

М. А. Осинцева, Е. А. Дюкова

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА И БИОРЕКУЛЬТИВАЦИИ УГОЛЬНЫХ ОТВАЛОВ

Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию 23.06.2024 г.

Принята к публикации 06.09.2024 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2024-4-6

86

Для цитирования: Осинцева М. А., Дюкова Е. А. Изучение особенностей почвенного покрова и биорекультивации угольных отвалов // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные и медицинские науки. 2024. №4. С. 86 – 98. doi: 10.5922/vestniknat-2024-4-6.

Промышленные отвалы являются естественной средой обитания для многочисленных биоценозов в силу особенностей и направленности ранних этапов почвообразования. Целью данной работы стало изучение особенностей почвенного покрова и биорекультивации угольных отвалов. Показано, что на литологической неоднородности нарушенных территорий Кузбасса сказывается технология отработки, которая влияет на горный способ добычи угля. Установлено, что элювий на техногенно-нарушенных землях в зависимости от условий формирования имеет существенные различия по физико-химическим характеристикам, что обуславливает различное качество образующейся почвы и показывает необходимость проведения мелиорации. Метастабильным в более поздних поколениях фитоценозам свойственны обедненный состав и дефектный характер при достижении этой метастабильной стадии. Доказано, что воздействие растений на молодые почвы путем внесения удобрений может привести к накоплению биофильных элементов в верхней части профиля. Наличие редкоземельных и радиоактивных элементов в антраците вызывает медленное развитие биоты на поверхности отвалов из-за их потенциального токсического воздействия на микроорганизмы и растительность. Показано, что биорекультивация направлена на возобновление процессов почвообразования, улучшение способности почвы к самоочищению и воспроизводству фитоценозов. Подбор растений для рекультивации осуществляется на основе способности произрастать на техногенно нарушенных ландшафтах. Данные растения должны относиться к группе устойчивых видов с высоким фиторемедиационным потенциалом (например, *Pinus sylvestris*, *Picea pungens*, *Larix decidua*, *Physocarpus opulifolius*, *Betula pubescens*, *Populus nigra*, *Caragana arborescens*, *Rosa rugosa*, *Elaeagnus commutata*). Данные культуры отличаются высокой устойчивостью к неблагоприятным факторам и являются перспективными для проведения биологической рекультивации техногенно нарушенных ландшафтов.

Ключевые слова: почвообразование, грунт, мелиорация, фиторемедиация, фитоценозы, биота, метастабильная стадия



Введение

Промышленные отвалы являются естественной средой обитания для многочисленных биоценозов [1]. Процесс образования биоценозов протекает медленно из-за обедненности почвообразующих субстратов. Недостаток питательных веществ — значительное препятствие, особенно в засушливых регионах. Начальное почвообразование на отвалах полезных ископаемых аналогично первичному почвообразованию на стерильных породах в природе [2]. Несмотря на наличие минимально богатых питательными веществами почв, перекапывание поверхностных отвалов не повышает продуктивность растений и не осаждает питательные вещества, а усиливает почвообразовательный процесс и способствует росту активных почвенных микроорганизмов, в том числе хлорофиллов, за счет увеличения количества активных сообществ на суше. Азотфиксаторы, дополненные удобрениями, вносились вместе с плодородным слоем почвы (почвенный слой), в результате чего формировался плодородный слой почвы [1]. Глубокая добыча угля во влажном морском климате Великобритании может привести к загрязнению среды роста растений кислотными сточными водами, о чем свидетельствует степень, в которой они загрязняют потенциальную среду для роста растений [3]. Получение угольного сланца часто приводит к дефициту питательных веществ и проблемам токсичности из-за выветривания, абиотического разрушения при значительных пространственных и временных различиях данных параметров [2].

Целью данной работы являлось изучение особенностей почвенного покрова и биорекультивации угольных отвалов.

Воздействие добычи угля на ландшафт

Добыча угля в Лужицкой горной области на востоке Германии наносит большой ущерб окружающим ландшафтам. Обилие пирита, в основном образующегося из золы, главного компонента подавляющего большинства почвообразующих пород, делает мелиоративные работы неэффективными из-за чрезвычайной фитотоксичности почвообразующих горных пород. Пирит часто демонстрирует резкое снижение значений рН, электропроводности и растворимости, а при выветривании электропроводность увеличивается, что делает его лучшим субстратом для аккумуляции ионов тяжелых металлов, которые влияют на качество дренажных и грунтовых вод на территории карьера [4].

По данным ведущих ученых, проводивших эксперименты на отвалах бурого угля месторождениях, на преобразование углеродных молекул значительное влияние оказывают условия окружающей среды. Было обнаружено, что минерализация угля увеличивалась при рН 5,3 в отличие от минерализации при 3,2, когда кислотность озерных отложений, несущих уголь, была оставлена на размыв, что указывает на то, что скорость минерализации обычно выше с увеличением рН [5].

На литологическую неоднородность нарушенных территорий Кузбасса влияет способ их обработки и добычи угля [6]. Жидкие покровные отложения также удерживаются в отвалах за пределами карьера для удаления горных пород и первичных отложений [7].



На поверхности районов, нарушенных добычей угля, отмечается сильная мощность гумусово-аккумулятивных горизонтов с высокими как средними, так и расчетными темпами увеличения мощности [8]. Почвообразующие породы никелевых отвалов имеют уникальный минералогический и гранулометрический состав, что обуславливает самовосстановление, поэтому почвенно-растительный покров на никелевых отвалах требует больше времени для прогрева, чем угольные и железорудные месторождения. В растительности на отвалах количество микроэлементов в 200 раз превышает фоновые значения без учета сенокосного и сельскохозяйственно-пастбищного использования мелиорированных территорий. При биомелиорации вскрышных пород микроэлементами для оценки их пригодности для биологической рекультивации помимо химического состава следует учитывать содержание и подвижность этих микроэлементов [9].

Отложения залежей при магнитной аномалии состоят из избытка пород с химическими и агрохимическими свойствами, описанными в тексте работы [10]. По мнению авторов, существуют значительные несовпадения в физико-химических свойствах, геологических условиях расположения технического элювия и разновозрастных пород, что становится причиной различий в качестве условий почвообразования и требует применения методов мелиорации почв.

Субстрат, расположенный на отвалах, может ускорить процесс восстановления растительных биоценозов. Биоразнообразие растительных сообществ дополняется биологическими факторами. Медленное восстановление растительных сообществ – это процесс ремедиации более глубокого слоя почвы, который может постепенно замещать верхний. При этом выявляют слабые и непродуктивные растения, характеризующиеся качеством и количеством удобрений, требуемых для выращивания. Как видно, контроль за состоянием почвенного покрова не ограничивается первым десятилетием. Метастабильные в более поздних поколениях фитоценозы характеризуются обедненным составом и дефектным характером при достижении метастабильной стадии. Растения и их виды составляют значительную часть агрохимических признаков почвообразующих субстратов [11].

Технологические ландшафты рыхлых пород и молодых почв характеризуются сложными геохимическими закономерностями поглощения наносов и перемещения биологических факторов, связанных с разнообразием почвенно-водной системы, что делает их более сложными, чем природные ландшафты. Влияние растений, удобряющих молодые почвы, приводит к накоплению органических компонентов в верхней части профиля [12]. Показано, что токсичные соли, содержащиеся в подземных водах и нефтяных месторождениях Гомельской области Беларуси, вызывают гибель молодых сеянцев сосны, а стадия грубого саморазвития продлевается до 5 лет. Удлиняется вегетационный период многолетних и древесных растений. Слой коры характеризуется мембранозной оболочкой. Первоначальная экология леса строго не отслеживалась, поэтому ее структура неясна. В течение 5 лет на полигонах угольных отвалов происходит травяная фитофагия, концентрации растворенных солей в верхних грунтовых водах и водоносных горизонтах



приближаются к фоновым, а через 10–15 лет отвалы замещаются молодыми вторичными лесами с высоким содержанием растворимых солей. Примерно 10–15 лет лес покрывается густым кустарником [13].

На золоотвалах Томь-Усинской ГРЭС и хвостохранилищах обогащенных комбинатов в Кемеровской области почвообразование оценивается в целом как неудовлетворительное при неблагоприятном состоянии грунтовых вод. На органической стадии рекультивации (в течение 20 лет) период появления почвенных зародышей фитоценозов является основным фактором для структурирования поверхности. Невозможно создать корнеобитаемый слой без рекультивации почв, без нанесения потенциально плодородного слоя (ППС) и плодородного слоя почвы (ПСП). Без рекультивации нарушенные почвы могут оказывать негативное воздействие на среду их обитания [14].

Польские ученые анализировали техническую пыль, образующуюся при утилизации отходов теплоэлектростанций после сжигания каменного угля. В ходе исследования были выявлены особенности золы, виды и показатели почвообразования отвалов раннего возраста. Свойства анализируемого материала зависят от типа золы, способа утилизации и переработки шлаков. Количество образующейся молодой почвы зависит от условий почвообразования, на которые воздействуют растительность, деятельность человека и климатические / метеорологические условия [15].

Данные бурогольных бассейнов Московского региона показывают, что после процесса оседания зола движется вниз по течению и образует естественные территориальные конфигурации, но в то же время может переноситься и образовываться в соседних регионах, представляя собой сложный природный территориальный комплекс. В результате ландшафтного освоения угольных и пустынных отвалов заселяются наиболее равнинные участки, где появились пионерные растения, примитивные и менее токсичные почвы, а также природные продукты [16].

В Испании была предложена технология, основанная на использовании донных отложений для восстановления деградированных или загрязненных земель. Предварительные исследования показали, что осадок нельзя использовать в качестве грунта без соответствующей подготовки из-за его неблагоприятного механического (гранулометрического) состава, который приводит к образованию корки и выветриванию. Пресные подземные воды обрабатываются иловыми добавками, а различные органические примеси, извлекаемые из отходов, используются для улучшения состава технологии и повышения физико-химических свойств вновь получаемых материалов. Тесты на оксиды в растениях показали, что в изученных отложениях было слишком много солей, чтобы поддерживать рост семян. Использование бессолевых удобрений для компостирования повышало всхожесть более чем в три раза [17].

Методы, которые сводят к минимуму негативное воздействие грунтовых вод на растительность, направлены не только на экологические риски, но и на восстановление и улучшение экосистемных услуг. В биотехнологии известковый гравий с щелочным буфером используется для естественного отделения сульфатсодержащих отходов. Его покрывают сначала сельскохозяйственными, затем шахтными отходами (стальной сеткой) и растительной мульчей. Используя данный прием, удалось до-



биться значительного увеличения энергии прорастания и накопления биомассы растений по сравнению с контрольным методом. Биомасса этих видов растений не отличается высокой концентрацией, поэтому, несмотря на опасные уровни элемента, его уровни недоступны для домашнего скота [18].

Искусственные ландшафты могут иметь прилегающие скальные породы, но биологическое развитие подземных вод ограничено перенаселенностью, недостатком питательных веществ или концентрацией растворимых солей и тяжелых металлов (то есть концентрацией растворимых солей и тяжелых металлов).

Содержание угля в почвообразующих породах определяет специфику угольных отложений, а их удельный вес составляет более 10 %. Количество древесного угля, отложившегося в отходах, влияет на скорость и тенденцию развития подземных вод за счет метаморфизма, окисления и диффузии молодых почв, подвергающихся процессам почвообразования [19]. Антрациты – минерал, наиболее быстро поддающийся воздействию в процессе диагенеза, что придает ему уникальные характеристики по сравнению с другими твердыми горючими минералами (ТГМ). Метаморфизм угля – это непрерывное явление, которое происходит, когда геологические события изменяются в жидких, текущих каналах. При образовании антрацита происходит не только складчатость и оседание угленосных толщ, но и контактный метаморфизм – взаимодействие глубинных пород с внедрением их погребенных поверхностей, – приводящий к образованию антрацита [20; 21]. Установлено, что горловские антрациты имеют слоистое ядро в условиях сухих болот, что позволяет предположить по составу и форме глинистых минералов (указаны в соотношениях) накопление осадков в этих сухих болотах и их проседание (региональный метаморфизм) [22; 23]. О динамометаморфическом влиянии свидетельствует сложное геологическое строение Горловской котловины, характеризующееся слоями трещин и перетяжек, а также поверхностями скольжения. Контактный метаморфизм также является возможным признаком угленосных толщ, вариации степени метаморфизма и присутствия долеритов в высоких концентрациях угленосных толщ, а также степени пеплообразования, количества и интенсивности минералов. Пеплообразование происходит во время метаморфоза, на что могут влиять наличие сланцевых отложений и концентрация тяжелых металлов [24 – 26].

Метаморфизм изменяет химический состав и свойства горловского антрацита, повышая его механическую прочность и жаростойкость. Антрацит подвергается набуханию и окислению CO_2 , ускоряя реакцию и превращаясь в метаморфизованный донецкий антрацит [27 – 31]. Большие количества микроэлементов обеспечивают возможность поглощения и секреции ионов, создавая соответствующие условия для удобрения микробиоты и растений питательными веществами, необходимыми для роста растений [32].

Горловский антрацит пригоден для промышленных процессов благодаря своей высокой концентрации, стойкости к окислению на воздухе и механическим свойствам, что делает его ценным сырьем [33]. Кроме



того, эти свойства гарантируют, что антрацит не подвергается атмосферным воздействиям в условиях окружающей среды, что повышает его защиту. Условия образования антрацитовых углей влияют и на источник осадконакопления аргиллитов и сланцев, слагающих покрытие Горловских отвалов, что имеет место почти во всех случаях. Восстановление почвенного покрова и растительности при добыче антрацитовых углей занимает больше времени, чем при размещении в сопоставимых технических ландшафтах для каменного и бурого угля [19]. В Горловском бассейне антрацит добывается карьерным способом, а в Донбассе удаление вскрышных и угленосных пород занимает важную площадь, затрагивая в 10 раз больше соседних территорий [34].

Наличие редкоземельных и радиоактивных элементов в антраците вызывает медленное развитие биоты на поверхности отвалов из-за их потенциального токсического воздействия на микроорганизмы и растительность. Молодые почвы склонны чаще накапливать гумус при засыпке, что также выступает причиной этого явления [35]. Экологические условия отвалов месторождений антрацита неудовлетворительны для почвообразования на протяжении как минимум 20 лет из-за неблагоприятных факторов, влияющих на почвообразование и качество почв [36].

В таблице 1 представлена зависимость вида рекультивации от объекта рекультивации.

Таблица 1

Характеристика вида рекультивации в зависимости от объекта рекультивации

Наименование объекта рекультивации	Виды рекультивации	
	Лесная	Травянисто-кустарниковая
Отвалы грунты	Непригодные по физико-химическому составу породы	Малопригодные по физико-химическому составу породы
Рекультивационный слой	Потенциально плодородный слой, плодородный слой почвы	Потенциально плодородный слой, плодородный слой почвы, экранирующий слой

Биорекультивация угольных отвалов

Биорекультивация направлена на возобновление процессов почвообразования, улучшение способности почвы к самоочищению и воспроизводству фитоценозов. Формирование культурных ландшафтов на техногенных почвах достигается лишь после завершения биорекультивации [37].

Биологическая рекультивация проводится в два этапа. Не первом осуществляют подбор растений, способных произрастать на техногенно нарушенных ландшафтах. Они должны относиться к группе устойчивых видов с высоким фиторемедиационным потенциалом.



Заращение техногенно нарушенных участков способствует возникновению запаса органического вещества, который в результате биохимических процессов улучшает питательный режим этих почв и поддерживает образование устойчивого растительного сообщества [38].

Скорость почвообразования и формирование почвенных горизонтов зависят от свойств почвообразующих пород, их водного и теплового режимов, рельефа, природно-климатических условий данного района, от видового состава растительности и продолжительности природного восстановления земель [39].

Для проведения биологических этапов рекультивации подбираются древесные породы, которые обладают высокой устойчивостью к нарушенным ландшафтам и неблагоприятным факторам. По СФО, самые распространенные древесные породы – это сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), ель колючая (*Picea pungens*), лиственница европейская (*Larix decidua*), пузыреплодник калинолистный (*Physocarpus opulifolius*), береза пушистая (*Betula pubescens*), тополь пирамидальный (*Populus nigra*), карагана древовидная (*Caragana arborescens*), роза морщинистая (*Rosa rugosa*), лох серебристый (*Elaeagnus commutata*), ива (*Salix*).

Сосна обыкновенная – растение-фиторемедиатор, относится к группе быстрорастущих хвойных пород. Сосны обладают высокой устойчивостью к засухе, не нуждаются в частом поливе, благодаря мощной корневой системе способствуют улучшению структурного состояния почвы [40].

В условиях техногенно нарушенных ландшафтов в последнее время активно используются саженцы ели обыкновенной и лиственницы европейской. Данные культуры хорошо справляются со снижением уровня тяжелых металлов в почве. Ель и лиственница как растения-фиторемедиаторы являются шумо- и ветрозащитными [41].

Также для восстановления ландшафтов высаживают лиственные деревья и кустарники.

Пузыреплодник калинолистный – быстрорастущий теневыносливый кустарник, произрастающий на различных типах почв, способен выдерживать кратковременную засуху и затопление в весенний период.

Тополь белый или серебристый достигает в местных условиях 25 м. В региональной культуре высокозимостойкий (5 баллов), засухоустойчивый (4 балла), мало поражается болезнями и вредителями (4 балла). Тополь – светолюбивая лиственная культура, но выносит боковое затенение. Растет быстро. Выдерживает избыточное увлажнение и засоление почвы, пылегазостойчив.

Ива – род древесных быстрорастущих растений, которые могут спокойно произрастать на участках с высоким залеганием грунтовых вод в течение всего периода вегетации. Для лучшей приживаемости следует высаживать молодые саженцы до 3 лет.

Роза морщинистая – неприхотливый кустарник, который может произрастать на любых почвах, в последнее время используется как растение-фиторемедиатор, так как хорошо вегетирует на почвах с высоким содержанием меди.

Следующая группа растений: береза, лох серебристый, карагана древовидная. Они способны накапливать тяжелые металлы в надземных



органах. Данный процесс называется гипераккумуляцией. Как правило, срок эксплуатации насаждений на участках с высоким содержанием тяжелых металлов составляет до 20 лет, далее у древесных культур наблюдается снижение вегетативной продуктивности, поэтому рекомендовано через 10 лет после проведения лесовосстановления осуществлять посадку растений [42].

Заключение

В результате проведенных исследований изучены особенности почвенного покрова и биорекультивации угольных отвалов. Показано, что на литологическую неоднородность нарушенных территорий Кузбасса влияет метод их отработки и горный способ добычи угля. Метастабильные в более поздних поколениях фитоценозы характеризуются обедненным составом и дефектным характером при достижении этой стадии. Показано, что биорекультивация направлена на возобновление процессов почвообразования, улучшение способности почвы к самоочищению и воспроизводству фитоценозов. Подбор растений для рекультивации осуществляется на основе способности произрастать на техногенно нарушенных ландшафтах. Данные растения должны относиться к группе устойчивых видов с высоким фиторемедиационным потенциалом (например, *Pinus sylvestris*, *Picea pungens*, *Larix decidua*, *Physocarpus opulifolius*, *Betula pubescens*, *Populus nigra*, *Caragana arborescens*, *Rosa rugosa*, *Elaeagnus commutata*). Эти культуры отличаются высокой устойчивостью к неблагоприятным факторам и являются перспективными для проведения биологической рекультивации техногенно нарушенных ландшафтов.

Работа ведется в рамках Распоряжения Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. № 1144-р, комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» («Чистый уголь – зеленый Кузбасс»), мероприятия 3.1 «Экополигон мирового уровня технологий рекультивации и ремедиации». При финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2022-1200 от 28.09.2022 г.).

Список литературы

1. Колесников Б. П., Пикалова Г. М. К вопросу о классификации промышленных отвалов как компонентов техногенных ландшафтов // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1974. С. 3 – 28.
2. Kent M. Plant growth problems in colliery spoil reclamation – a review // Applied Geography. 1982. Vol. 2, iss. 2. P. 83 – 107. doi: 10.1016/0143-6228(82)90029-7.
3. Dang Z., Liu C., Haigh M. Mobility of heavy metals associated with the natural weathering of coal mine spoils // Environmental Pollution. 2002. Vol. 118. P. 419 – 426. doi: 10.1016/S0269-7491(01)00285-8.



4. Hüttl R.F. Ecology of post strip-mining landscapes in Lusatia, Germany // *Environmental Science and Policy*. 1998. Vol. 1. P. 129–135. doi: 10.1016/S1462-9011(98)00014-8.

5. Chabbi A., Rumpel C., Grootes P.M. et al. Lignite degradation and mineralization in lignite-containing mine sediment as revealed by ¹⁴C activity measurements and molecular analysis // *Organic Geochemistry*. 2006. Vol. 37. P. 957–976. doi: 10.1016/j.orggeochem.2006.02.002.

6. Рагим-заде Ф.К. Почвообразующие породы техногенных ландшафтов. Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск, 1992. С. 15–45. EDN: VQRTQK.

7. Кулебакин В.Г. Микроорганизмы рекультивируемых отвалов Байдаевского углереза в Кузбассе и их окислительная активность // *Почвообразование в техногенных ландшафтах*. Новосибирск, 1979. С. 179–185.

8. Daniels W.L., Haering K.C., Galbraith J.M. Mine soil morphology and properties in pre- and post- SMCRA coal mined landscapes in Southwest Virginia // *Proceedings American Society of Mining and Reclamation*. 2004. Vol. 1. P. 421–449. doi: 10.21000/JASMR04010421.

9. Махонина Г.И. Начальные процессы почвообразования на породных отвалах Липовского месторождения никеля // *Почвообразование в техногенных ландшафтах*. Новосибирск, 1979. С. 123–140.

10. Пигорев И.Я., Буланова Ж.А. Агрехимические свойства вскрышных пород, как условие почвообразовательного процесса и рекультивации КМА // *Актуальные проблемы экологии и природопользования : материалы Всерос. науч.-практ. конф.* 2017. С. 111–114. EDN: YUBCAR.

11. Тарчевский В.В., Чибрик Т.С. Естественная растительность отвалов при открытой добыче каменного угля в Кузбассе // *Ученые записки УрГУ. Серия биологическая*. Свердловск, 1970. Вып. 5, №94. С. 65–77.

12. Етеревская Л.В., Угарова В.А. Процессы почвообразования в техногенных ландшафтах степи УССР // *Почвообразование в техногенных ландшафтах*. Новосибирск, 1979. С. 140–156.

13. Гусев А.П. Фитоиндикационная оценка качества рекультивации земель, нарушенных при бурении скважин // *Экология и промышленность России*. 2008. №1. С. 39–41. EDN: JVRXOP.

14. Двуреченский В.Г., Андроханов В.А. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов Новокузнецкого промышленного комплекса // *Живые и биокосные системы*. 2017. №20. С. 1–15. EDN: ZBEXKB.

15. Uzarowicz Ł., Zagórski Z., Mendak E. et al. Technogenic soils (Technosols) developed from fly ash and bottom ash from thermal power stations combusting bituminous coal and lignite. Part I. Properties, classification, and indicators of early pedogenesis // *Catena*. 2017. Vol. 157. P. 75–89. doi: 10.1016/j.catena.2017.11.005.

16. Шаранова А.В., Семенков И.Н., Леднев С.А. и др. Саморазвитие горнопромышленных ландшафтов старого района угледобычи в тульской области // *Экология и промышленность России*. 2017. Т. 21, №12. С. 54–59. doi: 10.18412/1816-0395-2017-12-54-59. EDN: ZUMFCZ.

17. Macía P., Fernández-Costas C., Rodríguez E. et al. Technosols as a novel valorization strategy for an ecological management of dredged marine sediments // *Ecological Engineering*. 2014. Vol. 67. P. 182–189. doi: 10.1016/j.ecoleng.2014.03.020.



18. Santos E. S., Abreu M. M., Macías F. Rehabilitation of mining areas through integrated biotechnological approach: Technosols derived from organic / inorganic wastes and autochthonous plant development // *Chemosphere*. 2019. Vol. 224. P. 765–775. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.02.172.

19. Соколов Д. А., Нечаева Т. В. Поглощительная способность и состав обменных катионов различных видов угля // *Углекислотная химия и экология Кузбасса*. 2019. С. 55. EDN: GMBEFC.

20. Меленевский В. Н., Фомин А. Н., Конышев А. С., Талибова А. Г. Контактное преобразование угля под воздействием долеритовой дайки (Кайерканское месторождение, Норильский район) // *Геология и геофизика*. 2008. Т. 49, №9. С. 886–894. EDN: JWGIMH.

21. Хоменко А. В., Гордеева А. О., Павлов А. Л. Трапповый магматизм – основная причина метаморфизма угля и массовой генерации углеводородов в Тунгусском угольном бассейне // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2005. №6. С. 72–80. EDN: PFHAFH.

22. Остапьевская Н. С. Антрациты Горловского бассейна Западной Сибири – сырье для производства электродов. Новосибирск, 1978.

23. Кизильштейн Л. Я., Наставкин А. В. Минералы глин в антрацитах // *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2003. №1. С. 30–37. EDN: RSYTLZ.

24. Угольная база России. М., 2003. Т. II : Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири.

25. Вялов В. И., Голицын М. В., Голицын А. М. Антрациты России и мира. М., 1998. EDN: WZDUDB.

26. Скрипченко Г. Б. Структура, свойства и направления использования антрацитов Горловского бассейна // *Химия твердого топлива*. 2010. №3. С. 3–15. EDN: LSQXYR.

27. Улановский М. Л. Теплота сгорания углей: основные закономерности изменения и новые способы расчета // *Кокс и химия*. 2010. №9. С. 5–12. EDN: MUVRDV.

28. Каменецкий Б. Я. Тепловая эффективность котлов при работе на антраците, каменных и бурых углях // *Промышленная энергетика*. 2011. №2. С. 12–14. EDN: MNOBTM.

29. Самойлик В. Г. Классификация твердых горючих ископаемых и методы их исследований. Харьков, 2016.

30. Гольнская Ф. А. Степень метаморфизма как главный генетический признак самовозгорающихся углей // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2013. №7. С. 164–169. EDN: RGRPDL.

31. Пинчук В. А. Экспериментальные исследования закономерностей воспламенения и горения водоугольного топлива, полученного из углей различной стадии метаморфизма // *Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии*. 2014. №1 (14). С. 159–164. EDN: WFRCKN.

32. Нечаева Т. В., Соколов Д. А. Оценка К-фиксирующей способности различных видов углей // *Природно-техногенные комплексы: современное состояние и перспективы восстановления* : сб. материалов междунар. науч. конф. 2016. С. 173–179. EDN: WIJOAL.



33. Вялов В. И. Качества и свойства антрацитов основных угольных бассейнов и месторождений СНГ и их рациональное использование // Обзорная информация. Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений топливно-энергетического сырья. 1994. №6. С. 1–74. EDN: XAJSGX.

34. Артамонова В. С., Бортникова С. Б., Оплеухин А. А. Техногенное загрязнение почв подотвальными водами в районе угледобычи // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2016. №4 (28). С. 38–45. EDN: XIPFZD.

35. Артамонова В. С. Биогеохимические аспекты почвообразования в угледобывающих районах // Антропогенная трансформация природной среды. 2017. №3. С. 179–181. EDN: ZUJVPT.

36. Госсен И. Н., Кулижский С. П., Данилова Е. Б., Соколов Д. А. Бонитировочный подход к оценке почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов Сибири (на примере отвалов антрацитовых, каменно- и бурогольных месторождений) // Вестник НГАУ. 2016. №2 (39). С. 71–81. EDN: WIQRYR.

37. Андроханов В. А. Практическое решение проблемы рекультивации нарушенных земель на основе инновационного процесса // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. №12. С. 258–264. EDN: KXTAXT.

38. Гордеева Т. Х. Биология. Разнообразие живых организмов в природных сообществах : учеб. пособие. Йошкар-Ола, 2004. EDN: QKNBSV.

39. Гордеева Т. Х., Малюта О. В. Динамика параметров биологической активности почвы как показатель почвенноэкологических условий на объекте рекультивации // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. №2 (40). С. 34–36. EDN: QAQTNP.

40. Залесов С. В., Залесова Е. С., Зверев А. А. и др. Искусственное лесовосстановление на рекультивированных землях в округе сосново-березовых предлесостепных лесов // Проблемы воспроизводства лесов Европейской тайги. Кострома, 2012. С. 63–66.

41. Карасева М. А., Лежнин К. Т. Применение фитомелиорантов при выращивании искусственных насаждений хвойных пород : монография. Йошкар-Ола, 2012. EDN: QLCVOP.

42. Застенская Л. Л. Рост и продуктивность березы и ее роль в формировании гумусового горизонта на нарушенных землях // Лесоведение и лесное хозяйство. 1990. №25. С. 54–56.

Об авторах

Мария Алексеевна Осинцева – канд. техн. наук, Кемеровский государственный университет, Россия.

E-mail: stas-asp@mail.ru

ORCID: 0000-0002-4045-8054

SPIN-код: 8266-5409

Евгения Алексеевна Дюкова – специалист проектного офиса Управления проектной деятельности, Кемеровский государственный университет, Россия.

E-mail: jeniadulova@mail.ru

ORCID: 0009-0001-1372-2091

SPIN-код: 3718-4930



М. А. Осинцева, Е. А. Дюкова

STUDYING THE FEATURES OF SOIL COVER
AND BIORECLAMATION OF COAL DUMPS

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Received 23 June 2024

Accepted 09 September 2024

doi: 10.5922/vestniknat-2024-4-6

To cite this article: Osintseva M. A., Dyukova E. A., 2024, Studying the features of soil cover and bioreclamation of coal dumps, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural and Medical Sciences*, №4. P. 86–98. doi: 10.5922/vestniknat-2024-4-6.

97

*Industrial dumps serve as natural habitats for numerous biocenoses due to the specific features and directionality of early soil formation processes. The purpose of this study is to investigate the characteristics of soil cover and bioremediation on coal dumps. It is demonstrated that the lithological heterogeneity of disturbed territories in Kuzbass is influenced by mining technologies, which directly affect the methods of coal extraction. The study establishes that eluviated material on technogenically disturbed lands shows significant variations in physical and chemical properties depending on the conditions of formation. These differences determine the varying quality of the resulting soils and underscore the need for reclamation efforts. Phytocenoses at later metastable stages of development exhibit impoverished composition and structural deficiencies upon reaching this stage. It is proven that the impact of vegetation on young soils, supplemented by fertilization, can lead to the accumulation of biophilic elements in the upper soil profile. The presence of rare earth and radioactive elements in anthracite slows the development of biota on dump surfaces due to their potentially toxic effects on microorganisms and vegetation. Bioremediation is shown to focus on restoring soil formation processes, enhancing soil self-purification capabilities, and re-establishing phytocenoses. The selection of plant species for reclamation is based on their ability to thrive in technogenically disturbed landscapes. These species should belong to a group of resilient plants with high phytoremediation potential, such as *Pinus sylvestris*, *Picea pungens*, *Larix decidua*, *Physocarpus opulifolius*, *Betula pubescens*, *Populus nigra*, *Caragana arborescens*, *Rosa rugosa*, and *Elaeagnus commutata*. These species are characterized by high resistance to adverse factors and are considered promising for biological reclamation of technogenically disturbed landscapes.*

Keywords: soil formation, soil, reclamation, phytoremediation, phytocenoses, biota, metastable stage

The authors

Dr Maria A. Osintseva, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia.

E-mail: stas-asp@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4045-8054>

SPIN-код: 8266-5409



Evgenia A. Dyukova, Specialist of the Project Office of the Management of Project Activities, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia.

E-mail: jeniadulova@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0001-1372-2091>

SPIN-код: 3718-4930