

# Гранулирование торфяного улучшителя почвы для рекультивации утраченных земель

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

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация  
✉ bobr2502@gmail.com

**Резюме:** Для рекультивации нарушенных земель с целью их восстановления и дальнейшего хозяйственного использования после техногенного воздействия требуются такие организационно-технические решения, которые способны восстановить их плодородие. В качестве одного из таких решений рассматривается применение торфяных почвоулучшителей, вносимых в грунт в гранулированном виде. Данный способ хорошо зарекомендовал себя в аграрном секторе, где механизация внесения удобрений в почву, их хранение и транспортировка являются ключевыми вопросами, определяющими эффективность сельскохозяйственного производства. Особенно перспективным представляется применение гранул на бедных грунтах, в борьбе с опустыниванием, которое угрожающими темпами продвигается по планете и является результатом не только природного, но и техногенного воздействия на климат Земли. В работе показано, что даже на песчаных грунтах при внесении гранулированного почвоулучшителя наблюдается хорошее снабжение корневой системы растений водой. А высокие показатели механической прочности и крошимости гранул позволяют говорить о возможности механизированного внесения почвоулучшителя в грунты различного типа. Сравнительный анализ результатов вегетационных испытаний на всхожесть горчицы белой при внесении торфяного почвоулучшителя в грунт в рассыпчатом и гранулированном виде показал однозначное превосходство второго. Полученные в результате настоящего исследования данные подтверждают преимущества гранулированного внесения в почву торфяного мелиоранта при восстановлении утраченных земель, что имеет важное значение для дальнейших шагов по разработке технологий восстановления конкретных видов почв нарушенных территорий.

**Ключевые слова:** мелиорация земель, нарушенные территории, почвоулучшитель, бедные субстраты, рекультивация, торфяные гранулированные материалы

**Для цитирования:** Михайлов А.В., Пиирайнен В.Ю., Боброва Е.М. Гранулирование торфяного улучшителя почвы для рекультивации утраченных земель. *Горная промышленность*. 2026;(2):169–175. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-2-169-175>

## Pelletizing of peat soil amendment for reclamation of disturbed lands

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

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation  
✉ bobr2502@gmail.com

**Abstract:** Reclamation of disturbed lands with the aim of their restoration and subsequent practical use after man-made impact requires managerial and engineering solutions capable of restoring their fertility. One of such solutions under consideration is the use of peat soil amendments introduced into the ground in pelletized form. This method proved itself in the agricultural sector, where mechanization of fertilizer application, their storage, and transportation are key issues determining the efficiency of agricultural production. Application of the pellets appears particularly promising on poor soils, in desertification control as deserts are advancing across the planet at an alarming rate which are a result of not only natural but also man-made impacts on the Earth's climate. The study demonstrates that application of pelletized soil amendment even on sandy soils provides good water supply to the plant root system. Furthermore, advanced mechanical strength and friability of the pellets confirm the feasibility of mechanized application of the soil amendment to various soil types. A comparative analysis of the results from vegetation tests on white mustard germination that compared application of peat soil amendment in loose and pelletized forms, showed a clear advantage of the latter. The data obtained in this study confirm the benefits of the pelletized form of the peat amendment for soil restoration on disturbed lands. This finding is of significant importance for further development of technologies to restore specific soil types in disturbed areas.

**Keywords:** land reclamation, disturbed lands, soil amendment, barren bedding, reclamation, pelletized peat materials

**For citation:** Mikhailov A.V., Piirainen V.Yu., Bobrova E.M. Pelletizing of peat soil amendment for reclamation of disturbed lands. *Russian Mining Industry*. 2026;(2):169–175. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-2-169-175>

**Введение**

Необходимость повышения эффективности использования земельных ресурсов в настоящее время требует всё большего внимания к вопросам рекультивации земель, нарушенных в результате промышленно-хозяйственной деятельности [1; 2]. Особенно остро проблема стоит в горной промышленности, где имеется огромное количество нарушенных территорий, земли которых в большинстве своем характеризуются техногенным ландшафтом, отсутствием плодородного слоя и наличием остаточных загрязняющих веществ [3]. Большие вопросы вызывает охрана окружающей среды и экологии [4; 5]. Традиционные методы рекультивации, основанные на покрытии техногрунта плодородным слоем почвы, сопряжены с высокими материальными и транспортными затратами, что делает их малопривлекательными по экономическим соображениям, а потому редко применяемыми [6; 7]. Экологическая безопасность и рациональное использование земель остаются одними из главных вопросов нашего времени, требующими безотлагательного решения [8].

Площади нарушенных земель в России ежегодно увеличиваются. Так, в 2023 г. по данным Минприроды России они составили 1138,8 тыс. га, что на 42,0 тыс. га больше, чем в 2022 г.<sup>1</sup> Лишь незначительная их часть (менее 2%) рекультивируется и восстанавливается. Вместе с тем наряду с воздействием человека на экосистемы различных территорий в целом в мире набирают прогрессирующий рост процессы опустынивания, которые приобрели в настоящее время глобальный характер и охватывают более 30% площади земной суши [9]. Наиболее ощутима данная проблема в Центральной и Юго-Западной Азии, где в силу географического положения и изменения климата грунты деградируют ускоренными темпами. Совокупная оценка техногенной и естественной природной утраты земли на планете рисует катастрофическую картину, ставящую данную проблему на первое место среди глобальных вызовов современности.

Важнейшим средством борьбы с таким положением является восстановление плодородия земель и формирование на них растительности с последующим рациональным землепользованием. Однако эта непростая задача требует системного подхода к изучению особенностей процессов опустынивания и поиску экономически целесообразных способов противодействия ему [10].

Аналитические исследования показывают, что деградация земель в основном является следствием совокупного воздействия различных факторов, включая урбанизацию и рост населения, засуху, засоление, обезлесение, а также отсутствие надлежащего управления земельными ресурсами. Эрозия почвы, так же как процесс деградации земель, представляет собой потенциальный источник ущерба для окружающей среды и хозяйственным объектам человека [11; 12].

В ответ на эти вызовы стремительно развивается сегмент производства органических и органоминеральных почвоулучшителей, специально предназначенных для восстановления нарушенных земель. Согласно отчетам аналитических агентств глобальный рынок органических удобрений демонстрирует устойчивый рост<sup>2</sup>. Значительная доля этого роста обусловлена спросом со стороны сектора рекультивации и устойчивого землепользования [13; 14].

В частности, ожидается, что сегмент торфяных и гуминовых продуктов, являющихся ключевыми компонентами для восстановления плодородия благодаря своей способности улучшать физико-химические и биологические свойства бедных почв, покажет в ближайшее время один из самых высоких темпов роста [15; 16]. Данный прогноз обусловил выбор торфа в качестве основы мелиоранта для проведения настоящих экспериментальных исследований, имея в виду его уникальную способность удерживать большое количество влаги.

Известно, что одним из способов повышения эффективности применения комплексных удобрений является перевод их в гранулированную форму [17]. Увеличение себестоимости производства композиций в гранулированном виде компенсируется рядом преимуществ. Ключевым технологическим преимуществом гранулированной формы являются высокие эксплуатационные характеристики гранул: сыпучесть, прочность, несложиваемость, которые облегчают транспортировку и увеличивают сроки хранения в отличие от рассыпного материала. При использовании гранул упрощается процесс внесения композиции в почву, формируются локальные очаги плодородного слоя и обеспечивается пролонгированное действие в почве и доступ питательных веществ для растений [18; 19]. Логично полагать, что в случае с торфом будут реализованы те же преимущества гранулирования. А результаты внесения торфяного улучшителя в бедную почву будут зависеть от свойств и качества гранул, изучению которых посвящена настоящая работа. С целью определения целесообразности применения торфяных почвоулучшителей в гранулированном виде и их преимуществ перед аналогами в рассыпном виде были проведены сравнительно-оценочные вегетационные опыты на всхожесть сидерата (тест-растения) применительно к грунтам различного типа [20; 21].

**Материалы и методы**

В качестве исследуемого улучшителя почвы в работе был выбран торфогрунт торговой марки «Агровит» на основе биоферментированного торфа с песком (структуратор), соответствующий ГОСТ Р 53117–2008 (табл. 1).

В качестве среды выращивания для проведения вегетационных опытов и экспериментальной проверки пригодности торфяного грунта как почвенного кондиционера использовалась песчаная почва с побережья Персидского залива и супесь из вскрыши гранитного карьера Ленинградской области, химический состав и основные характеристики

**Таблица 1**  
Основные характеристики торфогрунта «Агровит»

**Table 1**  
Key characteristics of the Agrovit peat-based soil

Характеристика	Значение
Массовая доля сухого вещества, %, не менее	25
Массовая доля органического вещества, % от сухого вещества, не менее	70
Массовая доля влаги, %, не более	60
Показатель активности водородных ионов, рН сол.	6,0 – 6,5
Массовая доля питательных веществ, %, не менее:	
азот общий N	0,7
фосфор общий P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,5
калий общий K <sub>2</sub> O	0,3

<sup>1</sup> О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году. Проект государственного доклада. М.: 2024. 707 с.

<sup>2</sup> Organic Fertilizer Market Forecast and Outlook 2025 to 2035. Available at: <https://www.factmr.com/report/organic-fertilizer-market> (accessed: 20.10.2025)

Таблица 2  
Химический состав и основные характеристики опытных грунтов

Table 2  
Chemical composition and key characteristics of the test soil mixtures

Характеристика	Супесь	«Персидская» почва
Общее описание	Природная смесь песка (40–60%), глины (10–20%) и ила (20–30 %).	Однородный, инертный материал, состоящий (в основном) из SiO <sub>2</sub>
Пористость, %	40–50	30–40
Водопоглотительная способность, %	30–50	5–15
Органическое вещество, %	0,25	1,10
pH сол.	7,7	7,8



Рис. 1  
Внешний вид опытных образцов

Fig. 1  
Visual appearance of the test samples

которых приведены в табл. 2. Оба этих грунта относятся к бедным субстратам и не являются почвами для выращивания растений, при этом песчаные грунты отличаются быстрой фильтрацией влаги и малым набуханием [22; 23].

Гранулирование осуществлялось на лабораторном грануляторе М-2 при диаметре фильеры 13 мм. С помощью ножа отрезали образцы длиной 11 мм.

Влажные гранулы укладывались в сетчатую кассету площадью 0,08 м<sup>2</sup>, которая подвешивалась внутри сушильной камеры на высоте 150 мм от входного сопла тепловентилятора. Температура сушки поддерживалась +50–60 °С.

Масса гранул перед и после сушки определялась при помощи лабораторных весов ВЛКТ-500 с точностью ± 0,01 г. На рис. 1 представлены опытные образцы.

Механическая прочность образцов определялась при осевом сжатии на универсальной испытательной машине Zwick Roell Z100 со скоростью сжатия 0,05 м/мин (рис. 2). Фиксация нагрузки, воздействующей на образец, и деформация, возникающая в образцах, проводились автоматическим способом [24].



Рис. 2  
Осевое сжатие на универсальной испытательной машине Zwick Roell Z100

Fig. 2  
Axial compression using the Zwick Roell Z100 universal testing machine

Тесты на механическую устойчивость включали измерение механического ресурса прочности при десятикратном падении образцов с высоты 2 м на бетонный пол с оценкой крошимости гранул [25].

В ходе эксперимента крошимость гранул определялась как

$$K_i = (m_1 - m_2) / m_1 \cdot 100,$$

где  $m_1$  – масса гранул до проведения испытаний;  $m_2$  – масса неразрушенных гранул после проведения испытаний.

При оценке физико-механических свойств гранул определялись их размеры, плотность, прочность в соответствии с ГОСТ 54248–2010.

**Водопоглотительная способность** гранул определялась типовым методом (ГОСТ 24160–2014) путем свободного намокания образцов в сосудах при температуре воды 15–20 °С. Массу образцов определяют после 1, 2, 4, 8, 24, 48, 72 ч от начала намокания до тех пор, пока различие в массе не будет превышать 2 г.

Водопоглотительная способность гранул почвоулучшителя Вп вычислялась в процентах от массы образца исходной влажности

$$B_{п} = (m_k - m_n) / m_n \cdot 100,$$

где  $m_k$  – масса гранулы после намокания;  $m_n$  – масса гранулы до намокания.

**Вегетационный опыт.** В опыте применялась горчица белая (*Sinapis alba*) – вид однолетних травянистых масличных растений, семейство капустные. Горчица имеет глубокую корневую систему. Семена горчицы белой рано всходят и быстро прорастают.

Семенной материал предварительно сортировали, замачивали в теплой воде на 5–6 ч и проращивали между влажными ватными дисками в стеклянной емкости в темном месте при температуре воздуха 25–30 °С в течение 24 ч, регулярно увлажняя (из пульверизатора).

В опытах использовалось два варианта посадки:

- натуральный грунт;
- грунт с добавлением гранулированного почвоулучшителя.

Первая опытная группа представляла собой контрольные сосуды с натуральным грунтом, на поверхности которого равномерно укладывались пророщенные семена (по 10 шт.) и присыпались тонким слоем грунта.

Для второй группы в сосуд укладывался слой грунта, затем равномерно распределялся слой торфяных гранул, присыпался тонким слоем грунта, на поверхность которого равномерно укладывались пророщенные семена (по 10 шт.) и присыпались тонким слоем грунта.

В качестве сосудов использовались стеклянные стаканы объемом 200 мл, по три на каждый вариант.

После посадки проводился аэрозольный полив грунта в сосудах до полного пропитывания грунта влагой.

Продолжительность эксперимента составляла 7 сут, что охватывает критический период от всходов до формирования зеленой массы. В течение опытов поддерживался водный режим аэрозольным поливом дистиллированной водой.

Фенологические наблюдения за динамикой роста и развития растений проводили ежедневно, измеряя высоту побегов.

**Результаты и их обсуждение**

Для гранулированных почвоулучшителей водоудерживающая способность гранул является одним из основных показателей. Важнейшими физическими характеристиками питательной среды являются те, которые прежде всего влияют на ее способность снабжать корневую систему водой, не перекрывая при этом доступ кислорода [26; 27].

Помимо того что изначально среда выращивания должна обладать подходящими химическими и физическими характеристиками, важно также, чтобы она сохраняла эти свойства в процессе роста растений [28].

В табл. 3, 4 приведены размерно-массовые и физико-механические параметры опытных торфяных гранул.

**Таблица 3**  
Размерно-массовые параметры гранул

**Table 3**  
Dimensional and weight parameters of the pellets

Параметры	Среднее значение	
	влажные гранулы	сухие гранулы
Диаметр, мм	13,0	11,5
Длина, мм	11,0	10,0
Объем, м <sup>3</sup> ·10 <sup>-6</sup>	1,46	1,04
Влажность, %	69,4	38,0
Масса, г	2,1	0,8

**Таблица 4**  
Параметры гранул

**Table 4**  
Parameters of the pellets

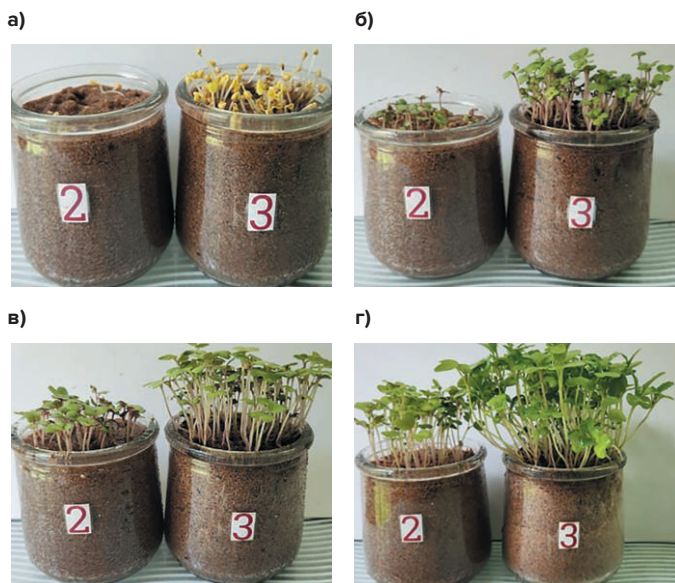
Параметры	Значение	сухие гранулы
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	769	11,5
Объемная усадка, %	28,76	10,0
Влагоёмкость, %	255	1,04
Прочность на сжатие, МПа	2,28	38,0
Крошимость, %	99,7	0,8

Высокие показатели водопоглотительной способности торфяных гранул говорят о их пригодности для внесения в почву и для пролонгированного действия в ней [29]. Высокие показатели механической прочности и крошимости обеспечивают устойчивость гранулированного почвоулучшителя к разрушению при транспортировке, хранении и внесении в почву [30; 31]. Такие показатели позволяют адаптировать свойства гранулированного почвоулучшителя под широкий диапазон грунтов и растений, повышая эффективность восстановления нарушенных земель [32; 33]. Гранулирование почвогрунтов является эффективным способом подготовки почвоулучшителей к применению, поскольку обеспечивает достижение эксплуатационных свойств материала, а также структурных свойств почвенного слоя.

**Вегетационный опыт** преследовал цель проверки пригодности торфяного гранулированного почвоулучшителя в качестве почвенного кондиционера для восстановления бедных и нарушенных почв.

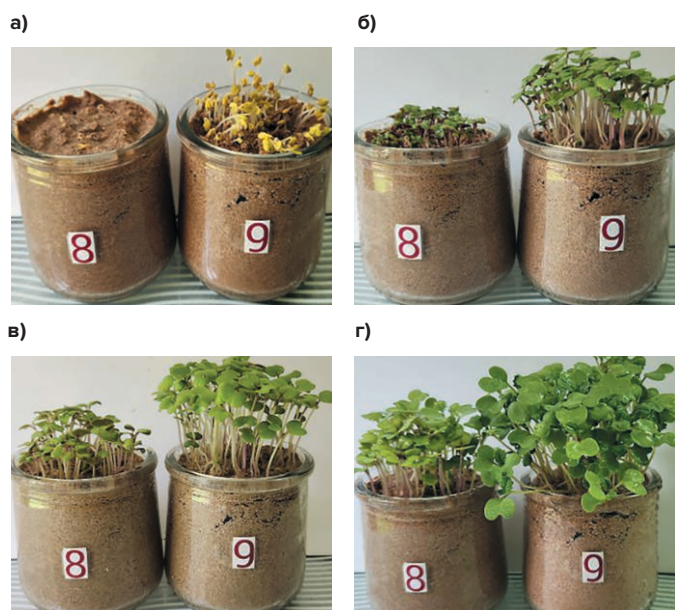
На рис. 3 представлены результаты роста горчицы в супесчаном грунте, а на рис. 4 – в песчаном грунте.

Наблюдения в ходе эксперимента показали, что с применением торфяного гранулированного почвенного кондиционера верхний слой бедной почвы обогащается пи-



**Рис. 3**  
Результаты роста горчицы: а – 1-е сутки; б – 3-е сутки; в – 5-е сутки; г – 7-е сутки; 2 – супесчаный грунт; 3 – супесчаный грунт с добавлением гранул

**Fig. 3**  
The results of mustard growth: а – 1<sup>st</sup> day; б – 3<sup>rd</sup> day; в – 5<sup>th</sup> day; г – 7<sup>th</sup> day; 2 – sandy loam soil; 3 – sandy loam soil with added pellets



**Рис. 4**  
Результаты роста горчицы: а – 1-е сутки; б – 3-е сутки; в – 5-е сутки; г – 7-е сутки; 8 – песчаный грунт; 9 – песчаный грунт с добавлением гранул

**Fig. 4**  
The results of mustard growth: а – 1<sup>st</sup> day; б – 3<sup>rd</sup> day; в – 5<sup>th</sup> day; г – 7<sup>th</sup> day; 8 – sandy soil; 9 – sandy soil with added pellets



**Рис. 5**  
Врастание корневой системы горчицы в гранулы

**Fig. 5**  
Ingrowth of the mustard root system into the pellets

тательными веществами. Длина ростков увеличена до 60% относительно исходного состояния в исходном грунте. При этом корневая система проявляет выраженную ориентацию роста в сторону внесенных гранул почвоулучшителя, являющихся прямым источником питания для растений. После извлечения растений из грунта выявлено, что активные корни горчицы не только плотно оплетают гранулы, но и напрямую врастают в их поры (рис. 5).

Это указывает на прямую связь с поглощением питательных веществ непосредственно из гранул почвоулучшителя.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### **Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

#### **Список литературы / References**

1. 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](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](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_8_0_72)
2. 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: 27.10.2025).  
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: 27.10.2025).
3. Raupov I., Rogachev M., Shevaldin E. Review of formation mechanisms, localization methods, and enhanced oil recovery technologies for residual oil in terrigenous reservoirs. *Energies*. 2025;18(21):5649. <https://doi.org/10.3390/en18215649>
4. Abramowicz A., Rahmonov O., Chybiorski 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>
5. Pikon K. Recultivation of mining waste dumps – environmental aspects. In: *8<sup>th</sup> 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.
6. Михайлов А.В., Казаков Ю.А., Козачков Г.С. Особенности размещения модуля измельчения при внутрикарьерной переработке торфяного сырья. *Горная промышленность*. 2024;(5):94–100. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5-94-100>  
Mikhailov A.V., Kazakov Yu.A., Kozachkov G.S. Specific features of a grinding module location in in-pit processing of peat raw materials. *Russian Mining Industry*. 2024;(5):94–100. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5-94-100>
7. Юсов Д.С., Иванова П.В., Иванов С.Л. Систематизация рабочих органов машин глубокого фрезерования. *Горная промышленность*. 2024;(3):85–89. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-85-89>  
Yusov D.S., Ivanova P.V., Ivanov S.L. Systematization of end effectors of deep milling machines for peat extraction. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):85–89. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-85-89>

8. Михайлов А.В., Пирирайнен 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>  
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>
9. 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](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. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2023\\_91\\_0\\_231](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_91_0_231)
10. 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](https://journals.tsu.ru/biology/&journal_page=archive&id=742&article_id=17195) (дата обращения: 27.10.2025).  
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](https://journals.tsu.ru/biology/&journal_page=archive&id=742&article_id=17195) (accessed: 27.10.2025).
11. Hosseinalizadeh M., Alinejad M., Behbahani A.M., Khormali F., Kariminejad N., Pourghasemi H.R. A review on the gully erosion and land degradation in Iran. In: Shit P., Pourghasemi H., Bhunia G. (eds) *Gully Erosion Studies from India and Surrounding Regions. Advances in Science, Technology & Innovation*. Cham: Springer; 2020, pp. 393–403. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23243-6\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23243-6_26)
12. 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>
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. 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>
16. Линкевич Е.В. Органическое вещество торфа и оценка его биодоступности. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2023;(3):278–281.  
Linkevich E.V. Peat organic matter and assessment of its bioavailability. *International Agricultural Journal*. 2023;(3):278–281. (In Russ.)
17. Ефименко Г.Г., Ковалев Д.А. Контроль формирования структуры агломерата с целью его упрочнения. *Известия Академии наук СССР. Металлы*. 1966;(6):3–10.  
Efimenko G.G., Kovalev D.A. Control of agglomerate structure formation with a view of its strengthening. *Izvestiya Akademii Nauk SSSR. Metallurgy*. 1966;(6):3–10. (In Russ.)
18. Bambalov 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 13<sup>th</sup> 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/theuse-of-peat-as-a-raw-material-for-chemisry-today-and-in-the-future/> (accessed: 02.02.2025).
19. 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 2<sup>nd</sup> 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.
20. 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](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](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_4_0_100)
21. Schmilewski G. The role of peat in assuring the quality of growing media. *Mires & Peat*. 2008;3:1–8.
22. 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>

23. Кузнецова Л.М., Михайлов А.В., Селеннов В.Г. Искусственные почвенные грунты. *Вестник Томского государственного педагогического университета*. 2009;(3):145–150. Режим доступа: [https://vestnik.tspu.ru/archive?year=2009&issue=3&article\\_id=1274&format=html](https://vestnik.tspu.ru/archive?year=2009&issue=3&article_id=1274&format=html) (дата обращения: 27.10.2025).  
Kuznetsova L.M., Mihajlov A.V., Selenov V.G. Artificial soil grounds. *Tomsk State Pedagogical University Bulletin*. 2009;(3):145–150. (In Russ.) Available at: [https://vestnik.tspu.ru/archive?year=2009&issue=3&article\\_id=1274&format=html](https://vestnik.tspu.ru/archive?year=2009&issue=3&article_id=1274&format=html) (accessed: 27.10.2025).
24. Ермаков Б.С., Ермаков С.Б., Вологжанина С.А., Хузнахметов Р.М. Влияние условий эксплуатации на формирование нано- и ультрадисперсных зернограницных дефектов в сварных соединениях. *Цветные металлы*. 2023;(8):80–85. <https://doi.org/10.17580/tsm.2023.08.13>  
Ermakov B.S., Ermakov S.B., Vologzhanina S.A., Khuznakhmetov R.M. Relationship between operating conditions and the emergence of nano- and ultradispersed grain boundary defects in weld joints. *Tsvetnye Metally*. 2023;(8):80–85. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/tsm.2023.08.13>
25. Gholipour Zanjani N., Zarringhalam Moghaddam A., Dorosti S. Physical and chemical properties of coal briquettes from biomass-bituminous blends. *Petroleum & Coal*. 2014;56(2):188–195.
26. Xianmin M. China: the next huge peat and growing media market in the world. In: *Proceedings of the 15<sup>th</sup> 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).
27. Томсон А.Э., Наумова Г.В. *Торф и продукты его переработки*. Минск: Беларус. навука; 2009. 328 с.
28. 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>
29. Утенкова Т.Г., Кремчеев 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. 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>
31. Ефимов В.Н. (ред.) *Торф в сельском хозяйства Нечерноземной зоны*. Л.: Агропромиздат; Ленингр. отделение; 1987. 302 с.
32. Крупнов Р.А., Базин Е.Т., Попов М.В. *Использование торфа и торфяных месторождений в народном хозяйстве*. М.: Недра; 1992. 232 с.
33. 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>

#### **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](mailto: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](mailto: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](mailto:bobr2502@gmail.com)

#### **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](mailto: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](mailto: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](mailto:bobr2502@gmail.com)

#### **Article info**

Received: 09.01.2026

Revised: 09.02.2026

Accepted: 18.02.2026

#### **Информация о статье**

Поступила в редакцию: 09.01.2026

Поступила после рецензирования: 09.02.2026

Принята к публикации: 18.02.2026