

ВИДЫ МЕЛИОРАНТОВ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Т.А. Петрова¹, Э. Рудзиш¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: rudzisha@gmail.com

Аннотация: Интенсивное развитие горной промышленности приводит к увеличению образования техногенно нарушенных территорий — земель, утративших продуктивность и возможность целевого хозяйственного использования. Такие земельные участки оказывают негативное воздействие на окружающую среду и не могут принести экономический эффект народному хозяйству без проведения рекультивационных работ. Из-за специфики отрасли при рекультивации объектов необходимо проводить мелиоративные мероприятия, которые включают внесения мелиоративного материала в формируемый почвогрунт. Использование мелиоративного материала (мелиоранта) направлено на улучшение физико-химических свойств почвы, на привнесение питательных элементов для повышения плодородия почвы, благодаря нему нормализуются почвенные режимы (водный, воздушный, тепловой, питательный и др.). С целью упрощения выбора мелиоранта, контроля его характеристик и свойств проведена работа по систематизации видов мелиорантов, применяемых при рекультивации техногенно нарушенных территории горнодобывающей и горноперерабатывающей промышленности. Выделены основные виды мелиорантов согласно их происхождению, составу и принципу воздействия, описаны земельные территории, где применяются подобные методики мелиорации, а также процесс их восстановления. Кроме того, определены основные причины формирующийся тенденции освоения новых видов нетрадиционных мелиорантов и расширения методик их применения — низкая стоимость и пролонгированный эффект воздействия.

Ключевые слова: мелиорант, рекультивация, химическая мелиорация, нарушенные земли, почвогрунты, удобрения-мелиоранты, мелиоранты-сорбенты, мелиоранты-структурообразователи, биологическая рекультивация.

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

Types of soil improvers for reclamation of mining-disturbed lands

T.A. Petrova¹, E. Rudzish¹

¹ Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: rudzisha@gmail.com

Abstract: Extensive mining operations enlarge the area of disturbed lands which are no more fertile and economically usable. Such lands have adverse impact on the environment and are incapable to produce any benefit to the national economy unless reclamation activities are performed. Reclamation of mining-disturbed lands includes introduction of soil improvers in soil.

The use of such soil improvers is aimed to improve physicochemical properties of soil, to add nutrients to stimulate soil fertility and, thereby, to normalize different regimes in soil (water, air, heat, nutrition, etc.). Aimed at simplifying selection of a soil improver, as well as control of its characteristics and properties, systematization of soil improvers used in reclamation of the disturbed lands in the mineral mining and processing sector is implemented. The basic types of soil improvers are identified based on their genesis, composition and effect; the land areas suitable for such reclamation approaches are described; the process of soil restoration is demonstrated. Furthermore, the main reasons for using novel and nonconventional soil improvers and soil improvement procedures are defined as the low cost and prolong effects.

Key words: soil improvers, reclamation, chemical reclamation, disturbed lands, soil, fertilizers-improvers, adsorbents-improvers; soil conservers-improvers, biological reclamation.

For citation: Petrova T. A., Rudzish E. Types of soil improvers for reclamation of mining-disturbed lands. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(4):100-112. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_0_100.

Введение

Процесс добычи и переработки полезных ископаемых вызывает нарушение целостности природных ландшафтов и приводит к деградации земельных ресурсов, что является причиной образования техногенно нарушенных земель.

Согласно Государственному докладу «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации», к 2019 г. в результате разработки месторождений полезных ископаемых из хозяйственного оборота выведено более 578 тыс. га земель. Вместе с этим ежегодно увеличивается интенсивность и масштабы негативного воздействия на земельные ресурсы от горной промышленности, площади техногенно нарушенных земель расширяются (за 2016 г. — 21,6 тыс. га, за 2017 г. — 163,4 тыс. га, за 2018 г. — 71,2 тыс. га) [1].

Из-за снижения способности поддерживать полноценную функциональную экосистему процесс истощения техногенно нарушенных земель проходит быстрее, чем процесс восстановления, при этом мощность антропогенного воздействия удваивается каждые 12–15 лет [2]. Для устранения последствий деятельности горнодобывающей промышлен-

ности экосистеме путем самовосстановления без активного участия человека потребуются столетия или даже тысячелетия [3].

Для восстановления нарушенных земель и возврата их в хозяйственный оборот необходимо проводить комплекс рекультивационных мероприятий. Основная цель при проведении рекультивационных работ является восстановление морфоструктурного облика ландшафта и устранение химических загрязнений, образовавшихся в результате разработки месторождений полезных ископаемых и переработки минерального сырья.

Мероприятия по рекультивации разделены на два этапа: технический и биологический. Технический этап ориентирован на решение задач по стабилизации техногенного рельефа (планировка земель), снижению негативного воздействия (переформирование ландшафта) и началу создания профиля потенциально-плодородных пород и почв. На биологическом этапе рекультивации завершается формирование почвенного профиля с благоприятными условиями для растительных культур и производится посев травянистых, кустарниковых и древесных растений.

Для земельных территорий горных производств, переведенных на этап рекультивации, характерны множественные нарушения и загрязнения, препятствующие восстановлению почвенно-растительного комплекса, основными из которых являются: эродирование, дегумификация, уплотнение, захламление, подтопление, заболачивание, засоление, а также химическое загрязнение (тяжелыми металлами, нефтепродуктами) [4].

В связи с этим, одним из ключевых этапов рекультивации земель, нарушенных в результате функционирования горнодобывающей и горноперерабатывающей отраслей, является необходимость проведения мелиорации. Мелиоративные работы как комплекс мероприятий направлены на улучшение агрофизических и агрохимических свойств почвы, а также на нормализацию гидрологических и агроклиматических условий с целью повышения эффективности использования земель.

Мелиоративные работы земель подразделяются на различные виды в зависимости от поставленных задач и методов их реализации. В статье рассмотрены культурно-технический вид

мелиорации (устраняющий нарушения плотности, засоления, загрязнения почвогрунтов) и химический (нормализующий кислотность).

Применение культурно-технических и химических мелиорантов на рекультивируемых территориях горного производства позволяет устранить нарушения: водного баланса (засоление, иссушение, подтопление), соотношения химических веществ, а также улучшает показатели плотности, кислотности и коэффициента разрыхления грунта.

Таким образом, проведение мелиоративных мероприятий обеспечит оптимальные условия водных, воздушных, солевых, питательных и тепловых режимов.

Мелиоранты, применяемые при рекультивации земель

Существует несколько видов классификаций мелиоративных веществ:

- по составу — органические, минеральные и органоминеральные;
- по воздействию — мелиоранты-сорбенты, удобрения-мелиоранты, мелиоранты-структурообразователи и мелиоранты, оптимизирующие кислотность;

МЕЛИОРАНТЫ		
ПО СОСТАВУ	ПО ВОЗДЕЙСТВИЮ	ПО ПРОИСХОЖДЕНИЮ
1. Органические Торф, сапропель, перегной, лесная подстилка, древесные опилки	1. Мелиоранты-сорбенты Глауконит, цеолит, известняк, бентонит, торф	1. Искусственные (синтетические) Синтетические препараты
2. Минеральные Известняк, доломит, гипс, глауконит, цеолит	2. Удобрения-мелиоранты Осадки сточных вод, сапропель, лесная подстилка	2. Природные Глауконит, торф, сапропель, кремнеземы, глиноземы
3. Органоминеральные Комплексные смеси	3. Мелиоранты-структурообразователи Глина, песок, торф, терриконовая порода	3. Нетрадиционные Золошлаки, осадки сточных вод, цементная пыль

Классификации мелиоративных веществ
Classification of soil improvers

- по происхождению — искусственные, природные и нетрадиционные (рисунки).

При механическом площадном нарушении почвенных и породных слоев-горизонтов происходит повреждение поверхности: изменяется система горизонтов, трансформация и перемешивание генетических горизонтов, изъятие и погребение органического материала под массой минерального. Вследствие этого для техногенно-нарушенных территорий горнодобывающих и горноперерабатывающих производств характерно нарушение соотношения минеральных и органических веществ. Кроме того, специфика горных предприятий зачастую отражается в преобладании минеральных компонентов и дефиците органических, поэтому рекультивационные мероприятия горных объектов включают в себя почвенные мелиоративные работы по восстановлению питательного режима путем внесения органического материала [5].

В качестве органических мелиорантов применяют: торф, сапрпель, осадки сточных вод, древесные опилки, перегной, а также другие вещества на основе остатков и продуктов жизнедеятельности растений и животных [6–11].

Однако существует обратная ситуация, которая отчетливо прослеживается на примере торфяной промышленности. На нарушенных территориях торфяных месторождений преобладает органическая составляющая, при восстановлении таких земельных ресурсов необходимо внесение минеральных удобрений-мелиорантов для восстановления питательного режима почвогрунта.

Для рекультивационных работ, основанных на первичном формировании почвогрунтового горизонта, необходимо внесение комплексных органоминеральных материалов. Основой любого типа почвогрунта является твердая фа-

за, образующая структуру почвы, состоящая из комплекса минералов и органических веществ, а также продуктов их взаимодействия. В связи с этим наиболее распространенной практикой мелиорации земель при формировании почвенно-растительного слоя является внесение органоминеральных удобрений-мелиорантов.

Органоминеральные почвенные добавки обладают сбалансированным соотношением химических питательных элементов, способствующих общему повышению трофности и комплексному воздействию на растительные и микроорганические сообщества рекультивируемого биотопа.

В зависимости от целевого эффекта определяется вид мелиоранта согласно его воздействию на почвенно-растительные комплексы.

Мелиоранты-сорбенты применяются для рекультивации земельных участков, загрязненных нефтепродуктами [12, 13], тяжелыми металлами [9, 14–16], а также радионуклидами. Наибольшее распространение эта группа мелиорантов получила в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, это связано с низкой себестоимостью вещества, простотой применения и относительно высокой эффективностью.

Воздействие мелиорантов-сорбентов нацелено на иммобилизацию загрязняющих веществ. Для создания мелиорантов этой группы используют сырье различного состава и происхождения. Среди мелиорантов минерального состава наиболее высокими сорбционными способностями отличаются: каолиниты, глинистые минералы, слюды, керамзит, глауконит, цеолиты [14–18]. К органическим мелиорантам-сорбентам относятся: торф, сапрпель, лигнин, кора, опилки, мох, компост и другие вещества биологического происхождения [9, 11–13, 17]. В дополнение, сырьем для

формирования мелиоранта могут служить вещества нетрадиционного происхождения: техногенные шлаки, шламы, фосфогипс, силикаты и гидросиликаты магнезия, угольная пыль [16, 17, 19].

Использование мелиорантов-структурообразователей направлено на устранение последствий почвенной эрозии и на восстановление структуры почвы. Для формирования эффективного структурообразователя почвы часто используют вещества в композиционный состав которых входят: удобрения органического происхождения, кальцийсодержащие и водоудерживающие вещества.

Благодаря внесению органических веществ формируются благоприятные зонально-локальные условия для развития анаэробных (внутри агрегатов) и аэробных (на поверхности агрегатов) микроорганизмов, которые способствуют структурированию органоминеральных комплексов и образованию почвенных новых агрегатов. Сформированная совокупность почвенных агрегатов представляет собой структуру почвы. Устойчивая структура почвы обладает оптимальным водно-воздушным режимом и предотвращает процессы почвенной эрозии, тем самым повышая устойчивость биотопа [20, 21].

В свою очередь действие мелиорантов-удобрений направлено на повышение содержания питательных элементов, необходимых почвенной среде и растительным сообществам. Отличительной характеристикой удобрений-мелиорантов от классических удобрений является пролонгированный эффект воздействия, обусловленный привнесением в почву резервных питательных элементов, для реализации которых необходимы определенные условия и процессы.

Таким образом, внесение классических удобрений больше направлено на повышение эффективного плодородия,

а мелиорантов-удобрений — на потенциальное.

Однако сбалансированное содержание питательных веществ не гарантирует повышенное плодородие почвы и эффективное восстановление почвенной среды. Доступность питательных элементов, растворимость и усвояемость растениями обуславливаются кислотностью почвы. Универсальных благоприятных условий кислотности нет, тем не менее, можно отметить общие закономерности наиболее благоприятных значений, в зависимости от климата, водного режима почвы и характеров биохимических процессов, протекающих в почве.

На территории Российской Федерации наиболее широко известным мелиоративным мероприятием является известкование кислых почв. Мелиоранты, используемые при известковании почв благодаря своим свойствам можно отнести ко всем группам мелиорантов (по воздействию): структурообразователям, сорбентам и удобрениям.

Внесение кальцийсодержащих веществ оказывает благоприятное воздействие на кислые и некарбонатные почвы, улучшая почвенную структуру, нормализуя водно-воздушный баланс почвенно-растительных комплексов, таким образом относит мелиорант к группе структурообразователей.

В совокупности это приводит к нейтрализации кислот и способствует разложению минералов, насыщая почву питательными элементами (мелиорант-удобрение) [22].

Кроме того, изменении кислотности приводит к иммобилизации тяжелых металлов путем образования соединений гидрооксидов, карбонатов, фосфатов, что в свою очередь снижает подвижность и поступление тяжелых металлов в растительные организмы (мелиорант-сорбент) [19].

В большинстве случаев антропогенное закисление почв на территориях, прилегающих к горнопромышленным объектам, происходит вследствие промышленных выбросов, содержащих повышенные концентрации оксидов углерода, серы и азота. Известкование таких почв проводят путем добавления мелиорантов: различных видов мергелей, негашеной извести, мела, доломитовой и известняковой муки.

Аналогичным методом мелиорации на основе действия кальция является гипсование почв (внесение гипса). На промышленных территориях гипсование проводят в местах нарушения водных и солевых режимов почвы для замедления процессов галогенеза, окультуривания солонцов и солонцеватых почв. Улучшение физико-химических свойств засоленных почв происходит за счет замещения ионами кальция растворенных в почве ионов натрия.

К распространенным источникам засоления грунтов минерально-сырьевого комплекса относятся площадки складирования отходов, продукции, сырья и места перегрузки, кроме того, месторождение и разрабатываемая порода могут быть причиной и источником высвобождения минеральных солей.

Кроме внесения молотого гипса, применяют различные кальцийсодержащие нетрадиционные мелиоранты, которые входят в группу отходов производства (например, фосфогипс относится к отходам химической промышленности). Обязательным условием для нетрадиционных мелиорантов является отсутствие токсичных примесей.

Существуют и другие методы обработки почв с воздействием на концентрации различных ионов в почвенных растворах: водородных — кислование с применением мелиорантов на основе серной кислоты, серы и различных сульфатов, фосфорных — внесение фос-

форных удобрений-мелиорантов (фосфоритование) [18].

Метод кислования относится к спорным методикам мелиорации ввиду наличия как положительного эффекта воздействия, так и отрицательного. Наличие кислоты в мелиоранте способствует переходу труднорастворимых соединений в подвижные, более доступные растениям. Однако локальная аккумуляция мелиоранта приводит к разрушению почвенного поглощающего комплекса, что в свою очередь может привести к губительным последствиям для почвенной микробиоты.

В качестве примеров нетрадиционных мелиорантов для подкисления почв можно привести вещества на основе отходов металлургической, химической и нефтеперерабатывающей промышленности [23].

Помимо изменений кислотности, мелиоративные вещества способны воздействовать на плотность почв. Основные техногенные причины ухудшения плотности грунтов связаны с нарушением вертикальной и горизонтальной структуры почвенно-грунтового покрова и изменением морфологического строения грунтов. Искусственная уплотненность или разрыхленность, характерные для различных сооружений и хранилищ под промышленные отходы, транспортной инфраструктуры и других объектов [24].

Особенно острый вопрос стоит с устранением последствий уплотнения потенциально-плодородной почвы в местах временных хранилищ для последующего применения в рекультивационных работах. Длительное хранение и уплотнение приводит к деградации почв путем разрушения естественной структуры, нарушений воздухо-воздушного режима и гибели почвенных сообществ микро- и макроорганизмов [25].

Основная задача мелиоративных работ по устранению нарушений плотно-

сти — изменение гранулометрического состава грунта. Мелиорация такого типа направлена на привнесение илистых или коллоидных частиц в песчаные почвогрунты для увеличения емкости поглощения почв, что улучшает водно-воздушный и питательный режимы почвы (глинование), обратный процесс изменения плотности тяжелых суглинков называется пескованием. От плотности почв и размеров почвенных частиц зависит емкость катионного обмена грунта и поглотительная способность в целом, поэтому глинование является одним из наиболее распространенных методов мелиорации в рекультивации [2, 26, 27].

Мелиоративные работы по глинованию техноземов на территориях горных комплексов актуальны при рекультивации хвостохранилищ и других объектов с характерной преимущественной мелкодисперсной фракцией грунта. Кроме того, глинистые минералы обладают хорошей сорбционной способностью, поэтому глинование может применяться на территориях, загрязненных тяжелыми металлами.

Пескование земель применяется на переуплотненных почвах, где преобладающими являются илистые и глинистые частицы. Нарушение фракционного состава почвы оказывает негативное воздействие на воздушный, водный и тепловой режимы почвы, что приводит к гибели почвенных микроорганизмов. Пескование улучшает микроклимат почвы и, как правило, применяется совместно с внесением органических удобрений, способствуя восстановлению условий, пригодных для микробиологических сообществ.

Тенденция расширения видов мелиорантов

Таким образом, основные направления мелиоративных работ с привнесением различных почвенных добавок

на рекультивационном этапе по улучшению агрофизических и агрохимических показателей разделены на два вида мелиораций: культурно-технической и химической. Соответственно, при культурно-технической мелиорации используют в основном мелиоранты-сорбенты и мелиоранты-структурообразователи, а при химической — удобрения-мелиоранты.

Для полноценного представления вносимого добавочного материала необходимо учитывать происхождение вещества. Ежегодно расширяется база удобрений, мелиорантов, макро- и микроудобрений, микробиологических добавок и других веществ по улучшению плодородия почвы. Классификация почвенных добавок и в том числе мелиорантов (по происхождению) значительно видоизменяется, появляются понятия «природного происхождения», «синтетического» и другие. Это осложняет работу систематизации почвенных добавок и химических веществ, затрудняет процесс контроля и мониторинга, что в результате может стать причиной появления негативного воздействия. Наиболее часто встречаемой классификацией мелиорантов (по происхождению) является упрощенное разделение веществ на искусственные, традиционные и нетрадиционные.

Мелиоранты, относящиеся к искусственной группе происхождения, чаще применяются при восстановлении земель сельскохозяйственного назначения, традиционные и нетрадиционные мелиоранты чаще используются при рекультивации по причине их стоимостных характеристик.

В связи с дефицитом и повышением рыночной стоимости традиционных мелиорантов в настоящее время все более актуальным вопросом является применение группы мелиорантов нетрадиционного происхождения, к кото-

рым в том числе относятся мелиоранты на основе отходов производства и потребления. Их основное преимущество заключается в низкой стоимости сырья, в пролонгированном действии и в доступности. Кроме того, превосходство этих мелиорантов относительно классических удобрений состоит в улучшении физико-химических показателей грунтов, оказывая долговременный эффект воздействия, что в свою очередь приводит к повышению почвенного плодородия. При этом зачастую эти мелиоранты по питательным свойствам и эффективности воздействия не уступают традиционным [10, 28, 29].

К наиболее известным видам нетрадиционных мелиорантов можно отнести растительную золу и промышленные известкостержащие отходы. Следует отметить, что к концу XX в. около 20% известковых удобрений были представлены отходами промышленности. На данный момент среди нетрадиционных мелиорантов активно используются некоторые виды шламов, металлургические шлаки, золы, отходы бурых углей, цементная пыль, остаточный мел, известковые и доломитовые отходы и др. [30, 31].

Высокой удобрительной пролонгацией обладают нетрадиционные мелиоранты на основе осадков сточных вод [6, 32, 33], магниевые мелиоранты (горнопромышленные отходы) [19] и комплексные мелиоранты на основе глауконитов, кремнеземов или глиноземов [15, 29]. Благодаря их высокому ионообменному и сорбционному способностям питательные элементы сохраняются от вымывания, что исключает необходимость повторного внесения мелиорантов в течение 5–6 лет [32].

Для рекультивации техногенно-нарушенных территорий свойство пролонгированного эффекта играет важную роль при выборе мелиоративного веще-

ства. Оно обеспечивает восстанавливаемые земли питательными элементами без необходимости повторного внесения мелиоранта, сохраняя сырьевые и финансовые ресурсы предприятий.

Таким образом, из основных преимуществ использования мелиорантов можно отметить их долговременный эффект воздействия, низкую затратность и комплексное воздействие на земельные ресурсы. Представленные мелиоранты оптимизируют не только почвенные режимы (водный, воздушный, кислотный, тепловой), но и повышают содержание доступных растениям питательных элементов, что в совокупности обеспечивает повышение плодородия восстанавливаемых почв. Комплексный эколого-экономический эффект мелиорантов повышает их спрос при рекультивационных работах техногенно нарушенных земель.

Заключение

Земельные объекты горнодобывающей и горноперерабатывающей отраслей представляют собой антропогенно-деградированные почвы, техноземы и рекультивируемые почвогрунты, которым для полноценного функционирования в экосистеме необходим определенный подход к мелиоративным работам.

При восстановительных работах техногенно нарушенных земель выбор вида мелиоранта обуславливается его происхождением, принципом воздействия и компонентным составом. Такая систематизация определена на основе особенностей загрязненности и нарушенности техногенных земель промышленности. Однако при подборе мелиоранта распределение видов мелиорантов по принципу воздействия наиболее удобно, так как соответствует конкретным условиям загрязненности и нарушенности.

Дегradированным почвам и неразвитым почвогрунтам свойственны как

агрофизические, так и агрохимические нарушения, препятствующие восстановлению почвенно-растительного комплекса. Для горнодобывающей и горноперерабатывающей отраслей характерны процессы эродирования, засоления, закисления, загрязнения, переуплотнения, а также их последствия, обуславливающие нарушения почвенных режимов.

К наиболее часто встречающимся физическим нарушениям можно отнести эродированность, потерю структурности и переуплотнение, которые устраняются путем внесения мелиорантов, относящихся по принципу воздействия к структурообразователям (мелиоранты-структурообразователи — глина, песок, бентонит, торф и др.).

Антропогенное нарушение химического состава проявляется для сформировавшихся почв и для формируемых почвогрунтов (техноземов) различным образом. При загрязнении сформировавшихся почв результат проявляется в химической деградации почв и устраняется внесением веществ, относящихся к группе мелиорантов-сорбентов (глауконит, торф, цеолит и др.). У фор-

мируемых почвогрунтов (техноземов) нарушенность соотношений химических элементов отражается в дефиците необходимых растениям питательных веществ и корректируется группой мелиорантов-удобрений (сапропель, осадки сточных вод и др.).

Кроме того, в последнее время сформировалась тенденция развития исследований в области применения нетрадиционных мелиорантов. Все больше исследований направлено на оценку применимости промышленных отходов в качестве мелиорантов, рекультивантов и других различных почвенных добавок. Такую тенденцию можно объяснить идеей реализации и утилизации отходов, переводением их во вторичные материальные ресурсы для снижения эколого-экономических затрат.

Стоит отметить, что в настоящий момент ряд широко используемых мелиорантов нетрадиционного происхождения (являющихся отходами производства) относят к традиционным мелиорантам — известковые удобрения промышленного происхождения и продукты жизнедеятельности растений и животных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». — М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. — С. 884.
2. Гагарина Э. И., Абакумов Е. В. Об использовании агроруд для улучшения свойств почв // Вестник Санкт-Петербургского университета. — 2003. — Т. 3. — № 1. — С. 91–97.
3. Alekseenko V.A., Shvydkaya N. V., Alekseenko A. V., Yashchinin S. B. Natural Restoration of Mining Influenced Soils in the Northwestern Caucasus, Russia / Assessment, Restoration and Reclamation of Mining Influenced Soils. Elsevier Inc., 2017. Pp. 275–296. DOI: 10.1016/B978-0-12-809588-1.00010-4.
4. Пашкевич М. А., Матвеева В. А., Данилов А. С. Исследование миграции загрязняющих веществ с территорий техногенных массивов Кольского полуострова // Горный журнал. — 2019. — № 1. — С. 17–21. DOI: 10.17580/gzh.2019.01.04.
5. Nash W. L., Daniels W. L., Haering K. C., Burger J. A., Zipper C. E. Long-term effects of rock type on appalachian coal mine soil properties // Journal of Environmental Quality. 2016. Vol. 45. No 5, 1597–1606. DOI: 10.2134/jeq2015.10.0540.

6. Miller V.S., Naeth M.A. Amendments and substrates to develop anthroposols for northern mine reclamation // Canadian Journal of Soil Science. 2017. Vol. 97. No 2. Pp. 266–277. DOI: 10.1139/cjss-2016-0145.

7. Alvarenga P., Mourinha C., Farto M., Santos T., Palma P., Sengo J., Morais M. C., Cunha-Queda C. Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors // Waste Manag. 2015. Vol. 40. Pp. 44–52. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.01.027.

8. Белюченко И. С. Агрегатный состав сложных компостов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2013. — № 93. — С. 812–830.

9. Гаврилов С. В., Канарская З. А. Адсорбционные свойства торфа и продуктов его переработки // Вестник Казанского технологического университета. — 2015. — Т. 18. — № 2. — С. 422–427.

10. Харкевич Л. П. Влияние осадков сточных вод и известкования на урожай и качество сена многолетних трав // Агротехнический вестник. — 2011. — № 3. — С. 12–13.

11. Dietrich S. T., MacKenzie M. D., Battigelli J. P., Enterina J. R. Building a better soil for upland surface mine reclamation in northern Alberta: Admixing peat, subsoil, and peat biochar in a greenhouse study with aspen // Canadian Journal of Soil Science. 2017. Vol. 97. No 4. Pp. 592–605. DOI: 10.1139/CJSS-2017-0021.

12. Буланова А. В., Грецкова И. В., Муратова О. В. Исследование сорбционных свойств сорбентов, применяемых для очистки почв от нефтяных загрязнений // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. — 2005. — Т. 3. — № 37. — С. 150–158.

13. Бурмистрова Т. И., Алексеева Т. П., Перфильева В. Д., Терещенко Н. Н., Стахина Л. Д. Биодegradация нефти и нефтепродуктов в почве с использованием мелиорантов на основе активированного торфа // Химия растительного сырья. — 2003. — № 3. — С. 69–72.

14. Везенцев А. И., Трубицын М. А., Голдовская-Перистая Л. Ф., Воловичева Н. А. Сорбционная очистка почв от тяжелых металлов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. — 2008. — № 3 (43). — С. 172–175.

15. Панасин В. И., Роньжина Е. С., Шогенов Т. А., Рымаренко Д. А. Эколого-агротехнические аспекты использования глауконитовых песков в земледелии Калининградской области // Известия КГТУ. — 2017. — № 47. — С. 148–156.

16. Копчик Г. Н. Современные подходы к ремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами // Почвоведение. — 2014. — № 7. — С. 851–868. DOI: 10.7868/S0032180X14070077.

17. Кирейчева Л. В., Глазунова И. В. Природные сорбенты для детоксикации загрязненных почв // Плодородие. — 2008. — Т. 6. — С. 44–46.

18. Ежкова М. С., Биккинина Л. М.-Х., Ежков В. О. Влияние местных агроминералов (фосфоритов, глауконитов и цеолитов) на агрохимические свойства выщелоченного чернозема при возделывании яровой пшеницы // Вестник Казанского технологического университета. — 2013. — Т. 16. — № 20. — С. 148–151.

19. Манакова Н. К., Васильева Т. Н., Макаров В. Н., Никонов В. В., Лукина Н. В. Получение магниевых мелиорантов из горнопромышленных отходов и их применение для восстановления дефолилирующих лесов // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. — 2005. — № 2. — С. 165–166.

20. Умер М. И., Ванькова А. А. Микробиологическая активность на поверхности и внутри почвенных агрегатов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. — 2011. — № 6. — С. 78–83.

21. Tripathy S., Bhattacharyya P., Equeenuddin S. M., Kim K., Kulkarni H. D. Comparison of microbial indicators under two water regimes in a soil amended with combined paper mill sludge and decomposed cow manure // Chemosphere. 2008. Vol. 71. No 1. Pp. 168–175. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2007.10.042.

22. Литвинович А. В. История известкования почв // *Агрофизика*. — 2014. — № 2(14). — С. 45–52.

23. Балакай Г. Т., Докучаева Л. М., Юркова Р. Е., Усанина Т. В., Андреева Т. П., Долина Е. В., Стратинская Э. Н., Шалашова О. Ю. Способы мелиорации орошаемых солонцовых почв. — Депонированная рукопись, № 245-B2011, ВИНТИ РАН, 23.05.2011, 73 с.

24. Nevskaya M.A., Seleznev S.G., Masloboev V.A., Klyuchnikova E.M., Makarov D.V. Environmental and business challenges presented by mining and mineral processing waste in the Russian Federation // *Minerals*. 2019. Vol. 9. No 7. DOI: 10.3390/min9070445.

25. Кожевников Н. В., Заушинцева А. В. Проблема хранения плодородного слоя почвы в горнодобывающей отрасли промышленности // *Вестник Кемеровского государственного университета*. — 2015. — № 1-4 (61). — С. 10–14.

26. Романов Е. М., Мухортов Д. И., Нуреева Т. В. Мелиорация почв лесных питомников с применением нетрадиционных органических удобрений // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Серия: Лес. Экология. Природопользование. — 2013. — № 2(18). — С. 59–73.

27. Капелькина Л. П. Использование отходов в качестве мелиорантов почв и удобрений // *Экология и промышленность России*. — 2006. — № 4. — С. 4–7.

28. Межевова А. С. Нетрадиционные природные и техногенные удобрения-мелиоранты и их возможности // *Вестник аграрной науки Дона*. — 2016. — № 4(36). — С. 78–83.

29. Пындак В. И., Новиков А. Е. Природные мелиоранты на основе кремнеземов и глиноземов // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса наука и высшее профессиональное образование*. — 2015. — № 2(38). — С. 73–76.

30. Осипов А. И. Известьесодержащие отходы и их использование для химической мелиорации почв // *Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения*. — 2018. — Т. 13. — № 2. — С. 981–988.

31. Сивкова Д. М., Калинина Е. В. Нетрадиционные известковые мелиоранты // *Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе*. — 2018. — Т. 1. — С. 96–99.

32. Барановский И. Н., Подолян Е. А. Удобрительные смеси с участием осадков сточных вод на дерново-подзолистых почвах // *Молочнохозяйственный вестник*. — 2017. — Т. 3. — № 27. — С. 16–25.

33. Левандовская Т. В., Чупакова А. В. Агрехимические свойства отходов очистных сооружений Соломбальского и Архангельского ЦБК // *Вестник Поморского университета*. Серия: Естественные и точные науки. — 2005. — № 2. — С. 112–115. **ПИАБ**

REFERENCES

1. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2018 godu»* [On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2018. State report], Moscow, 2019, pp. 884. [In Russ].

2. Gagarina E. I., Abakumov E. V. Agro-ore usage to improve soil properties. *Vestnik of Saint-Petersburg University*. 2003. vol. 3, no 1, pp. 91–97. [In Russ].

3. Alekseenko V.A., Shvydkaya N.V., Alekseenko A.V., Yashchinin S.B. Natural Restoration of Mining Influenced Soils in the Northwestern Caucasus, Russia. *Assessment, Restoration and Reclamation of Mining Influenced Soils*. Elsevier Inc., 2017. Pp. 275–296. DOI: 10.1016/B978-0-12-809588-1.00010-4.

4. Pashkevich M.A., Matveeva V.A., Danilov A.S. Migration of pollutants from the mining waste disposal territories on the Kola Peninsula. *Gornyi Zhurnal*. 2019, no 1, pp. 17–21. DOI: 10.17580/gzh.2019.01.04.

5. Nash W. L., Daniels W. L., Haering K. C., Burger J. A., Zipper C. E. Long-term effects of rock type on appalachian coal mine soil properties. *Journal of Environmental Quality*. 2016. Vol. 45. No 5, 1597–1606. DOI: 10.2134/jeq2015.10.0540.
6. Miller V. S., Naeth M. A. Amendments and substrates to develop anthroposols for northern mine reclamation. *Canadian Journal of Soil Science*. 2017. Vol. 97. No 2. Pp. 266–277. DOI: 10.1139/cjss-2016-0145.
7. Alvarenga P., Mourinha C., Farto M., Santos T., Palma P., Sengo J., Morais M. C., Cunha-Queda C. Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors. *Waste Manag.* 2015. Vol. 40. Pp. 44–52. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.01.027.
8. Belyuchenko I. S. Aggregate composition of complex composts. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2013, no 93, pp. 812–830. [In Russ].
9. Gavrilov S. V., Kanarskaya Z. A. Adsorption properties of peat and its products. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2015. vol. 18, no 2, pp. 422–427. [In Russ].
10. Kharkevich L. P. Influence of sewage sludge and liming on yield and quality of perennial grasses hay. *Agrokhimicheskii vestnik*. 2011, no 3, pp. 12–13. [In Russ].
11. Dietrich S. T., MacKenzie M. D., Battigelli J. P., Enterina J. R. Building a better soil for upland surface mine reclamation in northern Alberta: Admixing peat, subsoil, and peat biochar in a greenhouse study with aspen. *Canadian Journal of Soil Science*. 2017. Vol. 97. No 4. Pp. 592–605. DOI: 10.1139/CJSS-2017-0021.
12. Bulanova A. V., Gretsikova I. V., Muratova O. V. Study of the sorption properties of sorbents used to clean soils from oil pollution. *Vestnik of Samara University. Natural Science Series*. 2005. vol. 3, no 37, pp. 150–158. [In Russ].
13. Burmistrova T. I., Alekseeva T. P., Perfil'eva V. D., Tereshchenko N. N., Stakhina L. D. Biodegradation of oil and oil products in soil using ameliorants based on activated peat. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2003, no 3, pp. 69–72. [In Russ].
14. Vezentsev A. I., Trubitsyn M. A., Goldovskaya-Peristaya L. F., Volovicheva N. A. Soils sorption purification from heavy metals. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 2008, no 3 (43), pp. 172–175. [In Russ].
15. Panasin V. I., Ron'zhina E. S., Shogenov T. A., Rymarenko D. A. Ecological and agrochemical aspects of using glauconitic sands in agriculture of the Kaliningrad region. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2017, no 47, pp. 148–156. [In Russ].
16. Koptsik G. N. Modern approaches to remediation of heavy metal polluted soils. *Eurasian Soil Science*. 2014, no 7, pp. 851–868. [In Russ]. DOI: 10.7868/S0032180X14070077.
17. Kireycheva L. V., Glazunova I. V. Natural sorbents for detoxification of contaminated soils. *Plodorodie*. 2008. vol. 6, pp. 44–46. [In Russ].
18. Ezhkova M. S., Bikkinina L. M.-Kh., Ezhkov V. O. The influence of local agrominerals (phosphorites, glauconites and zeolites) on the agrochemical properties of leached chernozem in the cultivation of spring wheat. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2013. vol. 16, no 20, pp. 148–151. [In Russ].
19. Manakova N. K., Vasil'eva T. N., Makarov V. N., Nikonov V. V., Lukina N. V. Obtaining magnesium ameliorants from mining waste and their use for the restoration of defoliation forests. *Trudy Fersmanovskoy nauchnoy sessii GI KNTS RAN*. 2005, no 2, pp. 165–166. [In Russ].
20. Umer M. I., Van'kova A. A. Microbiological activity on the surface and inside soil aggregates. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2011, no 6, pp. 78–83. [In Russ].
21. Tripathy S., Bhattacharyya P., Equeenuddin S. M., Kim K., Kulkarni H. D. Comparison of microbial indicators under two water regimes in a soil amended with combined paper mill sludge and decomposed cow manure. *Chemosphere*. 2008. Vol. 71. No 1. Pp. 168–175. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2007.10.042.

22. Litvinovich A. V. History of soil liming. *Agrophysica*. 2014, no 2(14), pp. 45–52.
23. Balakay G. T., Dokuchaeva L. M., Yurkova R. E., Usanina T. V., Andreeva T. P., Dolina E. V., Stratinskaya E. N., Shalashova O. Yu. *Sposoby melioratsii oroshaemykh solontsovykh pochv* [Reclamation methods for irrigated solonchic soils], Deposited manuscript. [In Russ].
24. Nevskaya M. A., Seleznev S. G., Masloboev V. A., Klyuchnikova E. M., Makarov D. V. Environmental and business challenges presented by mining and mineral processing waste in the Russian Federation. *Minerals*. 2019. Vol. 9. No 7. DOI: 10.3390/min9070445.
25. Kozhevnikov N. V., Zaushintsena A. V. The problem of topsoil storage in Kuzbass mining industry. *Bulletin of Kemerovo State University*. 2015, no 1-4 (61), pp. 10–14. [In Russ].
26. Romanov E. M., Mukhortov D. I., Nureeva T. V. Reclamation of forest nursery soils using unconventional organic fertilizers. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*. 2013, no 2(18), pp. 59–73. [In Russ].
27. Kapel'kina L. P. The use of waste as reclaimed soil and fertilizer. *Ecology and Industry of Russia*. 2006, no 4, pp. 4–7. [In Russ].
28. Mezheva A. S. Non-traditional natural and technogenic fertilizers-reclamants and their capabilities. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2016, no 4(36), pp. 78–83. [In Russ].
29. Pyndak V. I., Novikov A. E. Natural ameliorants based on silica and alumina. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2015, no 2(38), pp. 73–76. [In Russ].
30. Osipov A. I. Lime-containing industrial wastes and their use for chemical reclamation. *Zdorov'e – osnova chelovecheskogo potentsiala: problemy i puti ikh resheniya*. 2018. vol. 13, no 2, pp. 981–988. [In Russ].
31. Sivkova D. M., Kalinina E. V. Unconventional lime reclamants. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse*. 2018. vol. 1, pp. 96–99. [In Russ].
32. Baranovskiy I. N., Podolyan E. A. Fertilizer mixtures involving sewage sludge on sod-podzolic soils. *Molochnokhozyaystvenny vestnik*. 2017. vol. 3, no 27, pp. 16–25. [In Russ].
33. Levandovskaya T. V., Chupakova A. V. Agrochemical properties of wastewater treatment plants of Solombala and Arkhangelsk pulp and paper industry. *Vestnik Pomorskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tochnye nauki*. 2005, no 2, pp. 112–115. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петрова Татьяна Анатольевна¹ – канд. техн. наук, доцент,
 Рудзиш Эделина¹ – аспирант, e-mail: rudzisha@gmail.com,
¹ Санкт-Петербургский горный университет.
Для контактов: Рудзиш Э., e-mail: rudzisha@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

T. A. Petrova¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
 E. Rudzish¹, Graduate Student, e-mail: rudzisha@gmail.com,
¹ Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.
Corresponding author: E. Rudzish, e-mail: rudzisha@gmail.com.

Получена редакцией 08.06.2020; получена после рецензии 29.10.2020; принята к печати 10.03.2021.
 Received by the editors 08.06.2020; received after the review 29.10.2020; accepted for printing 10.03.2021.

