

## ОЦЕНКА ПРИРОДООХРАННЫХ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И ОТХОДОВ

Ляшенко В. И., Хоменко О. Е., Чекушина Т. В., Топольный Ф. Ф., Дудар Т. В.

Объектом исследования являются природоохранные и ресурсосберегающие технологии и технические средства для переработки и утилизации техногенных образований и отходов при подземной разработке месторождений полезных ископаемых с закладкой выработанного пространства. Одним из самых проблемных мест является управление состоянием рудовмещающих энергонарушенных массивов и доставка твердеющих закладочных смесей к месту их укладки, а также дефицит компонентов для их приготовления. Это повышает важность вопросов управления напряженно-деформационным состоянием (НДС) массива горных пород, обеспечения сохранности земной поверхности от разрушения и жизнедеятельности населения, проживающего в зоне влияния горнодобывающего региона.

В работе представлены основные научные и практические результаты обоснования технологий и технических средств для утилизации отходов горно-металлургического производства в подземные выработанные пространства (техногенные пустоты) в качестве компонентов твердеющих закладочных смесей различного состава и прочности. Описаны методы теоретических обобщений с применением математической статистики, физического и математического моделирования, с выполнением расчетов и технико-экономических обоснований, лабораторных и натурных экспериментальных исследований, промышленных испытаний в условиях действующих предприятий горно-металлургического производства. На основе исследования механизма НДС массива пород с использованием геофизических и маркшейдерских методов предложена природоохранная технология погашения техногенных пустот в энергонарушенных массивах. Данная технология позволяет обеспечить сохранность земной поверхности и жизнедеятельность населения, проживающего в зоне влияния горных объектов (шахты, отвалы, промышленные площадки для закладочных комплексов, хвостохранилища, рудообогатительные фабрики (РОФ) и др.). Установлено, что для шахт государственного предприятия «Восточный горно-обогатительный комбинат» (Украина) коэффициент использования отходов собственного производства для твердеющей закладки составляет от 0,45 до 0,68; гидравлической – от 0,56 до 0,75; сыпучей – 0,62, а добыча каждой тонны товарной руды сопровождается выходом 0,7–0,8 т отходов. Дана оценка уровня утилизации отходов горно-металлургического производства и приведен

кадастр для отходов горных предприятий, который дает оценочную характеристику и направления возможного их использования для нужд народного хозяйства. Результаты исследований могут быть использованы при подземной разработке рудных месторождений сложной структуры и горно-металлургическом производстве.

**Ключевые слова:** отходы горно-металлургического производства, природоохранная и ресурсосберегающая технология, технические средства, жизнедеятельность населения.

## **1. Введение**

Добыча минерального сырья оказывает отрицательное влияние на окружающую природную среду [1, 2]. Нейтрализация этого влияния достигается за счет природо- и ресурсосберегающих технологий и технических средств добычи полезных ископаемых [3, 4]. К таким технологиям авторы относят, прежде всего, различные варианты систем разработки с заполнением выработанных пространств твердеющими закладочными смесями различного состава и прочности [5, 6]. Однако их применение усложняется из-за:

- сложностей управления состоянием рудовмещающих энергонарушенных массивов;
- транспортирования по трубопроводу твердеющих закладочных смесей на значительные расстояния по вертикали и горизонтали к месту их укладки;
- повышенных материальных и трудовых затрат;
- дефицитом материала для приготовления смесей [7, 8].

Поэтому разработка новых методов, технологий и технических средств комплексного использования отходов горно-металлургического производства – задача, имеющая важное коммерческое и социальное значение, требующая оперативного решения [9, 10]. Этим обеспечивается надежность транспортирования твердеющих закладочных смесей по трубопроводу, безопасность работ, возможность использования для закладки местных некондиционных материалов и отходов производства. А также снижение затрат на добычу сырья при сохранении земной поверхности. Данная работа является продолжением исследований, основные научные и практические результаты которых наиболее полно приведены в [11, 12].

## **2. Объект исследования и его технологический аудит**

Объектом исследования являются природоохранные и ресурсосберегающие технологии и технические средства для переработки и утилизации техногенных образований и отходов при подземной разработке месторождений полезных ископаемых с закладкой выработанного пространства.

Одним из самых проблемных мест является управление состоянием рудовмещающих энергонарушенных массивов и доставка твердеющих закладочных смесей к месту их укладки, а также дефицит компонентов для их приготовления. Это повышает важность вопросов управления напряженно-деформационным состоянием (НДС) массива горных пород, обеспечения сохранности дневной поверхности от разрушения и жизнедеятельности населения, проживающего в зоне влияния горнодобывающего региона [13, 14].

### **3. Цель и задачи исследования**

*Цель исследования* – оценка технологий и технических средств для утилизации техногенных образований и отходов горно-металлургического производства в подземные выработанные пространства (техногенные пустоты) в качестве компонентов твердеющих закладочных смесей различного состава и прочности и хвостохранилища.

Для достижения этой цели решались следующие задачи:

1. Определить основные направления утилизации отходов горно-металлургического производства.
2. Дать оценку технологических схем закладочных комплексов и уровня утилизации отходов горно-металлургического производства в подземное выработанное пространство в качестве компонентов твердеющих закладочных смесей.
3. Разработать кадастр отходов горно-металлургического производства и направления возможного их использования для нужд народного хозяйства.

### **4. Исследование существующих решений проблемы**

Создание экологических технологий особенно важно для горнодобывающих и перерабатывающих предприятий сырьевой базы цветной металлургии и атомной энергетики, относящихся к числу отраслей промышленности с наибольшим выходом различных отходов, включая радиоактивных, на единицу готовой продукции. Отходы горного производства (пустые породы, забалансовые по содержанию урана руды и хвосты кучного выщелачивания, которые содержат естественные радиоактивные материалы), складываются, как правило, на поверхности в отвалах [15].

Анализ работы горных предприятий показывает, что при добыче и первичной переработке 1 т товарной урановой руды попутно извлекается 1,4–1,6 т отходов, создающих экологически неблагоприятную обстановку региона. Утилизация отходов горно-металлургического производства (закладка выработанных пространств, сооружение плотин специальных хранилищ и пр.) позволяет использовать до 50–60 % общего их объема, а оставшаяся часть подлежит захоронению, дезактивации и последующей рекультивации загрязненных территорий. Проблема получения экологически безопасных материалов особенно важна при использовании отходов, концентрирующих в себе естественные радионуклиды, представляющие опасность для здоровья человека и окружающей среды [16]. К таким концентраторам радионуклидов относятся отходы урановой, угледобывающей, теплоэнергетической и других отраслей промышленности. Также большое значение имеет определение радионуклидного состава фракций отходов и их соответствия нормам радиационной безопасности отдельных стран [17, 18]. А также нормам, принятым международным радиологическим показателям [19].

Отходы перерабатывающего производства гидрометаллургических заводов (ГМЗ) представляют собой также естественные радиоактивные материалы крупностью – 0,074 мм, которые транспортируются по пульпопроводам и складываются в специальных хранилищах намывного типа. В связи с этим проблема утилизации отходов горнодобывающих и перерабатывающих

производств приобретает важное народнохозяйственное значение, особенно в районах плодородных и густонаселенных земель [20].

Опыт работы горных предприятий показывает, что отходы их производств возможно утилизировать по следующим основным направлениям:

- в качестве закладочного материала (в твердеющих смесях и гидросмесях, а также сыпучей закладке) для заполнения выработанных пространств, образованных в процессе ведения горных работ;

- для заполнения выработанных пространств отработанных карьеров, воронок обрушения, различных оврагов и балок с последующей рекультивацией нарушенной поверхности;

- в строительстве плотин, дамб хранилищ для складирования отходов с последующей их рекультивацией;

- для изготовления щебня.

Важнейшее мероприятие для повышения полноты извлечения запасов, охраны недр и окружающей среды при подземной добыче руд – переход на системы разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Авторы относят технологию добычи с твердеющей закладкой к природо- и ресурсосберегающей. Это достигается прежде всего благодаря применению сплошной отработки рудных тел, увеличению высоты этажа и параметров системы разработки. Данная технология направлена на снижение потерь руды в целиках и днищах блоков, а также на увеличение возможности опережающей или раздельной отбойки и выемки руды. Снижение потерь полезных ископаемых при добыче и переработке руд достигается за счет уменьшения разубоживания и повышения полноты извлечения полезных компонентов на пределе. Это мероприятие позволяет сократить число одновременно отрабатываемых месторождений и сконцентрировать усилия на самых рентабельных из них, а также уменьшить объем геологоразведочных и горных работ.

Технология с закладкой особенно эффективна в районах с охраняемой поверхностью высокоценных земель при добыче богатых и дефицитных руд, когда затраты, связанные с закладочными работами, компенсируются вышеуказанным положительным эффектом. В последние годы объемы применения твердеющей закладки при добыче руд резко возросли. Это обеспечено результатами целенаправленных исследований по изысканию новых исходных материалов для твердеющих закладочных смесей, подбору рациональных составов и совершенствованию закладочного хозяйства горных предприятий. Однако при определении составов твердеющей закладочной смеси не в полной мере учтены факторы, влияющие на ее свойства, а в качестве вяжущего материала преимущественно используется цемент или молотый гранулированный шлак кислого вида с активизирующими добавками. На сегодняшний день эти материалы стали дефицитными.

В ходе исследования выполнен анализ литературных источников и патентной документации в области технологий и технических средств для утилизации техногенных образований и отходов горно-металлургического производства в подземные выработанные пространства (техногенные пустоты) и складирования их в хвостохранилища. Это обеспечивается за счет активации

вяжущего, некондиционного инертного заполнителя и электрохимически очищенной шахтной воды затворения при изготовлении и транспортировании их к месту укладки. Также путем складирования хвостов после гидроциклонирования и добавки отвердителя в хвостохранилища [21].

Таким образом, результаты анализа позволяют сделать вывод о том, что снижение опасности для окружающей среды путем утилизации отходов переработки рудного сырья в подземное выработанное пространство решает важные научные, практические и социальные задачи [22]. Одним из вопросов, требующих решения, является управление состоянием рудовмещающих энергонарушенных массивов и доставка твердеющих закладочных смесей к месту их укладки, а также дефицит компонентов для их приготовления. А также управления напряженно-деформационным состоянием (НДС) массива горных пород, обеспечения сохранности земной поверхности от разрушения и жизнедеятельности населения, проживающего в зоне влияния горнодобывающего региона. Это достигается за счет природоохранных и ресурсосберегающих технологий при подземной разработке месторождений полезных ископаемых с закладкой выработанного пространства различного состава и прочности.

## **5. Методы исследования**

Для решения поставленной в работе цели:

- выполнен анализ литературных источников;
- использован метод теоретических обобщений с применением математической статистики, физическое и математическое моделирование;
- произведены расчеты и технико-экономические обоснования, лабораторные и натурные экспериментальные исследования, а также промышленные испытания в условиях действующих предприятий по стандартным и новым методикам [23].

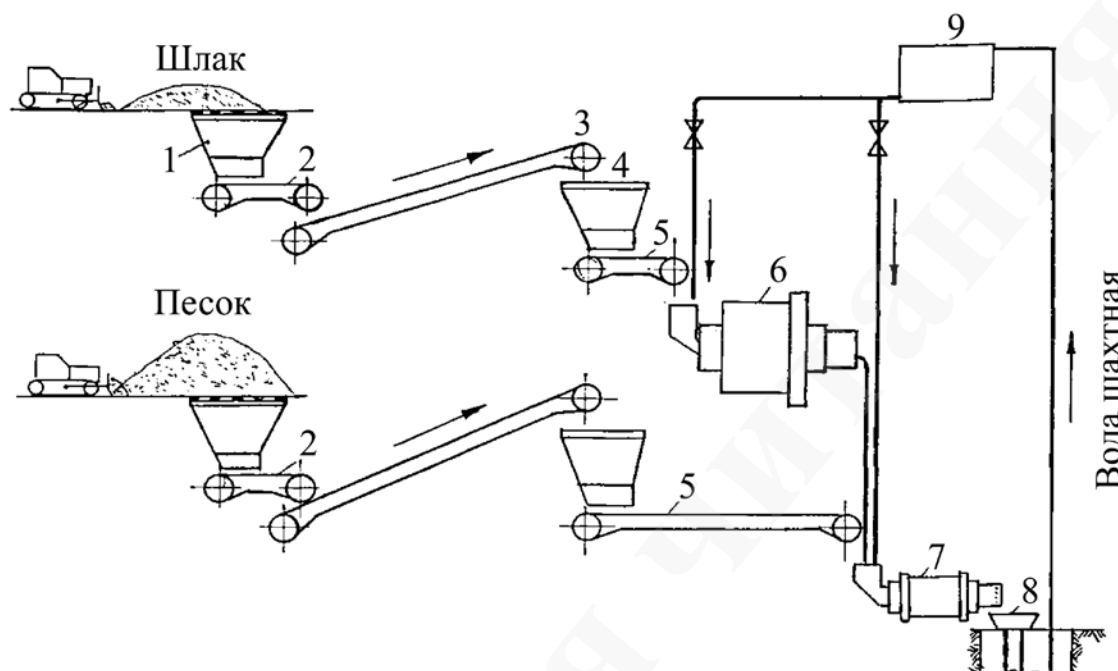
## **6. Результаты исследования**

### **6.1. Технологические схемы закладочного комплекса**

На шахтах государственного предприятия «Восточный горно-обогатительный комбинат» (ГП «ВостГОК», г. Жёлтые Воды, Украина) наиболее широко распространены технологические схемы приготовления твердеющей закладочной смеси на поверхностных стационарных закладочных комплексах на основе вяжущего, изготовленного из доменного гранулированного шлака и низкосортного песка (рис. 1).

Песок и шлак из расходного склада бульдозером транспортируются в приемные бункера, откуда эти материалы пластинчатыми питателями, а затем ленточными конвейерами доставляются в промежуточные бункера и далее на автоматические ленточные дозаторы. Для отделения комков глины и других примесей песок проходит через грохотную решетку, установленную над промежуточным бункером. После дозировки шлак в определенном соотношении с водой поступает в шаровую мельницу, а затем в виде пульпы в смеситель, где перемешивается с песком. В смеситель также подается вода для

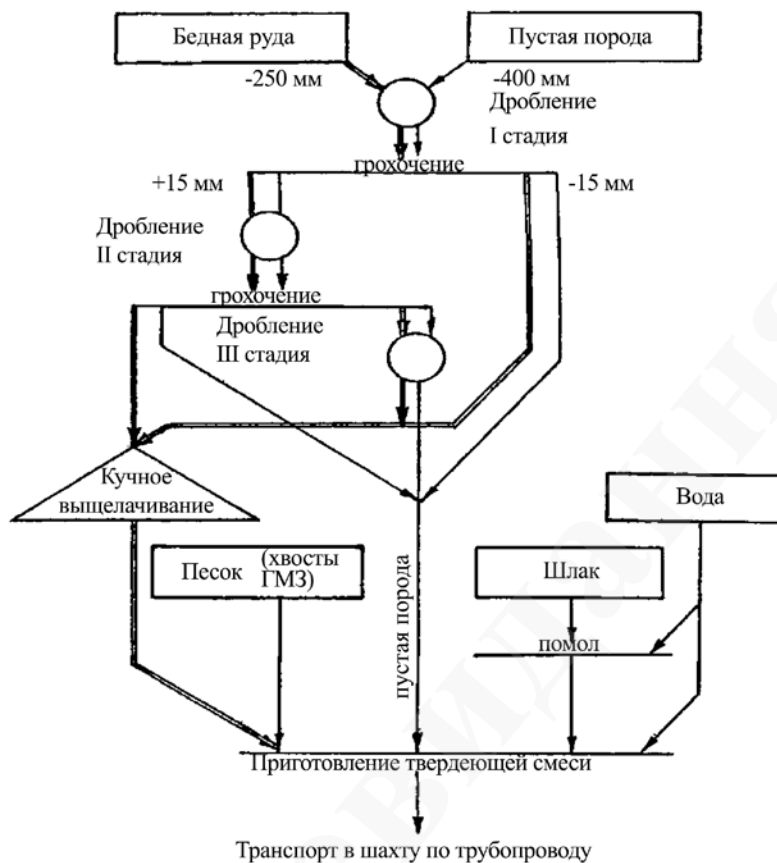
придания закладочной смеси нужной подвижности. Готовая смесь поступает в приемную воронку, далее по трубам в самотечно-пневматическом режиме транспортируется в выработанное пространство.



**Рис. 1.** Технологическая схема закладочного комплекса: 1 – бункер приемный; 2 – питатель; 3 – конвейер; 4 – бункер накопительный; 5 – дозатор; 6 – мельница шаровая; 7 – смеситель; 8 – воронка приемная; 9 – емкость для воды затворения

Исследованиями установлено, что в качестве добавки к заполнителю твердеющей закладки можно использовать хвосты кучного выщелачивания либо дробленные горные породы. Причем прочность искусственного массива с добавками хвостов кучного выщелачивания выше, чем с применением дробленых горных пород при одинаковом расходе шлака на  $1 \text{ м}^3$  закладки. Подготовка хвостов кучного выщелачивания и приготовление твердеющей закладочной смеси производится следующим образом (рис. 2).

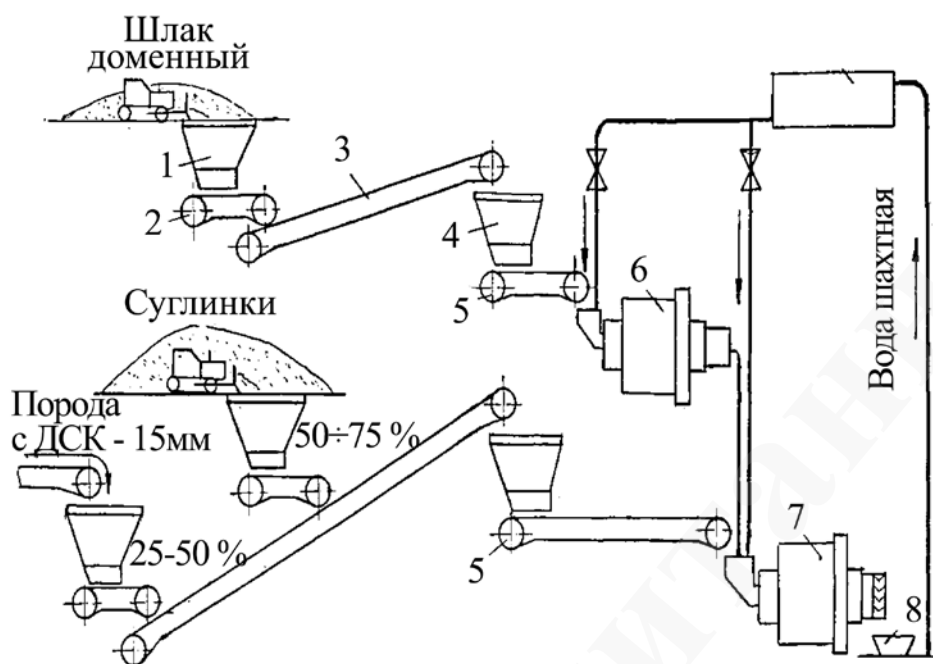
После выщелачивания и промывки хвосты транспортируются в закладочный комплекс. Одновременно подается дробленая горная порода. Дозировка осуществляется в определенном соотношении с песком и поступает в смеситель, в который подаются в нужном количестве молотый доменный шлак и вода затворения. Готовая твердеющая закладочная смесь по трубопроводу доставляется в выработанное пространство. Анализ технологии возведения искусственных массивов из твердеющей закладочной смеси показывает, что в условиях шахт ГП «ВостГОК» использование для закладки отходов горного и перерабатывающего производств технически осуществимо двумя способами.



**Рис. 2.** Технологическая схема приготовления твердеющей закладочной смеси на основе хвостов гидromеталлургического завода или хвостов кучного выщелачивания

*Первый* – централизованный, основанный на приготовлении твердеющей закладочной смеси на стационарном закладочном комплексе и подачей ее в готовом виде к месту укладки по трубопроводам. Он отличается простой организацией и высокой надежностью закладочных работ. Однако необходимы большие затраты для строительства дробильно-сортировочного комплекса по дроблению пород.

*Второй* – отдельный, включающий подачу твердеющей закладочной смеси и крупнокускового заполнителя отдельно и смешивания их при укладке непосредственно в выработанное пространство. Главное преимущество данного способа – возможность использования закладочных материалов любой крупности, а недостаток – необходимость создания дополнительной механизированной цепи для доставки пород к закладываемой камере, образование встречных грузовых потоков, сложность организации закладочных работ. Учитывая лучшую технологичность, промышленную надежность, принята схема закладочных работ, позволяющая использовать дробильно-сортировочные комплексы закладочной установки для дробления пород и забалансовых руд, направляемых на кучное выщелачивание (рис. 3).



**Рис. 3.** Технологическая схема закладочного комплекса для приготовления твердеющей закладочной смеси с использованием дробленых пород и хвостов кучного выщелачивания: 1 – бункер приемный; 2 – питатель-дозатор; 3 – конвейер; 4 – бункер расходный; 5 – дозатор; 6, 7 – соответственно мельницы шаровая и стержневая; 8 – воронка приемная; 9 – емкость для воды

Авторами изучены свойства твердеющей закладочной смеси приготовленной на основе отходов горно-металлургического производства и молотого доменного гранулированного шлака для условий шахт ГП «ВостГОК». Установлено, что все отходы пригодны для приготовления твердеющей закладочной смеси в качестве заполнителя. Наличие сульфатионов в хвостах ГМЗ на прочность закладки влияния не оказывают и ее прочность не снижают. На основе отходов горно-металлургического производства и молотого доменного гранулированного шлака разработаны сложные составы твердеющей закладочной смеси [24]. Анализ композиций твердеющей закладочной смеси показывает, что применение данной технологической схемы позволяет снизить расход дефицитного дорогостоящего вяжущего – молотого гранулированного шлака в 2–2,6 раза (с 400 до 150 кг/м<sup>3</sup>). А также удельные затраты на закладку почти в 2 раза, но главное, – утилизировать в подземные пустоты радиоактивные отходы.

Плотность закладочного массива составляет 2100–2300 кг/м<sup>3</sup>. Исследованиями установлено, что 40 % объемов подземных пустот, образованных в процессе ведения горных работ могут погашаться гидравлической смесью или сыпучей закладкой. В этом случае погашают полностью отдельные обособленные отработанные блоки и верхние части камер вторых очередей выемки [25]. Технико-экономические расчеты показали, что с учетом существующей технологии производства и доставки к месту укладки закладочного материала, наиболее рациональной является схема с



дроблением скальных отходов и их транспортировкой по трубопроводам в подземные пустоты.

Такая схема отличается простотой организации и обслуживания, высокой производительностью и надежностью в работе. Оптимальная крупность отходов определена с учетом затрат на дробление, трубопроводный транспорт и плотность их укладки в отработанные камеры и находится в пределах 25–35 мм. Однако широкомасштабное внедрение этой технологии сдерживается из-за сильного износа закладочных трубопроводов, особенно на вертикальных и криволинейных участках, а трубопроводы требуют специальных покрытий, например, базальтовых [26].

В настоящее время в качестве мелкодисперсного заполнителя в композиции твердеющей закладочной смеси используют вскрышные глинистые пески вместо хвостов ГМЗ. Это связано с тем, что сегодня отсутствуют надежные в безопасном отношении и дешевые средства транспортирования пылеватых радиоактивных отходов на большие расстояния и особенно технология приготовления, транспорта и укладки в камеру твердеющей закладочной смеси на основе хвостов ГМЗ.

Для обоснования пригодности низкосортных песков местного Обозновского карьера (Украина) в качестве заполнителя в композиции твердеющей закладочной смеси для шахт ГП «ВостГОК» авторами выполнены исследования их характеристик, подвижности и прочных свойств. Для этого, в соответствии с действующими методиками, определены прочностные свойства твердеющей закладочной смеси во времени, с использованием этих песков, молотого гранулированного шлака и воды затворения. Из расчета на  $1 \text{ м}^3$  смеси расход молотого гранулированного шлака составляет 230–365 кг, тонкость его помола не превышает 55 %, содержание частиц – 0,074 мм, подвижность твердеющей закладочной смеси – 12–12,5 см, измеренная прибором густоты раствора (ПГР) по конусу «СтройЦНИЛа» (Украина) обеспечивалась расходом воды затворения 425–465 л.

Модуль крупности песков всех проб соответствовал поставленным техническим требованиям и изменялся в пределах 0,46–2,31. В некоторых пробах, отобранных из нижних интервалов скважин, недостаточно глинистых частиц, их содержание в пределах 5,4–23,0 %. Отдельные пробы песков имеют повышенное содержание органических примесей. Отмеченные недостатки устранимы перемешиванием песков верхних и нижних горизонтов в процессе их выемки. Прочность твердеющей закладки, полученной на основе песков Обозновского карьера (Украина), составляет 3,2, 5,3 и 6,4 МПа после твердения соответственно 90, 180 и 360 суток, при расходе молотого гранулированного шлака 313 кг на  $1 \text{ м}^3$  смеси. Влияние глинистых и органических веществ на прочность закладки не отмечено. После укладки закладочной смеси в формы твердые ее частицы уплотняются, отжимая избыточную воду затворения, за счет чего увеличивается ее плотность и расход исходных материалов. Коэффициент уплотнения твердеющей закладочной смеси определяется по формуле:

$$k_y = \frac{\gamma_m}{\gamma_c} = \frac{1,715}{1,495} = 1,15, \quad (1)$$

где  $\gamma_m$ ,  $\gamma_c$  – соответственно, масса твердого материала в массиве и исходного, кг/м<sup>3</sup>.

Для обеспечения необходимой прочности твердеющей закладки 3 и 5 МПа расход молотого гранулированного шлака на 1 м<sup>3</sup> смеси составляет соответственно 283 и 384 кг в массиве и 246 и 303 кг в твердеющей закладочной смеси. На основании полученных результатов исследований пески Обозновского карьера по их качеству приближаются к применяемым пескам из Морозовского карьера (Украина), обеспечивают заданную прочность закладочной смеси и удовлетворительный ее транспорт по трубопроводам к месту укладки. Рекомендуемая необходимая прочность твердеющей закладки 5,0 и 3,0 МПа обеспечивается составом из расчета на 1 м<sup>3</sup> смеси: соответственно, песок 1200 и 1250 кг, основной гранулированный шлак 300 и 250 кг, вода затворения (для двух композиций) изменяется от 400 до 450 л. В закладочном массиве эти показатели составляли: песок 1365 и 1435 кг, основной гранулированный шлак 350 и 280 кг.

## 6.2. Оценка уровня утилизации отходов горно-металлургического производства

Она произведена по показателям их выхода на 1 т товарной руды и использования для заполнения выработанных пространств, согласно формул:

$$k_{u.n.} = \frac{P_n}{\gamma_n}, \quad (2)$$

$$k_{u.x.} = \frac{P_x}{\gamma_x}, \quad (3)$$

$$k_{u.o.} = \frac{(P_n + P_z + P_{xв.} + P_{xг.})}{\gamma_p}, \quad (4)$$

где  $k_{u.n.}$ ,  $k_{u.x.}$ ,  $k_{u.o.}$  – соответственно, коэффициенты использования горных пород, хвостов и отходов для заполнения выработанных пространств, доли ед.;  $P_n$ ,  $P_x$  – соответственно, вес породы и хвостов в 1 м<sup>3</sup> закладки в массиве, т/м<sup>3</sup>;  $\gamma_n$ ,  $\gamma_x$  – соответственно, плотность горной породы и хвостов (исходного материала) в массиве, м/м<sup>3</sup>;  $P_z$ ,  $P_{xв.}$ ,  $P_{xг.}$  – соответственно, вес забалансовой, по содержанию полезного компонента, руды, хвостов кучного выщелачивания и хвостов гидрометаллургического передела, т/м<sup>3</sup>;  $\gamma_p$  – плотность руды, т/м<sup>3</sup>.

Плотность твердеющей закладочной смеси с добавками дробленого материала определяется согласно формуле:

$$\gamma_z = \gamma_{uc.} + P_{нд.} \left( \frac{1 - \gamma_{uc.}}{\gamma_n} \right), \quad (5)$$

где  $\gamma_z$  – плотность твердеющей закладочной смеси с добавками дробленных горных пород, кг/м<sup>3</sup>;  $\gamma_{ис.}$  – плотность песчаношлаковой твердеющей закладочной смеси, кг/м<sup>3</sup>;  $P_{нд.}$  – масса добавки дробленной горной породы, кг/м<sup>3</sup>.

Для горных предприятий ГП «ВостГОК» коэффициент использования отходов собственного производства в твердеющей закладке составляет от 0,45 до 0,68; гидравлической – от 0,56 до 0,75; сыпучей – 0,62.

### 6.3. Разработка кадастра для отходов горно-металлургического производства

На основании проведенных исследований авторами разработан кадастр для отходов горно-металлургического производства, который дает оценочную характеристику и направления возможного их использования для нужд народного хозяйства (табл. 1).

Таблица 1

Кадастр твердых отходов горно-металлургического производства

Отходы	Крупность, мм	Источник получения	Выход отходов от общего объема горной массы, %	Направление возможного использования
Пустая порода (крупнокусковые)	–350 (–500)	Горные капитальные выработки	3–4	Строительный материал
Забалансовая руда (крупнокусковые)	–350 (–500)	Горноподготовительные и нарезные выработки	10–12	Закладочное сырье, частично стройматериалы
То же	–350 (–500)	Очистные выработки	3–5	Закладочное сырье после переработки
То же	+50 –250	Отсортировка на рудо-обогадательной фабрике (РОФ)	20–30	То же
Песковые	–0,5 +0,043	Гидрометаллургический передел товарной руды	17–22	Закладочное сырье, частично направляются в хвостохранилище
Илистые	–0,043			

Утилизация твердых отходов горно-металлургических производств осуществляется следующим образом. Из текущих и заскладированных в отвалах скальных отходов отделяются пустые породы и используются в строительстве с учетом обеспечения требований норм радиационной безопасности. Забалансовые руды и хвосты радиометрической обогадательной фабрики направляются в подземные выработанные пространства по действующей на горном предприятии технологии для дальнейшего выщелачивания рудосодержащих материалов в отработанных камерах [27].

Остальная часть твердых отходов транспортируется и укладывается во внутренние отвалы имеющихся местных действующих или отработанных карьеров, после чего нарушенная территория засыпается вскрышными грунтами и рекультивируется.

На ряде шахт развитых горнодобывающих стран мира созданы закладочные комплексы для приготовления твердеющих закладочных смесей, а на некоторых – и местного вяжущего из доменного шлака, дробильно-сортировочные комплексы для переработки скальных отходов в щебень, тепляки и т. п. В период конверсии основного производства на горных предприятиях оборудование этих комплексов может быть эффективно использовано для производства строительных изделий и конструкций [28].

На шахтах ГП «ВостГОК» действующие закладочные комплексы можно использовать для производства шлакоблоков, бетонных блоков для фундаментов и других строительных изделий. При этом из привозного доменного гранулированного шлака в действующих шаровых мельницах можно получить местное вяжущее – шлакощелочной цемент, а на дробильно-сортировочном комплексе, – собственный щебень из пустых пород. Это позволит обеспечить занятость высвобождаемых из горнодобывающего производства трудящихся и получить дополнительные средства на перепрофилирование закладочного хозяйства в строительные цеха [29].

Вопросы сооружения дамб и плотин из отходов горнодобывающих и перерабатывающих производств для хранилищ широко изучены и проработаны. Имеются нормативно-технические документы, в которых указаны наиболее целесообразные составы композиций из отходов и вяжущего, способы, техника и технология их транспорта и укладки. Предложены специальные комплексы для обезвоживания хвостов ГМЗ, приготовления из них и вяжущего твердеющей смеси и последующего сооружения плотин. Комплекс подготовки хвостов к складированию состоит из корпуса обезвоживания, складов обезвоженных хвостов и цемента, узла приготовления раствора, сгустителей, конвейерных галерей и вспомогательных сооружений [30]. Отходы ГМЗ к хранилищу транспортируются по пульпопроводу.

#### **6.4. Внедрение результатов исследований**

Предложены новые технологические схемы закладочных комплексов для утилизации отходов горно-металлургического производства в подземное выработанное пространство в качестве компонентов твердеющих закладочных смесей. Рекомендована также схема «сухого» в иммобилизованном виде складирования твердых отходов горно-металлургического производства в балке вместо традиционного наливного способа. Они показали положительные результаты при подземной разработке рудных месторождений сложной структуры Российской Федерации, Северного Кавказа, Украины, Северного Казахстана и других развитых горнодобывающих стран мира [31]. Научное, конструкторско-технологическое сопровождение развития указанных разработок осуществляло Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной

технологии» (ГП «УкрНИПИПромтехнологии», Украина), которому в 2020 г. исполнилось 50 лет. Научно-производственное обеспечение – Научно-производственный комплекс «Автоматика и машиностроение» (НПК «А и М», Украина) совместно с Ремонтно-механическим заводом (РМЗ, Украина) [32].

### **6.5. Перспективные направления исследований**

Экология горного производства по-прежнему развивается по пути управления процессом формирования техногенных месторождений в ходе разработки месторождений и перевода неактивных запасов техногенных месторождений в активные путем воздействия на них физико-химическими процессами. Кроме того, необходимо разработать научно-методические основы, технологии и технические средства для повышения плодородности и эффективности использования почв промышленных зон горных объектов, а также дать оценку их влияния на окружающую среду и человека с учетом отдаленных во времени последствий [33].

Отличие комбинированной механо-химической активации металлосодержащего сырья заключается в том, что выщелачивающий реагент подается в рабочий орган дезинтегратора, а извлечение металлов в раствор происходит одновременно с разрушением кристаллов, когда раствор интенсивно запрессовывается в образующиеся трещины.

Наиболее перспективным является способ извлечения металлов из хвостов обогащения, который предусматривает совмещение процессов химического обогащения и активации в дезинтеграторе. Это обеспечивает извлечение металлов в раствор одновременно с разрушением кристаллов, когда выщелачивающий раствор интенсивно запрессовывается в образующиеся от дезинтеграции частиц трещины. Недостатком указанного способа является неполное извлечение полезных компонентов в случае переработки упорных неокисленных руд вследствие недостаточной химической активности последних.

## **7. SWOT-анализ результатов исследований**

*Strengths.* На основе обоснования технологий и технических средств для утилизации отходов горно-металлургического производства в подземное выработанное пространство предложен комплекс технических средств для активации компонентов твердеющих закладочных смесей. Природоохранные и ресурсосберегающие технологии при подземной разработке месторождений полезных ископаемых с закладкой выработанного пространства обеспечивают:

- сохранность объектов эксплуатации;
- безопасное ведение горных работ;
- полноту использования и охрану недр и окружающей среды;
- жизнедеятельность населения, проживающего в зоне влияния горных объектов.

*Weaknesses.* Основным отрицательным влиянием горной технологии на окружающую природную среду и человека являются большие затраты на сохранность дневной поверхности и обеспечение жизнедеятельности населения, проживающего в зоне влияния горных объектов, вывод больших

площадей земель из пользования и др. [34]. Поэтому необходимо предусматривать средства на проведение следующих мероприятий:

- глубинная переработка техногенных отходов (хвостов обогащения), обладающих большим разнообразием минеральных форм по сравнению с обычными рудами;

- рекультивация территории промышленных площадок и близлежащей к ним территории после окончания эксплуатации;

- озеленение рекультивированной территории травяной и кустарниковой растительностью;

- постоянный мониторинг компонентов окружающей среды в зоне влияния горных объектов.

*Opportunities.* При доставке твердеющих закладочных смесей в техногенные пустоты на большое расстояние и небольшой глубине горных работ наиболее перспективным является вибросамотечный транспорт, обеспечивающий гомогенизацию смеси и приращение прочности за счет активации их в трубопроводе. Широкое вовлечение в производство техногенных запасов хвостов обогащения руд, а также переработка отвалов забалансовых, по содержанию полезных компонентов, руд на модульных установках способствуют получению дополнительного источника для промышленности в металлах [35].

*Threats.* Для предотвращения пылевого переноса загрязненного материала за пределы горных объектов, санитарно-защитные зоны и полосы вокруг них целесообразно засаживать высокорослыми древесными породами, которые будут сдерживать скорость ветра над указанными объектами. К ним относятся шахты, отвалы пустых пород и забалансовых по содержанию полезного компонента руд, закладочные комплексы, площадки предконцентрации и кучного выщелачивания металлов из некондиционного рудного сырья, хвостохранилища и др. При этом пыль будет оседать в этих лесных насаждениях и не будет поступать на другие территории, в том числе и в населённые пункты. Кроме того, нужно разработать научно-методические основы, технологии и технические средства для повышения плодородности и эффективности использования почв промышленных зон горных объектов, а также дать оценку их влияния на окружающую среду и человека [36].

Продолжить также исследования по обнаружению естественных радионуклидов:  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$  в составе топливных золошлаков и отвальных пород урановой, угледобывающей, теплоэнергетической и других отраслей промышленности. Содержание радионуклидов различается по фракциям отходов. Основной вклад в эффективную удельную активность отходов вносят  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ . Наибольший разброс удельных активностей по фракциям этих пород угледобычи характерен для  $^{226}\text{Ra}$ . Все исследованные отходы относятся к первому классу радиационной опасности и могут использоваться в строительстве без ограничений. Согласно международным радиологическим показателям превышено значение индекса использования активности практически для всех исследованных отходов [37].

## 8. Выводы

1. Определены основные направления утилизации отходов горно-металлургического производства (закладка выработанных пространств, сооружение плотин специальных хранилищ и пр.), которые позволяют использовать до 50–60 % общего их объема, а оставшаяся часть подлежит захоронению и последующей рекультивации загрязненных территорий.

2. Установлено, что для шахт ГП «ВостГОК» коэффициент использования отходов собственного производства в твердеющей закладке составляет от 0,45 до 0,68; гидравлической – от 0,56 до 0,75; сыпучей – 0,62, а добыча каждой тонны товарной руды сопровождается выходом 0,7–0,8 т отходов.

3. Разработан кадастр отходов горно-металлургического производства в зависимости от их крупности, источника получения, выхода от общего объема горной массы и направления возможного использования для нужд народного хозяйства. Так, выход отходов от общего объема горной массы в % из горно-капитальных, горно-подготовительных, нарезных и очистных выработок составляет, соответственно, 3–4, 10–12 и 3–5 %, а из отсортировки на РОФ и гидро-металлургического передела руды, соответственно, 20–30 и 17–22 %.

## Благодарность

В организации создания, совершенствования и внедрения научных разработок принимали участие и оказывали содействие специалисты:

– ГП «УкрНИПИИпромтехнологии» и ГП «ВостГОК», г. Желтые Воды, Украина;

– Национального технического университета «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина;

– АО «ВНИПИпромтехнологии», г. Москва и АО «Всероссийский научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела (АО «ВНИМИ»), г. Санкт-Петербург, Россия;

– АО «ЦГХК», г. Степногорск, Республика Казахстан.

В работе принимали участие Поддубный И. К., Платонов В. Н., Рягузов П. И., Дятчин В. З., Дудченко А. Х., Костецкий С. Н., Кравченко Н. Г., Коваленко В. Н.

Технология и технические средства для «сухого» в иммобилизованном виде складирования твердых отходов горно-металлургического производства выполнены при участии Тархина Ю. Н., Худошиной Н. А., Ляшенко Л. А., Скотаренко А. Г.

## Литература

1. Gridley, N. C., Salcedo, L. (2011). *Cemented paste production provides opportunity for underground ore recovery while solving tailings disposal needs*. Perth: Australian Centre for Geomechanics, 431.

2. Lottermoser, B. (2012). *Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts*. New York: Springer, 400.

3. Maanju, S. K., Saha, K. (2013). *Impact of Mining Industry on Environmental Fabric – A Case Study of Rajasthan State in India*. *IOSR Journal Of*

*Environmental Science, Toxicology And Food Technology*, 6 (2), 08–13. doi: <http://doi.org/10.9790/2402-0620813>

4. Golik, V., Komashchenko, V., Morkun, V. (2015). Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use. *Metallurgical and Mining Industry*, 3, 49–52.

5. Vladyko, O., Maltsev, D., Shapovalov, Y. (2016). Choice of development method for technogenic mineral deposits by technological criteria. *Mining of Mineral Deposits*, 10 (4), 74–82. doi: <http://doi.org/10.15407/mining10.04.074>

6. Yuan, Y., Bolan, N., PrévotEAU, A., Vithanage, M., Biswas, J. K., Ok, Y. S., Wang, H. (2017). Applications of biochar in redox-mediated reactions. *Bioresource Technology*, 246, 271–281. doi: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.154>

7. Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V. et. al. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13 (1), 24–38. doi: <http://doi.org/10.33271/mining13.01.024>

8. Blyuss, B., Semenenko, Y., Medvedieva, O., Kyrychko, S., Karatayev, A. (2019). Parameters determination of hydromechanization technologies for the dumps development as technogenic deposits. *Mining of Mineral Deposits*, 14 (1), 51–61. doi: <http://doi.org/10.33271/mining14.01.051>

9. Lyashenko, V., Topolnij, F., Dyatchin, V. (2019). Development of technologies and technical means for storage of waste processing of ore raw materials in the tailings dams. *Technology Audit and Production Reserves*, 5 (3 (49)), 33–40. doi: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.184940>

10. Lyashenko, V., Khomenko, O., Topolnij, F., Golik, V. (2020). Development of natural underground ore mining technologies in energy distributed massifs. *Technology Audit and Production Reserves*, 1 (3 (51)), 17–24. doi: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.195946>

11. Lyashenko, V., Khomenko, O., Golik, V., Topolnij, F., Helevera, O. (2020). Substantiation of environmental and resource-saving technologies for void filling under underground ore mining. *Technology Audit and Production Reserves*, 2 (3 (52)), 9–16. doi: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.200022>

12. Lyashenko, V., Khomenko, O., Topolnij, F., Helevera, O. (2020). Substantiation of technologies and technical means for disposal of mining and metallurgical waste in mines. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (3 (53)), 4–11. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.200897>

13. Khobotova, E. B., Kalmykova, Iu. S., Ignatenko, M. I., Larin, V. I. (2017). Estestvennye radionuklidy domennykh shlakov. *Chernye metally*, 1, 23–28.

14. *Normy radiatsionnoi bezopasnosti Ukrainy (NRBU-97)*. Gosudarstvennye gigenicheskie normativy GGN 6.6.1.-6.5.001.98 (1998). Kyiv, 159.

15. *SanPiN 2.6.1.2523–09. Normy radiatsionnoi bezopasnosti NRB-99/2009*. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902170553> Last accessed: 16.04.2020

16. *Radiatsionnaia zaschita i bezopasnost istochnikov izlucheniia: mezhdunarodnye osnovnye normy bezopasnosti* (2015). Vena: MAGATE, 484.

17. Liashenko, V. I., Golik, V. I. (2006). Prirodookhrannye tekhnologii podzemnoi razrabotki uranovykh mestorozhdenii. *Gornii zhurnal*, 2, 89–92.



18. Liashenko, V. I., Golik, V. I., Kozyrev, E. N. (2008). Kombinirovaannye tekhnologii dobychi poleznykh iskopaemykh s podzemnym vyschelachivaniem. *Gornii zhurnal*, 12, 37–40.
19. Kotenko, E. A., Mosinets, V. N. (1995). Radiatsionno-ekologicheskaiia bezopasnost pri dobyche i pererabotke uranovykh rud. *Gornii zhurnal*, 7, 32–36.
20. Chernov, A. P. (Ed.) (2001). *Dobycha i pererabotka uranovykh rud v Ukraine*. Kyiv: Adef – Ukraina, 238.
21. Dmitrak, Y. V., Kamnev, E. N. (2015). The Leading Research and Design Institute of Industrial Technologies – A long way in 65 years. *Gornyi Zhurnal*, 3, 6–12. doi: <http://doi.org/10.17580/gzh.2016.03.01>
22. Deng, D. Q., Liu, L., Yao, Z. L., Song, K. I.-I. L., Lao, D. Z. (2017). A practice of ultra-fine tailings disposal as filling material in a gold mine. *Journal of Environmental Management*, 196, 100–109. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.056>
23. Vrancken, C., Longhurst, P. J., Wagland, S. T. (2017). Critical review of real-time methods for solid waste characterisation: Informing material recovery and fuel production. *Waste Management*, 61, 40–57. doi: <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.019>
24. Cheng, Y., Jiang, H., Zhang, X., Cui, J., Song, C., Li, X. (2017). Effects of coal rank on physicochemical properties of coal and on methane adsorption. *International Journal of Coal Science & Technology*, 4 (2), 129–146. doi: <http://doi.org/10.1007/s40789-017-0161-6>
25. Paul, A., Ramachandra Murthy, V. M. S., Prakash, A., Singh, A. K. (2018). Estimation of Rock Load in Development Workings of Underground Coal Mines – A Modified RMR Approach. *Current Science*, 114 (10), 2167–2174. doi: <http://doi.org/10.18520/cs/v114/i10/2167-2174>
26. Soroka, M. N., Savelev, Iu. Ia. (2004). Perspektivy utilizatsii khvostov gidrometallurgicheskogo peredela i droblennykh gornykh porod v vyrabotannoe prostranstvo uranodobyvaiuschikh shakht Ukrainy. *Metallurgicheskaiia i gornorudnaiia promyshlenost*, 5, 91–94.
27. Averianov, K. A., Angelov, V. A., Akhmedianov, I. Kh., Rylnikova, M. V. (2012). Razvitie klassifikatsii tekhnogennogo syria gornykh predpriatii i obosnovanie tekhnologii ego aktivnoi utilizatsii. *Gornii informatsionno-analiticheskii biulleten*, 5, 208–213.
28. Golik, V. I. (2013). Kontseptualnye podkhody k sozdaniiu malo- i bezotkhodnogo gornorudnogo proizvodstva na osnove kombinirovaniia fiziko-tekhnicheskikh i fiziko-khimicheskikh geotekhnologii. *Gornii zhurnal*, 5, 93–97.
29. Lyashenko, V. I., Dyatchin, V. Z., Lisovoy, I. A. (2018). Increase of Environmental Safety of Mining Production on the Basis of Waste Utilization of Extraction and Processing of Ore Raw Materials. *Ecology and Industry of Russia*, 22 (4), 4–10. doi: <http://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-4-4-10>
30. Dmitrak, Iu. V., Gabaraev, O. Z., Razorenov, Iu. I., Stas, G. V. (2019). K probleme vyschelachivaniia metallov iz nekonditsionnogo syria. *Vektor GeoNauk*, 2 (3), 32–39.
31. Volkov, E. P., Anushenkov, A. N. (2019). Developing the technology of mine stowing with processing tailings based hardening blends. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii gornyi zhurnal*, 7, 5–13. doi: <http://doi.org/10.21440/0536-1028-2019-7-5-13>

32. Liashenko, V. I., Golik, V. I. (2020). Kombinirovannye geotekhnologii predkontsentratsii zapasov rud vyschelachivaniem metallov iz rudnogo syria. *Marksheideriia i nedropolzovanie*, 2 (106), 16–23.

33. Lyashenko, V. I., Golik, V. I., Dyatchin, V. Z. (2020). Storage of tailings in the form of a hardened mass in underground mined-out spaces and tailings facilities. *Obogashchenie Rud*, 1, 41–47. doi: <http://doi.org/10.17580/or.2020.01.08>

34. Lyashenko, V. I., Chekushina, T. V., Dudar, T. V., Lisovoy, I. A. (2020). Environmental and Resource-Saving Technologies for Void Extinguishing During Underground Ore Mining. *Ecology and Industry of Russia*, 24 (8), 28–33. doi: <http://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-8-28-33>

35. Lyashenko, V. I., Khomenko, O. E., Golik, V. I. (2020). Friendly and Resource-Saving Methods of Underground Ore Mining in Disturbed Rock Masses. *Mining Science and Technology*, 5 (2), 104–118. doi: <http://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-2-104-118>

36. Karyayev, V. I., Komkov, A. A., Kuznetsov, A. V., Plotnikov, I. P. (2020). Recovery of Copper and Zinc from Copper Smelting Slags During Reducing-Sulfidizing Treatment. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 18 (2), 4–12. doi: <http://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-2-4-12>

37. Khobotova, E. B., Ignatenko, M. I., Belichenko, E. A., Ponikarovskaya, S. V. (2020). Radiation Properties of Coal and Thermal Industries Waste. *Occupational Safety in Industry*, 8, 60–67. doi: <http://doi.org/10.24000/0409-2961-2020-8-60-67>