

вперше встановлена залежність проценту пошкоджень ізоляції якірної обмотки тягового двигуна кар'єрного самоскида БелАЗ-75131 від часу його чистої роботи, яка дозволяє прогнозувати терміни служби тягової електричної машини у різних умовах експлуатації.

### Список літератури

1. Определение температурных показателей лакового покрытия якорной обмотки тягового двигателя карьерного самосвала БелАЗ-75131 методом САЕ-моделирования / **Монастырский Ю. А., Веснин А. В., Систук В. А., Богачевский А. А.** // Сетевое периодическое издание «Проблемы недропользования». – Екатеринбург: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения РАН. – С. 77 – 84.
2. **Суханкин Г.В., Герцен Н.Т.** Модель старения изоляции обмоток статора электрической машины // Вестник ИжГТУ. - Ижевск: 2012. – С. 80 – 82.
3. **Систук В. О.** Вплив високо дисперсного пилу залізородних кар'єрів на стан електричних машин тягового електроприводу самоскидів / В. О. Систук, А. О. Богачевський // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. — Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2014. — Вып. 118. С. 168–175.
4. **Vesnin A. V.** The industrial dust properties as a wear factor of pit trucks electric machines elements / A. V. Vesnin, V. O. Sistuk, A. O. Bogachevskiy // Metallurgical and Mining Industry, 2015, No. 3. – Dnipropetrovsk. – P. 272 – 275.
5. **Соколов О.О.** Повышение ресурса тяговых электрических машин электропоездов постоянного тока // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения» (МГУПС (МИИТ)), 2015. - 201 с.
6. **Мамчур Д.Г., Осадчук Ю.Г.** Підходи до визначення стану ізоляції електричних машин // Вісник КДПУ. – Кременчук: Вип 4, 2006. - С. 122 – 129.
7. Catalin Rusu-Zagar, Petru Notingher Method for Estimating the Lifetime of Electric Motors Insulation // The 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering. - Bucharest: 2013. - P.7.
8. **Худий Є.Г.** Сучасні методи діагностики стану ізоляції електричних машин [Текст] / **Худий Є.Г., Пельтек І.І.** // Сб. научн. трудов "Вестник НТУ "ХПИ": Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. №28 - Вестник НТУ "ХПИ", 2010. - ISSN 2079-8024
9. **Веснін А. В.** Моделювання температурних навантажень лакового покриття якірних обмоток тягового двигуна кар'єрного самоскида / **А.В. Веснін, В.О. Систук, А.О. Богачевський** // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології [Збірка матеріалів IV Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції (17-19 листопада 2015 р., м. Харків)]. – Харків: ХНАДУ, 2015. – С.121 – 123.
10. Термический анализ якорной обмотки тягового двигателя карьерного самосвала БелАЗ-75131 методом компьютерного моделирования / **Ю.А. Монастырский, А.В. Веснин, В.А. Систук, А.А. Богачевский** // Научно-практическая конференция «Проблемы карьерного транспорта: Перспективные решения в технике и технологиях». Тезисы, 2–4 декабря 2015. – Екатеринбург: VI Уральский горнопромышленный форум. – С. 86 –87.
11. **Веснін А. В.** Моделювання напружено-деформованого стану якірної обмотки тягового двигуна кар'єрного самоскида / **А.В. Веснін, В.О. Систук, А.О. Богачевський** // Проблеми и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 76 Международной научно-практической конференции (Днепропетровск, 19 –20 мая 2016 г.) – Д.: ДИИТ, 2016. С. 60 –61.
12. ELCUT. Моделирование полей методом конечных элементов. Руководство пользователя [Fields modeling by finite elements. Manual]– St. Petersburg. Proizvodstvennyi cooperative TOR, 2010.
13. **Lombard M.** Solidworks 2013 Bible. **Lombard M.** / John Wiley & Sons Inc., 2013. – P. 1299.

Рукопис подано до редакції 31.03.16

УДК 612.17: 628.511

А.А. ГУРИН, д-р техн. наук, проф., Н.А. ТАРАН, младший научн. сотр.,  
Криворожский национальный университет,  
А.В. ШЕВЧЕНКО, директор по охране труда, ПАО «ЮГОК»

### БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗАКРЕПЛЕНИЕ ПЫЛЯЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТРАБОТАННЫХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

Хвостохранилища горнообогатительных комбинатов являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды пылью. С одного гектара сухой поверхности за сутки сдувается 2-5 т пыли в составе которой содержится более 95% частиц менее 4,0 мкм при содержании в них 60-70% SiO<sub>2</sub>. Концентрация пыли в воздухе за пределами хвостохранилищ превышает допустимые нормы в 5-6 раз, что приводит к заболеванию бронхитом и пневмокониозом. Среди известных способов и средств предупреждения пылеобразования на отработанных хвостохранилищах (таких как покрытие хвостов пленками, увлажнение их водными и связывающими растворами и др.). Наиболее эффективными являются биологические способы закрепления их поверхности, которые не токсичны, экономичны, долговечные, имеют высокую пылеудерживающую способность и не приводят к вторичному загрязнению атмосферы. На первое место выступает поиск видов растений, которые способны успешно расти и надежно закреп-

лять пылящую поверхность в течении короткого времени с использованием минимальных агротехнических и агрохимических затрат. Представлены результаты промышленных исследований ускоренного биологического закрепления пылящих поверхностей отработанных хвостохранилищ горно-обогатительного комбината ПАО «ЮГОК», покрытых слоем глины и чернозема. На основе анализа аборигенной флоры выбраны семена для засева покрытых поверхностей (кохия веничная, клевер и люцерна посевная). Установлено, что наиболее быстро, в течении 2,5-3,0 месяцев, надежно закрепляет хвосты корнями и стеблями кохия веничная, образуя большую биомассу, что предотвращает сдувание силикозоопасной пыли. Она является экологически безопасным и кормовым растением и подготавливает почву для дальнейшего прорастания дикорастущих растений, семена которых находятся в черноземе или заносятся ветром и животными. Разработаны рекомендации по ускоренному биологическому закреплению пылящих поверхностей отработанных хвостохранилищ с последующим возвращением их через 3-4 года для хозяйственного использования.

**Ключевые слова:** хвостохранилище, пылящая поверхность, биологическое закрепление, растения, кохия веничная, чернозем, глина, дикорастущие растения.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** На ГОКах Украины при добыче и обогащении железных руд значительная часть перерабатываемого материала в виде хвостов складывается и хранится в хвостохранилищах, которые занимают огромную площадь. Сухая поверхность хвостохранилищ является опасным источником загрязнения окружающей среды пылью. С одного гектара сухой поверхности за сутки при скорости ветра 4-6 м/с сдувается 2-5 т пыли, в составе которой содержится более 95% частиц размером менее 4,0 мкм при содержании в них 60-70 %  $\text{SiO}_2$ . Концентрация пыли в воздухе за пределами хвостохранилищ при таких условиях превышает допустимые нормы в 5-6 раз. Загрязнение воздушного бассейна такой пылью приводит к заболеванию людей бронхитом и пневмокозиозом [1-3].

Существуют два вида хвостохранилищ - действующие, которые постоянно наполняются хвостами и отработанные (законсервированные). Известные способы борьбы с пылью на действующих хвостохранилищах, основанные на покрытии их пленками из различных материалов или поддержании уровня воды над поверхностью хвостов, увлажнении хвостов водой, водным раствором природного бишофита и другими растворами на отработанных хвостохранилищах не применимы.

**Анализ исследований и публикаций.** Для предупреждения пылеобразования на сухих отработанных хвостохранилищах наиболее эффективным являются биологические способы закрепления их поверхности, которые не токсичны, долгосрочные, имеют высокую пылеудерживающую способность, экономичны и не приводят к вторичному загрязнению атмосферы. На первое место выступает поиск видов растений, которые способны успешно расти и надежно закреплять пылящую поверхность в течении короткого времени с использованием минимальных агротехнических и агрохимических затрат.

Для биологического закрепления хвостохранилищ большое значение имеет оценка пригодности пород, на которых осуществляют выращивание растений. Хвосты обогащения содержат:  $\text{SiO}_2$  - 60-70%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 3-5%,  $\text{FeO}$  - 5-15%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - до 3%,  $\text{MgO}$  - до 5%,  $\text{CaO}$  - до 3% и ряд других соединений.

На хвостохранилищах формируются участки пляжа с различным гранулометрическим составом и незначительным содержанием илесто-коллоидной фракции.

В хвостах преобладают песчаные частицы (88,5 %) и незначительное количество глины (до 10,5 %). Низкое содержание глинистых, илистых и коллоидных частиц отрицательно сказывается на водно-физических свойствах хвостов, им присущи высокая водопроницаемость, низкая влагоемкость (20-25 %) и поглотительная способность. Плотность хвостов составляет 2,94-3,41 г/см<sup>3</sup> [4-6].

За счет бесструктурности и большой пористости хвосты слабо удерживают влагу и быстро ее теряют. В жаркую солнечную погоду поверхность хвостов нагревается до 50 °С, в результате чего происходит быстрое высыхание верхних слоев хвостохранилищ.

Доминирующим признаком пригодности субстрата хвостохранилища для биологической рекультивации является количественное и качественное содержание водорастворимых солей. По количественному содержанию водорастворимых солей субстраты хвостохранилищ имеют хлоридно-сульфатное или же сульфатно-хлоридное засоление.

Сухой субстрат содержит 5,4-25,79 г/л солей, среди которых преобладают сульфаты и хлориды, что превышает пороги токсичности для среднесолевыносливых растений в сотни раз. В сухую и жаркую погоду, в результате интенсивного испарения из хвостов влаги, в поверхност-

ном слое формируется солевой горизонт и образуется солевая корка, предупреждающая сдувание пыли.

**Постановка задачи.** Биологическая рекультивация хвостохранилищ лимитируется такими факторами как рыхло-песчаный состав хвостов, недостаток элементов минерального питания, отсутствие гумуса, степень засоления, высокая минерализация технической воды, которые делают их малопригодными для произрастания растений.

Естественное зарастание хвостохранилищ происходит достаточно длительное время 10-30 лет. Растительный покров при этом фрагментарный и не в состоянии решать проблему закрепления хвостохранилищ. Всходы растений в основном наблюдаются в трещинах поверхности чернозема и суглинка в местах, где во время дождя образовались лужи и влажное обеспечение более существенно [7,8]. Целью работы является разработка технологии ускоренного биологического закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ, включающей подготовку грунтов к посеву, выбор вида семян, наблюдение за их ростом при проведении промышленных исследований.

**Изложение материала и результаты.** Промышленные исследования по ускоренному озеленению пылящих поверхностей хвостохранилищ начали проводить на ПАО «ЮГОК» в 2013г., где для экспериментов была выделена карта площадью 10000 м<sup>2</sup> (1 га), разделенная на три участка.

Хвосты первого участка, площадью 0,45 га, были покрыты слоем глины толщиной 0,15 м и слоем чернозема толщиной 0,12 м. Хвосты второго участка, площадью 0,45 га, были покрыты только слоем глины толщиной 0,15 м. Хвосты третьего участка (контрольного), площадью 0,1 га не покрывались ничем. Все три участка были разделены на подучастки, на которых посеяли семена кохии веничной, клевера посевного и люцерны посевной. Выбор вида семян проводился на основе анализ аборигенной флоры, участвующей в самозарастании отвалов и хвостохранилищ. Посев семян был проведен 5 мая 2013 г. Искусственный полив экспериментальных участков не производился. Наблюдения за развитием растений производили регулярно с мая по октябрь. Наилучшие результаты были получены на участке чернозема, засеянном семенами кохии веничной.

Следует отметить, что первоначально (май, июль) вегетация кохии проходила в условиях жесточайшего дефицита влаги. Несмотря на это, биомасса растений за четыре месяца превысила 2500 г/м<sup>3</sup>, плотность стояния растений составила 80-90 %, а высота стебля - более 70 см. Другие растения, семена которых находились в черноземе, на участке засеянном кохией веничной, развития не получили (рис. 1) [9,10].



**Рис. 1.** Общий вид участка 1, покрытого глиной, заросшего различными травами и участка 2 из непокрытых хвостов через три года после биологической рекультивации

Как известно, в почве семена многих сорных растений не теряют всхожести от 7 до 15 лет. Поэтому слой чернозема может выступать как основа для интродукции растений первопоселенцев. Ведь сорняки обладают необходимыми качествами – выносливостью, засухоустойчивостью в условиях ксерофитной степи и, особенно в условиях отвалов и шламоохранилищ, где температура на поверхности может превышать 50°C.

Проведенные исследования показали, что для ускоренного озеленения рекультивированных хвостохранилищ (покрытым слоем глины и чернозема) в условиях Кривбасса лучшие результаты дает кохия веничная. Она надежно закрепляет корнями и стеблями поверхность хвостохранилища в течении 1,5-2 месяцев, образуя большую биомассу, сплошное надежное покрытие, которое предотвращает сдувание силикозоопасной пыли хвостов.

Кохия веничная - однолетнее двудольное растение травянистое высотой 15-150 см, зеленое пирамидальной формы, под осень краснеет, сильно ветвистое. Соцветие взъерошено-

колосовидное. Цветы по 1-2 в пазухах прицветников, невзрачные. Цветет в июле-августе. Растет на солончаках, песках, сорняк в садах, огородах, вдоль дорог, по мусорным местам, на высоте до 1000 м над уровнем моря. Кохия - растение кормовое и экологически безвредное. Она отличается кратчайшим сроком вегетации, большой урожайностью семян, глубоким залеганием корневой системы, которая требуется для ускоренного закрепления поверхности хвостохранилища что пылит [11,12,13].

Продолжая наблюдения за экспериментальными участками в 2015-2016 годах мы неожиданно столкнулись с фактом исчезновения на черноземе кохии веничной, ее место заняли растения лядвенца Ольги (лядвенец рогатый, семена бобовых). Это многолетник, высотой 30-60 см, цветет в мае-сентябре на лугах и травянистых склонах по всей территории Украины – обычно, на юге немного реже.

Кормовое растение, медонос, лекарственное [14]. Растение неоднократно плодоносящее в течении вегетационного периода, обеспечило себя обширной территорией и дальнейшим распространением.

Сроки цветения лядвенца рогатого и вегетация начинаются с мая месяца обеспечили полное господство в растительном покрове черноземного участка. Покрытие 70-80 %.

Растения, успевшие захватить площадку для эксперимента не дали прорастания кохии веничной в конце июля - начале августа.

Исследования показали, что плотность зарастания и биомасса дикорастущих растений лядвенца Ольги ничем не уступают по плотности стояния растений кохии веничной. Сомкнутость 0,9. Как видно, произошло явление сукцессии, когда один вид растения сменил другой (рис. 2).



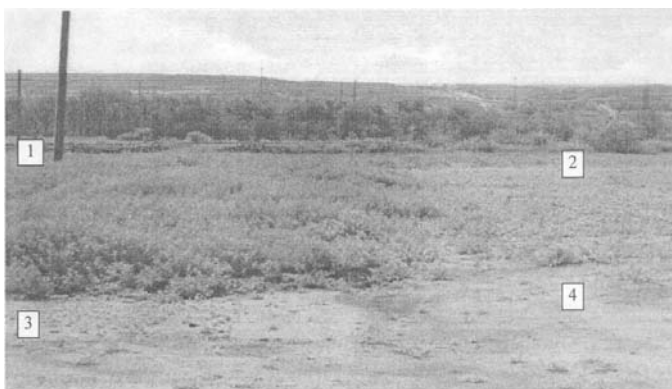
**Рис. 2.** Общий вид участка 1, покрытого слоем глина+чернозем, заросшего деревьями Коха узколистного, травами лядвенца Ольги, кудрявца Софии, коровяка скипетровидного и др. через три года после биологической рекультивации

Следует обратить внимание на появление синузид растений гринделии липкой, которая в последние годы захватывает пространство на экспериментальном участке.

Этот вид занимает степные просторы европейской части бывшего СССР. Среди зарослей лядвенца Ольги

наблюдаются небольшие пятна полны горькой (сем. астровые), кудрявец Софии (сем. крестоцветных), лебеды белой (сем. маревые) и единичных растений коровяка скипетровидного (сем. норичниковые), бодяка окантовидного (сем. астровые).

Перечисленные виды потенциальные участники сукцессий на экспериментальной площадке. Кроме травяных растений на участке покрытом черноземом начали самопроизвольно приживаться деревья коха узколистного (рис. 3) и кустарники [14].



**Рис. 4.** Общий вид экспериментального участка через 4 месяца посева растени (фото): 1 - участок чернозема, засеянный кохией веничной; 2 - самозарастание чернозема дикорастущими растениями; 3 - участок глины засеянный кохией веничной; 4 - хвосты

На участках хвостохранилища покрытых глиной развитие растительности значительно беднее.

На фоне открытых площадок глины начинают закрепляться редкие кустики полны австрийской (сем. астровые), молокоана татарского (сем. астровые),

татарника колючого (сем. астровые), полыни горькой (сем. астровые), из под глины пробиваются заросли камыша городского (сем. злаковые).

Но следует обратить внимание на огромные заросли (сухостоя) донника белого, достигающего 1,5-1,8 см (сем. бобовые) и мозаичных пятен сухих растений овсюга пустого (однолетник) (сем. мятликовые).

Всходы овсюга ранней весной обеспечат покрытие экспериментальных участков на все лето. Изредка встречаются растения осота розового, живокости полевой [14,15].

На непокрытом субстрате участке хвостохранилища заростания посеянными и дикорастущими растениями за период наблюдений не происходило за исключением пробивающихся из хвостов одиноких растений камыша городского, который корневищами глубоко уходит в водонесные горизонты скальных пород (см. рис. 3).

**Выводы и рекомендации.** Постоянные наблюдения за экспериментальными участками показали, что на делянке покрытой черноземом проявляется явление сукцессии.

Это на четвертом году развития искусственного экотона, хотя как показывают эксперименты на других

ГОКах процесс сукцессий наблюдается после 10-30 лет без подсыпки чернозема. Чернозем имеет большую обсеменяемость сорняками, является мощным источником зарождения растительных группировок в том числе деревьев и кустарников.

Проявление сукцессий дает основание считать, что процесс восстановления природного покрова, свойственного степным условиям набирает силу и лишней раз доказывает, что природная среда помогает реконструкции биотопов.

Биологическую рекультивацию отработанных хвостохранилищ необходимо начинать путем посева семян кохии веничной на чернозем в апреле-мае месяце, что благодаря интенсивному ее росту позволит предупредить сдувание пыли хвостов уже через 4-5 месяцев и обеспечить в последующие годы активный рост сорняков, семена которых в достаточном количестве находятся в черноземе. Через 3-4 года рекультивируемые земли могут быть возвращены для хозяйственного использования.

#### *Список литературы*

1. Екологія гірничого виробництва / П.В. Бересневич, Ю.Г. Вілкул, О.М. Голишев та ін. Кривий Ріг : Мінерал, 1998. - 152 с.
2. **Ляшенко В.И.** Охрана окружающей среды и защита населения в уранодобывающих регионах // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. 2005. №4. С.82-92.
3. **Ляшенко В.И., Гурин А.А.** Пылеподавление поверхностей хвостохранилищ // Экология производства. 2012. № 9. - С.54-59.
4. Борьба с пылью на открытых горных работах / **А. И. Лобода, Б.Н. Ребристый, В.Ю., Тыщук** и др. Киев: Техніка, 1989. - 152 с.
5. **Гурин А.А., Домничев Н.В., Ляшенко В.И.** Природоохранные технологии пылеподавления на хвостохранилищах горно-металлургического производства // Экология и промышленность. 2010. № 4. - С. 25-28.
6. Технология борьбы с пылением действующих хвостохранилищ / **А.А. Гурин, Ю.А. Гурин, В.А. Шаповалов, Н.В. Домничев** // Качество минерального сырья: сб. науч. тр.Кривой Рог, 2008. - С. 371-375.
7. **Таран М.А.** Фітооптимізація та ґрунтоутворення в умовах шламосховищ та інших техногенно порушених екосистемах Криворіжжя // Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу / Мінпромполітики України. Український державний науково-дослідний інститут безпеки праці та екології в гірничорудній і металургійній промисловості. Кривий Ріг, НДБПГ, 2005. С. 119-125.
8. **Ляшенко В.И., Жушман В.Н., Гурин А.А.** Природоохранные технологии и средства для пылеподавления поверхностей хвостохранилищ // Цветная металлургия, 2009. № 12. - С.3-13.
9. **Гурин А.А., Ляшенко В.И., Таран Н.А.** Новые технологии и средства закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ. Научно-технический журнал «Обогащение руд». № 5[353]. Санкт Петербург. - С. 41-48.
10. **Гурин А.А., Таран Н.А.** Ускоренная биологическая рекультивация отработанных хвостохранилищ // Збірник наукових праць науково-дослідного інституту ДВНЗ «КНУ». - 2015. № 54. - С. 269-297.
11. **Смик Г.К.** Корисні та рідкісні рослини України.-К.: Радянська енциклопедія ім. П. Бажана, 1991.
12. Определитель высших растений Украины/ **Доброчаева Д.И., Прокудин Ю.М.** и др. – Киев: Наукова думка. 1987. - 548 с.
13. **Задорожний В.З., Комісар І.О., Меронченко В.О., Нініченко О.П.** Особливості флорестичного складу рослинних угруповань гірничих відвалів// IX з'їзд укр. ботан. товариство: Тези доп.-К. Наукова думка, 1992. - С.17-18.
14. **Фисюнов Л.В.** Сорные растения. - М.: Колос, 1984. - 320 с.
15. **Ляшенко В.И., Сатцев А.М., Федорова С.А.** Повышение качества природно-техногенной среды в зоне горно-металлургического производства // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. 2008. № 5. - С. 34-40. Рукопис подано до редакції 31.03.16