

НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИТРОЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОБЪЕКТАХ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА

М.А. Пашкевич¹, Д.А. Патокин¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: s225014@stud.spmi.ru

Аннотация: Особенности территориальной структуры хозяйства РФ благоприятно влияют на возможности использования вторичных ресурсов в рамках перехода к экономике замкнутого цикла, где взаимодействие различных отраслей хозяйства может быть рассмотрено как основной инструмент актуальной экологической повестки. В нашей стране к настоящему времени происходит накопление опасных нитроцеллюлозосодержащих отходов химической промышленности, требующих экономически эффективной и экологически безопасной утилизации. В силу своих химических свойств рассматриваемый отход может быть эффективно использован на объектах минерально-сырьевого комплекса. Целью исследования стало обоснование возможности использования отхода специальной технической химии на объектах горного производства, основанное на анализе отечественной и зарубежной научной и технической литературы. По результатам литературного обзора определено и обосновано приоритетное направление применения отходов нитратов целлюлозы в качестве нетрадиционного мелиоранта при проведении биологического этапа рекультивации объектов горного производства, выявлены основные критерии и этапы получения мелиоративных субстратов. Выбор направления обусловлен химическим составом отхода, выгодным территориальным расположением объектов спецхимии и минерально-сырьевого комплекса, а также продолжающимся ростом потребности в рекультивации техногенно нарушенных земель.

Ключевые слова: рекультивация, минерально-сырьевой комплекс, отходы, нитраты целлюлозы, нитроцеллюлоза, утилизация, удобрения-мелиоранты, осадки сточных вод.

Для цитирования: Пашкевич М. А., Патокин Д. А. Направления использования нитроцеллюлозосодержащих отходов химической промышленности на объектах минерально-сырьевого комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 9-1. – С. 215–230. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_91_0_215.

Nitrocellulose containing chemical industry waste for mineral resources complex facilities: directions of use

M.A. Pashkevich¹, D.A. Patokin¹

¹ Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia,
e-mail: s225014@stud.spmi.ru

Abstract: The peculiarities of the territorial structure of the economy of the Russian Federation favorably affect the possibilities of using secondary resources in the framework of the transition to a closed-cycle economy, where the interaction of various sectors of the economy can be considered as the main tool of the current environmental agenda. In our country, by now there is an accumulation of hazardous nitrocellulose-containing waste from the chemical industry that requires cost-effective and environmentally safe disposal. Due to its chemical properties, the waste in question can be effectively used at the facilities of the mineral resource complex. The purpose of the study was to substantiate the possibility of using the waste of special technical chemistry at mining facilities, based on the analysis of domestic and foreign scientific and technical literature. Based on the results of the literature review, the priority direction of the use of cellulose nitrate waste as an unconventional meliorant during the biological stage of reclamation of mining facilities was determined and justified, the main criteria and stages of obtaining meliorative substrates were identified. The choice of the direction is due to the chemical composition of the waste, the favorable territorial location of the objects of special chemistry and mineral resources complex, as well as the continuing growth of the need for reclamation of technogenically disturbed lands.

Key words: reclamation, mineral resource complex, waste, cellulose nitrates, nitrocellulose utilization, fertilizers- improvers, sewage sludge.

For citation: Pashkevich M. A., Patokin D. A. Nitrocellulose containing chemical industry waste for mineral resources complex facilities: directions of use. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(9-1):215-230. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_91_0_215.

Введение

Современный уровень развития технологий и материалов различного назначения невозможен без развития химической промышленности, которая в свою очередь генерирует и аккумулирует значительное количество отходов. Нельзя не отметить тот факт, что в то же время именно химическая промышленность имеет и реализует огромный потенциал в утилизации отходов, возвращая технологические отходы в производственные цепочки предприятий.

Переработка отходов производства и потребления занимает важнейшую нишу в повестке устойчивого развития и экологической доктрины РФ до 2030 г., а также экономического развития страны в рамках перехода к экономике замкнутого цикла (ЭЗЦ), способствующей сохранению материалов и ресурсов в хозяйственной деятельности человека

как можно дольше. При этом отходы химической промышленности можно делить на два вида материальных потоков: биологический (циркуляция биоразлагаемых материалов) и технологический (часто персистентные отходы химического производства) [1].

Использование азотнокислых эфиров целлюлозы (нитрат целлюлозы, коллоксилин, НЦ, нитроцеллюлоза) в химической промышленности осуществляется в ряде подотраслей рассматриваемого сектора экономики, относящихся к выпуску гражданской и оборонной продукции, в технологических циклах, зачастую локализованных на предприятиях по выпуску продукции двойного назначения. Описываемое химическое соединение применяется при выпуске лакокрасочной продукции, оптических пленок, биоиндикаторов, полупроницаемых мембран, селективных сорбционных

материалов и, главным образом, при производстве конденсированных энергетических систем (порохов и смесевых твердых ракетных топлив (СРТТ)) на предприятиях спецхимии [2]. Именно в результате функционирования таких промышленных предприятий образуется класс нитроцеллюлозосодержащих отходов, делящихся на кондиционное и некондиционное сырье.

Кондиционное сырье при этом используется как источник вторичных ресурсов, за счет существующих на предприятиях технологий [3, 4], а некондиционные отходы в виде нитроцеллюлозосодержащих шламов, массы которых суммарно составляют до полумиллиона тонн [5], накапливаются в шламонакопителях или прудках-отстойниках предприятий. Аккумуляция этих отходов в силу их персистентности и токсичности несет потенциальную техногенную угрозу функционированию промышленных и природных объектов, что обуславливает необходимость их утилизации.

Нитроцеллюлозосодержащие отходы

Рассматриваемый в статье отход образуется при сборе, обезвреживании и дальнейшей аккумуляции сточных вод в технологических водоемах на территории предприятий перед непосредственным их сбросом в водные объекты. Таким образом, шламы можно классифицировать как осадок сточных вод предприятия, так как шламонакопители представляют собой заключительный этап механической очистки стоков от взвешенных частиц [4, 5].

Шлам-осадок представляет собой жидкую смесь мелкодисперсных частиц НЦ (остаточное содержание полупродуктов и продуктов) и минеральной компоненты с влажностью 40–80%. Содержание нитратов целлюлозы варьируется в диапазоне 8–50% с содержанием азота

10–12%. Неорганическая составляющая представлена карбонатом кальция, оксидами алюминия, железа, а также кремния и составляет 7–60% от массы отхода [6]. Извлеченный из шламонакопителя увлажненный осадок имеет торфоподобную структуру с характерным коричневым цветом.

Весь потенциал угрозы окружающей природной среде от отхода и объектов накопления связан со специфичностью его состава, а именно основным компонентом шлама — нитроцеллюлозой. Во-первых, нитраты целлюлозы обладают высокой персистентностью в естественной среде, что приводит к их аккумуляции в почвах и донных отложениях. Другими слабоизученными, но выраженными характеристиками определены канцерогенность, а также мутагенная и тератогенная активность [7]. При этом ряд зарубежных исследователей отмечает острую токсичность для некоторых видов гидробионтов от последствий сбросов точных вод производства нитроцеллюлозы (*Daphnia similis*, *Danio rerio*, *Escherichia coli* и *Pseudomonas putida*. *D. similis* b *D. rerio*) [8].

Во-вторых, в подсушенном состоянии отход относят к первому классу по взрыво- и пожаробезопасности [5]. Установлено, что шламы не воспламеняются и не детонируют при влажности более 60%; при влажности до 50% — поддерживают горение без самовоспламенения; при влажности более 40% — отсутствует переход горения в детонацию. Именно последний факт в наибольшей степени определяет техногенную угрозу отхода для безопасности населения. Отдельно отметим, что крупнейшие предприятия отрасли располагаются в пределах крупных селитебных и промышленных агломераций, в том числе с населением более 1 млн чел.

Кроме того, в составе образующегося отхода выделяются потенциально

высокие содержания тяжелых металлов (ТМ), использующихся в основной производственной цепочке предприятий в качестве технологических добавок. Они определяют энергетические параметры горения конечной продукции и воздействие продуктов сгорания на конструктивные элементы специальных систем. К ним относятся органические и неорганические соединения свинца, меди, олова, никеля, железа и кобальта [3]. ТМ оказывают комплексное негативное воздействие на все компоненты природно-территориальных комплексов в совокупности, вовлекаясь в биогеохимический цикл географической оболочки [9]. Отметим, что высокие содержания ТМ также неблагоприятно влияют на аквальные экосистемы в целом, в силу того, что свойства водной среды для них — важнейший абиотический фактор [10].

Обоснование использования отхода на объектах минерально-сырьевого комплекса

В настоящее время на территории России существует порядка 10 крупных

предприятий химической промышленности, локализованных в границах крупных горнопромышленных районов (см. рисунок), что создает возможности взаимодействия двух крупных отраслей народного хозяйства, где специальная техническая химия выступает в роли источника вторичного сырья для минерально-сырьевого комплекса (МСК).

Такое взаимодействие наиболее ярко реализовалось в применении отбракованной продукции, утилизируемых порохов и СРТТ с истекшим гарантийным сроком хранения. На их основе созданы и используются промышленные взрывчатые вещества (ВВ) различных марок, названные гранипорами и гелъпорами [11, 12], отличающиеся своей относительной эффективностью [13] и снижением нагрузки на окружающую природную среду при проведении буровзрывных работ (БВР). Наиболее экологически безопасными при этом являются водно-гелевые системы, к которым относятся гелъпоры, где нитроцеллюлозные компоненты выступают в качестве добавок к водным гелям и улучшают их харак-



*Локализация предприятий спецхимии внутри крупных горнопромышленных районов
Location of special chemical enterprises inside large mining districts*

теристики. Установлено, что снижение выделения экотоксикантов, главным образом угарного газа (СО), при этом достигается управлением кислородным балансом со смещением его в отрицательную область [12]. Аналогичные исследования можно найти и в зарубежной литературе [14].

На основе конверсионного сырья также активно велись разработки топливных брикетов и разжигающих средств, многие из которых были запатентованы, но не дошли до промышленных масштабов [5, 15]. Эффективно зарекомендовали себя пороховые аккумуляторы давления скважин акустические, интенсифицирующие добычу нефти, в том числе горючих сланцев, и природного газа [16, 17].

На ряде предприятий, таких как ФКП «Авангард», ФКП «Коммунар» и ООО «НТЦ «Взрывобезопасность», внедрены технологии переработки утилизируемых порохов и СРТТ, а также разработаны рецептуры промышленных ВВ и прочих взрывчатых материалов для горнодобывающего и нефтегазового комплекса. Для таких вторичных изделий установлены зависимости управления параметрами взрыва, в том числе в арктической зоне и в сложных горно-геологических условиях местности [18].

Известным примером обратного взаимодействия является использование жидких отходов «Башкирской содовой компании» при нейтрализации кислых сточных вод на ФКП «Авангард», расположенном в Стерлитамаке [19]. А возможным примером полного взаимодействия (МСК — производство нитратов целлюлозы — МСК) служит разработанный состав промышленного ВВ на основе утилизируемой нитроцеллюлозо-содержащей продукции, где в качестве сенсibilизатора выступает циркониево-карбонатный кек титано-магниевого производства (побочный продукт), складываемый в отвалах [15].

Энергетическое сырье

Как было отмечено ранее, нитраты целлюлозы выступают в качестве энергетических систем с хорошей воспламеняемостью и теплотворными способностями, что напрямую определяет потенциальное и основное направление их утилизации с получением полезных продуктов, по аналогии с переработкой безвозвратных отходов пороховых производств и утилизируемых боеприпасов, к которым относятся промышленные ВВ и топливные составы (брикеты).

Однако использование шламов рассматриваемых производств исключает их переработку с получением конверсионных ВВ за счет геометрических параметров частиц, находящихся в составе отхода нитроцеллюлозосодержащих компонентов. В ряде работ доказано, что при утилизации энергонасыщенных материалов в промышленные ВВ или «кондиционировании их свойств» для увеличения их эффективности необходимо: сохранение структуры порохового зерна; формирование зерен с совершенной окатанностью и шероховатостью поверхности при соотношении минимального и максимального размера зерна, равном 0,6—0,9 [20]. Отход же в свою очередь представляет собой волокнистую структуру частиц различного размера, а микроскопические разрушенные остатки пороховых гранул имеют крайне сложную и различную форму.

Предыдущие исследования авторов статьи, посвященные возможности получения составов топливных брикетов, дали противоречивые результаты. С одной стороны, определение топливных характеристик привели к положительному результату. Была обоснована возможность использования такого топлива на объектах локальной энергетики при некоторых допущениях: введение дополнительного источника энергии; внесение замедлителя-связывающего, в том

числе нейтрализующего кислые газы. Также был обоснован выбор компонентов предполагаемого топливного состава [5]. Однако дальнейшие экспериментальные исследования по подбору оптимального соотношения отхода, источника энергии и замедлителя подтвердили предположение о невозможности сохранения приемлемой теплоты сгорания без значительного выхода кислых газов, что осложняет подбор котлоагрегатов и вводит необходимость нейтрализации отходящих газов, прежде всего оксидов азота. В этой связи был сделан вывод, что эксплуатация таких твердо-топливных систем экономически и технологически нецелесообразна, а также не обеспечивает экологической безопасности близлежащих территорий без дополнительных природоохранных мероприятий.

Таким образом, на основании вышеизложенного, рассматриваемый отход не может быть использован для создания конверсионных энергетических систем различного назначения за счет структурных особенностей частиц нитроцеллюлозы, представленной в описываемом отходе, а также свойств продуктов их горения.

Удобрения-мелиоранты

За последние 5 лет, согласно Государственным докладом «О состоянии и использовании земель в Российской Федерации», происходило ежегодное увеличение площади нарушенных земель промышленного назначения, с 419,4 тыс. га (2017) до 450,4 тыс. га (2022). При этом продолжается рост вовлечения новых территорий страны под нужды горнодобывающей промышленности, сопровождающийся увеличением площади нарушенных земель [21, 22]. Даже с учетом концентрации внимания государства и общества на проблеме восстановления земель, для горнодобывающего сектора

экономики она продолжает оставаться крайне актуальной [23]. В России наблюдаются замедленные темпы и зачастую низкое качество рекультивационных работ [21], рост числа объектов накопленного экологического ущерба (в том числе на территориях заброшенных промышленных объектов или вышедших из-под управления территорий промышленных предприятий). При этом наибольшие площади необходимых для восстановления земель находятся в границах Уральского и Сибирского федеральных округов, на территории которых находятся одноименные горнопромышленные районы [24, 25].

В настоящее время проведено достаточное количество исследований по применению отходов различных сфер хозяйства для нужд рекультивации, в том числе для предприятий горнодобывающей промышленности [26, 27]. Например, к ним относятся золошлаковые отходы ТЭС [28], шламы содового производства [29], отходы обогащения железных руд [30].

Известны исследования, направленные на получение мелиорантов для рекультивации земель, нарушенных горным производством, с использованием лигнин-шламов целлюлозно-бумажных комбинатов [31, 32], а также золы шламлигнина и его растворов в совокупности. В первом случае, по результатам экспериментального исследования, была подтверждена эффективность применения таких составов при внесении на рекультивируемые участки с учетом произрастания аборигенных видов растительности, характерных для лесной зоны умеренного пояса [31]. Во втором случае использование растворов лигнин-шлама обеспечивало снижение дефляции с поверхности рекультивируемых участков за счет образования агрегатов тонкодисперсных частиц, а зола лигнин-шлама использовалась в качестве связу-

ющего компонента [33]. Известно также применение лигнин-шламов как источника органического компонента при создании органо-минеральной добавки на основе многотоннажных отходов фосфогипса [34].

Использование осадков сточных вод (ОСВ) различного генезиса обобщено в работах [35, 36], где авторы разносторонне показывают достоинства и недостатки использования таких мелиорантов. Добавка ОСВ улучшает физические свойства и структуру почвы, насыщает почву питательными элементами и органическим веществом. Именно высокое содержание органики делает из осадков сточных вод важную составляющую при формировании почвогрунтов из промышленных отходов, чаще представленных минеральными образованиями. Основным недостатком при этом являются потенциально высокие содержания тяжелых металлов и патогенной микрофлоры. При этом возникает вероятность аккумуляции ТМ в наземной и корневой частях растений и вторичного загрязнения почв рекультивируемой территории [35]. Известны успешные примеры применения ОСВ коммунального хозяйства: при рекультивации объектов размещения отходов обогащения лопаритовых и железных руд [30, 37], территории самоизливов кислых шахтных вод Кизеловского угольного бассейна [38]; в виде источника органического вещества в композиции со сталеплавильными шлаками [39], а также при улучшении качества почв в зоне воздействия металлургического предприятия, где осадки сточных вод смешивали с отходами и золой бурых углей, обогащенных калийным удобрением [27].

В последнее время множество исследований, связанных с утилизацией отходов производства энергетических конденсированных систем, посвящены получению различных удобрений и ре-

культивантов и основаны, преимущественно, на методах биотехнологий. Именно высокие содержания азота, который потенциально может быть переведен в доступные формы для растений и микроорганизмов, способствуют этому направлению исследований.

В отечественных и зарубежных исследованиях выделены бактериальные культуры, использующие азот нитроцеллюлозы в качестве источника питания [4, 40], реализуя метод микробиологической ремедиации органического контаминанта [41]. Также существует возможность использования сульфатредуцирующих бактерий *p. Desulfovibrio*, инициирующих процессы разложения НЦ за счет высокого содержания сульфатов в стоках предприятий [4]. Процессы биологического разложения отхода могут быть осуществимы в кооперации сульфатовосстанавливающих бактерий с грибами рода *Fusarium*, интенсифицируемые предварительной обработкой отхода ультрафиолетовым излучением [42]. На основе перечисленных групп микроорганизмов адаптирован биопрепарат-деструктор НЦ, эффективность которого доказана при содержании контаминанта не более 10% на примере рекультивации территории ликвидированного Режского химического комбината [43]. Другим примером реализованного способа утилизации осадка шламо-накопителей служит технология аэробной ферментации осадков непосредственно в технологических водоемах с получением органо-минерального почвогрунта на рекультивируемых объектах Алексинского химического комбината [44]. Авторами были проведены комплексные исследования и определены кинетические характеристики процессов ферментации нитроцеллюлозосодержащего шлама [45, 46].

Однако не стоит не учитывать сложности реализации представленных вы-

ше методов, которые можно отнести к группе *in situ*, на эксплуатируемых объектах отрасли, где невозможна остановка технологического процесса. Кроме того, методы биотехнологии отличаются продолжительностью процессов и чувствительностью микрофлоры к параметрам питательных сред, что также лимитирует их внедрение. В этой связи благоразумным становится синтез методов биотехнологии с классическими методами химической деструкции. Рядом авторов обосновывается необходимость предварительного гидролиза (омыления) нитратов целлюлозы в отходе растворами щелочей или кислот в широком диапазоне концентраций, после чего бактериальные культуры должны производить деструкцию продуктов гидролиза нитроцеллюлозы [4, 47]. Такой подход реализуется, в том числе, полным разрушением азотнокислых эфиров целлюлозы растворами гидроксида аммония с получением жидкого азотного удобрения [6]. Аналогичная технология с введением щелочных агентов (гидроксидов натрия и калия) для обезвреживания НЦ-содержащих осадков сточных вод предполагает гидролиз нитратов целлюлозы в осадке с возможностью последующей передачи растворов низкомолекулярный органических соединений и нитратов калия и натрия на биологическую очистку [48].

Минерально-сырьевой комплекс генерирует значительные количества жидких отходов, обладающих щелочной или кислой реакцией среды. На основании этого при близкой локализации предприятий спецхимии и МСК процесс первичной обработки нитроцеллюлозосодержащих шламов становится возможным, например, с использованием щелочных отходов содового производства в районе Березниковско-Соликамского промышленного узла [29] или кислых сточных вод вблизи горно-металлурги-

ческих предприятий. Кроме того, первичная деструкция нитратов целлюлозы в отходе может быть реализована непосредственно на базе производственных мощностей предприятий, производящих НЦ, что связано с образованием отработанных кислотных смесей, подающихся на нейтрализацию [3].

Однако первичная утилизация отхода растворами щелочей и кислот изменит среду обитания аборигенных видов бактерий и в большей степени переведет часть органических соединений в минеральные соли, что влечет за собой необходимость добавок органической составляющей в предполагаемый мелиоративный субстрат, представленной торфяным сырьем или осадками сточных вод биологической очистки. При этом возникает необходимость моделирования мелиоранта с соблюдением известного соотношения органического углерода к минеральному азоту на уровне не менее 30 ($C:N > 30$). Именно при таких соотношениях наступает «азотное лимитирование» и происходит иммобилизация азота в органическом веществе почв, что способствует его дальнейшему поглощению растениями [49]. Кроме того, сохранению органического углерода в мелиоративных субстратах могут способствовать и высокие содержания оксидов железа в составе рассматриваемого отхода. Зарубежными авторами подтверждена адсорбция органического углерода в почвах и снижение его лабильности на примере внесения осадков дренажных вод угольных шахт в почвы Великобритании [50]. Отдельно стоит отметить вышеупомянутые повышенные содержания ряда тяжелых металлов в отходе, дозы внесения которого в предполагаемый нетрадиционный мелиорант будут ограничиваться допустимым уровнем содержания ТМ в почвах. Кроме того, при внесении необходимо учитывать и содержание общего

азота в диапазонах, рекомендованных для конкретного применяемого при рекультивации растений, что необходимо для исключения вторичного загрязнения, формируемого на рекультивируемой территории почвенного покрова нитратным азотом.

Заключение

Таким образом, основываясь на вышеизложенной информации, можно сделать следующие выводы.

1. В настоящее время с ростом потребности в нитроцеллюлозосодержащей продукции химической промышленности возникает вероятность увеличения количества опасных для окружающей природной среды и человека НЦ-содержащих шламов, в дополнение к накопленным ранее объемам рассматриваемого отхода. На основании этого актуальной проблемой становится утилизация нитроцеллюлозосодержащих шламов химической промышленности, образующихся на эксплуатируемых объектах отрасли, с целью обеспечения экологической безопасности близлежащих территории.

2. Сложившаяся территориальная структура хозяйства в РФ, а именно расположение предприятий специальной химии в границах крупных горнопромышленных районов, определяет возможность реализации перехода к экономике замкнутого цикла в системе «спецхимия — горнодобывающая промышленность». Кроме того, примеры такого взаимодействия существуют.

3. Использование нитроцеллюлозосодержащих отходов на объектах МСК может быть реализовано только в направлении получения мелиоративных суб-

стратов для проведения биологического этапа рекультивационных работ. В первую очередь, это обусловлено высоким содержанием азота. Прочие рассматриваемые в статье направления труднореализуемы: получение топливных брикетов для локальной энергетики экономически и экологически нецелесообразно; добавка отхода к конверсионным взрывчатым веществам и изделиям на их основе исключается в силу отсутствия сохранности структуры частиц, характерной для утилизируемых порохов и СРТТ. Кроме того, такой подход связан и с увеличением площади техногенно нарушенных земель горного производства, требующих проведения рекультивации.

4. Утилизация отхода с получением нетрадиционного мелиоранта требует создания почвенных субстратов и должна быть осуществлена в несколько последовательных этапов.

Во-первых, химической деструкцией щелочными или кислотными агентами нитроцеллюлозосодержащих продуктов в отходе.

Во-вторых, внесением органической составляющей для создания благоприятной питательной среды для почвенных организмов с соблюдением соотношения органического углерода и минерального азота на уровне более 30 (C:N>30).

5. Повышенные содержания тяжелых металлов, которые используются в технологической цепочке производства и представлены в отходе, требуют ограничения дозировки обработанного реагентами нитроцеллюлозосодержащего осадка при формировании мелиоративных субстратов с учетом исключения вторичного загрязнения рекультивируемой территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хозин В. Г., Цыганова Е. А. Роль строительной индустрии в реализации федерального проекта «Экономика замкнутого цикла» // Эксперт: теория и практика. — 2023. — № 1(20). — С. 147 — 159. DOI: 10.51608/26867818_2023_1_147.

2. Гисматулина Ю. А. Синтез нитратов целлюлозы из легковозобновляемого недревесного сырья // Ползуновский вестник. — 2018. — № 1. — С. 125–130. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.01.024.

3. Жегров Е. Ф., Милехин Ю. М., Берковская Е. В. Химия и технология баллистических порохов, твердых ракетных и специальных топлив. Т. 2. Технология: Монография. — М.: РИЦ МГУП им. Федорова, 2011. — 551 с.

4. Романова М. А., Валишина З. Т., Ибрагимов Р. А., Косточко А. В. Обезвреживание осадков технологических сточных вод производства нитратов целлюлозы. Сообщение 1 // Вестник Казанского технологического университета. — 2017. — Т. 20. — № 9. — С. 127–130.

5. Патокин Д. А., Васильев В. В. Утилизация отходов производства энергонасыщенных материалов / Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием молодых ученых и специалистов. — Казань: КазНИТУ, 2021. — С. 1961–1967.

6. Валишина З. Т., Романова М. А., Гафарова Г. Х., Косточко А. В. Утилизация отходов производства нитратов целлюлозы. Сообщение 2 // Вестник Казанского технологического университета. — 2017. — Т. 20. — № 9. — С. 140–143.

7. Fernandez-Lopez C., Posada-Baquero R., Ortega-Calvo J.-J. Nature-based approaches to reducing the environmental risk of organic contaminants resulting from military activities // Science of the Total Environment. 2022, vol. 843, article 157007. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157007.

8. Soumya Chatterjee, Utsab Deb, Sibnarayan Datta, Clemens Walther, Gupta D. K. Common explosives (TNT, RDX, HMX) and their fate in the environment: Emphasizing bioremediation // Chemosphere. 2017, vol. 184, pp. 438–451. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.06.008.

9. Литвинова Т. Е., Сучков Д. В. Комплексный подход к утилизации техногенных отходов минерально-сырьевого комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 6-1. — С. 331–348. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_331.

10. Petrov D. S., Korotaeva A. E., Pashkevich M. A., Chukaeva M. A. Assessment of heavy metal accumulation potential of aquatic plants for bioindication and bioremediation of aquatic environment // Environmental Monitoring and Assessment. 2022, vol. 195, no. 1, article 122. DOI: 10.1007/s10661-022-10750-0.

11. Анников В. Э., Акинин Н. И., Михеев Д. И., Ротенберг Е. В. Оценка экологической безопасности при утилизации артиллерийских боеприпасов // Взрывное дело. — 2014. — № 111-68. — С. 275–282.

12. Акинин Н. И., Анников В. Э., Михеев Д. И., Трунин В. В. Разработка пороховых водно-гелевых составов пониженной экотоксичности // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 2. — С. 81–88. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-81-88.

13. Анников В. Э., Губайдуллин В. М., Бригадин И. В., Краснов С. А., Голуб М. В., Результаты сравнительного воздействия взрывов зарядов геляпора, нитронита и аммонита при разделке негабаритных блоков // Взрывное дело. — 2018. — № 121-78. — С. 111–123.

14. Khomeriki D., Khomeriki S., Mikhelson R., Chikhradze N., Khvadagiani A. Production of industrial explosive substances on the basis of the powders and solid rocket fuel released from the utilization of the expired ammunition // Procedia Earth and Planetary Science. 2015, vol. 15, pp. 738–741. DOI: 10.1016/j.proeps.2015.08.117.

15. Вольф И. Г., Ибрагимов Э. Н., Гарифов Д. Р., Собакинских А. Н. Разработка экономичного промышленного взрывчатого вещества с использованием утилизируемых порохов и отходов производства // Альманах Пермского военного института войск национальной гвардии. — 2022. — № 2(6). — С. 17–22.

16. Ваганов К. А. Результаты применения пороховых генераторов давления акустических для интенсификации добычи нефти // Экспозиция Нефть. Газ. — 2014. — № 1(33). — С. 36–37.

17. Белозеров В. Б. Открытая трещиноватость баженовской свиты и перспективы ее разработки // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 1. – С. 150–158.

18. Давыдов Д. Ф., Рябов А. В., Федосеев В. В., Мациеевич Б. В., Щукин Ю. Г. Переработка (утилизация) боеприпасов и порохов и адаптация продуктов их утилизации для промышленных целей // Горная промышленность. – 2018. – № 3 (139). – С. 76–78.

19. Мухаметов А. А., Загидуллин Р. Н., Воронин А. В., Ибрагимов Р. А., Котова О. И. Разработка технологии нейтрализации сточных вод производства «Авангард» / Экологические проблемы Южного Урала и пути их решения. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Сибай, 2017. – С. 129–131.

20. Викторов С. Д., Франтов А. Е., Закалинский В. М. Теория – техника – технология взрывных работ с применением конверсионных ВВ в процессах горного производства. – М.: ИПКОН РАН, 2019. – 384 с.

21. Саакян Ю. З., Григорьев А. В., Васенькина Е. Ю., Кравец Е. А., Фаддеев А. М. Направления совершенствования экологического законодательства Российской Федерации в угольной отрасли на основе анализа опыта ведущих угледобывающих стран // Уголь. – 2020. – № 11 (1136). – С. 58–63. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-11-58-63.

22. Петрова Т. А., Рудзиш Э. Виды мелиорантов для рекультивации техногенно нарушенных территорий горной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 4. – С. 100–112. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_0_100.

23. Лубенская Н. А., Чмыхалова С. В., Гришин В. Ю. Предпосылки для формирования и развития рынка услуг по рекультивации нарушенных земель // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 10-1. – С. 88–100. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_88.

24. Иванов А. Н., Игнатъева М. Н., Юрак В. В., Пустохина Н. Г. Проблемы восстановления земель, нарушенных при разработке месторождений полезных ископаемых // Известия Уральского государственного горного университета. – 2020. – № 4(60). – С. 218–227. DOI: 10.21440/2307-2091-2020-4-218-227.

25. Семячков А. И., Почечун В. А., Семячков К. А. Гидрогеоэкологические условия техногенных подземных вод в объектах размещения отходов // Записки Горного института. – 2023. – Т. 260. – С. 168–179. DOI: 10.31897/PMI.2023.24.

26. Smirnov Y. D., Suchkov D. V., Danilov A. S., Goryunova T. V. Artificial soils for restoration of disturbed land productivity // Eurasian Mining. 2021, vol. 36, no. 2, pp. 92–96. DOI: 10.17580/em.2021.02.19.

27. Osiepa E., Mrowiec M., Lach J. Influence of fertilisation with sewage sludge-derived preparation on selected soil properties and prairie cordgrass yield // Environmental Research. 2017, vol. 156, pp. 775–780. DOI: 10.1016/j.envres.2017.05.003.

28. Осокин Н. А., Золотова И. Ю., Никитушкина Ю. В. Рекультивация нарушенных земель с применением промышленных отходов: оценка потенциала для российских регионов на примере золошлаков ТЭС // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26. – № 6. – С. 46–52. DOI: 10.18412/1816-0395-2022-6-46-52.

29. Калинина Е. В., Рудакова Л. В. Снижение токсичных свойств шламов содового производства с последующей их утилизацией // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 6. – С. 85–96.

30. Водолеев А. С., Андреева О. С., Захарова М. А., Таргаева Е. Е. Реабилитация техногенно-нарушенных территорий агломерационного производства // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2018. – № 8(1424). – С. 92–99.

31. Пашкевич М. А., Петрова Т. А., Рудзиш Э. Оценка потенциальной возможности использования лигнин-шламов для лесохозяйственной рекультивации нарушенных земель // Записки Горного института. – 2019. – Т. 235. – С. 106–112. DOI: 10.31897/PMI.2019.1.106.

32. Turner T., Wheeler R., Oliver I. W. Evaluating land application of pulp and paper mill sludge. A review // *Journal of Environmental Management*. 2022, vol. 317 (115439). DOI: j.jenvman.2022.115439.

33. Богданов А. В., Качор О. Л., Шатрова А. С., Чайка Н. В. Рекультивация земель, загрязненных отходами горноперерабатывающей промышленности с использованием отходов целлюлозно-бумажной промышленности // *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАН*. — 2016. — № 2 (55). — С. 96–102. DOI: 10.21285/0301-108X-2016-55-2-96-102.

34. Matveeva V. A., Smirnov Y. D., Suchkov D. V. Industrial processing of phosphogypsum into organomineral fertilizer // *Environmental Geochemistry and Health*. 2022, vol. 44, no. 5, pp. 1605–1618. DOI: 10.1007/s10653-021-00988-x.

35. Петрова Т. А., Рудзиш Э. Рекультивация техногенно-нарушенных земель с применением осадков сточных вод в качестве мелиорантов // *Записки Горного института*. — 2021. — Т. 251. — С. 767–776. DOI: 10.31897/PMI.2021.5.16.

36. Рудзиш Э., Петрова Т. А. Оценка применимости осадка сточных вод в качестве добавки к почве для рекультивации земель, образованных при добыче полезных ископаемых // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2022. — № 10-2. — С. 127–134. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_102_0_127.

37. Красавцева Е. А., Горбачева Т. Т., Иванова Л. А., Максимова В. В. Коммунальные стоки в опытах по рекультивации отходов обогащения лопаритовых руд // *Вода и экология: проблемы и решения*. — 2021. — № 3(87). — С. 44–55. DOI: 10.23968/2305-3488.2021.26.3.44-55.

38. Митракова Н. В., Хайрулина Е. А., Блинов С. М., Перевощикова А. А. Эффективность рекультивации кислых сульфатных почв в районах угледобычи // *Записки Горного института*. — 2023. — Т. 260. — С. 266–278. DOI:10.31897/PMI.2023.31.

39. Matveeva V., Lytaeva T., Danilov A. Application of steel-smelting slags as material for reclamation of degraded lands // *Journal of Ecological Engineering*. 2018, vol. 19, no. 6, pp. 97–103. DOI: 10.12911/22998993/93511.

40. Демаков В. А., Максимов А. Ю., Максимова Ю. Г., Халитова А. И., Шилова А. В., Литасова А. С., Павлова Ю. А., Козлов С. В., Овечкина Г. В. Изучение процессов микробной метаболизма органических нитросоединений и разработка эффективного биокатализатора для их биотрансформации и биодеградации // *Вестник Пермского федерального исследовательского центра*. — 2020. — № 2. — С. 23–35. DOI: 10.7242/2658-705X/2020.2.3.

41. Созина И. Д., Данилов А. С. Микробиологическая ремедиация нефтезагрязненных почв // *Записки Горного института*. — 2023. — Т. 260. — С. 297–312. DOI: 10.31897/PMI.2023.8.

42. Саратовских Е. А., Щербакова В. А., Яруллин Р. Н. Деструкция нитрованной целлюлозы грибами *Fusarium solani* // *Прикладная биохимия и микробиология*. — 2018. — Т. 54. — № 1. — С. 55–62. DOI: 10.7868/S0555109918010075.

43. Забокрицкий А. А., Савиных Д. Ю. Изучение комплекса физико-химических и биотехнологических параметров, обеспечивающих оптимальные условия биологической деструкции нитроцеллюлозы // *Деревообрабатывающая промышленность*. — 2018. — № 4. — С. 90–94.

44. Панкратов А. А., Черенков П. Г., Лифшиц А. Б. Наука и промышленность: опыт взаимодействия в решении задач химической безопасности // *Химическая безопасность*. — 2017. — Т. 1. — № 1. — С. 238–255. DOI: 10.25514/CHS.2017.1.11448.

45. Гладченко М. А., Гайдамака С. Н., Мурыгина В. П., Лифшиц А. Б., Черенков П. Г. Исследование процесса твердофазной аэробной ферментации нитроцеллюлозосодержащего осадка сточных вод методом лабораторного моделирования // *Химическая физика*. — 2015. — Т. 34. — № 6. — С. 30–37. DOI: 10.7868/S0207401X15060047.

46. Гладченко М. А., Рогозин А. Д., Черенков П. Г., Мурыгина В. П., Гайдамака С. Н., Лифшиц А. Б. Регулирование физико-химических и биотехнологических параметров

процесса жидкофазной аэробной деградации нитроцеллюлозосодержащего осадка сточных вод // Химическая физика. — 2016. — Т. 35. — № 6. — С. 78–84. DOI: 10.7868/S0207401X16060054.

47. Bhanot P., Celin S. M., Sreerishnan T. R., Kalsi A., Sahai S. K., Sharma P. Application of integrated treatment strategies for explosive industry wastewater – A critical review // Journal of Water Process Engineering. 2020, vol. 35, article 101232. DOI: 10.1016/j.jwpe.2020.101232.

48. Куликов А. В., Яруллин Р. Н., Супырев А. В., Сидоров М. И., Емельянов И. А. Патент РФ № 2015123264, 16.06.2015. Способ переработки осадка сточных вод производства нитроцеллюлозы. 2017. Бюл. № 19.

49. Семенов В. М. Функции углерода в минерализационно-иммобилизационном обороте азота в почве // Агрохимия. — 2020. — № 6. — С. 78–96. DOI: 10.31857/S0002188120060101.

50. Hodson M. E., Mahmuda Islam, Matty Metcalf, Amy C. M. Wright Amendments of waste ochre from former coal mines can potentially be used to increase soil carbon persistence // Applied Geochemistry. 2023, vol. 151, article 105618. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2023.105618. **VIAB**

REFERENCES

1. Khozin V. G., Tsyganova E. A. Role of the construction industry in the implementation of a federal project «The closed cycle economy». *Expert: theory and practice*. 2023, no. 1(20), pp. 147–159. [In Russ]. DOI: 10.51608/26867818_2023_1_147.

2. Gismatullina Yu. A. Synthesis of cellulose nitrates from highly renewable non-wood raw materials. *Polzunovskiy vestnik*. 2018, no. 1, pp. 125–130. [In Russ]. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.01.024.

3. Zhegrov E. F., Milekhin Yu. M., Berkovskaya E. V. *Khimiya i tekhnologiya ballistitnykh porokhov, tverdykh raketnykh i spetsial'nykh topliv*. Т. 2. Tekhnologiya: Monografiya [Chemistry and technology of ballistic powders, solid rocket and special fuels. Vol. 2. Technology. Monograph], Moscow, RITS MGUP im. Fedorova, 2011, 551 p.

4. Romanova M. A., Valishina Z. T., Ibragimov R. A., Kostochko A. V. Neutralization of technological wastewater sludge from cellulose nitrate production. Message 1. *Herald of technological university*. 2017, vol. 20, no. 9, pp. 127–130. [In Russ].

5. Patokin D. A., Vasiliev V. V. Utilization of waste from the production of energy-saturated materials. *Innovatsionnye tekhnologii zashchity okruzhayushchey sredy v sovremennom mire: Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem molodykh uchennykh i spetsialistov* [Innovative technologies of environmental protection in the modern world: materials of the All-Russian scientific Conference with international participation of young scientists and specialists], Kazan, KazNITU, 2021, pp. 1961–1967. [In Russ].

6. Valishina Z. T., Romanova M. A., Gafarova G. H., Kostochko A. V. Utilization of cellulose nitrate production waste. Message 2. *Herald of technological university*. 2017, vol. 20, no. 9, pp. 140–143. [In Russ].

7. Fernandez-Lopez C., Posada-Baquero R., Ortega-Calvo J.-J. Nature-based approaches to reducing the environmental risk of organic contaminants resulting from military activities. *Science of the Total Environment*. 2022, vol. 843, article 157007. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.57007.

8. Soumya Chatterjee, Utsab Deb, Sibnarayan Datta, Clemens Walther, Gupta D. K. Common explosives (TNT, RDX, HMX) and their fate in the environment: Emphasizing bioremediation. *Chemosphere*. 2017, vol. 184, pp. 438–451. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.06.008.

9. Litvinova T. E., Suchkov D. V. An integrated approach to the utilization of technogenic waste of the mineral resource complex. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 6-1, pp. 331–348. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_331.

10. Petrov D. S., Korotaeva A. E., Pashkevich M. A., Chukaeva M. A. Assessment of heavy metal accumulation potential of aquatic plants for bioindication and bioremediation of aquatic

environment. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2022, vol. 195, no. 1, article 122. DOI: 10.1007/s10661-022-10750-0.

11. Annikov V. E., Akinin N. I., Mikheev D. I., Rotenberg E. V. Assessment of environmental safety in the disposal of artillery ammunition. *Explosion technology*. 2014, no. 111-68, pp. 275 – 282. [In Russ].

12. Akinin N. I., Annikov V. E., Mikheev D. I., Trunin V. V. Hypotoxic powder–water gel compositions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 2, pp. 81 – 88. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-81-88.

13. Annikov V. E., Gubaidullin V. M., Brigadin I. V., Krasnov S. A., Golub M. V. Results of the comparative impact of explosions of gelpore, nitronite and ammonite charges during the cutting of oversized blocks. *Explosion technology*. 2018, no. 121-78, pp. 111 – 123. [In Russ].

14. Khomeriki D., Khomeriki S., Mikhelson R., Chikhradze N., Khvadagiani A. Production of industrial explosive substances on the basis of the powders and solid rocket fuel released from the utilization of the expired ammunition. *Procedia Earth and Planetary Science*. 2015, vol. 15, pp. 738 – 741. DOI: 10.1016/j.proeps.2015.08.117.

15. Wolf I. G., Ibragimov E. N., Garifov D. R., Sobakinskikh A. N. Development of an economical industrial explosive using recyclable gunpowder and production waste. *Al'manakh Permskogo voennogo instituta voysk natsional'noy gvardii*. 2022, no. 2(6), pp. 17 – 22. [In Russ].

16. Vaganov K. A. Results of the use of acoustic powder pressure generators for the intensification of oil production. *Oil & Gas Exposition*. 2014, no. 1(33), pp. 36 – 37. [In Russ].

17. Belozеров V. B. Open fracturing of the Bazhenov formation and prospects for its development. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2018, vol. 329, no. 1, pp. 150 – 158. [In Russ].

18. Davydov D. F., Ryabov A. V., Fedoseev V. V., Matseevich B. V., Shchukin Yu. G. Processing (utilization) of ammunition and gunpowder and adaptation of their utilization products for industrial purposes. *Russian Mining Industry Journal*. 2018, no. 3 (139), pp. 76 – 78. [In Russ].

19. Mukhametov A. A., Zagidullin R. N., Voronin A. V., Ibragimov R. A., Kotova O. I. Development of technology for neutralization of wastewater produced by Avangard. *Ekologicheskie problemy Yuzhnogo Urala i puti ikh resheniya. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Ecological problems of the Southern Urals and ways to solve them. Materials of the All-Russian Scientific and practical conference], Sibay, 2017, pp. 129 – 131. [In Russ].

20. Viktorov S. D., Frantov A. E., Zakalinskiy V. M. *Teoriya – tekhnika – tekhnologiya vzryvnykh rabot s primeneniem konversionnykh VV v protsessakh gornogo proizvodstva* [Theory – technique – technology of blasting operations using conversion explosives in mining processes], Moscow, IPKON RAN, 2019, 384 p.

21. Sahakyan Yu. Z., Grigoriev A. V., Vasenkina E. Yu., Kravets E. A., Faddeev A. M. Directions for improving of environmental legislation in the coal mining industry of the Russian Federation. *Ugol'*. 2020, no. 11 (1136), pp. 58 – 63. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-11-58-63.

22. Petrova T. A., Rudzish E. Types of soil improvers for reclamation of mining-disturbed lands. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 4, pp. 100 – 112. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_0_100.

23. Lubenskaya N. A., Chmyhalova S. V., Grishin V. Yu. Prerequisites for the formation and development of the market of services for recultivation of disturbed lands. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 10-1, pp. 88 – 100. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_88.

24. Ivanov A. N., Ignatieva M. N., Yurak V. V., Pustokhina N. G. Problems of restoration of lands disturbed during the development of mineral deposits. *News of the Ural state mining university*. 2020, no. 4(60), pp. 218 – 227. [In Russ]. DOI: 10.21440/2307-2091-2020-4-218-227.

25. Semyachkov A. I., Pochechun V. A., Semyachkov K. A. Hydrogeoecological conditions of technogenic groundwater in waste disposal facilities. *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 260, pp. 168 – 179. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2023.24.

26. Smirnov Y. D., Suchkov D. V., Danilov A. S., Goryunova T. V. Artificial soils for restoration of disturbed land productivity. *Eurasian Mining*. 2021, vol. 36, no. 2, pp. 92–96. DOI: 10.17580/em.2021.02.19.

27. Ociepa E., Mrowiec M., Lach J. Influence of fertilisation with sewage sludge-derived preparation on selected soil properties and prairie cordgrass yield. *Environmental Research*. 2017, vol. 156, pp. 775–780. DOI: 10.1016/j.envres.2017.05.003.

28. Osokin N. A., Zolotova I. Yu., Nikitushkina Yu. V. Recultivation of disturbed lands with the use of industrial waste: assessment of potential for Russian regions on the example of ash and slag thermal power plants. *Ecology & Industry of Russia*. 2022, vol. 26, no. 6, pp. 46–52. [In Russ]. DOI: 10.18412/1816-0395-2022-6-46-52.

29. Kalinina E. V., Rudakova L. V. Reduction of toxic properties of soda sludge with their subsequent disposal. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2018, vol. 329, no. 6, pp. 85–96. [In Russ].

30. Vodoleev A. S., Andreeva O. S., Zakharova M. A., Targaeva E. E. Rehabilitation of technogenically disturbed territories of agglomeration production. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economical Information*. 2018, no. 8(1424), pp. 92–99. [In Russ].

31. Pashkevich M. A., Petrova T. A., Rudzisha E. Assessment of the potential possibility of using lignin slurries for forestry recultivation of disturbed lands. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 235, pp. 106–112. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2019.1.106.

32. Turner T., Wheeler R., Oliver I. W. Evaluating land application of pulp and paper mill sludge. A review. *Journal of Environmental Management*. 2022, vol. 317 (115439). DOI: j.jenvman.2022.115439.

33. Bogdanov A. V., Kachor O. L., Shatrova A. S., Chaika N. V. Recultivation of lands contaminated with waste from the mining industry using waste from the pulp and paper industry. *Proceedings of the Siberian department of the Section of Earth sciences of the Russian academy of natural sciences*. 2016, no. 2 (55), pp. 96–102. [In Russ]. DOI: 10.21285/0301-108X-2016-55-2-96-102.

34. Matveeva V. A., Smirnov Y. D., Suchkov D. V. Industrial processing of phosphogypsum into organomineral fertilizer. *Environmental Geochemistry and Health*. 2022, vol. 44, no. 5, pp. 1605–1618. DOI: 10.1007/s10653-021-00988-x.

35. Petrova T. A., Rudzish E. Recultivation of technogenically disturbed lands with the use of sewage sludge as meliorants. *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 251, pp. 767–776. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2021.5.16.

36. Rudzish E., Petrova T. A. The evaluation of sewage sludge as soil amendment for post-mining land rehabilitation. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 10-2, pp. 127–134. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_102_0_127.

37. Krasavtseva E. A., Gorbacheva T. T., Ivanova L. A., Maksimova V. V. Municipal wastewater in experiments on recultivation of waste from the enrichment of loparite ores. *Water and Ecology: Problems and Solutions*. 2021, no. 3(87), pp. 44–55. [In Russ]. DOI: 10.23968/2305-3488.2021.26.3.44-55.

38. Mitrakova N. V., Khairullina E. A., Blinov S. M., Perevoshchikova A. A. Efficiency of recultivation of acid sulfate soils in coal mining areas. *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 260, pp. 266–278. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2023.31.

39. Matveeva V., Lytaeva T., Danilov A. Application of steel-smelting slags as material for reclamation of degraded lands. *Journal of Ecological Engineering*. 2018, vol. 19, no. 6, pp. 97–103. DOI: 10.12911/22998993/93511.

40. Demakov V. A., Maksimov A. Yu., Maksimova Yu. G., Khalitova A. I., Shilova A. V., Litasova A. S., Pavlova Yu. A., Kozlov S. V., Ovechkina G. V. Studying the processes of microbial metabolism of organic nitro compounds and developing an effective biocatalyst for their biotransformation and biodegradation. *Perm Federal Research Centre Journal*. 2020, no. 2, pp. 23–35. [In Russ]. DOI: 10.7242/2658-705X/2020.2.3.

41. Sozina I. D., Danilov A. S. Microbiological remediation of oil-contaminated soils. *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 260, pp. 297 – 312. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2023.8.
42. Saratovskikh E. A., Shcherbakova V. A., Yarullin R. N. Destruction of nitrated cellulose by *Fusarium solani* fungi. *Applied biochemistry and microbiology*. 2018, vol. 54, no. 1, pp. 55 – 62. [In Russ]. DOI: 10.7868/S0555109918010075.
43. Zabokritskiy A. A., Savinykh D. Yu. Study of a complex of physico-chemical and biotechnological parameters providing optimal conditions for biological destruction of nitrocellulose. *Woodworking industry*. 2018, no. 4, pp. 90 – 94. [In Russ].
44. Pankratov A. A., Cherenkov P. G., Lifshits A. B. Science and industry: experience of interaction in solving problems of chemical safety. *Chemical Safety Science*. 2017, vol. 1, no. 1, pp. 238 – 255. [In Russ]. DOI: 10.25514/CHS.2017.1.11448.
45. Gladchenko M. A., Gaydamaka S. N., Murygina V. P., Livshits A. B., Cherenkov P. G. Investigation of the process of solid-phase aerobic fermentation of nitrocellulose-containing sewage sludge by laboratory modeling. *Khimicheskaya fizika*. 2015, vol. 34, no. 6, pp. 30 – 37. [In Russ]. DOI: 10.7868/S0207401X15060047.
46. Gladchenko M. A., Rogozin A. D., Cherenkov P. G., Murygina V. P., Gaydamaka S. N., Lifshits A. B. Regulation of physico-chemical and biotechnological parameters of the process of liquid-phase aerobic degradation of nitrocellulose-containing sewage sludge. *Khimicheskaya fizika*. 2016, vol. 35, no. 6, pp. 78 – 84. [In Russ]. DOI: 10.7868/S0207401X16060054.
47. Bhanot P., Celin S. M., Sreerishnan T. R., Kalsi A., Sahai S. K., Sharma P. Application of integrated treatment strategies for explosive industry wastewater – A critical review. *Journal of Water Process Engineering*. 2020, vol. 35, article 101232. DOI: 10.1016/j.jwpe.2020.101232.
48. Kulikov A. V., Yarullin R. N., Supyrev A. V., Sidorov M. I., Emel'yanov I. A. Patent RU 2015123264, 16.06.2015. [In Russ].
49. Semenov V. M. Carbon functions in mineralization-immobilization nitrogen turnover in soil. *Agricultural Chemistry*. 2020, no. 6, pp. 78 – 96. [In Russ]. DOI: 10.31857/S0002188120060101.
50. Hodson M. E., Mahmuda Islam, Matty Metcalf, Amy C. M. Wright Amendments of waste ochre from former coal mines can potentially be used to increase soil carbon persistence. *Applied Geochemistry*. 2023, vol. 151, article 105618. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2023.105618.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пашкевич Мария Анатольевна¹ – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: mpash@spmi.ru, ORCID ID: 0000-0001-7020-8219,

Патокин Дмитрий Александрович¹ – аспирант, e-mail: s225014@stud.spmi.ru, ORCID ID: 0009-0003-8098-4344,

¹ Санкт-Петербургский горный университет.

Для контактов: Патокин Д.А., e-mail: s225014@stud.spmi.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

M.A. Pashkevich¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Chair, e-mail: mpash@spmi.ru, ORCID ID: 0000-0001-7020-8219,

D.A. Patokin¹, Graduate Student, e-mail: s225014@stud.spmi.ru, ORCID ID: 0009-0003-8098-4344,

¹ Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

Corresponding author: D.A. Patokin, e-mail: s225014@stud.spmi.ru.

Получена редакцией 02.05.2023; получена после рецензии 08.06.2023; принята к печати 10.08.2023.

Received by the editors 02.05.2023; received after the review 08.06.2023; accepted for printing 10.08.2023.