

Анализ перспектив использования торфяных почвоулучшителей для рекультивации нарушенных земель

А.В. Михайлов, В.Ю. Пиирайнен, Е.М. Боброва✉, А.И. Смирнов

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ bobr2502@gmail.com

Резюме: Одним из способов снижения негативного воздействия добычи полезных ископаемых на окружающую среду является рекультивация нарушенных земель. Неиспользованные вскрышные и вмещающие породы складированы преимущественно во внешних отвалах и занимают значительные территории, являясь источником такого негативного воздействия, как эмиссия загрязняющих веществ, развитие эрозии и самовозгорания. Использование традиционных методов биологической рекультивации земель путем покрытия отвальной поверхности плодородным почвенным слоем или потенциально плодородными породами требует значительных затрат и не всегда осуществимо на практике. Особое значение приобретают исследования, направленные на разработку экономически целесообразных способов восстановления биологической продуктивности почв нарушенных площадей, исключающих выполнение этих трудоемких операций. Проведён анализ торфяных ресурсов и свойств торфяного сырья для производства почвоулучшителей. Благодаря своим функциональным свойствам, низкой стоимости и широкой распространённости торф как сырьё имеет высокий потенциал для производства почвоулучшителей с замедленным высвобождением питательных веществ для рекультивации земель, нарушенных горнодобывающей промышленностью.

Ключевые слова: горная промышленность, нарушенные земли, рекультивация, торфяные ресурсы, торфяное сырьё, торфяной почвоулучшитель

Для цитирования: Михайлов А.В., Пиирайнен В.Ю., Боброва Е.М., Смирнов А.И. Анализ перспектив использования торфяных почвоулучшителей для рекультивации нарушенных земель. *Горная промышленность*. 2025;(2):124–130. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-2-124-130>

Analysis of the prospects to use peat-based soil conditioners for reclamation of disturbed lands

A.V. Mikhailov, V.Yu. Piirainen, E.M. Bobrova✉, A.I. Smirnov

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation

✉ bobr2502@gmail.com

Abstract: One of the ways to reduce the negative impact of mining on the environment is reclamation of the disturbed lands. Unused overburden and host rocks are stored mainly in external dumps and occupy significant territories, being a source of such negative effects as emission of pollutants, development of erosion and spontaneous combustion. The use of traditional methods of biological land reclamation by covering the dump surface with a layer of fertile soil or potentially fertile rocks requires significant costs and is not always feasible in practice. The studies that aim at developing economically feasible ways to restore the biological productivity of soils in disturbed areas and help to avoid these labor-intensive operations are of particular importance. An analysis of peat resources and properties of peat raw materials has been carried out for production of soil conditioners. Due to its functional properties, low cost and widespread availability, peat as a raw material has a high potential for manufacturing soil conditioners characterized with a slow release of nutrients for the reclamation of land disturbed by mining activities.

Keywords: mining, disturbed lands, reclamation, peat resources, peat raw materials, peat-based soil conditioners

For citation: Mikhailov A.V., Piirainen V.Yu., Bobrova E.M., Smirnov A.I. Analysis of the prospects to use peat-based soil conditioners for reclamation of disturbed lands. *Russian Mining Industry*. 2025;(2):124–130. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-2-124-130>

Введение

Проблемы состояния земель и природной среды в горнодобывающей отрасли связаны с устойчивым развитием промышленности и общества. Рекультивация нарушенных земель и их восстановление – эффективный способ экономного использования земельных ресурсов [1]. Одним из способов ограничения негативного воздействия добычи полезных ископаемых на окружающую среду является рекультивация нарушенных земель, благодаря которой площади, преобразованные горнодобывающей деятельностью, восстанавливаются до их полезной или природной ценности [2].

Наиболее заметными природными последствиями открытой добычи в окружающей среде являются крупные выемки, остающиеся после разработки песка, гравия, известняка, бурого и каменного угля. Отвалы угольных шахт являются следствием подземной добычи полезных ископаемых. При этом разрушение почвенного покрова и растительности не позволяет напрямую использовать землю для сельскохозяйственного, лесохозяйственного и водохозяйственного назначения [3]. Наиболее широко проводится рекультивация нарушенных земель для лесохозяйственного использования [4].

До сих пор доминирующим способом обращения с отходами минерально-сырьевого комплекса является их наземное складирование. При добыче полезных ископаемых образуются хвостохранилища, которые могут занимать огромные площади и относятся к числу наиболее опасных и долговременных техногенных образований [5–7]. В результате их создания продуктивные экосистемы превращаются в деградирующие ландшафты, что приводит к потере среды обитания диких животных, нарушению круговорота питательных веществ и связыванию углерода [8; 9]. По оценкам, производство хвостов шахт составляет более 10 млрд т в год, и такое огромное количество хвостов представляет потенциальную угрозу для окружающей среды [10].

Усилия горнодобывающей промышленности по рекультивации направлены на смягчение техногенных последствий путем ускорения колонизации растений на хвостохранилищах. Восстановление природных функций является сложной задачей, поскольку колонизация ограничена рядом факторов, включая уплотнение почвы, низкое содержание органического вещества в почве, эрозию почвы, а также низкую доступность питательных веществ и низкую водоудерживающую способность отходов [11; 12].

Площади земель, нарушенных горными работами, ежегодно увеличиваются. В 2022 г. площадь нарушенных земель в России составила 1096,8 тыс. га, что на 4,5 тыс. га больше, чем в 2021 г. Наибольшая часть нарушенных земель – 455,9 тыс. га – относится к категории земель промышленного и иного назначения. Согласно оценкам, приведенным в Государственном отчете¹, в 2022 г. рекультивировано 2,3% от годовой нарушенности земель, что на 1,9% меньше, чем в 2021 г. В целом за последние десять лет наметилась тенденция к увеличению нарушенности земель в большей степени на промышленных территориях.

В стратегических документах по развитию горной отрасли ведущих мировых стран поставлена очень сложная задача – довести уровень рекультивации нарушенных земель к 2030 г. до 90–100% от годовой нарушенности [13; 14].

Учитывая чрезвычайно медленные темпы почвообразования, когда физические, биологические и химические свойства почв начинают ухудшаться, скорость их естественного восстановления становится практически недостижимой. В целях восстановления территорий, подверженных опустыниванию, эрозии, техногенному воздействию и другим факторам, необходимо увеличивать темпы рекультивации нарушенных земель за счет применения новых эффективных технологий.

Грунт отвалных пород, как правило, характеризуется высокой каменистостью, незначительным содержанием мелкоземных фракций и очень низкой биологической активностью, что ухудшает условия развития корневой системы растений и существенно затрудняет проведение рекультивационных мероприятий [15]. Необходим поиск малозатратных способов восстановления биологической продуктивности нарушенных земель без традиционного нанесения на рекультивируемую поверхность дорогостоящего плодородного почвенного слоя [16].

Согласно национальному стандарту РФ ГОСТ Р 59057–2020 восстановлению в обязательном порядке подлежат нарушенные земли. Работы по рекультивации земель выполняют последовательно, и они включают в себя подготовительный, технический и биологические этапы. Общие требования стандарта способствуют осуществлению проектов по рекультивации. Рекультивацию нарушенных земель проводят собственники земельных участков, землепользователи, землевладельцы, арендаторы, обладатели сервитута. Технические мероприятия могут предусматривать планировку, формирование откосов, нанесение плодородного слоя почвы. Однако снятие и транспортирование плодородного слоя почвы, его складирование и хранение не приводят к желаемому результату по причине деструкции снятой почвы при хранении. Нанесение плодородного слоя почвы на рекультивируемые территории также невозможно ввиду отсутствия плодородной почвы в достаточном количестве вблизи рекультивируемых участков. Следует проводить интенсивное мелиоративное воздействие при помощи почвоулучшителей с выращиванием однолетних, многолетних злаковых и бобовых культур для восстановления и формирования корнеобитаемого слоя и его обогащения органическими веществами при применении специальных агрохимических, агротехнических, агролесомелиоративных, инженерных и противозерозионных мероприятий.

Использование традиционных методов биологической рекультивации путем покрытия отвалной поверхности плодородным почвенным слоем или потенциально плодородными породами требует значительных затрат. Поэтому особое значение приобретают исследования, направленные на разработку экономически целесообразных способов восстановления биологической продуктивности почв нарушенных земель, исключающих выполнение этих трудоемких операций [17].

Реконструкция почвенной среды в основном основана на использовании функциональных материалов, которые могут улучшить питательные вещества почвы, повысить рост растений [18]. Это может включать создание среды для поддержки роста растительности путем восстановления почвенного покрова, существовавшего до начала разработки, что способствует самодостаточному росту местной растительности [12].

В настоящее время рекультивация деградированных земель осуществляется по традиционной технологии,

¹ О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова; 2023. 686 с.

закрывающейся в технической подготовке нарушенной территории, нанесении на поверхность почвенно-растительного покрова или потенциально плодородной почвы, проведении необходимого комплекса агрохимических мероприятий, посадке трав, кустарников и древесных культур. Традиционная технология имеет ряд недостатков, из которых основным является невозможность регулярно внесения плодородного слоя на нарушенные земли.

Основная цель рационального подхода – быстрое создание очагов плодородного слоя на нарушенных землях с формированием растительности [17]. Известно, что важнейшим приемом повышения плодородия бедных почв, позволяющим улучшить их физические, водно-физические и агрохимические свойства, является внесение органических удобрений [5].

Цель данной обзорной статьи – раскрыть возможности применения торфяных почвоулучшителей исходя из их физико-механических свойств, уделяя особое внимание их комплексным свойствам в качестве органических или органоминеральных композиций для улучшения земель, нарушенных горнодобывающей промышленностью.

Ресурсный потенциал торфа

Торфяные месторождения занимают значительные пространства на планете, и основная их часть сосредоточена в Северном полушарии, где существовали благоприятные условия для торфообразования [19]. Торф – медленно возобновляемый природный ресурс органогенного происхождения. Площадь торфяных месторождений оценивается примерно в 4,23 млн км², что составляет примерно 2,84% площади суши. Большинство торфяных месторождений в мире расположено в Азии (38,4%) и Северной Америке (31,6%). Европа располагает 12,5%, Южная Америка (11,5%), Африка (4,4%), Австралия и Океания (1,6%) [20].

Торфяные ресурсы разведаны в более чем 60 субъектах Российской Федерации и составляют 32,28% от глобального распределения торфяных месторождений. Наиболее крупные запасы торфа приходятся на Западную Сибирь (70%) [13]. Балансовые запасы торфа месторождений Северо-Западного федерального округа (СЗФО) составляют 25,2% от общероссийских балансовых запасов торфа, 46,2% из них оценены по категориям А+В. [21]. Государственным балансом на 01.01.2019 г. по СЗФО учтено 5780 месторождений торфа. Запасы по категориям А+В+С1 составляют 6, 425 млн т (34,5 % от запасов РФ), кат. С2 – 1,351 млн т².

Торфяная продукция для рекультивации земель

Расширение производства и применения сложных гранулированных органоминеральных удобрений на основе торфа является перспективной для защиты окружающей среды. Использование только минеральных удобрений, как известно, имеет существенные экологические и агрономические недостатки, так как в больших дозах они подавляют биоту почвы, оказывают стрессовое воздействие на растения; загрязняют грунтовые воды и сельскохозяйственную продукцию; переводят почвенный перегной в водорастворимое состояние и уничтожают агрономически ценные почвенные агрегаты. Это приводит к снижению проницаемости, ухудшению водно-воздушного режима и возникновению набухания почвы [22].

Ценность торфа во многом определяется его органической частью, которая состоит из растительных остатков и продуктов их деструкции, высоким содержанием органического вещества (65–90%) и большой емкостью поглощения, содержит 1,5–3,5% азота (на сухое вещество), макро- и микроэлементы, необходимые для жизнедеятельности растений. Органическое вещество торфа наполовину представлено гуминовыми кислотами и углеводным комплексом, который, в свою очередь, может служить энергетическим материалом для почвенных микроорганизмов. Это является предопределяющим фактором торфяного сырья для производства почвоулучшителей по ГОСТ Р 51661.3–2000. Торф для улучшения почвы [23; 24].

На долю гуминовых веществ приходится от 20 до 70% органической части торфа. Установлено, что гуминовые вещества обладают большим спектром биологических свойств, кроме этого, гуминовые вещества довольно быстро включаются в процессы метаболизма растений за счет участия функциональных групп в природных реакциях окислительно-восстановительного характера и кислотно-основного обмена, что ускоряет развитие корневой системы, повышает устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды [25; 26].

Углеводный комплекс торфа представлен водорастворимыми, легкогидролизуемыми веществами, целлюлозой и лигнином [27].

Роль гуминовых веществ при почвообразовании: [27].

- в гуминовых веществах находится основная часть азота торфа (более 50%);

- гуминовые вещества во многом определяют величину почвенно-поглощающего комплекса благодаря наличию большого количества функциональных групп;

- гуминовые вещества обладают структурообразующими свойствами благодаря склеивающему действию гуматов Са и Mg;

- гуминовые вещества являются стимуляторами роста растений, усиливают развитие корневой системы, способствуя более полному использованию элементов питания растений при нарушении режима поступления питательных веществ (засуха).

Защитное действие гуминовых веществ проявляется в том, что гуматы связывают многие неорганические и органические вещества в мало- и нерастворимые соединения, препятствуя их поступлению из почвы в растения, тем самым ослабляя токсичное воздействие загрязняющих почву тяжелых металлов, радионуклидов, что особенно актуально для нарушенных земель. Значительно снижаются подвижные части тяжелых металлов при увеличении их неподвижных долей [28].

Лигнин торфа является биоразлагаемым хелатирующим агентом, уменьшающим выщелачивание железа и цинка [29], и значительно снижает скорость высвобождения питательных веществ из почвоулучшителей на основе торфа [30].

Проблеме почвы уделяется все больше внимания. Например, китайское правительство продолжает осуществлять проекты восстановления почв, улучшения системы веществ, интеграцию удобрений. Профессор Meng Xianmin прогнозирует увеличение спроса на торфяные почвоулучшители, который вырастет до примерно 100 млн м³ к 2030 г. Для восстановления нарушенных земель Китая требуется 163 млн м³ торфяного почвенного кондиционера [31].

По мнению компании Klasmann-Deilmann GmbH, торф

² Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Северо-Западного федерального округа на 15.06.2020 г. Режим доступа: <https://rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202011/181c3e17a47f5fd9a3fb82773e1669ab6.pdf> (дата обращения 12.10.2024)

Таблица 1
Ключевые характеристики питательных сред

Table 1
Key characteristics of the nutrient media

Физические	Химические	Биологические	Экономические
Структура и структурная стабильность	pH	Отсутствие сорняков и их семян	Доступность
Влагоемкость	Питательные вещества	Отсутствие патогенов	Постоянство качества
Воздухоёмкость	Органические вещества	Отсутствие вредителей	Агротехнологии
Насыпная плотность	Отсутствие вредных веществ	Активность микроорганизмов	Требования к растениям
Смачиваемость	Буферная способность	Срок хранения	Стоимость

Источник: [32].
Source: [32].



Рис. 1
Образцы торфяного почвоулучшителя: рассыпной – а; полученные методами экструзии – б и окатывания – в

Fig. 1
Samples of the peat soil conditioner: loose (a); extruded (б) and pelletized (в)

– самый эффективный компонент композиций для органических удобрений³. С сегодняшней точки зрения нет никаких всеобъемлющих альтернатив торфу, которые обеспечивали бы сохранение свойств почвоулучшителя без ущерба для качества. Основываясь на анализе ключевых свойств, которыми должна обладать среда для выращивания растений, G. Schmilewski [32] пришел к выводу, что торфяной почвенный кондиционер является наиболее надежной средой с точки зрения контроля этих свойств. После механохимической обработки торфяное сырье приобретает особые физические, химические, биологические свойства и экономические характеристики (табл. 1).

Плодородие почв определяет их способность удовлетворять потребность растений в воде и элементах питания, а их корневых систем – в достаточном количестве тепла и воздуха, благоприятной физико-химической и микробиологической среде [33]. Внесение торфяного почвоулучшителя увеличивает содержание органического вещества, улучшает структуру и свойства почвы.

В процессе производства гранулированных торфяных почвоулучшителей можно в широком диапазоне регулировать pH, добавлять точные количества основных и второстепенных питательных веществ и микроэлементов, изменять размер гранул, утилизировать ряд отходов производства и пр. [34; 35].

Замечено, что растения особенно заметно реагируют на воздействие гуматов в начале своего развития: повышается энергия и скорость прорастания семян, активизируется образование корней проростков, что обеспечивает ускоренное развитие растений и повышенную устойчивость

к неблагоприятным условиям среды [19]. Свойства и ботанический состав торфяного почвоулучшителя сохраняются в деятельном слое почвы в течение как минимум 5 лет после внесения в грунт.

Общий размер рынка торфяных удобрений оценивается в 3,97 млрд долл. в 2024 г. и ожидается, что к 2032 г. он составит 5,68 млрд долл. Основные направления развития рынка органических удобрений – сухие композиции с содержанием органического вещества более 60% с разной формой продукта (рис. 1).

Технология производства и применения торфяных почвоулучшителей является устойчивой, чистой и не загрязняющей окружающую среду. По сравнению с традиционными методами она отличается большим количеством ресурсов, упрощенным инженерным обеспечением при производстве и внесении, быстрым восстановлением растительного слоя на нарушенной территории [36].

Преимуществом торфяного почвоулучшителя в гранулированном виде являются его высокие эксплуатационные свойства: прочность, сыпучесть, неслеживаемость, малая крошимость. Положительные особенности почвоулучшителя на основе торфяного сырья определяют предпосылки его использования для рекультивации нарушенных территорий для широкого диапазона грунтов и растений. При этом в гранулированном виде композиция способствует механизации при внесении и пролонгированному действию в грунте.

Заключение

Решение природоохранных проблем горной промышленности, сложившихся в последние годы в сфере охраны окружающей среды, и увеличение темпов рекультивации нарушенных земель могут быть достигнуты за счет раз-

³ The use of peat in commercial horticulture. Facts and figures. 2020. Available at: https://klasmann-deilmann.com/wp-content/uploads/KD_Brochure_use_of_peat_facts_and_figures_01.2020.pdf (accessed: 10.10.2024).

работки и внедрения в производство новых экономически эффективных технологий и материалов для рекультивации нарушенных земель.

Следует отметить широкое распространение торфяных ресурсов, которые не конкурируют с другими областями, а природоохранные методы добычи торфяного сырья и производство торфяных гранулированных почвоулучшителей в заводских условиях не требуют высоких инвестиционных затрат и не потребляют большого количества энергии и химических компонентов.

Результаты, полученные в этом исследовании, показывают, что восстановление растительности на нарушенных землях с помощью гранулированного почвоулучшителя на основе торфяного сырья является одним из эффектив-

ных средств восстановления плодородия почвы за счет поступления органических веществ в почву, доступных питательных веществ, повышения биологической активности и улучшения физического состояния почвы.

Органический комплекс демонстрирует значительный потенциал в улучшении высвобождения питательных веществ и снижении воздействия на окружающую среду по сравнению с традиционными минеральными удобрениями. Отличаясь широкой распространенностью, своими функциональными свойствами, низкой стоимостью, торф как исходное сырье имеет хороший потенциал для производства почвоулучшителей с замедленным высвобождением питательных веществ.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Список литературы / References

- Hu Z., Wanh P., Li J. Ecological restoration of abandoned mine land in China. *Journal of Resources and Ecology*. 2012;3(4):289–296. <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2012.04.001>
- Abramowicz A., Rahmonov O., Chybiorz R. Environmental management and landscape transformation on self-heating coal-waste dumps in the upper Silesian coal basin. *Land*. 2021;10(1):23. <https://doi.org/10.3390/land10010023>
- Rahmonov O., Rózkowski J., Klys G. The managing and restoring of degraded land in post-mining areas. *Land*. 2022;11(2):269. <https://doi.org/10.3390/land11020269>
- Hu Z., Liu S., Gong Y. Evaluation of soil quality and maize growth in different profiles of reclaimed land with coal gangue filling. *Land*. 2021;10(12):1307. <https://doi.org/10.3390/land10121307>
- Young I., Renault S., Markham J. Low levels organic amendments improve fertility and plant cover on non-acid generating gold mine tailings. *Ecological Engineering*. 2015;74:250–257. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.10.026>
- Волохов Е.М., Кожухарова В.К., Бритвин И.А., Савков Б.М., Жерлыгина Е.С. Проблема оценки влияния горных работ на объекты наземной инфраструктуры. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(8):72–93. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_8_0_72
Volohov E.M., Kozhukharova V.K., Britvin I.A., Savkov B.M., Zherlygina E.S. Assessment of impact of mining operations on surface infrastructure. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(8):72–93. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_8_0_72
- Пирирайнен В.Ю., Михайлов А.В., Баринков В.М., Старовойтов В.Н. Применение шламово-торфяной композиции для переработки отходов глиноземного производства. *Обогащение руд*. 2022;(6):51–58. <https://doi.org/10.17580/or.2022.06.09>
Pirainen V.Yu., Mikhailov A.V., Barinkov V.M., Starovoitov V.N. The use of sludge-peat composition for the processing of alumina production waste. *Obogashchenie Rud*. 2022;(6):51–58. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/or.2022.06.09>
- Gagnon A., Fenton N.J., Sirois P., Boucher J.-F. Plant community diversity at two reclaimed mine tailing storage facilities in Québec, Canada. *Land*. 2021;10(11):1191. <https://doi.org/10.3390/land10111191>
- Пашкевич М. А., Куликова Ю. А. Мониторинг и оценка негативного воздействия техногенных массивов минерально-сырьевого комплекса. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(9-1):231–247. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_91_0_231
Pashkevich M.A., Kulikova Yu.A. Monitoring and assessment of the negative impact of technogenic massives of the mineral and raw complex. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(9-1):231–247. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_91_0_231
- Xie L., van Zyl D. Distinguishing reclamation, revegetation and phytoremediation, and the importance of geochemical processes in the reclamation of sulfidic mine tailings: A review. *Chemosphere*. 2020;252:126446. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126446>
- Gardner W.C., Anne Naeth M., Broersma K., Chanasyk D.S., Jobson A.M. Influence of biosolids and fertilizer amendments on element concentrations and revegetation of copper mine tailings. *Canadian Journal of Soil Science*. 2012;92(1):89–102. <https://doi.org/10.4141/cjss2011-005>
- Mikhailov A. Reclamation of mine tailings using natural peat. In: Hu Z. (ed.). *Legislation, Technology and Practice of Mine Land Reclamation: Proceedings of the Beijing International Symposium Land Reclamation and Ecological Restoration, LRER 2014, Beijing, China, 16–19 October 2014*. CRC Press; 2014, pp. 363–369.

13. Litvinenko V.S., Dvoynikov M.V., Trushko V.L. Elaboration of a conceptual solution for the development of the Arctic shelf from seasonally flooded coastal areas. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2022;32(1):113–119. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2021.09.010>
14. Литвиненко В.С., Петров Е.И., Василевская Д.В., Яковенко А.В., Наумов И.А., Ратников М.А. Оценка роли государства в управлении минеральными ресурсами. *Записки Горного института*. 2023;259:95–111. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.100>
Litvinenko V.S., Petrov E.I., Vasilevskaya D.V., Yakovenko A.V., Naumov I.A., Ratnikov M.A. Assessment of the role of the state in the management of mineral resources. *Journal of Mining Institute*. 2023;259:95–111. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.100>
15. Pikon K. Recultivation of mining waste dumps – environmental aspects. In: *8th International Scientific Conference of Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, Albena, Bulgaria, June 16–20, 2008*. Curran Associates, Inc.; 2008. Part 1, pp. 773–780.
16. Середина В.П., Андроханов В.А., Алексеева Т.П., Сысоева Л.Н., Бурмистрова Т.И., Трунова Н.М. Экологические аспекты биологической рекультивации почв техногенных экосистем Кузбасса. *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2008;(2):61–72. Режим доступа: https://journals.tsu.ru/biology/&journal_page=archive&id=742&article_id=17195 (дата обращения: 02.02.2025).
Seredina V.P., Androhanov V.A., Alekseeva T.P., Sysoeva L.N., Burmistrova T.I., Trunova N.M. Ecological aspects of biological recultivation soil of Kuzbass technogenic ecosystem. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2008;(2):61–72. (In Russ.) Available at: https://journals.tsu.ru/biology/&journal_page=archive&id=742&article_id=17195 (accessed: 02.02.2025).
17. Макеева Н.А., Неверова О.А. Обзор методов ускоренной рекультивации нарушенных угледобычей земель. *Вестник КрасГАУ*. 2016;(8):77–86. Режим доступа: <https://kgau.editorum.ru/ru/nauka/article/79448/view> (дата обращения: 02.02.2025).
Makeeva N.A., Neverova O.A. The review of methods of the accelerated recultivation of the lands broken by coal mining. *Bulletin of KSAU*. 2016;(8):77–86. (In Russ.) Available at: <https://kgau.editorum.ru/ru/nauka/article/79448/view> (accessed: 02.02.2025).
18. Zhao Y., Chai L.J., Chen J., Wang X.M. Technology and application for ecological rehabilitation on self-maintaining vegetation restoration. In: Hu Z. (ed.). *Land Reclamation in Ecological Fragile Areas: Proceedings of the 2nd International Symposium on Land Reclamation and Ecological Restoration (LRER 2017), Beijing, PR China, October 20–23, 2017*. London: CRC Press; 2017. Part 3, pp. 255–261.
19. Томсон А.Э., Наумова Г.В. *Торф и продукты его переработки*. Минск: Беларус. навука; 2009. 328 с.
20. Xu J., Morris P.J., Liu J., Holden J. PEATMAP: Refining estimates of global peatland distribution based on a meta-analysis. *Catena*. 2018;160:134–140. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.09.010>
21. Мякотных А.А., Иванова П.В., Иванов С.Л. К вопросу классификации комплексов добычи торфяного сырья. *Горная промышленность*. 2023;(6):137–142. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-137-142>
Myakotnykh A.A., Ivanova P.V., Ivanov S.L. On classification of peat extraction complexes. *Russian Mining Industry*. 2023;(6):137–142. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-137-142>
22. Vambalov N., Clarke D., Tomson A., Sokolov G. The use of peat as a raw material for chemistry today and in the future. In: *After Wise Use – The Future of Peatlands, Proceedings of the 13th International Peat Congress: Chemical, Physical and Biological Characteristics of Peat, Tullamore, Ireland, 8–13 June 2008*, pp. 316–319. Available at: <https://peatlands.org/document/the-use-of-peat-as-a-raw-material-for-chemisry-today-and-in-the-future/> (accessed: 02.02.2025).
23. Петрова Т.А., Рудзиш Э. Виды мелиорантов для рекультивации техногенно нарушенных территорий горной промышленности. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(4):100–112. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_4_0_100
Petrova T.A., Rudzish E. Types of soil improvers for reclamation of mining-disturbed lands. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(4):100–112. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_4_0_100
24. Петрова Т.А., Рудзиш Э. Рекультивация техногенно-нарушенных земель с применением осадков сточных вод в качестве мелиорантов. *Записки Горного института*. 2021;251:767–776. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.5.16>
Petrova T.A., Rudzisha E. Utilization of sewage sludge as an ameliorant for reclamation of technogenically disturbed lands. *Journal of Mining Institute*. 2021;251:767–776. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.5.16>
25. Броварова О.В., Броварова Д.А. Гуминовые вещества торфа. свойства и биологическая активность. *Химия растительного сырья*. 2023;(2):301–309. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230211727>
Brovarova O.V., Brovarova D.A. Humic substances of peat. Properties and biological activity. *Chemistry of Plant Raw Material*. 2023;(2):301–309. (In Russ.) <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230211727>
26. Линкевич Е.В. Органическое вещество торфа и оценка его биодоступности. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2023;(3):278–281. Режим доступа: https://mshj.ru/wp-content/uploads/2023/07/MSHJ_2023-3_text_p_278-281.pdf (дата обращения: 02.02.2025).
Linkevich E.V. Peat organic matter and assessment of its bioavailability. *International Agricultural Journal*. 2023;(3):278–281. (In Russ.) Available at: https://mshj.ru/wp-content/uploads/2023/07/MSHJ_2023-3_text_p_278-281.pdf (accessed: 02.02.2025).
27. Крупнов Р.А., Базин Е.Т., Попов М.В. *Использование торфа и торфяных месторождений в народном хозяйстве*. М.: Недра; 1992. 232 с.
28. Kremcheev E.A., Nagornov D.O., Kremcheeva D.A. Changing hydraulic conductivity after rupturing native structure of peat under limited evaporation conditions. In: Frank-Kamenetskaya O., Vlasov D., Panova E., Lessovaia S. (eds) *Processes and Phenomena on the Boundary Between Biogenic and Abiogenic Nature*. Springer, Cham.; 2020, pp. 233–256. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21614-6_14

29. Утенкова Т.Г., Кремчев Э.А., Нагорнов Д.О., Иванов С.Л. Механическое обезвоживание сапропеля в технологии его маломасштабной добычи. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2023;15(2):308–316.
Utenkova T.G., Kremcheev E.A., Nagornov D.O., Ivanov S.L. Mechanical dewatering of sapropel in its small-scale mining technology. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;15(2):308–316. (In Russ.)
30. Fertahi S., Bertrand I., Amjoud M., Oukarroum A., Arji M., Barakat A. Properties of coated slow-release triple superphosphate (TSP) fertilizers based on lignin and carrageenan formulations. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2019;7(12):10371–10382, <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b00433>
31. Xianmin M. China: the next huge peat and growing media market in the world. In: *Proceedings of the 15th International PEAT Congress (IPC 2016), Kuching, Malaysia, 15–19 August 2016*. Kuching: Curran Associates, Inc.; 2016, pp. 51–54. Available at: <https://peatlands.org/assets/uploads/2019/06/ipc16p51-54a085meng.pdf> (accessed: 12.10.2024).
32. Schmilewski G. The role of peat in assuring the quality of growing media. *Mires & Peat*. 2008;3:1–8.
33. Ефимов В.Н. (ред.) *Торф в сельском хозяйства Нечерноземной зоны*. Л.: Агропромиздат; Ленингр. отделение; 1987. 302 с.
34. Barrett G.E., Alexander P.D., Robinson J.S., Bragg N.C. Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems – A review. *Scientia Horticulturae*. 2016;212:220–234. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.030>
35. Халифа А.А., Бажин В.Ю., Устинова Я.В., Шалаби М.Э. Изучение особенностей кинетики процесса получения окатышей из красного шлама в потоке водорода. *Записки Горного института*. 2022;254:261–270. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.18>
Khalifa A.A., Bazhin V.Y., Ustinova Y.V., Shalabi M.E. Study of the kinetics of the process of producing pellets from red mud in a hydrogen flow. *Journal of Mining Institute*. 2022;254:261–270. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.18>
36. Liu C., Lin H., He P., Li X., Geng Y., Tuerhong A., Dong Y. Peat and bentonite amendments assisted soilless revegetation of oligotrophic and heavy metal contaminated nonferrous metallic tailing. *Chemosphere*. 2022;287(1):132101. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132101>

Информация об авторах

Михайлов Александр Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-0516-7737>; e-mail: Mikhaylov_AV@pers.spmi.ru

Пиирайнен Виктор Юрьевич – доктор технических наук, профессор кафедры материаловедения и технологии художественных изделий, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-5767-3765>; e-mail: piraynen@gmail.com

Боброва Евгения Михайловна – аспирант кафедры материаловедения и технологии художественных изделий, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0005-5005-5565>; e-mail: bobr2502@gmail.com

Смирнов Андрей Игоревич – аспирант кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0004-5609-9246>; e-mail: a.s.555@inbox.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 30.01.2025

Поступила после рецензирования: 03.03.2025

Принята к публикации: 13.03.2025

Information about the authors

Aleksandr V. Mikhailov – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-0516-7737>; e-mail: Mikhaylov_AV@pers.spmi.ru

Viktor Yu. Piirainen – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Materials Science and Technology of Art Products, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-5767-3765>; e-mail: piraynen@gmail.com

Evgenia M. Bobrova – Postgraduate Student of the department of Materials Science and Technology of Art Products, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0005-5005-5565>; e-mail: bobr2502@gmail.com

Andrey I. Smirnov – Postgraduate Student of the Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0004-5609-9246>; e-mail: a.s.555@inbox.ru

Article info

Received: 30.01.2025

Revised: 03.03.2025

Accepted: 13.03.2025