

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭКСКАВАЦИИ ОРГАНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Михайлов А.В., Смирнов А.И.

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург

Ключевые слова: нарушенные земли, рекультивация, торфяные ресурсы, почвоулучшитель, экскавация, модель усреднения.

Аннотация. Одним из наиболее эффективных способов снижения негативного воздействия горнодобывающей промышленности на окружающую среду является рекультивация нарушенных земель. Целью горнодобывающей промышленности является восстановление 90-100% нарушенных земель к 2030 году. Рекультивация с использованием почвоулучшителей на основе природных органических материалов (торфа) может быть эффективным методом восстановления биологической продуктивности этих территорий. Торф, обладающий высокими функциональными свойствами и относительно низкой стоимостью, обладает хорошим потенциалом в качестве сырья для производства почвоулучшителей. Были проанализированы требования к улучшению почвы и стратиграфии торфяных залежей по глубине залегания. В данной статье делается вывод о том, что торф следует извлекать со всей глубины залежи, одновременно усредняя его физические и механические свойства. Анализ модели усреднения торфа при выемке грунта показал, что для каждой залежи торфа можно определить диапазон изменения физико-механических характеристик получаемой смеси.

ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL FEATURES OF THE EXCAVATION OF ORGANOGENIC RAW MATERIALS

Mikhailov A.V., Smirnov A.I.

Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

Keywords: disturbed lands, reclamation, peat resources, soil improvers, excavation, averaging model.

Abstract. One of the most ways to reduce the negative impact of the mining industry on the environment is to reclaim disturbed lands. The aim of the mining industry is to restore 90-100% of disturbed land by 2030. Recultivation using soil improvers based on natural organic materials (peat) can be an effective method for restoring the biological productivity of these territories. Peat, which has high functional properties and relatively low cost, has good potential as a raw material for the production of soil improvers. The requirements for soil improvement and stratigraphy of peat deposits by depth were analyzed. This article concludes that peat should be extracted from the entire depth of deposit by simultaneously averaging its physical and mechanical properties. The analysis of peat averaging model during excavation has shown that for each peat deposit it is possible to determine the range of changes in the physical and mechanical characteristics of the resulting mixture.

Введение. По состоянию на конец 2022 года площадь нарушенных земель в России составила 1096,8 тыс. га, что на 4,5 тыс. га больше, чем в 2021 г. [1] Наибольшая часть нарушенных земель – 455,9 тыс. га – относится к категории земель промышленного и иного назначения. В 2022 г. рекультивировано 2,3% от годовой нарушенности земель. При этом увеличение нарушенных земель в основном происходит за счет увеличения площади действующих карьеров [2]. В целом за последние десять лет наметилась тенденция к увеличению нарушенности земель в большей степени на промышленных и иных землях [3].

В стратегических документах [4] по развитию горной отрасли ведущих мировых стран поставлена сложная задача – довести уровень рекультивации нарушенных земель к 2030 году до 90-100% от годовой нарушенности [5]. Учитывая чрезвычайно медленные темпы естественного почвообразования по причине ухудшения физических, биологических и химических свойств почв, естественное восстановление нарушенных земель становится практически недостижимой.

Так же по данным UNEP (United Nations Environment Programme) почти 2 млн. га почв подвержены естественному деградированию и опустыниванию, из которых 55,6% земель

подвержены водной эрозии, 27,9% ветровой эрозии, 12,12% земель химической эрозии, а также 4,2% физической эрозии [6]. В настоящее время более 250 миллионов человек в более чем 100 странах мира проживают в зонах, которые подвержены риску деградации плодородных земель из-за опустынивания, что является серьезной проблемой, стоящей перед человечеством [7,8]. Например, недавние исследования состояния территории Ирана с использованием моделей показывают, что 68% территории Ирана, площадь которой составляет 1,1 млн. км², подвержены опустыниванию от высокой до очень высокой степени. Таким образом, рекультивация нарушенных земель представляет собой комплексную задачу, стоящую перед странами, которые необходимо решить в краткосрочной и среднесрочной перспективе [9].

В рамках поиска материала для создания плодородного слоя на деградированных землях, основываясь на анализе ключевых свойств, которыми должна обладать среда для выращивания растений, Schmilewski G. [10] пришел к выводу, что торф, как основа для создания плодородного почвенного слоя, является наиболее надежной средой с точки зрения контроля основных свойств питательных сред.

По данным компании Klasmann-Deilmann GmbH, торф является наиболее эффективным компонентом композиций органических удобрений [11]:

- остается ключевым компонентом при производстве субстратов;
- позволяет использовать любое другое альтернативное сырье;
- доступен в течение всего года;
- обеспечивает однородные свойства;
- обеспечивает стабильное значение pH и оптимальный уровень питательных веществ;
- обладает хорошими буферными свойствами;
- обладает высокой структурной стабильностью и хорошей смачиваемостью;
- обеспечивает оптимальное соотношение между пропускной способностью воздуха и воды;
- не содержит патогенов и вредных веществ и практически не содержит семян сорняков.

Благодаря своим функциональным свойствам, сравнительно низкой стоимости и широкому классу химических веществ торф как сырье имеет хороший потенциал для создания плодородного слоя на деградированных землях [12].

В последние годы активно развиваются агропромышленные и природоохранные направления использования торфяной продукции для восстановления биологической продуктивности нарушенных земель. По некоторым экспертным оценкам, общая потребность в торфяном сырье для производства универсальных и специальных мелиорантов должна вырасти до более 100 млн. т в год [13]. По этой причине современные исследования направлены на разработку перспективных способов обработки торфяных месторождений.

В настоящее время перспективным направлением для развития торфодобывающего производства является создание технологического процесса круглогодичной карьерной добычи торфяного сырья. При карьерном способе добыча торфяного сырья производится одноковшовым гидравлическим экскаватором с откоса карьера последовательно со всей глубины залежи. Ковш экскаватора пересекает все слои торфяной залежи. В процессе выемки происходит сепарация крупных древесных включений и усреднение торфяного сырья по физико-механическим характеристикам в ковше экскаватора, что соответствует принципу комплексного освоения и рационального природопользования [14, 15].

Цель данной статьи – сформулировать технологические особенности для выемки торфяного сырья карьерным способом с целью получения качественной продукции для дальнейшего производства почвоулучшителей

Анализ свойств почвоулучшителей. Ценность торфяного сырья в составе почвоулучшителя во многом определяется его органической частью, которая состоит из растительных остатков и продуктов их разложения. Торф отличается высоким содержанием органических веществ, содержит 1,5-3,5% азота (на сухого вещества), макро- и микроэлементы, необходимые для жизнедеятельности растений [16].

Углеводный комплекс торфа представлен водорастворимыми, легко гидролизруемыми веществами, целлюлозой и лигнином. Углеводный комплекс служит энергетическим материалом для почвенных микроорганизмов [17]. Торфяной лигнин значительно снижает скорость высвобождения питательных веществ из почвенных кондиционеров на основе торфа, способствуя их пролонгированному действию в почве [18].

Гуминовые вещества составляют от 20 до 70% органической части торфа, улучшители качества масла играют решающую роль [19]:

- в формировании почвы за счет их влияния на ее состав; они способствуют развитию почвенного абсорбционного комплекса благодаря наличию в них большого количества функциональных групп;

- использование улучшителей почвы стимулирует рост растений и усиливает развитие корневой системы; это способствует более эффективному использованию питательных веществ растениями, даже при нарушении их поступления, например, во время засухи;

- почвоулучшители обладают структурообразующими свойствами благодаря связующему действию гуматов кальция и магния.

В качестве основы для создания почвоулучшителя является торфяной композит [20], состоящий из армирующей матрицы и мягкого наполнителя (рис. 1). Армирующая матрица состоит из неразложившихся органических волокон торфяного сырья из верхних слоев залежи, которые выступают в качестве транспортных артерий для растворов питательных веществ. В качестве матрицы чаще всего выступает магелланикум торф, который имеет устойчивую волокнистую структуру. Растительные волокна являются ёмкостью для воды и воздуха и обладают хорошей смачиваемостью.



Рис. 1. Армирующая матрица (а), гумифицированный наполнитель (б) и композит (в)

Наполнитель почвоулучшителя содержит больше гумуса в нижних слоях торфяного месторождения с высоким содержанием питательных веществ и выступающего в качестве связующего материала при образовании почвенных смесей.

Необходим анализ особенностей выемки торфяного сырья с усреднением его по физико-механическим свойствам на основе стратиграфии торфяного месторождения.

Анализ характеристик торфяных месторождений

В качестве примера рассмотрим стратиграфический разрез торфяного месторождения «Оршинский мох» в Тверской области [21]. Степень разложения торфа изменяется по глубине залежи (рис. 2).

Торфяная залежь представляет собой свиту нескольких горизонтально наложенных пластов, разнородных по своему составу. Так верхние торфяные слои имеют преимущественно макроструктуру с явными очертаниями неразложившихся остатков растений, что соответствует низкой степени разложения 5-15%, а нижние торфяные слои имеют в основном микроструктуру и характеризуются преимущественно гумусом, что соответствует степени разложения 25-35%. Исходя из строения торфяной залежи следует, что для достижения высокого качества торфяной продукции выемку торфяного сырья необходимо осуществлять со всей глубины торфяной залежи таким образом, чтобы в ковше при срезании стружки с откоса карьера происходило перемешивание и усреднение торфяного сырья. Каждый торфяной слой характеризуется степень разложения и плотностью (табл. 1) [22].

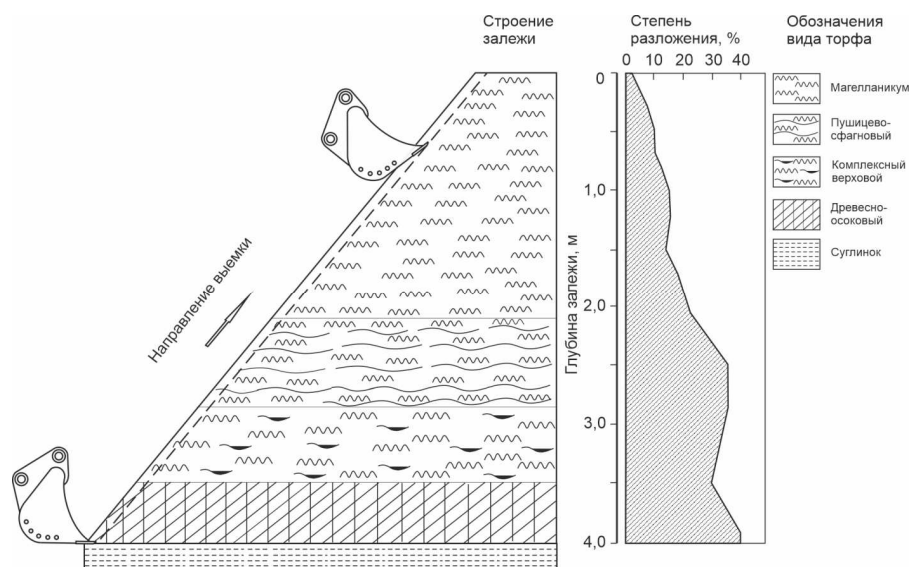


Рис. 2. Стратиграфическая колонка торфяной залежи

Табл. 1. Усредненные характеристики торфяных слоев

Вид торфа	Степень разложения, %	Плотность торфяной залежи, кг/м ³
Магелланикум	15	786
Пушицево-сфагновый	35	994
Комплексный верховой	32	973
Древесно-осоковый	35	957

Таким образом, анализ характеристик торфяных месторождений показал, что для получения торфяного сырья с усреднением по физико-механическим свойствам необходимо осуществлять выемку торфяного сырья со всей глубины залежи, таким образом, чтобы ковш экскаватора при выемке торфяного сырья срезал стружку с откоса торфяного карьера, пересекая все стратиграфические слои торфяного месторождения.

Модель усреднения торфяного сырья в ковше экскаватора. В процессе выемки со всей глубины залежи происходит усреднение в результате попадания в ковш экскаватора торфяного сырья с различными качественными характеристиками каждого стратиграфического слоя [23].

Для анализа модели усреднения торфяного сырья в ковше экскаватора (рис. 2) при выемке торфяного сырья образуется стружка [24], которая при движении ковша заполняет весь его объем таким образом, что стружка из нижних слоев оказывается в центре ковша, а из верхних слоев снаружи многокомпонентной смеси (рис. 3).

Для обоснования обобщенных качественных характеристик торфяного сырья, вынимаемого из торфяной залежи, была составлена математическая модель усреднения торфяного сырья в ковше экскаватора. При составлении модели использовались следующие характеристики: масса компонента M , его плотность ρ , степень разложения R .

В общем случае объем срезаемой ковшом стружки с откоса карьера

$$V_k = \frac{HLGk_p}{\sin \gamma}, \quad (1)$$

где H – высота откоса; L – ширина ковша; G – толщина стружки; k_p – коэффициент разрыхления торфа; γ – угол откоса карьера.

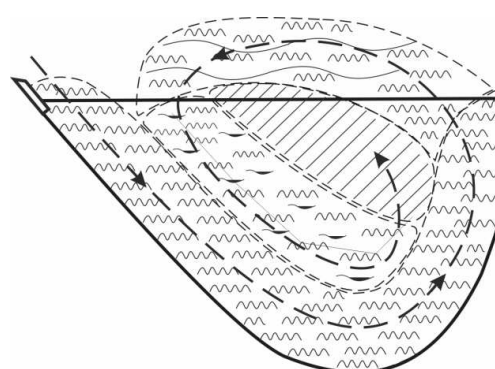


Рис. 3. Модель усреднения торфяного сырья в ковше экскаватора

Суммарная масса материала в ковше

$$M_k = \frac{\rho H L G k_\rho}{\sin \gamma}, \quad (2)$$

где ρ – средневзвешенная плотность торфяной смеси в ковше.

В работе [25] сделан вывод, что в общем случае модель смесеобразования включает в качестве входных переменных три группы факторов. Для создания торфяной смеси на этапе выемки торфяного сырья можно выделить в качестве переменных [25]:

1) векторы показателей качества смешиваемых торфяных слоев и главным образом, показатель степени разложения R_n ;

2) вектор массовых долей компонентов M_n ;

По числу параметров описание процесса смесеобразования задается соотношениями:

$$\alpha = \Phi(R); \quad \beta = \sum_{i=1}^n Q_n M_n, \quad (3)$$

где α – вектор показателей качества торфяной смеси после многокомпонентного смешивания; β – модель смесительной операции, которая формируется на основе соотношений материального баланса торфяной смеси; Q_n – массовая доля компонента смеси.

Для описания качественного состава торфяной смеси используются следующие обозначения: n – количество компонентов в смеси (количество пересекаемых стратиграфических слоев залежи); M_n – массовая характеристика материала из n -го стратиграфического слоя, попавшего в ковш экскаватора.

В рамках описания математической модели принято допущение об отсутствии высыпания сырья из ковша во время процесса его выемки.

Общая масса M компонентов смеси:

$$M = \sum_{i=1}^n M_n. \quad (4)$$

Массовая доля Q_n компонента смеси:

$$Q_n = \frac{M_n}{\sum_{i=1}^n M_n}. \quad (5)$$

Объединяя выражения (2) и (5), получаем уравнение массовой доли n -го компонента

$$Q_n = \frac{B_n \rho_n}{\sum_{i=1}^n B_n \rho_n}, \quad (6)$$

где B_n – толщина n -го торфяного слоя; ρ_n – плотность n -го компонента торфяной смеси в ковше экскаватора.

Таким образом, выполняется условие

$$\sum_{i=1}^n Q_n = 1. \quad (7)$$

Для описания процесса механического усреднения торфяного сырья использован метод материального баланса. Так, если каждый из n компонентов торфяной смеси, попадающих в ковш экскаватора с разных стратиграфических слоев торфяного месторождения, оценить в массовых количествах $M_1, M_2, \dots, M_n$, и степенью разложения R_n n -го компонента смеси, то соотношение материального баланса будет иметь вид:

$$R_\Sigma M = \sum_{i=1}^n (R_n M_n). \quad (8)$$

Отсюда средневзвешенная степень разложения многокомпонентной торфяной смеси R_Σ :

$$R_\Sigma M = \frac{R_1 M_1 + R_2 M_2 + \dots + R_n M_n}{\sum_{i=1}^n (R_n M_n)}. \quad (9)$$

Поскольку отношение $\frac{M_n}{\sum_{i=1}^n M_n}$ является массовой долей Q_n (n -го компонента), то

выражение (9) может быть записано в виде:

$$R_{\Sigma} = R_1 Q_1 + R_2 Q_2 + \dots + R_n Q_n = \sum_{i=1}^n (R_n Q_n) = \sum_{i=1}^n \frac{R_n B_n \rho_n}{\sum_{i=1}^n (B_n \rho_n)}. \quad (10)$$

Для конечного моделирования смесительной операции торфяного сырья по степени разложения были выбраны входные данные, основанные на анализе строения залежи (рис. 2), характеристиках каждого слоя (табл. 1) и коэффициенте разрыхления 1,2. На основе выведенных формул были получены характеристики многокомпонентной смеси (табл. 2).

Табл. 2. Характеристики многокомпонентной смеси в ковше экскаватора

Вид торфа	Толщина n -го слоя в залежи, м	Объем срезаемой стружки, м ³	Масса стружки, кг	Степень разложения, %	Массовая доля
Магелланикум	2,1	0,525	412,65	15,00	0,470
Пушицево-сфагновый	0,8	0,200	198,80	35,00	0,227
Комплексный верховой	0,6	0,150	145,95	32,00	0,166
Древесно-осоковый	0,5	0,125	119,63	35,00	0,142
Многокомпонентная смесь	4,0	1,00	877,03	25,09	1,00

Проведенный анализ добычи торфяного сырья показывает, что вектором показателя качества вынимаемой торфяной смеси после многокомпонентного смешивания является степень разложения. Так же в результате применения карьерного способа добычи торфяного сырья происходит его обогащение, и переработка на этапе экскавации. В таблице 2 представлено окончательное усреднение торфяного сырья по степени разложения.

Закключение. Таким образом, биологическая рекультивация деградированных земель может быть достигнута за счет использования почвоулучшителей на основе торфа. В статье представлен анализ свойств почвоулучшителей и характеристик торфяных месторождений, на основе которого разработана модель усреднения торфяного сырья. На основании этого анализа было определено, что добычу торфа следует вести со всей глубины залежи путем одновременного усреднения физико-механических свойств. Такой подход позволит создать универсальный исходный материал для производства улучшителей почвы, который может быть использован в различных областях. В результате моделирования процесса усреднения торфяной смеси было обнаружено, что на конечные физико-механические характеристики смеси влияют массовые доли каждого отдельного компонента, степень разложения и плотность залежи в каждом стратиграфическом слое. Поэтому, используя карьерный метод добычи торфа с откоса карьера, производится непрерывная нарезка пластов постоянной толщины. Это позволяет извлекать усреднённое торфяное сырьё с необходимыми физико-механическими свойствами для получения почвоулучшителей.

Список литературы

1. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ им. М.В. Ломоносова, 2023. – 686 с.
2. Young I., Renault S., Markham J. Low Levels of organic Amendments improve fertility and plant cover on non-acid generating gold mine tailings // Ecological Engineering. 2015, vol. 74, pp. 250-257. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.10.026.
3. 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. – С. 61-72.
4. 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. 2021, vol. 32, iss. 1, pp. 113-119. doi.org/10.1016/j.ijmst.2021.09.010.

5. Yang L., Birhane G.E., Zhu J., Geng J. Mining Employees Safety and the Application of Information Technology in Coal Mining: Review // *Frontiers in Public Health*. 2021, vol. 9, p. 709987. doi.org/10.3389/fpubh.2021.709987.
6. Порозин М.Ю., Картамышева Е.С. Опустынивание земель // *Молодой ученый*. – 2017. – №51(185). – С. 128-131.
7. Zambon N., Johannsen L.L., Strauss P., Dostal T., Zumr D., Cochrane T.A., Klik A. Splash erosion affected by initial soil moisture and surface conditions under simulated rainfall // *Catena*. 2021, vol. 196, p. 104827. doi.org/10.1016/j.catena.2020.104827.
8. Rahmanipour F., Marzaioli R., Bahrami H.A., Fereidouni Z., Bandarabadi S.R. Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran // *Ecological Indicators*. 2014, vol. 40, pp. 19-26. doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.12.003.
9. Hadi Eskandari Dameneh, Hamid Gholami, Matt W. Telfer, Jesús Rodrigo Comino, Adrian L. Collins, John D. Jansen. Desertification of Iran in the early twenty-first century: assessment using climate and vegetation indices // *Scientific Reports*. 2021, vol. 11, p. 20548. doi.org/10.1038/s41598-021-99636-8.
10. Schmilewski G. The role of peat in assuring the quality of growing media // *Mires and Peat*. 2008, no. 3, pp. 1-8.
11. Why Peat? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://klasmann-deilmann.com/en/products-solutions/alternative-raw-materials/peat/>.
12. Jurasinski Gerald et al. From Understanding to Sustainable Use of Peatlands: The WETSCAPES Approach // *Soil Systems*. 2020, vol. 4, iss. 14. doi.org/10.20944/preprints202001.0250.v2.
13. Ракович В.А., Бамбалов Н.Н. Устойчивое использование выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений Березовского района Брестской области // *Природопользование и экологические риски: материалы научно-практической конференции*. – Минск: БГТУ, 2019. – С. 175-181.
14. Михайлов А.В., Казаков Ю.А., Гарифуллин Д.Р., Короткова О.Ю., Агагена А. Анализ структуры мобильного комплекса для добычи органомогенного сырья карьерным способом // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2022. – №6-1. – С. 317-330. – doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_317.
15. Joosten H., Donald C. Wise use of mires and peatlands-background and principles including a framework for decision-making // *International Mire Conservation Group and International Peat Society*. 2002, vol. 79/4. doi.org/10.4000/geocarrefour.821.
16. Линкевич Е.В. Органическое вещество торфа и оценка его биодоступности // *Международный сельскохозяйственный журнал*. – 2023. – №3(393). – С. 278-281. – doi.org/10.55186/25876740_2023_66_3_278.
17. Инишева Л.И. Роль торфяных ресурсов Сибири в инновационных процессах агропромышленного комплекса // *Проблемы агроэкологии АПК Сибири: Сборник трудов Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, посвященной 50-летию научной деятельности доктора сельскохозяйственных наук, профессора А.С. Моторина и 25-летию кафедры Экологии и рационального природопользования*. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2023. – С. 12-16.
18. Томсон А.Э., Наумова Г.В. Торф и продукты его переработки. – Минск: Белорусская наука, 2009. – 328 с.
19. Антонинова Н.Ю., Собенин А.В., Усманов А.И., Горбунов А.А. Обоснование возможности применения отходов производства гуминовых препаратов для очистки сточных вод от металлов (Cd^{2+} , Zn^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+}) с целью разработки эффективных мероприятий по экологической реабилитации // *Записки Горного института*. – 2024. – Т. 267. – С. 421-432.
20. Пириайнен В.Ю., Баринкова А.А. Разработка композиционных материалов на основе красного шлама // *Обогащение руд*. – 2023. – №3. – С. 37-43. – doi.org/10.17580/or.2023.03.06.
21. Тюремнов С.Н., Ларгин И.Ф., Ефимова С.Ф., Скобеева Е.И. Торфяные месторождения и их разведка. – М.: Недра, 1977. – 264 с.
22. Михайлов А.В., Иванов С.Л., Большунов А.В., Кремчев Э.А. Торфяные ресурсы Северо-западного федерального округа России и перспективы их освоения // *Записки Горного института*. – 2013. – Т. 200. – С. 226-230.
23. Михайлов А.В., Казаков Ю.А., Козачков Г.С. Особенности размещения модуля измельчения при внутрикарьерной переработке торфяного сырья // *Горная промышленность*. – 2024. – №5. – С. 94-100. – doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5-94-100.
24. Пашкевич М.А., Данилов А.С. Экологическая безопасность и устойчивое развитие // *Записки Горного института*. – 2023. – Т. 260. – С. 153-154.
25. Гельфанд Я.Е., Яковис Л.М., Дорогенич С.К., Комова М.Л. Управление химико-технологическими процессами приготовления многокомпонентных смесей. – Л.: Химия, 1988. – 286 с.

References

1. On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2022. State report. – М.: Ministry of Natural Resources of Russia; Lomonosov Moscow State University, 2023. – 686 p.
2. Young I., Renault S., Markham J. Low Levels of organic Amendments improve fertility and plant cover on non-acid generating gold mine tailings // *Ecological Engineering*. 2015, vol. 74, pp. 250-257. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.10.026.
3. Seredina V.P., Androkhonov V.A., Alekseeva T.P., Sysoeva L.N., Burmistrova T.I., Trunova N.M. Ecological aspects of biological soil reclamation of technogenic ecosystems of Kuzbass // *Bulletin of Tomsk State University. Biology*. 2008, no. 2, pp. 61-72.

4. 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. 2021, vol. 32, iss. 1, pp. 113-119. doi.org/10.1016/j.ijmst.2021.09.010.
5. Yang L., Birhane G.E., Zhu J., Geng J. Mining Employees Safety and the Application of Information Technology in Coal Mining: Review // Frontiers in Public Health. 2021, vol. 9, p. 709987. doi.org/10.3389/fpubh.2021.709987.
6. Rogozin M.Yu., Kartamysheva E.S. Desertification of lands // Young scientist. 2017, no. 51(185), pp. 128-131.
7. Zambon N., Johannsen L.L., Strauss P., Dostal T., Zumr D., Cochrane T.A., Klik A. Splash erosion affected by initial soil moisture and surface conditions under simulated rainfall // Catena. 2021, vol. 196, p. 104827. doi.org/10.1016/j.catena.2020.104827.
8. Rahmani-pour F., Marzaioli R., Bahrami H.A., Fereidouni Z., Bandarabadi S.R. Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran // Ecological Indicators. 2014, vol. 40, pp. 19-26. doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.12.003.
9. Hadi Eskandari Dameneh, Hamid Gholami, Matt W. Telfer, Jesús Rodrigo Comino, Adrian L. Collins, John D. Jansen. Desertification of Iran in the early twenty-first century: assessment using climate and vegetation indices // Scientific Reports. 2021, vol. 11, p. 20548. doi.org/10.1038/s41598-021-99636-8.
10. Schmilewski G. The role of peat in assuring the quality of growing media // Mires and Peat. 2008, no. 3, pp. 1-8.
11. Why Peat? [Electronic resource]. – Access mode: <https://klasmann-deilmann.com/en/products-solutions/alternative-raw-materials/peat/>
12. Jurasinski Gerald et al. From Understanding to Sustainable Use of Peatlands: The WETSCAPES Approach // Soil Systems. 2020, vol. 4, iss. 14. doi.org/10.20944/preprints202001.0250.v2.
13. Rakovich V.A., Bambalov N.N. Sustainable use of peat deposits retired from commercial operation in the Berezovsky district of the Brest region // Nature management and environmental risks: materials of a scientific and practical conference. – Minsk: BSTU, 2019. – P. 175-181.
14. Mikhailov A.V., Kazakov Yu.A., Garifullin D.R., Korotkova O.Yu., Agagen A. Analysis of the structure of a mobile complex for the extraction of organogenic raw materials by a quarry method // Mining information and analytical bulletin. 2022, no. 6-1, pp. 317-330. doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_317.
15. Joosten H., Donald C. Wise use of mires and peatlands-background and principles including a framework for decision-making // International Mire Conservation Group and International Peat Society. 2002, vol. 79/4. doi.org/10.4000/geocarrefour.821.
16. Linkevich E.V. Organic matter of peat and assessment of its bioavailability // International Agricultural Journal. 2023, no. 3(393), p. 278-281. doi.org/10.55186/25876740_2023_66_3_278.
17. Inisheva L.I. The role of Siberian peat resources in innovative processes of the agro-industrial complex // Problems of agroecology of the agro-industrial complex of Siberia: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 50th anniversary of the scientific activity of Doctor of Agricultural Sciences, Professor A.S. Motorin and the 25th anniversary of the Department of Ecology and Rational Nature Management. – Tyumen: State Agrarian University of the Northern Urals, 2023. – P. 12-16.
18. Thomson A.E., Naumova G.V. Peat and products of its processing. – Minsk: Belarusian science, 2009. – 328 p.
19. Antoninova N.Yu., Sobenin A.V., Usmanov A.I., Gorbunov A.A. Substantiation of the possibility of using waste products of humic preparations for wastewater treatment from metals (Cd^{2+} , Zn^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+}) in order to develop effective measures for environmental rehabilitation // Journal of Mining Institute. 2024, vol. 267, pp.421-432.
20. Piirainen V.Yu., Barinkova A.A. Development of composite materials based on red sludge // Ore enrichment. 2023, no. 3, pp. 37-43. doi.org/10.17580/or.2023.03.06.
21. Turemnov S.N., Largin I.F., Efimova S.F., Skobeeva E.I. Peat deposits and their exploration. – M.: Nedra, 1977. – 264 p.
22. Mikhailov A.V., Ivanov S.L., Bolshunov A.V., Kremcheev E.A. Peat resources of the Northwestern Federal District of Russia and prospects for their development // Journal of Mining Institute. 2013, vol. 200, pp. 226-230.
23. Mikhailov A.V., Kazakov Yu.A., Kozachkov G.S. Features of the placement of the grinding module during the intra-quarry processing of peat raw materials. // Mining industry. 2024, no. 5, pp. 94-100. doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5-94-100.
24. Pashkevich M.A., Danilov A.S. Ecological safety and sustainable development // Journal of Mining Institute. 2023, vol. 260, pp. 153-154.
25. Gelfand Ya.E., Yakovis L.M., Dorogenich S.K., Komova M.L. Management of chemical and technological processes for the preparation of multicomponent mixtures. – L.: Chemistry, 1988. – 208 p.

Сведения об авторах:

Михайлов Александр Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения

Смирнов Андрей Игоревич – аспирант
a.s.555@inbox.ru

Information about authors:

Mikhailov Aleksandr Viktorovich – doctor of technical science, professor of department of mechanical engineering

Smirnov Andrey Igorevich – postgraduate student

Получена 02.10.2024