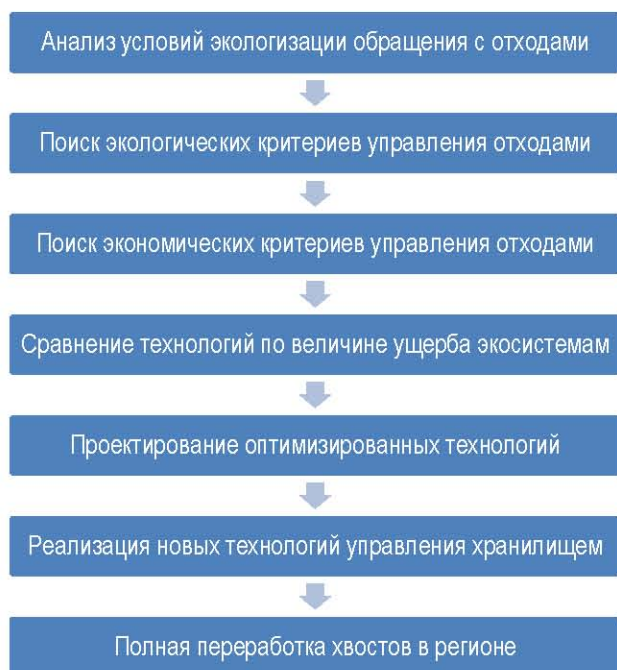


Рисунок 2 – Схема выбора способа управления состоянием хранилища

прибыль за счет экологической составляющей. Для условий Республики Северная Осетия-Алания эколого-экономическими расчетами определено, что управление состоянием хвостохранилищ по безотходной технологии может обеспечить прибыль, сравнимую с показателями основного производства (табл. 7).

Таблица 7 – Показатели переработки хвостов обогащения и металлургии

Статьи	Хвосты обогащения		Хвосты металлургии	
	1 т	Всего, т	1 т	Всего, т
Запасы хвостов	–	5000000	–	3000000
Продукты: металлы	0,1	500000	0,2	600000
Флюсы	0,1	500000	–	–
Пески	0,05	250000	0,05	150000
Иловые	0,03	150000	0,03	9000
Всего продукция, тыс. руб	1,25	1500000	0,28	840000
Затраты КВ, тыс. руб	0,1	500000	0,1	300000
Затраты МЗ, тыс. руб	0,05	250000	0,05	150000
Прибыль, тыс. руб	0,15	750000	0,3	390000
1 комплекс, тыс. т/год	–	500	–	500
Число комплексов	–	2	–	1
Срок переработки, лет	–	5	–	6
Штрафы, тыс. руб/год	–	15000	–	15000
Прибыль, тыс. руб/год	0,153	765000	0,135	405000

Примечание: КВ – кучное выщелачивание, МЗ – металлургический завод.

При условии полного извлечения полезных компонентов из отходов добычи и переработки руд можно не только окупить понесенные расходы, но и обеспечить прибыль. Фактическая эффективность будет больше расчетной, поэтому размеры штрафов за нанесенный окружающей среде ущерб ни в коей мере не соизмеримы с действительным ущербом экосистемам [14].

ВЫВОДЫ

1. Приведены результаты лабораторных и промышленных исследований пылеподавления на хвостохранилищах, основанные на поддержании влажности хвостов на уровне 9–11 %. Установлено, что удельное пылеобразование с 1 м² при скорости ветра 5 м/с составляет 1,01 мг/с, коэффициент нестационарности пылеобразования – 0,18. Смачивание поверхности хвостов гигроскопичным раствором природного бишофита при расходе 1–2 кг/м² позволяет снизить количество сдуваемой пыли с поверхности хвостохранилища в десятки и сотни раз в любое время года.

2. Водный раствор природного бишофита – безопасное и эффективное средство, которое может круглогодично использоваться для борьбы с пылением сухих поверхностей действующих хвостохранилищ. Нанесение РГБ с помощью гидромониторов позволяет исключить заезд техники на топкую поверхность хвостохранилища. Высокая гигроскопичность и маслянистость структуры РГБ поддерживает высокую влажность хвостов в период между намывами, предупреждая сдувание пыли с поверхности хвостохранилищ. При оптимальном расходе РГБ запыленность воздуха на выходе из хвостохранилища не превышает 1,14 мг/м³ при скорости ветра до 10 м/с. Срок эффективной службы покрытия составляет 60–75 суток, а при повторной обработке расход РГБ уменьшается на 40–50 %. Дальнейшие исследования предлагаемой технологии борьбы с пылением хвостохранилищ необходимо направить на более полное изучение влияния погодных условий на закрепление поверхности хвостов.

3. Оценено влияние отходов добычи и переработки минерального сырья на окружающую среду природно-промышленных ландшафтов с учетом миграции вредных ингредиентов из хвостохранилищ. Радикальная защита экосистем окружающей среды обеспечивается при управляемом выщелачивании ингредиентов из отходов минерального сырья и закреплением массивов хвостохранилищ (глинизация, цементизация, силикатизация, битумизация, комбинированная с добавками ПВА, химическое закрепление и закрепление травами).

4. Выбор технологий управления состоянием хвостохранилищ может осуществляться с помощью модели, целевой функцией которой является максимум прибыли, а переменной – соотношение ущерба от хранения отходов и компенсационных затрат на его предотвращение с учетом окупаемости затрат. Концепция эколого-экономического управления состоянием окружающей природной среды направлена на снижение негативного влияния отходов за счет их утилизации и локализации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Екологія гірничого виробництва / П.В. Бересневич, Ю.Г. Вілкул, О.М. Голишев та ін. – Кривий Ріг : Мінерал, 1998. – 152 с.
2. Бересневич, П.В. Охрана окружающей среды при эксплуатации хвостохранилищ / П.В. Бересневич, П.К. Кузьменко, Н.Г. Неженцова. – М. : Недра, 1993. – 128 с.
3. Ляшенко, В.И. Охрана окружающей среды и защита населения в уранодобывающих регионах / В.И. Ляшенко // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2005. – № 4. – С. 82–92.
4. Борьба с пылью в рудных карьерах / В.А. Михайлов, П.В. Бересневич, В.Г. Борисов и др. – М. : Недра, 1981. – 262 с.
5. Технология борьбы с пылением действующих хвостохранилищ // Сб. научн. трудов. Качество минерального сырья / А.А. Гурин, Ю.А. Гурин, В.А. Шаповалов и др. – Кривой Рог, 2008. – С. 371–375.
6. Пат. 31847. Україна. МПКС09К3/22. Спосіб закріплення поверхонь сухих пляжів діючих хвостосховищ / Гурін А.О., Гурін Ю.А., Шаповалов В.А., Домнічев М.В. – № 4200713775; заявл. 10.12.07; опубл. 25.04.08, Бюл. № 8. – 3 с.
7. ТУ 25 України. 22529511-003-97. Раствор природного бисшофита.

Приведено результати лабораторних і промислових досліджень пилопригнічення, яке засноване на підтримці їх вологості на рівні 9–11 %, на хвостосховищах гірничо-металургійного виробництва. Показано, що змочування поверхні хвостів розчином природного бисшофіту при витраті 1–2 кг/м² дозволить знизити кількість пилу, що здувається з поверхні хвостосховища, у десятки і сотні разів у будь-яку пору року. Описано альтернативні природоохоронні технології пилопригнічення на законсервованих хвостосховищах.

8. Кретинин, А.В. Способ борьбы с пылью на действующих хвостохранилищах. / А.В. Кретинин, В.Г. Борисов, В.Н. Жушман // Цветная металлургия. – 1988. – № 12. – С. 56–88.
9. Голик, В.И. Управление технологическими комплексами и экономическая эффективность разработки рудных месторождений / В.И. Голик, З.М. Хадонов, О.З. Габараев. – Владикавказ: Терек, 2001. – 500 с.
10. Ляшенко, В.И. Научные основы повышения безопасности жизнедеятельности в уранодобывающих регионах / В.И. Ляшенко // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2004. – № 3. – С. 56–70.
11. Кошик, Ю.И. Научное сопровождение уранового производства в Украине / Ю.И. Кошик, В.И. Ляшенко // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2006. – № 6. – С. 5–17.
12. Ляшенко, В.И. Природоохранные и ресурсосберегающие технологии подземной разработки урановых месторождений / В.И. Ляшенко, В.И. Голик // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2007. – № 1. – С. 53–67.
13. Ляшенко, В.И. Рациональному использованию и охране недр урановых месторождений – надежное геоинформационное обеспечение / В.И. Ляшенко, В.М. Назаренко, М.В. Назаренко // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2008. – № 3. – С. 39–47.
14. Ляшенко, В.И. Повышение качества природно-техногенной среды в зоне горно-металлургического производства / В.И. Ляшенко, А.М. Сатцев, С.А. Федорова // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2008. – № 5. – С. 34–40.
15. Ляшенко, В.И. Природоохранные технологии и средства для пылеподавления поверхностей хвостохранилищ / В.И. Ляшенко, В.Н. Жушман, А.А. Гурин // Цветная металлургия. – 2009. – № 12. – С. 3–13.

Поступила в редакцию 30.09.2009

Results of laboratory and industrial researches of dust control at tailing dumps of mining-metallurgical production based on keeping of their humidity at the level of 9-11% are given. It is shown, that wetting of tails' surface with natural bischofite solution at 1-2 kg/m² rate enables ten and hundred times lowering quantity of blowing dust from tailing dump surface at any time of year. Alternative nature protection technologies of dust control at dormant tailing dumps are described.