2 января 2019 г. исполняется 70 лет

члену редакционной коллегии

Бюллетеня научно-технической и экономической информации “Черная металлургия”

ЛЯШЕНКО ВАСИЛИЮ ИВАНОВИЧУ

Ляшенко В.И. — известный специалист в области подземной разработки рудных месторождений сложной структуры. Более 40 лет он работает над проблемами развития горнорудного производства, повышения его эффективности и безопасности.

Он автор 44 изобретений, отмечен знаком “Изобретатель СССР”. За личный вклад в развитие горнорудного производства, весомые трудовые достижения в 1995 г. Указом Президента Украины ему присуждено почетное звание “Заслуженный изобретатель Украины”. Результаты научных исследований В.И. Ляшенко вошли во многие утвержденные нормативные документы, относящиеся к горному делу, охране и рациональному использованию недр, окружающей природной среды и к защите населения, проживающего в зоне природного и техногенного загрязнения, направленные на повышение безопасности и охрану труда в промышленности.

Многие годы Василий Иванович сотрудничает с редакцией Бюллетеня научно-технической и экономической информации “Черная металлургия”. Его статьи всегда отличает актуальность тематики, основательность ее проработки и грамотность изложения.

Коллектив редакции журнала “Бюллетень научно-технической и экономической информации “Черная металлургия” поздравляет Василия Ивановича со знаменательной датой и желает ему крепкого здоровья и творческих успехов в его деятельности.

УДК 612.17:628.511

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИРОДООХРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СРЕДСТВ ДЛЯ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

В. И. ЛЯШЕНКО¹, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, начальник научно-исследовательского отдела, vilyashenko2017@gmail.com; А. А. ГУРИН², д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой рудничной аэрологии и охраны труда; А. В. ШЕВЧЕНКО³, директор по охране труда, промышленной и экологической безопасности; И. А. ЛИСОВОЙ⁴, канд. техн. наук, доцент кафедры “Агроинженерия”, заместитель декана инженерно-технологического факультета

(¹ Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии, Украина, Днепропетровская обл., г. Желтые Воды;

² Криворожский национальный университет, Украина, Днепропетровская обл., г. Кривой Рог;

³ Южный ГОК, Украина, Днепропетровская обл., г. Кривой Рог;

⁴ Уманский национальный университет садоводства, Украина, Черкасская обл., г. Умань)

Аннотация. Совершенствование технологий и средств пылеподавления поверхностей хвостохранилищ горно-металлургического производства направлено на повышение экологической безопасности и решает важные научные, практические и социальные задачи. Осуществлен анализ существующих технологий закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ. Приведены основные результаты совершенствования технологии биологической рекультивации — комплекса мелиоративных и агротехнических мероприятий по

восстановлению плодородия и хозяйственной ценности земель. Представлены результаты промышленной апробации разработанной технологии на хвостохранилищах ПАО “Южный ГОК”, Украина. Предложено проводить биологическую рекультивацию отработанных хвостохранилищ железорудных горно-обогатительных комбинатов Кривбасса путем посева семян кохии веничной. Ее посев на чернозем в апреле–мае для условий центральной части Украины благодаря интенсивному росту позволит предупредить сдувание пыли хвостов уже через 4–5 мес. Через 3–4 года рекультивируемые земли могут быть возвращены для хозяйственного использования. Рассмотрены способы борьбы с амброзией. Рекомендовано площади, заросшие амброзией, орошать раствором природного бишофита (РПБ) с расходом не менее 0,08 л на 1 кг биомассы амброзии. РПБ, имеющий IV класс опасности и используемый в медицине как лечебное средство, может применяться для борьбы с амброзией на территории городов, курортов, возле дорог, вокруг полей и др. Плотность РПБ должна быть не менее 1250 кг/м³. При меньшей плотности необходимо увеличивать расход раствора. Увядание листьев амброзии после обработки РПБ в сухую погоду происходит в течение 3 сут, высыхание — не менее чем через 7 сут. Развития и роста амброзии после высыхания не происходит. Стоимость обработки амброзии РПБ средней плотности зарастания 5 кг/м² при стоимости раствора 960 грн/т не превышает 40 грн. на 100 м². Показано, что внедрение разработанных технологий, средств и способов борьбы с пылением на действующих и законсервированных хвостохранилищах позволит уменьшить уровень загрязнения воздуха рабочей зоны пылью, улучшить условия работы персонала и экологическую обстановку в районах складирования отходов горно-металлургического производства.

Ключевые слова: горно-металлургическое производство, хвостохранилище, рекультивация земель, биологическое закрепление пылящих поверхностей, способы борьбы с амброзией, раствор природного бишофита.

Ссылка для цитирования. Ляшенко В.И., Гури́н А.А., Шевченко А.В., Лисовой И.А. Совершенствование природоохранных технологий и средств для пылеподавления поверхностей хвостохранилищ горно-металлургического производства // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 12. С. 15–26.

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-12-15-26

PERFECTION OF NATURE PROTECTION TECHNOLOGIES AND MEANS FOR DUST SUPPRESSION OF MINING AND METALLURGICAL PRODUCTION TAILINGS SURFACES

V. I. LYASHENKO¹, PhD (Tech), Senior Res. Ass., Head of R&D Dpt, vilyashenko2017@gmail.com;

A. A. GURIN², HD (Tech), Professor, Head of Dpt “Ore aerology and labor safety”;

A. V. SHEVCHENKO³, Director on labor safety, industrial and ecology safety;

I. A. LISOVoi⁴, PhD (Tech), Associate Professor of the Dpt “Agricultural engineering”,
Deputy Dean of Engineer-technological dpt

(¹ Ukrainian R&D and designing-surveying Institute of industrial technology, Ukraine, Dnepropetrovsk rgn., Zheltve Vody;

² Krivorozhsky National University, Ukraine, Dnepropetrovsk rgn., Krivoj Rog;

³ Yuzny GOK, Ukraine, Dnepropetrovsk rgn., Krivoj Rog;

⁴ Uman' National University of Gardening, Ukraine, Cherkassk rgn., Uman')

Abstract. Perfection of technologies and means of mining and metallurgical plants tailings dumps surfaces dust suppression is directed at improving of ecological safety and solves important scientific, practical and social tasks. Analysis of existing technologies of tailing dumps dust formation surfaces fixing made. Main results of perfection of biological reclaiming technologies – complex of ameliorative, agricultural and technical measures for soil fertility and economic value restoration quoted. Results of industrial approbation of developed technology at PAO “Yuzhny GOK” (Ukraine) tailing dumps presented. It was proposed to make the biological reclaiming of used Krivbass tailing dumps of iron ore mining and concentration plants by sowing of broom kohia seeds. Sowing of it at chernozem in April–May for conditions of Ukraine central part will enable to prevent the tailings dust blowing-off in 4–5 months thanks to its intensive growing. In 3–4 years the reclaimed land can be returned back for economic utilization. Methods of ambrosia control considered. It was recommended the land covered by ambrosia to sprinkle by natural bischofite solution (NBS) using the consumption at least 0.08 l per 1 kg of ambrosia biomass. The NBS has the IV-th class of danger and used in medicine as a medical mean, can be used for ambrosia control at the territories of cities, resorts, near roads, round fields etc. The NBS density should be at least 1250 kg/m³. With lower density, the consumption of the solution should be increased. Ambrosia leaves fading after treatment by NBS during dry weather will take place in 3 days, their drying up – at least in 7 days. Ambrosia growing and extension after drying up will not happen. Cost of ambrosia treatment by NBS at average density of covering 5 kg/m², having solution price 960 grivna/ton will not exceed 40 grivna per 100 m². It was shown, that implementation of developed technologies, means and methods of dust formation control at existing and conserved tailing dumps will enable to decrease the level of air pollution by dust, to improve the personal working conditions and ecological situation in arears of mining and metallurgical plants wastes stocking.

Key words: mining and metallurgical production, tailing dumps, land reclaiming, biological fixing of dust formation surfaces, ambrosia control methods, natural bischofite solution.

For citation: Lyashenko V.I., Gurin A.A., Shevchenko A.V., Lisovoi I.A. Perfection of nature protection technologies and means for dust suppression of mining and metallurgical production tailings surfaces. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii* = *Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2018, no. 12, pp. 15–26. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-12-26

Общая площадь хвостохранилищ в Кривбасе, Украина, составляет более 7 тыс. га. Значительная их часть (около 20 %) отработана и выступает одним из основных источников загрязнения окружающей среды силикозоопасной пылью. При скорости ветра более 4 м/с с одного гектара сухой поверхности за сутки сдувается 2–5 т мелкодисперсной пыли с крупностью частиц менее 4 мкм при содержании в ней 60–70 % SiO₂. Такая пыль распространяется на десятки километров от хвостохранилищ. Концентрация пыли в воздухе превышает допустимые нормы в 5–8 раз, а вдыхание такого воздуха приводит к заболеванию людей пневмокониозом и бронхитом. Для закрепления пылящей поверхности хвостохранилищ рекомендуются латексы, битумная эмульсия, универсин, сырое сульфатное мыло и др. Недостатки таких средств закрепления: малая эффективность, кратковременность службы (менее 15 сут), высокая стоимость и невозмож-

ность возвращения площадей хвостохранилищ для хозяйственных нужд. Наиболее результативными признаны биологические способы их закрепления, которые безвредны, экономичны, не загрязняют атмосферу пылью и позволяют быстро вернуть земли для хозяйственного использования. Естественное зарастание отработанных хвостохранилищ происходит длительное время — до 30 лет. Поэтому совершенствование природоохранных технологий и средств для пылеподавления поверхностей хвостохранилищ горно-металлургического производства, обеспечивающих повышение экологической безопасности в зоне влияния действующих и отработанных хвостохранилищ отходов переработки рудного сырья и снижение опасности для окружающей среды, на основе разработки технологии биологической рекультивации и борьбы с амброзией решает важные научные, практические и социальные задачи [1–6].

Методика исследований и принятые термины

Проведены анализ ранее выполненных исследований и контрольных наблюдений, математическое и физическое моделирование на аэродинамической модели, статистическая обработка результатов, установление зависимостей, выполнение расчетов и обоснований, экспериментальные исследования в кюветах с хвостами, натурные измерения на поверхности хвостохранилищ и в зоне их влияния по стандартным и новым методикам. При этом использована следующая терминология [7]:

- экологическая безопасность — совокупность процессов и действий, обеспечивающих экологический баланс в окружающей среде и снижающих вредное воздействие на природу и человека;
- комплекс сооружений, предназначенных для складирования хвостов переработки руд. Хвосты

поступают в хвостохранилище в виде пульпы, содержащей твердые минеральные частицы и воду, как правило, в соотношении от 1:15 до 1:30 (на практике — от 1:0,3 до 1:70). Твердые частицы осаждаются, а осветленную воду отводят для повторного использования или сбрасывают в водоем. В состав объектов хвостохранилища входят первичная дамба и дамбы последующих ярусов, противотрационных устройства, дренажи, водосбросные сооружения, системы гидротранспорта и пылеподавления;

- биологическая рекультивация — комплекс мелиоративных и агротехнических мероприятий по восстановлению плодородия и хозяйственной ценности земель, осуществляемый после технической рекультивации. Обычно биологический этап рекультивации длится от 4 до 10 лет.

Технологии закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ

В процессе оборудования хвостохранилищ на их поверхностях образуются обезвоженные участки большой площади. В летний период поверхность нагревается до 60 °С и сухой слой достигает толщины 30–50 см. Сухие хвосты — песчаный материал, между частицами которого (кроме незначительных сил поверхностного натяжения, молекулярных, химических связей и силикатизации) нет устойчивых связей, например пыль. При скорости ветра 5 м/с и более поверхность хвостохранилища становится интенсивным источником выделения пыли, концен-

трация которой в воздухе над хранилищем и на удалении от него в несколько километров в десятки и сотни раз превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК). Традиционный способ борьбы с пылью на сухих пляжах хвостохранилищ основан на закреплении пылящих поверхностей путем создания пленок или противозерозионных корок. Увлажнение — наиболее употребляемый способ борьбы с пылью, который широко применяется на самом высокогорном (2500 м) хвостохранилище в мире Мауро на

медно-молибденовом руднике Лос-Пеламбрес в Чили с 2008 г. (рис. 1) [8–12].

Рис. 1. Хвостохранилище Мауро на медно-молибденовом руднике Лос-Пеламбрес в Чили (фото)

Fig. 1. Tailing dump Mauro at copper-molybdenum pit Los-Pelambres, Chile (Picture)

Влажный пляж также не пылит, однако влага иногда испаряется, и такой пляж требует дополнительной подачи воды, что очень затратно. Кроме того, рекультивация таких хвостохранилищ будет затруднена из-за низкой прочности их поверхностей. На них наносят закрепители. В хвостохранилищах наливного типа легкие фракции (иловая и глинистая) концентрируются в верхнем слое пляжей. В верхнем (10–20 мм) слое находится до 90 % частиц этих фракций. Коэффициент фильтрации верхнего слоя составляет в среднем 0,02–0,03 м/сут. Из-за малой фильтрации проникновение закрепляющих растворов вглубь хвостов не происходит и нерастворимая корка не образуется. После высыхания на поверхности закрепителя образуется тонкая пленка, которая легко разрушается и смывается водой. Большая часть закрепляющего раствора

уходит по трещинам или собирается в сформированных углублениях.

Противозрозионная пленка является плоскостью скольжения с пониженными прочностными характеристиками (угол внутреннего трения и сцепление), что способствует разрушению дамб. Хвосты с различными наполнителями и добавками подвергаются природному выщелачиванию, продукты которого нарушают экосистему.

Известны аэродинамический, гидротехнический, технологический, механический, химический и биологический способы закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ.

Аэродинамический способ основан на снижении скорости ветра путем установки защитных экранов по периферии хвостохранилищ. Из-за высокой стоимости и малой эффективности на больших площадях хвостохранилищ этот способ не применяется.

Гидротехнический способ предусматривает увлажнение поверхности пляжа. Технологический предполагает добавление в пульпу вяжущих реагентов. Оба способа используются только при эксплуатации действующих хвостохранилищ.

Механический способ, основанный на покрытии поверхности хвостохранилища отвальными скальными породами и глиной, надежно закрепляет хвосты, но он долгосрочен с точки зрения дальнейшего использования земли.

Химический способ заключается в обработке поверхности участка хвостохранилища химическими веществами. Водорастворимые полимеры проявляют стабилизирующие свойства при содержании в грунтах 10^{-2} – 10^{-1} % (мас.). Соотношение твердого к жидкому в исходной пульпе изменялось от 1 до 5. Содержание закрепителей (полимеров) по отношению к воде — 0,5 % полиакриламида и 2 % гипана и лигносульфоната (рис. 2).

Рис. 2. Закрепление пылящих поверхностей в кюветах с хвостами (фото: общий вид):
а — химическое закрепление; б — обработанными окатышами (гранулами) на основе грануло-смесей;
в — специально подготовленным составом

Fig. 2. Fixation of dust-forming surfaces in ditches with tailings (picture, general view):
а — chemical fixation; б — by treated pellets (granules) based on granule mixtures; в — by a specially prepared composition

Технология пылеподавления битумной эмульсией

Наиболее эффективное по технологической сути и достигаемому результату пылеподавление заключается в нанесении тонкого слоя битумной эмульсии. Ее расход составляет 0,12 кг/м², т. е. для защиты, например, 1 млн м² пылящей поверхности дамбы ежегодно требуется около 120 т битумной эмульсии, для приготовления которой необходимо около 60 т битума, 60 т воды и 3,6 т эмульгатора. Состав готовят с помощью специальной битумно-эмульсионной установки, продолжительность защиты от пыления поверхности хвостохранилища составляет один год. Слой нанесенной эмульсии на намывном пляже экологически безопасен, не создает противодиффузионного экрана, не уменьшает устойчивость дамбы и не загрязняет фильтрационную воду нефтепродуктами или другими вредными веществами.

Технологии с закреплением хвостов выщелачивания продуктами вторичной минерализации в течение 40 лет использовали при разработке Быкогорского уранового месторождения (Рес-

публика Северная Осетия — Алания, Россия) способом подземного шахтного выщелачивания 3 %-ным раствором серной кислоты. В результате кольматационных процессов хвосты выщелачивания приобретали прочность 0,5–1,0 МПа [11]. Для стационарного применения технологии необходимы: специальная битумно-эмульсионная установка; склад битумной эмульсии; оборудование для загрузки и разгрузки эмульсии; автомобиль, трактор или вертолет; навесное устройство для разбрызгивания эмульсии.

Технологический способ складирования отходов с использованием карт широко применяют, например, в ОАО «Южный ГОК», Украина. Недостаток такой технологии — низкая прочность поверхностного слоя, что затрудняет процесс рекультивации хвостохранилища. Данная технология также не предусматривает включения твердых добавок в отходы, поэтому обезвоживание поверхности карты растягивается по времени, увеличивая сроки ее рекультивации [7–9].

Биологическая рекультивация отработанных хвостохранилищ

Для сухих законсервированных хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов Кривбасса наиболее приемлема биологическая рекультивация различными видами травянистых растений. Сотрудниками Криворожского ботанического сада, Украина, для закрепления сухих и пылящих участков хвостохранилищ рекомендуются следующие многолетние растения: колосняк черноморский, колосняк кистистый, пырей удлиненный. Необходимым условием для создания травяного покрова из этих злаков является внесение в хвосты больших доз минеральных удобрений (аммиачной селитры, суперфосфата, калийной соли и др.) как при посеве, так и периодически через 2–3 года, что требует постоянного ухода за растениями и существенно повышает стоимость рекультивации [13]. Проведенные исследования ГВУЗ «Криворожский национальный университет» показали, что плотность зарастания и биомасса дикорастущих растений в 3–6 раз меньше кохии веничной. Однако они могут успешно применяться для биологической рекультивации пылящих поверхностей (рис. 3).

Рис. 3. Общий вид экспериментального участка через 4 месяца посева растений (фото):

1 — участок чернозема, засеянный кохией веничной;
2 — самозарастание чернозема дикорастущими растениями; 3 — участок глины, засеянный кохией веничной; 4 — хвосты

Fig. 3. General view of experimental plot in 4 months after sowing of plants (picture):

1 — plot of chernozem, sowed by broom kohia; 2 — chernozem auto-obliteration by wildy growing plants; 3 — plot of clay sowed by broom kohia; 4 — tailings

Прорастание клевера посевного и люцерны посевной, посеянных на черноземе, за четырехмесячный период наблюдений обнаружено в малых количествах. На участках хвостохранилища, покрытых глиной, всходы посеянных семян не наблюдались. Глина считается условно плодородным субстратом из-за нехватки гумуса. В этих условиях процесс самозарастания происходит некоторыми видами бурьянов в трещинах или лугах в течение 5–10 лет. На непокрытом субстратом участке хвостохранилища зарастания посеянными и дикорастущими растениями за период наблюдения не происходило [14]. Кохия веничная — однолетнее двудольное травянистое растение высотой 15–150 см, зеленое, под осень краснеющее, сильно ветвистое. Соцветие взъерошено-колосовидное. Цветки по 1–2 в пазухах прицветников, невзрачные. Цветет в июле–августе. Растет на солончаках, песках, сорное в садах, огородах, вдоль дорог, по мусорным местам, на высоте до 1000 м над уровнем моря, одиночно или группами. Кохия — растение кормовое и экологически безвредное. Она отличается кратчайшим сроком вегетации, большой урожайностью семян, глубоким залеганием корневой системы, что требуется для ускоренного закрепления пылящей поверхности хвостохранилища. Кохия веничная обеспечивает зарастание чернозема через 3–4 месяца. Для создания

растительного покрова целесообразно использовать другие сорные растения, которые имеются в черноземе или заносятся на экспериментальные участки естественным путем — животными, водой и ветром. Предлагаемая технология рекультивации пылящих поверхностей позволит в течение 2–3 лет вернуть для хозяйственного использования земли, отведенные под хвостохранилища или отвалы.

Продолжая наблюдения за экспериментальными участками в 2015–2017 гг., авторы установили, что на черноземе произошло исчезновение кохии веничной, а ее место заняли растения лядвенца Ольги (лядвенец рогатый, семена бобовых) (рис. 4). Многолетник высотой 30–60 см цветет в мае–сентябре на лугах и травянистых склонах. По всей территории Украины — обычно, на юге — немного реже. Цветение лядвенца рогатого и вегетация начинаются в мае, они обеспечили полное господство в растительном покрове черноземного участка, покрытие 70–80 %. Растения, успевшие захватить площадку для эксперимента, не дали прорасти кохии веничной в конце июля – начале августа. Растение, неоднократно плодоносящее в течение вегетационного периода, обеспечило себя обширной территорией и дальнейшим распространением.

Рис. 4. Биологическая рекультивация различными видами травянистых растений для сухих законсервированных хвостохранилищ (фото общего вида экспериментального участка):

а — плотность зарастания и биомасса дикорастущих растений лядвенца Ольги; б, в — пятна полыни горькой, кудрявца Софии, лебеды белой, единичных растений коровяка скипетровидного и бодяка акантовидного; г — участок, покрытый черноземом с деревьями лоха узколистого и кустарника

Fig. 4. Biological reclaiming by different grass plants for dry conserved tailing pits (picture of general view of the experimental plot):

a — obliteration density and biomass of wildly growing Ol'ga lotus plants; б, в — spots of sagebrush bitter; Sofiya' kudryavets; orach white; single plants of figwort and thistle; г — a plot covered by chernozem with oleaster trees and bushes.

Исследования показали, что плотность зарастания и биомасса дикорастущих растений лядвенца Ольги ничем не уступают по плотности стояния растений кохии веничной, сомкнутость составляет 0,9 (см. рис. 4, а). Как видим, произошло явление сукцессии, когда один вид растения сменил другой.

Следует обратить внимание на появление синузий растений гринделии липкой, которая в

последние годы захватывает пространство на экспериментальном участке. Это экспериментальный вид, занимающий степные регионы центральной части Украины. Среди зарослей лядвенца Ольги наблюдаются небольшие пятна полыни горькой (семена астровые), кудрявца Софии (семена крестоцветных), лебеды белой (семена маревые) и единичных растений коровяка скипетровидного (семена норичниковые), бодяка

акантовидного (семена астровые) (см. рис. 4, б). Перечисленные виды — потенциальные участники сукцессий на экспериментальной площадке (см. рис. 4, в). Кроме травяных растений на участке, покрытом черноземом, начали самопроизвольно приживаться деревья лоха узколистого и кустарника (см. рис. 4, г).

На участках хвостохранилища, покрытых глиной, развитие растительности, включая амброзию, значительно беднее. На фоне открытых площадок глины начинают закрепляться редкие кустики полыни австрийской (семена астровые), молочая татарского (семена астровые), татарника колючего (семена астровые), полыни горькой (семена астровые), из-под глины пробиваются заросли камыша городского (семена злако-

вые). Появились огромные заросли (сухостоя) донника белого, достигающего 1,5–1,8 м (семена бобовые), и мозаичные пятна сухих растений овсяга пустого (однолетник).

Всходы овсяга ранней весной обеспечат покрытие экспериментальных участков на все лето. Изредка встречаются растения осота розового, живокости полевой [14]. На непокрытом субстрате участка хвостохранилища зарастания дикорастущими растениями (в частности, амброзией) за период наблюдений не происходило, за исключением пробивающихся из-под камней одиноких растений камыша городского, который корневищами глубоко уходит в водоносные горизонты скальных пород [15–17].

Технология и средства борьбы с амброзией

Здесь необходимо выполнить две задачи: соединить поверхность хвостохранилища и не дать развиваться водной или ветровой эрозии; создать плодородную почву. Решение первой задачи заключается в получении большого количества растений на поверхности. Их корневая система связывает поверхность хвостохранилища и делает ее пористой для впитывания влаги. Средством для повышения плодородия почвы является накопление большого объема биомассы растительного происхождения. Ее необходимо оставить на поверхности в измельченном состоянии для быстрее разложения и, в свою очередь, для закрытия почвы от потери влаги (пониженного образования пыли). Это является основой для образования гумуса. В период рекультивации почвы необходимо использовать технологии без оборота пласта, такие как No-Till, Mini-Till, Strip-Till. Но недостатком этих технологий является образование большого количества сорняков в переходный период.

Амброзия очень распространенный сорняк. Она встречается на сельскохозяйственных угодьях, на пустырях, огородах, вдоль автомобильных и железных дорог. Всходит в мае–июне, цветет в конце июля – начале августа и до октября. Высота амброзии достигает 2 м, а корень проникает в землю на глубину до 4 м, поэтому она не боится засухи и жары. Имея мощную надземную массу и корневую систему, сорняк стремительно угнетает все соседние растения. При попадании амброзии в сено его кормовые качества ухудшаются, молоко дойных животных приобретает резкий неприятный запах и вкус. Пыльца, выделяемая амброзией при цветении, вызывает у многих людей аллергию. Если совершенно здоровый человек будет дышать воздухом, содержащим много пыльцы амброзии, то он заболеет аллергией, которая практически не излечима. Особенно подвержены аллергическим

заболеваниям дети. Ветром пыльца может уноситься на сотни километров. Амброзия — это аллерген, который способен привести к летальному исходу, поэтому она внесена в список карантинных объектов. Амброзия очень плодовитая. Один куст амброзии дает за сезон от 30 до 150 тыс. семян, всхожесть которых сохраняется на протяжении 40 лет. Она растет практически везде, даже на солончаках. Появившиеся на участке земли один–два кустика обеспечивают его полное зарастание амброзией в течение двух–трех лет. После этого урожайность культурных растений резко снижается, а земля становится неплодородной.

Известно много способов борьбы с амброзией. Самый надежный — вырывание с корнем, способ практикуется на небольших территориях. Использовать его целесообразно до начала цветения, пока не выделяется пыльца и нет семян. При зарастании обширной территории используют различные гербициды: Прима, Колибр, Раундап, Лорен, Глисол, Доминатор и др. Но на территориях населенных пунктов, в курортных зонах, на пастбищах применение гербицидов запрещено. На пастбищах, сенокосах, возле полей рекомендуется выращивать многолетние бобовые и злаковые травы или их смеси (кострец безостный, пырей бескорневищный, житняк, овсяница, аспарцет, люцерна, горчица сарептская и др.), которые вытесняют амброзию. Считается, что за два–три года такие растения хорошо разрастаются и подавляют сорняк.

Известны способы борьбы с амброзией с помощью амброзиевого листоеда — близкого родственника колорадского жука, который завезен из Америки. Однако полных результатов исследований этого способа пока нет. Есть опасение, что при отсутствии амброзии он повторит действие колорадского жука на ботву картофеля, баклажанов, томатов и др. [18–21]. Бороться путем

скашивания амброзии малоэффективно, так как после скашивания она образует в 2–3 раза больше побегов, чем было. Поэтому рекомендуется скашивать ее не менее 3–5 раз за сезон, чтобы не дать растению заплодоносить. Краткий анализ известных способов борьбы с амброзией показывает, что они могут использоваться в ограниченных условиях, недостаточно эффективны и неэкономичны.

Разработан и испытан в промышленных условиях способ борьбы с сорняками, основанный на применении водного раствора природного бишофита (РПБ) ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$), который добывается из недр земли, имеет IV класс опасности, без цвета и запаха, не горит, гигроскопичен, имеет маслянистую структуру и стойкий при хранении [20]. Состав $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ приведен ниже:

Компонент	Содержание, %
Магний хлористый, не менее	24
Ионы магния, не менее	7
Натрий хлористый, не более	5
Ионы сульфата, не более	1
Кальций хлористый, не более	0,5
Нерастворимый в воде остаток, не более	0,2

Плотность $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ при температуре 20 °C равна 1250 кг/м³. Сохраняется и транспортируется в закрытых емкостях из любого материала кроме алюминия. Исследования действия РПБ

на амброзию проводили на черноземе при разных фазах ее развития начиная с июня и до ноября. При этом фиксировали расход и плотность раствора, погодные условия, плотность зарастания земли амброзией, изменение ее состояния во времени. Обработку сорняков раствором проводили ручным распылителем.

Таким образом, исследования технологий и средств борьбы с амброзией показали, что обработку листьев амброзии РПБ можно проводить на любой стадии ее развития от всходов до цветения в сухую погоду. В период цветения обрабатывать нецелесообразно из-за появления пыльцы и роста семян. Наносить РПБ необходимо на сухие листья как минимум за 3 сут перед дождем. Благодаря маслянистой структуре и высокой гигроскопичности капли РПБ хорошо закрепляются на листьях и медленно испаряются, увеличивая тем самым время действия раствора на растение. РПБ, имеющий IV класс опасности и используемый в медицине как лечебное средство [22], может применяться для борьбы с амброзией на территории городов, курортов, возле дорог, вокруг полей и др. На полях, где выращиваются культурные растения, его использовать нельзя, так как он будет их уничтожать, как амброзию. Замечено, что на участках, где уничтожалась амброзия, в следующем году она прорастала значительно слабее, зато более активно росли другие растения.

Результаты внедрения

Идентификация растений, произрастающих в 2013 г. на хвостохранилищах, показала, что доминирующими в первый год проявили себя посе́вы кохии веничной. Это растение заняло первое место по биомассе и проектному покрытию. Оно затеняет развитие других видов сорняков при покрытии 80–90 %. В 2014 г. на смену кохии веничной пришел кудрявец Софии, обеспечив покрытие на 70–80 %. В 2015 г. повсеместно на поверхности появились заросли донника белого, забирая пространство у других видов растений (покрытие 70–80 %).

В 2016 г. в борьбу за поверхность экспериментального участка включился лядвенец рогатый. В 2017 г. лидером среди растений стала гринделия липкая, которая заняла экспериментальную площадку, а также места вокруг нее. Густота стояния — 70–80 %. Необходимо отметить, что растение произрастает повсеместно за пределами опытной территории. Его наличие в таких объемах можно объяснить анемохорией (распространение с помощью ветра), обилием семян на растении, а чернозем, глина и мелкие фракции хвостохранилищ создавали условия для его распространения [20, 23].

Таким образом, черноземное покрытие явилось элементарной необходимой базой для проведения операции по интродукции растений. Чернозем имеет достаточную засемененность, чтобы дать плотное покрытие участка растениями и быть источником семян для окружающей среды. Травяной покров развивался путем сукцессий, которые со временем приводят к установлению природного степного покрова. Анализ видового состава растений на территориях, приближающихся к ПАО «Южный ГОК», показал его идентичность составу растений, произрастающих на экспериментальных участках, с той лишь разницей, что они насчитывают 25–30 лет, в варианте эксперимента — 5 лет, т. е. в 5–6 раз сокращены сроки подавления пыли при добыче рудного сырья.

Относительно участков хвостохранилищ, покрытых глиной, можно отметить погодичное увеличение новых видов растений. Если в первый год опыта экспериментальная площадка была незанятой, то в последующие годы на ней произрастало все больше видов растений в основном сорных видов, занесенных со стороны пло-

щадки, покрытой черноземом, и путем анемохории. Глина — потенциально плодородная почва, но с медленным процессом зарастания, которая на определенном этапе сравнялась с черноземным участком. В 2017 г. глинистый участок сравнялся с черноземным и был покрыт гринделией липкой (покрытие 60–70 %). Биологическая рекультивация различными видами травянистых растений для сухих законсервированных хвостохранилищ (фрагменты экспериментального участка с пятнами полыни горькой, кудрявца Софии, лебеды белой, единичных растений коровяка скипетровидного, бодяка акантовидного и гринделии липкой) представлена на рис. 4 [22, 23].

Особое внимание необходимо обратить на шламоохранилища, не подверженные покрытию слоем чернозема и глины. За 5 лет они так и не покрылись растительностью за исключением некоторых растений. Так как на экспериментальных участках скапливается определенное количество почвенных вод, то с каждым годом увеличивается присутствие камыша. Это растение с каждым годом занимает все большую территорию, где присутствует влага [24, 25]. Также происходило не менее важное событие — развитие древесных растений. Прежде всего повсеместное распространение получили вяз граболистный (лиственное дерево до 30 м высотой, хорошо прорастает на открытых просторах, в частности

на шламоохранилищах, где много кальция и железа) и лох узколистый (листопадный куст или небольшое дерево до 10 м высотой и диаметром ствола до 30 см), хорошо растет и тополь канадский (дерево до 30–45 м высотой).

По результатам исследований рекомендован расход РПБ, который должен составлять не менее 0,08 л на 1 кг биомассы амброзии. Плотность РПБ должна быть не менее 1250 кг/м³. При меньшей плотности необходимо увеличивать расход раствора. Также определено, что увядание листьев амброзии после обработки РПБ в сухую погоду проходит в течение 3 сут, высыхание — не менее чем через 7 сут. Развития и роста амброзии после высыхания не происходит. Стоимость обработки амброзии РПБ средней плотности зарастания 5 кг/м² при стоимости раствора 960 грн/т не превышает 40 грн. на 100 м².

Таким образом, внедрение разработанных технологий, средств и способов борьбы с пылением на действующих и законсервированных хвостохранилищах позволит уменьшить уровень загрязнения воздуха рабочей зоны пылью, улучшить условия работы персонала, экологическую обстановку в районах складирования отходов горно-металлургической переработки руд и железорудных горно-обогатительных комбинатов Кривбасса.

Направление дальнейших исследований

Целесообразно провести озеленение санитарно-защитной зоны насаждением деревьев и кустов, устойчивых к повышенной загазованности и запыленности, которые являются естественными сорбентами (каштан конский обыкновенный, клен ясенелистный, тополь пирамидальный, липа крупнолистная, дуб черешчатый, береза бородавчатая, сирень обыкновенная, скумпия, спирея Бумальда, жимолость обыкновенная, роза, ель и др.). Предполагается также создать защитные лесополосы вдоль транспорт-

ных путей, а территории, где загрязнение превышает допустимые значения, необходимо перевести под посев технических культур. В водоемах с возможным превышением ПДК загрязняющих веществ следует запретить вылов рыбы, купание и другие мероприятия. Важно провести детальное исследование наличия загрязнения на прилегающих к хвостохранилищам территориях и степени его воздействия на окружающую среду и человека [26, 27].

Выводы

1. Установлено, что биологическую рекультивацию необходимо начинать путем посева семян кохии веничной, обладающей засухоустойчивостью, длительным хранением в почве, обильностью семян и большим покрытием территории. Чернозем характеризуется не только плодородным слоем, но и резерватами различных видов семян. Глина является потенциально плодородной почвой, но выполняет свою функцию при по-

падании на нее семян из резерва чернозема. Развитие растительности на площадке происходит благодаря сукцессиям. Биологическая рекультивация позволяет в 5–6 раз ускорить зарастание пылящих поверхностей горно-обогатительных комбинатов.

2. Показано, что на месте, покрытом черноземом, возникает явление сукцессии. Это дает основание считать, что процесс восстановления

природного покрова, свойственный степным условиям, набирает силу и доказывает, что природная среда помогает реконструкции биотонов. Развитие искусственного экотона происходило на четвертом году эксперимента, хотя на других хвостохранилищах процесс сукцессий наблюдается после 10–30 лет без подсыпки чернозема, который имеет большую обсеменяемость сорняками, является мощным источником зарождения растительных группировок, в том числе и древесных кустарников.

3. Предложено проводить биологическую рекультивацию отработанных хвостохранилищ железорудных горно-обогатительных комбинатов Кривбасса путем посева семян кохии веничной в чернозем в апреле–мае для условий центральной части Украины, что позволит предупредить сдувание пыли хвостов уже через 4–5 месяцев и

обеспечить в последующем активный рост сорняков, семена которых в достаточном количестве находятся в черноземе. Через 3–4 года рекультивируемые земли могут быть возвращены для хозяйственного использования.

3. Расход РПБ должен составлять не менее 0,08 л на 1 кг биомассы амброзии. Плотность РПБ должна быть не менее 1250 кг/м³. При меньшей плотности необходимо увеличивать расход раствора.

4. Определено, что увядание листьев амброзии после обработки РПБ в сухую погоду проходит в течение 3 сут, высыхание — не менее чем через 7 сут. Развития и роста амброзии после высыхания не происходит. Стоимость обработки амброзии РПБ средней плотности зарастания 5 кг/м² при стоимости раствора 960 грн/т не превышает 40 грн. на 100 м².

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Yildirim I.Z., Prezzi M. Chemical, mineralogical, and morphological properties of steel slag // *Advances in Civil Engineering*. 2011. Vol. 2011. P. 1–13.
2. Lottermoser B. *Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts*. — New York: Springer, 2012. — 400 p.
3. Maanju S.K., Saha K. Impact of Mining Industry on Environmental Fabric – A Case Study of Rajasthan State in India // *Journal of Environmental Science. Toxicology and Food Technology*. 2013. Vol. 6. Iss. 2. P. 8–13.
4. Chowdhury S.R., Yanful E.K., Pratt A.R. Recycling of nickel smelter slag for arsenic remediation – an experimental study // *Environmental Science and Pollution Research*. 2014. Vol. 21. P. 10096–10107.
5. Modaihsh A.S., Mahjoub M.O., Nadeem M.E.A. etc. The air quality, characterization of polycyclic aromatic hydrocarbon, organic carbon, and diurnal variation of particulate matter over Riyadh City // *Journal of Environmental Protection*. 2016. № 7. P. 1198–1209.
6. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures // *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 3. P. 38–41.
7. ГОСТ 17.5.1.01–83. Охрана природы (ССОП). Рекультивация земель. Термины и определения [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006606> (Дата обращения 25.07.2017).
8. Ломоносов Г.Г., Полоник П.И., Абдалах Х. Совершенствование технологии очистных работ на основе применения пастообразных закладочных материалов // *Горный журнал*. 2000. № 2. С. 21–23.
9. Добыча и переработка урановых руд в Украине / Под общ. ред. А.П. Чернова. — Киев: АДЕФ–Украина, 2001. — 238 с.
10. Квитка В.В., Сергеев В.Е., Тротер К., Трезнюк А.П. Твердеющие закладочные смеси повышенной плотности // *Горный журнал*. 2001. № 5. С. 33–35.
11. Немировский А.В. Разработка метода формирования намывного хвостохранилища, устойчивого к ветровым потокам: дис. ... канд. техн. наук. — М.: НИТУ МИСиС, 2016. — 131 с.
12. Antofagasta завершила строительство хвостохранилища на медно-молибденовом руднике Лос-Пеламбрес в Чили [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://www.mineral.ru/News/34680.html> (Дата обращения 25.07.2017).
13. Екологія гірничого виробництва: навчальний посібник / П.В. Бересневич, Ю.Г. Вілкул, О.М. Голишев та ін. — Кривий Ріг: Мінерал, 1998. — 152 с.
14. Борьба с пылью на открытых горных работах / А.И. Лобода, Б.Н. Ребристый, В.Ю. Тыщук и др. — Киев: Техніка, 1989. — 152 с.
15. Рекомендации по биологическому закреплению пылящих поверхностей действующих хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов Кривбасса. — Кривой Рог, 1988. — 14 с.
16. Определитель высших растений Украины / Под ред. Ю.Н. Прокудина. — Киев: Наукова думка, 1987. — 548 с.
17. 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.
18. Ляшенко В.И., Жушман В.Н., Гурин А.А. Природоохранные технологии и средства для пылеподавления поверхностей хвостохранилищ // *Цветная металлургия*. 2009. № 12. С. 3–13.
19. Гурин А.А., Ляшенко В.И., Таран Н.А. Новые технологии и средства закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ // *Обогащение руд*. 2014. № 5. С. 41–46.
20. ТУ 25 Украина 225295–003–97. Раствор природного бишофита. РПБ.
21. Деревья и кустарники, культивируемые в Украинской ССР. Покрытосеменные: справ. пособие / Под общ. ред. Н.А. Кохно. — Киев: Наукова думка, 1986. — 720 с.

22. Ляшенко В.И., Гурин А.А. Природоохранные технологии и средства для пылеподавления поверхностей хвостохранилищ // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2016. № 4. С. 10–17.
23. Виноградова Ю.К., Маморов С.Р., Хорун Л.В. *Черная книга флоры Средней России*. — М.: Геос, 2009. — 494 с.
24. Ляшенко В.И., Дятчин В.З., Лисовой И.А. Повышение безопасности горного производства на основе эффективного управления отходами добычи и переработки рудного сырья // *Безопасность труда в промышленности*. 2017. № 11. С. 16–22.
25. Ляшенко В.И., Гурин А.А., Топольный Ф.Ф., Таран Н.А. Обоснование природоохранных технологий и средств для пылеподавления поверхностей хвостохранилищ гидрометаллургического производства и обогатительных фабрик // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2017. № 2. С. 94–104.
26. Ляшенко В.И., Дятчин В.З., Лисовой И.А. Повышение экологической безопасности горного производства на основе использования отходов добычи и переработки рудного сырья // *Экология и промышленность России*. 2018. № 4. С. 4–10.
27. Ляшенко В.И., Гурин А.А. Обоснование природоохранных технологий и средств для пылеподавления поверхностей хвостохранилищ гидрометаллургического производства // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2018. № 9. С. 58–72.

Поступила 9 сентября 2018 г.

REFERENCES

1. Yildirim I.Z., Prezzi M. Chemical, mineralogical, and morphological properties of steel slag. *Advances in Civil Engineering*, 2011, vol. 2011, pp. 1–13.
2. Lottermoser B. *Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts*. New York: Springer, 2012, 400 p.
3. Maanju S.K., Saha K. Impact of Mining Industry on Environmental Fabric. A Case Study of Rajasthan State in India. *Journal of Environmental Science. Toxicology and Food Technology*, 2013, vol. 6, no. 2, pp. 8–13.
4. Chowdhury S.R., Yanful E.K., Pratt A.R. Recycling of nickel smelter slag for arsenic remediation – an experimental study. *Environmental Science and Pollution Research*, 2014, vol. 21, pp. 10096–10107.
5. Modaihsh A.S., Mahjoub M.O., Nadeem M.E.A. etc. The air quality, characterization of polycyclic aromatic hydrocarbon, organic carbon, and diurnal variation of particulate matter over Riyadh City. *Journal of Environmental Protection*, 2016, no. 7, pp. 1198–1209.
6. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, no. 3, pp. 38–41.
7. GOST 17.5.1.01–83. *Okhrana prirody (SSOP). Rekul'tivatsiya zemel'. Terminy i opredeleniya* [State Standard 17.5.1.01–83. Protection of nature (SSOP). Reclaiming of land. Terms and determinations]. Electronic resource. Available at URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006606> (Accessed 25.07.2017). (In Russ.).
8. Lomonosov G.G., Polonik P.I., Abdalakh Kh. Improving of second working technology based on application of paste-like backfilling materials. *Gornyi zhurnal*, 2000, no. 2, pp. 21–23. (In Russ.).
9. *Dobycha i pererabotka uranovykh rud v Ukraine* [Mining and processing of uranium ores in Ukraine]. Chernov A.P. ed. Kiev: ADEF–Ukraina, 2001, 238 p. (In Russ.).
10. Kvitka V.V., Sergeev V.E., Trotter K., Treznjuk A.P. Hardning backfilling mixtures of increase density. *Gornyi zhurnal*, 2001, no. 5, pp. 33–35. (In Russ.).
11. Nemirovskii A.V. *Razrabotka metoda formirovaniya namyvnoy khvostokhranilishcha, ustoichivogo k vetrovym potokam: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Elaboration of a method of alluvial tailing pit, withstanding to wind flows. Extended Abstract of Cand. Sci. Diss.]. Moscow: NITU MISiS, 2016, 131 p. (In Russ.).
12. *Antofagasta zavershila stroitel'stvo khvostokhranilishcha na medno-molibdenovom rudnike Los-Pelambres v Chili* [Antofagasta completed construction of tailing dump at the copper-molybdenum pit Los-Pelambres in Chile]. Electronic resource. Available at URL: <http://www.mineral.ru/News/34680.html> (Accessed 25.07.2017). (In Russ.).
13. Beresnevich P.V., Vilkul Yu.G., Golishev O.M. etc. *Ekologiya girnichogo virobnitstva* [Ecology of mining production]. Krivoi Rog: Mineral, 1998, 152 p. (Ukr.).
14. Loboda A.I., Rebristyi B.N., Tyshchuk V.Yu. etc. *Bor'ba s pyl'yu na otkrytykh gornykh robotakh* [Control of dust at open mining pits]. Kiev: Tekhnika, 1989, 152 p. (In Russ.).
15. *Rekomendatsii po biologicheskomu zakrepleniyu pylyashchikh poverkhnostei deistvuyushchikh khvostokhranilishch gorno-obogatitel'nykh kombinatov Krivbassa* [Recommendations on biological fixation of dust-forming surfaces of acting tailing dumps of Kuzbass mining and concentration plants]. Krivoi Rog, 1988, 14 p. (In Russ.).
16. *Opredelitel' vysshikh rastenii Ukrainy* [An identifier of Ukraine superior plants]. Prokudin Yu.N. ed. Kiev: Naukova dumka, 1987, 548 p. (In Russ.).
17. Gurin A.A., Gurin Yu.A., Shapovalov V.A., Domnichev N.V. *Tekhnologiya bor'by s pyleniem deistvuyushchikh khvostokhranilishch* [A technology of dust formation of acting tailing dumps]. *Kachestvo mineral'nogo syr'ya: sb. nauch. tr.* [The quality of mineral raw materials: a collection of scientific. Works]. Krivoi Rog, 2008, pp. 371–375. (In Russ.).
18. Lyashenko V.I., Zhushman V.N., Gurin A.A. Nature protection technologies and measures for dust suppression of tailing dump surfaces. *Tsvetnaya metallurgiya*, 2009, no. 12, pp. 3–13. (In Russ.).
19. Gurin A.A., Lyashenko V.I., Taran N.A. New technologies and means of fixation of dust-forming surfaces of tailing dumps. *Obogashchenie rud*, 2014, no. 5, pp. 41–46. (In Russ.).
20. TU 25 Ukraina 225295–003–97. *Rastvor prirodnogo bishofita* [Technical conditions 25 Ukraine 225295–003–97. Solution of natural bischofite]. RPB.

21. *Derev'ya i kustarniki, kul'tiviruemye v Ukrainskoi SSR. Pokrytosemennye* [Trees and bushes planted in Ukraine SSR. Angiosperms]. Kokhno N.A. ed. Kiev: Naukova dumka, 1986, 720 p. (In Russ.).
22. Lyashenko V.I., Gurin A.A. Nature protection technologies and measures for dust suppression of tailing dump surfaces. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2016, no. 4, pp. 10–17. (In Russ.).
23. Vinogradova Yu.K., Mamorov S.R., Khorun L.V. *Chernaya kniga flory Srednei Rossii* [Black book of Middle Russia flora]. Moscow: Geos, 2009, 494 p. (In Russ.).
24. Lyashenko V.I., Dyatchin V.Z., Lisovoi I.A. Increase of mining operations safety based on effective control by mining and raw materials processing wastes. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*, 2017, no. 11, pp. 16–22. (In Russ.).
25. Lyashenko V.I., Gurin A.A., Topol'nyi F.F., Taran N.A. Basing of nature protection technologies and means for tailing dumps surfaces dust suppression of hydro-metallurgical and concentration plants. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*, 2017, no. 2, pp. 94–104. (In Russ.).
26. Lyashenko V.I., Dyatchin V.Z., Lisovoi I.A. Increase of ecology safety of mining operations based on utilization of mining and processing ore raw materials wastes. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2018, no. 4, pp. 4–10. (In Russ.).
27. Lyashenko V.I., Gurin A.A. Basing of nature protection technologies and means for dust suppression of hydro-metallurgical plants tailings surfaces. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2018, no. 9, pp. 58–72. (In Russ.).

Received September 9, 2018