



Всероссийская научно-практическая
конференция с международным участием

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ: ТЕХНОЛОГИИ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ И БИОРАЗНООБРАЗИЕ

Новокузнецк – Междуреченск 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
АДМИНИСТРАЦИЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА КУЗБАССА
МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ КУЗБАССА
АДМИНИСТРАЦИЯ ГОРОДА НОВОКУЗНЕЦКА
ООО «РАСПАДСКАЯ УГОЛЬНАЯ КОМПАНИЯ»
СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ СО РАН
АНО «НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР «КУЗБАСС»

**РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ:
ТЕХНОЛОГИИ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ
И БИОРАЗНООБРАЗИЕ**

**Сборник научных трудов Всероссийской научно-
практической конференции с международным участием
(1–3 октября 2024 года, г. Новокузнецк)**

СибГИУ, ИПА СО РАН
Новокузнецк, Новосибирск, 2024

УДК 504.06

ББК 40.3

Р 367

Редакционная коллегия:

д.б.н., В. А. Андроханов (ответственный редактор); д.б.н., Д. А. Соколов;
д.т.н., профессор Н. В. Журавлева; д.т.н., профессор М. В. Темлянцев;
к.б.н., доцент И. С. Семина

Р 367 Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность и биоразнообразие: сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет; под общ. ред. В. А. Андроханова. – Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2024. – 305 с. DOI: [10.31251/conf-2-2024](https://doi.org/10.31251/conf-2-2024)

В сборнике трудов Всероссийской научно-практической конференции «Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность и биоразнообразие» представлены работы учёных, аспирантов, студентов научно-исследовательских и образовательных учреждений России и зарубежных стран.

Цель конференции – обсуждение актуальных вопросов восстановления нарушенных земель, их функций, продуктивности, биоразнообразия и перспектив использования в пост-техногенный период. Работа конференции была организована по трём тематическим направлениям: 1. Современные технологии и методы рекультивации. Опыт внедрения на промышленных предприятиях; 2. Почвенно-экологическое состояние природно-техногенных экосистем и перспективы восстановления; 3. Мониторинг техногенных ландшафтов, перспективы использования нарушенных территорий в климатических проектах и восстановление биоразнообразия. Экологический мониторинг объектов окружающей среды.

Конференция позволила специалистам из разных регионов обменяться мнениями, ознакомиться с научно-практическими подходами к реализации рекультивационных работ на различных техногенно нарушенных объектах и общими представлениями о значимости рекультивационных мероприятий в улучшении экологической ситуации в промышленно развитых регионах.

Предназначено для специалистов в области рекультивации, экологии, почвоведения, геоботаники, географии, охраны окружающей среды.

Ответственность за достоверность сведений, представленных в сборнике, несут авторы соответствующих материалов.

УДК 504.06
ББК 40.3

ISBN 978-5-7806-0620-8

© Авторы статей
© ООО «Распадская угольная компания»
© Сибирский государственный индустриальный университет
© ФГБУН «Институт почвоведения и агрохимии СО РАН»

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

СЕКЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ. ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ»

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Боровская А.С., Гаевая Е.В. Исследование микробиологических свойств нефтезагрязненных торфяно-болотных почв при применении нефтеструктуров..... | 7 |
| Бочарникова Е.А. Влияние активных форм кремния на подвижность тяжелых металлов в техногенно-загрязненных водах и грунтах..... | 12 |
| Глянцева Ю.С., Зуева И.Н., Чалая О.Н., Лифшиц С.Х., Попова Н.И. Опыт применения биоремедиации нефтезагрязненных почв на нефтебазах в условиях Крайнего Севера..... | 16 |
| Грицай М.А., Бауэр Т.В., Поляков В.А., Бутова В.В. Новые методы очистки почв, загрязненных тяжелыми металлами..... | 22 |
| Гуменная Е.А., Брикманс А.В. Запасы гумуса в антропогенно-нарушенных почвах при внесении биоугля на о. Русский..... | 25 |
| Залесов С.В., Котова В.С., Марковская А.Н., Осипенко Р.А., Розинкина Е.П. Совершенствование способов рекультивации различных видов нарушенных земель... | 28 |
| Капелькина Л.П., Малышкина Л.А. Восстановление нарушенных земель на объектах нефтедобычи в Среднем Приобье | 32 |
| Корчагин И.Е. Опыт рекультивации золоотвала в Свердловской области..... | 36 |
| Лысенко Н.Е., Трофименкова В.А., Шпилова А.М. Горно-таежная и лесостепная растительность Кемеровской области для карбоновых ферм..... | 39 |
| Матыченков В.В. Использование кремниевых препаратов при рекультивации техногенно деградированных регионов..... | 47 |
| Мурзакматов Р.Т., Шишкин А.С. Искусственное лесоразведение на рекультивированных отвалах Бородинского бурогоугольного разреза..... | 51 |
| Петров А.И., Котова В.С., Залесов С.В. Производительность искусственных сосняков на дражных отвалах в Южно-Уральском лесостепном районе..... | 54 |
| Темлянцев М.В., Темлянцева Е.Н., Приходько О.Г., Семина И.С., Водолев А.С., Черникова О.П. Новые вызовы – новые кадры. Опыт проектирования новых образовательных программ в Сибирском государственном индустриальном университете..... | 57 |
| Тюрюков А.Г. Некоторые особенности технологии биологической рекультивации на севере Тюменской области..... | 61 |
| Цзе Х., Кочеткова Е.М., Эпштейн С.А. Опыт использования кинетических тестов для оценки отходов добычи углей как материалов для рекультивации..... | 64 |
| Хронюк О.Е., Бауэр Т.В., Барахов А.В., Минкина Т.М. Температура пиролиза и добавление лигнинсодержащей биомассы как ключевые факторы получения безопасных биосорбентов из осадков сточных вод в целях восстановления почв..... | 67 |
| Шайхислам Г., Соловьев Т.М., Эпштейн С.А. Почвогрунты для биологической рекультивации техногенно нарушенных земель..... | 72 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Яковлев А.П., Булавко Г.И. Использование микробных препаратов для оптимизации лесной рекультивации песчано-гравийных карьеров..... | 75 |
| СЕКЦИЯ «ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ» | |
| Абакумов Е.В. Литорефлекторность техногенных ландшафтов северо-запада России и проблемы почвовосстановления..... | 80 |
| Абакумов Е.В., Джи К., Янг С., Ву С. Ключевые проблемы рекультивации земель в Ямальском регионе..... | 84 |
| Аладин Д.Ю., Севостьянов С.М., Демин Д.В. Оценка потенциала <i>Miscanthus sinensis</i> L. для биоремедиации почв, загрязненных тяжёлыми металлами..... | 86 |
| Андроханов В.А., Данилов В.П. Почвенно-экологическая оценка состояния техногенных ландшафтов Кузбасса..... | 89 |
| Баранов А., Семина И. С. Оценка физических свойств техноземов в горно-таежной подзоне Кемеровской области – Кузбасса..... | 94 |
| Горбунова Е.А. Влияние нефтезагрязнения на содержание нитратного азота в дерново-подзолистой почве..... | 97 |
| Жуков А.А., Жукова Е.Ю. Картографирование растительности отвалов угольных разрезов Хакасии по данным Sentinel-2..... | 100 |
| Колесников С.И. Методология оценки эффективности рекультивации нарушенных земель по степени восстановления экологических функций почвы..... | 104 |
| Липатов Д.Н. Диагностика загрязненных почв в целях их рекультивации на нефтедобывающих территориях северо-восточного Сахалина..... | 106 |
| Маниковский П.М., Сидорова Г.П., Сахнова П.М. Опыт разведки золошлакоотвалов Забайкальского края как техногенных месторождений с применением методики блочного моделирования..... | 111 |
| Маниковский П.М., Сидорова Г.П., Сахнова П.М. Предотвращение пыления поверхностей техногенных месторождений (на примере золошлаковых отвалов Забайкальского края)..... | 116 |
| Новицкий М.Л., Бондар Е.С. Внесение некоторых мелиорантов в сульфидную горную породу для изменения её свойств и показателей с целью озеленения..... | 121 |
| Пономарёва Т.В. Экологическое состояние почв в среднетаежной зоне на территориях карьерной добычи золота..... | 125 |
| Потапенко А.М., Толкачева Н.В., Машков И.А., Судник А.В. Перспективы использования выработанных и выбывших из сельхозпользования участков торфяников в лесном хозяйстве Республики Беларусь..... | 129 |
| Самохвалова О.С. Влияние различных видов удобрений на урожайность и микроэлементный состав люцерны посевной..... | 133 |
| Семина О.Ю. Биологическая активность подзолов и абраземов криолитозоны..... | 139 |
| Слуковская М.В., Кременецкая И.П., Иванова Т.К., Сошина А.С., Чапоргина А.А., Фокина Н.В., Латюк Е.С., Петрова А.Г., Иванова Л.А. Создание экосистем в экстремальных природно-техногенных условиях Мурманской области с использованием слоистых силикатов..... | 142 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Соболева О.М., Авдеев А.О., Витязь С.Н. Особенности многослойного дражирования семян донника для рекультивации нарушенных земель..... | 146 |
| Судник А.В., Потапенко А.М., Толкачева Н.В., Голушко Р.М., Серенкова В.А., Комар А.Ю. Экологическая оценка последствий функционирования гидролесомелиоративных систем в лесном фонде Беларуси, рекомендации по их дальнейшему использованию..... | 150 |
| Счастливец Е.Л., Юкина Н.И. Цифровая система мониторинга и анализ изменений техногенных ландшафтов..... | 156 |
| Сюй Ш. Оценка состояния почвы урбанизированных территорий биологическими методами..... | 161 |
| Тихонова Е.Н., Бархударян Д.А., Трещевская Э.И., Голядкина И.В., Малинина Т.А. Интеграция нарушенных территорий в систему озеленения..... | 166 |
| Храпай Е.С., Колесников С.И., Кузина А.А., Казеев К.Ш., Кучерова А.В. Оценка эффективности рекультивации хвостохранилища Урупского ГОК по выполнению почвой экологических функций..... | 170 |
| Шишкин А.С. Классификация рекультивационных объектов..... | 172 |
| СЕКЦИЯ «МОНИТОРИНГ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ, ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В КЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЕКТАХ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ» | 176 |
| Адаменко М.М., Ананничева М.Д., Абрамов А.А., Треньков И.П. Гляциологический мониторинг как метод оценки текущей динамики геосистем гор Кузнецкого Алатау..... | 176 |
| Баклушина И.В. Рекультивация и мелиорация земель в районах открытой добычи угля: опыт Китая..... | 182 |
| Баранов А. Аналитический обзор использования данных дистанционного зондирования земли для оценки почвенно-экологического состояния нарушенных территорий..... | 186 |
| Витязь С.Н., Ракина М.С., Яковченко М.А. Мониторинг проведенной рекультивации золошлаковых отвалов..... | 190 |
| Водолеев А.С., Андреева О.С., Домнин К.И. Микроклиматические условия для произрастания растений на техноземах хвостохранилища Абагурской обогатительной фабрики, г. Новокузнецк..... | 195 |
| Двуреченский В.Г. Мониторинг посттехногенного развития экосистем Среднего Урала..... | 201 |
| Жукова Е.Ю., Жуков А.А. Спутниковый мониторинг растительности техногенно нарушенных территорий Хакасии..... | 206 |
| Журавлева Н.В. Методы и подходы к исследованию экологических и технологических параметров золошлаков и зол уноса, образующихся от сжигания углей Кузбасса..... | 211 |
| Иванов Д.И., Темлянцев М.В., Козина Л.Ю., Семина И.С., Дерябина Ю.А. Аналитический обзор: влияние биочара, как удобрения, на характеристики и состояние почв..... | 216 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Калиногорский Н.А. Совершенствование национальной системы управления охраной окружающей природной среды, среды обитания населения и здоровья населения от негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности..... | 221 |
| Корец М.А., Трефилова О.В., Сулейманова Ж.Р. Геоинформационная система по результатам мониторинга биоразнообразия растительного и животного мира в зоне воздействия предприятий АО «Полнос Алдан»..... | 228 |
| Лютю А.А., Шишкин А.С., Мурзакматов Р.Т. Биоразнообразие и особенности сукцессии фауны мелких млекопитающих на отвалах Бородинского угольного разреза..... | 233 |
| Махнева С.Г. Качество пыльцы сосны обыкновенной на рекультивированных землях..... | 236 |
| Нагайцев И.А. Перспективы реализации лесоклиматических проектов для управления выбросами парниковых газов в России..... | 238 |
| Немова Н.А., Гаврилов В.Л., Платонов Т.А. Особенности рекультивации нарушенных земель при отработке угольных месторождений южной Якутии..... | 244 |
| Никитина А.М., Фрянов В.Н. Разработка технологических решений по обеспечению природных форм рельефа приконтурных зон угольных разрезов..... | 249 |
| Подурец О.И. Энергетический потенциал техноземов г. Новокузнецка..... | 255 |
| Резник А.В., Семьянова Д.В., Медведева К.Е. Ранжирование техногенно нарушенных земель на основе оценки их состояния..... | 258 |
| Семина И.С., Соловьев С.В., Андроханов В.А., Костерев В.Б. Мониторинг биогеоценозов на рекультивированных территориях отходами углеобогащения..... | 262 |
| Семина И.С., Соловьев С.В., Бобренок Е.А. Учет видового состава растений на мониторинговых (пробных) площадках экологического полигона (первый год создания полигона)..... | 269 |
| Соколов Д.А. Запасы и соотношение пулов углерода в почвах отвалов отходов добычи антрацитовых углей..... | 276 |
| Спицын М.А., Темлянцева Е.Н. Цифровые решения для предотвращения незаконной вырубке лесов и сохранения биоразнообразия..... | 281 |
| Спицын М.А., Темлянцева Е.Н. Влияние климатических изменений на процессы восстановления биоразнообразия на нарушенных территориях: вызовы и возможности..... | 285 |
| Старожилов В.Т. Учение Старожилова о нооландшафтосфере – глобальный, региональный и локальный фундамент практик решения проблем трансформации, мониторинга, почвенно-экологического состояния, рекультивации территорий..... | 289 |
| Старыгина А.Ю., Ефремова С.Ю., Журавлева Н.В. Исследование экологического и агрохимического состояния отвалов вскрышных и вмещающих пород Кузбасса..... | 295 |
| Сушенцова М.В., Шарапова А.В., Кречетов П.П. Биологическая деструкция органических веществ почв природных и антропогенно измененных ландшафтов Московского региона..... | 301 |

СЕКЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ. ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ»

УДК: 504.53.054:504.054.4

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ТОРФЯНО-БОЛОТНЫХ ПОЧВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ НЕФТЕДЕСТРУКТОРОВ

А.С. Боровская, Е.В. Гаевая

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, nastja_2009@mail.ru

***Аннотация.** В статье авторами представлено исследование влияния препарата «Ленойл» и минерального сорбента «Глауконит» на микробиологические свойства нефтезагрязненных торфяно-болотных почв. Концентрация нефтепродуктов в исследуемых образцах торфяно-болотных почв варьируется от 1000 мг/кг до 15000 мг/кг. С применением минерального сорбента «Глауконит» и биопрепарата «Ленойл» содержание нефтепродуктов снизилось в диапазоне от 81 до 85%. Отражены изменения на численность микрофлоры в исследуемых образцах торфяно-болотных типов почв.*

***Ключевые слова:** нефтепродукты, торфяно-болотные почвы, нефтедеструкторы, микроорганизмы.*

Актуальность. Важнейшей экологической проблемой остается загрязнение окружающей среды нефтью, а также продуктами её нефтепереработки. Нефть негативно воздействуют на окружающую среду и почвенный покров, в частности на торфяно-болотный тип почвы, оказывая значимое влияние на химические, микробиологические, физические, а также на морфологические свойства почвы. Нефть нарушает структурные единицы почвы, обволакивают их пленкой, изменяя перенос активных соединений и водный обмен [1, с. 23].

Торфяно-болотный тип почвы обладает высокой влагоемкостью и сорбционной емкостью, является наиболее уязвимым при загрязнении нефтью.

Естественные процессы разложения загрязняющих веществ нефтью длительны, и даже процесс ускорения разложения нефти и нефтепродуктов механическими и физико-химическими методами не может полностью их ликвидировать [4, с. 1].

Это требует необходимости разработки методов, направленных на создание геохимического барьера, восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности нарушенных и загрязненных земель, а также на улучшение условий окружающей среды.

Цель исследований: исследование процесса влияния препарата «Ленойл» и сорбента Глауконит на микробиологические свойства нефтезагрязненных торфяно-болотных почв.

Объект и методы исследования: объект исследования – нефтезагрязненная торфяно-болотная почва.

Искусственно проводилось загрязнение торфяно-болотного типа почвы до концентрации нефтепродуктов в исследуемых образцах 1000 мг/кг (ИО-1000), 5000 мг/кг (ИО-5000) и 15000 мг/кг (ИО-15000).

В качестве нефтедеструкторов использовали:

Глауконит – минеральный сорбент, водный алюмосиликат железа, кремнезема и оксида калия непостоянного состава, обладающий сорбционной емкостью и углеводородокисляющей активностью, норма внесения составляет 20% от объема нефтезагрязненного торфяно-болотного типа почвы. Обладает сорбционной емкостью 80–220 мг/г;

«Ленойл» NORD – это биопрепарат-нефтедеструктор стимулирующий большой рост бактерий, применяется с целью ускорения биоразложения нефти и нефтепродуктов, восстановления продуктивности рекультивируемых почв, превращая нефтепродукты в воду и углекислый газ (титр не менее $1 \cdot 10^8$ КОЕ/г). Норма внесения препарата 1 кг сухого препарата разложения в 2000 литрах технической воды, для разложения 1 т нефтепродуктов.

В образцах определяли содержание микрофлоры нескольких физиологических групп, осуществляющих разные процессы в почве. На мясопептонном агаре (МПА) исследовали микрофлору, осуществляющую в почве начальный этап минерализации органического вещества – разрушение белковых соединений. Высокое содержание аммонифицирующих микроорганизмов указывает о наличии свежего растительного опада или другого источника органического вещества.

На крахмало-аммиачном агаре (КАА) учитывали амилолитическую микрофлору – группу микроорганизмов, которые в почве осуществляют распад безазотистого органического вещества – полисахаридов, и способные использовать минеральные формы азота.

На почвенном агаре (ПА) высевали педотрофную микрофлору, которая в качестве источника углерода и энергии использует гуминовые вещества. На «голодном» агаре (ГА) определяли олиготрофную микрофлору, способную расти и размножаться в присутствии очень низких концентраций биогенных элементов. На среде Чапека с антибиотиком учитывали численность почвенных микромицетов. На среде Мюнца высевали аэробную углеводородокисляющую микрофлору (УОМ), которая использует углеводороды в качестве единственного источника углерода и энергии [5].

Кроме численности микрофлоры разных физиологических групп, о преобладании тех или иных процессов в почве можно судить по соотношению этих групп – эколого-трофическим коэффициентам. По результатам посевов рассчитывали коэффициенты: минерализации – соотношение численностей групп, растущих на КАА и МПА (КАА/МПА); педотрофности – соотношение численностей групп, растущих на средах ПА и МПА (ПА/МПА); олиготрофности – соотношение численностей групп, растущих на средах ГА и МПА (ГА/МПА).

Обсуждение результатов. Нефтепродукты в зависимости от фракционного состава и количества оказывают токсическое действие на живые организмы. Изменение уровня загрязнений влияет на содержание микрофлоры в торфяно-болотном типе почвы.

Эффективность очистки после внесения препарат Ленойл NORD при исходных концентрациях 1000, 5000 мг/кг составляет от 69% до 83%, при концентрации 15000 мг/кг эффективность очистки составляет 50%.

При применении минерального сорбента Глауконит и препарата Ленойл NORD, эффективность очистки варьируется от 74% до 98% при исходных концентрациях 1000, 5000 мг/кг, при концентрации 15000 эффективность очистки составляет 82%.

Концентрация нефтепродуктов в торфяно-болотной почве при применении сорбента и препараты приведено в таблице 1.

Исходный торфяно-болотный тип почвы характеризовался повышенным содержанием педотрофной микрофлоры – 1,47 млн КОЕ/г, вероятно, за счет высокого содержания гуминовых веществ. Содержание других групп варьировало в пределах от 0,18 до 0,78 млн КОЕ/г. Аммонифицирующая и амилолитическая микрофлора была представлена бактериями и микромицетами примерно поровну.

Таблица 1. Концентрация нефтепродуктов в торфяно-болотном типе почвы после внесения препарата «Ленойл» и минерального сорбента «Глауконит»

| Показатель | Нефтепродукты, мг/кг | | |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------|----------|
| | ИО-1000 | ИО-5000 | ИО-15000 |
| Загрязненная торфяно-болотная почва до внесения препаратов | 1000 | 5000 | 15000 |
| Торфяно-болотная почва после внесения препарата «Ленойл» NORD | 322,5 | 1570,83 | 3746,25 |
| Торфяно-болотная почва после внесения препарата «Глауконит» и «Ленойл» NORD | 124,3 | 1102 | 2753,05 |

Содержание нефтепродуктов в торфяно-болотном типе почвы в концентрациях 1000, 5000, 15000 мг/кг вызвало рост численности микрофлоры всех исследуемых групп в 1,6–25 раз при внесении нефтепродукта. К примеру, в присутствии 1000 мг/кг нефтепродуктов отмечен двукратный рост численности УОБ, в присутствии 5000 мг/кг – в 25 раз, а при внесении 15000 мг/кг – в 50 раз.

Загрязнение торфяно-болотного типа почвы нефтепродуктами в концентрации 1000 мг/кг (0,1 % мас.) привело к росту численности аммонифицирующей микрофлоры в 1,5 раза, амилотической – в 4,3 раза, педотрофной в 3,3 раза, олиготрофной в 12 раз.

В присутствии 5000 мг/кг нефтепродуктов (0,5% мас.) отмечено увеличение численности аммонифицирующей микрофлоры в 13 раз, амилотической – в 90 раз, педотрофной в 10 раз, олиготрофной в 40 раз.

Самая высокая концентрация нефтепродуктами – 15000 мг/кг (1,5 % мас.) вызвала рост численности аммонифицирующей микрофлоры в 80 раз относительно исходного, амилотической – в 162 раза, педотрофной в 23 раза, олиготрофной в 54 раз.

Таким образом, нефтепродукты в торфяно-болотном типе почвы в концентрациях не вызывают угнетения микробного сообщества торфяно-болотного типа почвы, послужив свежим питательным субстратом.

Кроме того, внесение нефтепродуктов в торфяно-болотный тип почвы повлияло на видовой состав его микрофлоры: снизилось видовое разнообразие, исчезли вегетативные формы бактерий, возросла доля почвенных грибов, в основном плесневых – *Penicillium*, *Aspergillus* и др., что говорит о неблагоприятных условиях (рис. 1, рис. 2).



Рисунок 1. Микрофото спороношения у зеленых колоний с грубой структурой, идентифицированных как *Penicillium*. Видны длинные «кисточки», в которые собраны цепочки спор.

После внесения препарата Ленойл численность аммонификаторов росла, хоть и незначительно, но увеличилась втрое относительно исходной. В присутствии нефтезагрязнений 5000, 15000 мг/кг после внесения препарата Ленойл численность аммонификаторов была в 1,8–2,0 раза ниже (рис. 3).



Рисунок 2. Микрофото спороношения у зеленых колоний с более однородной структурой, идентифицированных как *Aspergillus*. Видны короткие «кисточки», в которые собраны цепочки спор.

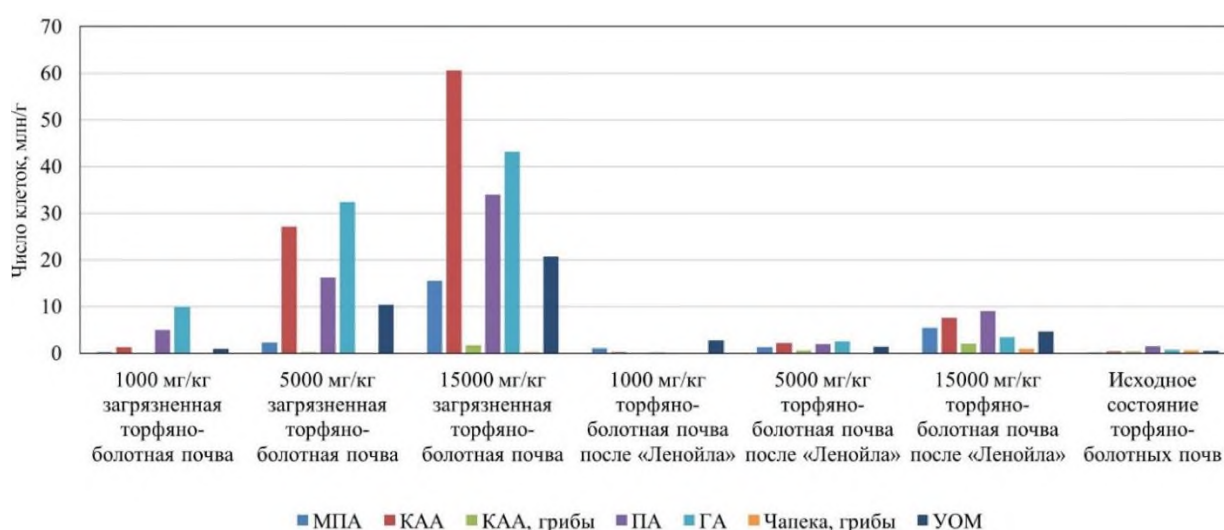


Рисунок 3. Биологические показатели торфяно-болотных почв после очистки препаратом Ленойл.

При совместном применении минерального сорбента Глауконит и препарата Ленойл, численность амилотрофной микрофлоры, олиготрофной и углеводородокисляющей микрофлоры с исходной концентрацией увеличилась в 1,5 раза (рис. 4).

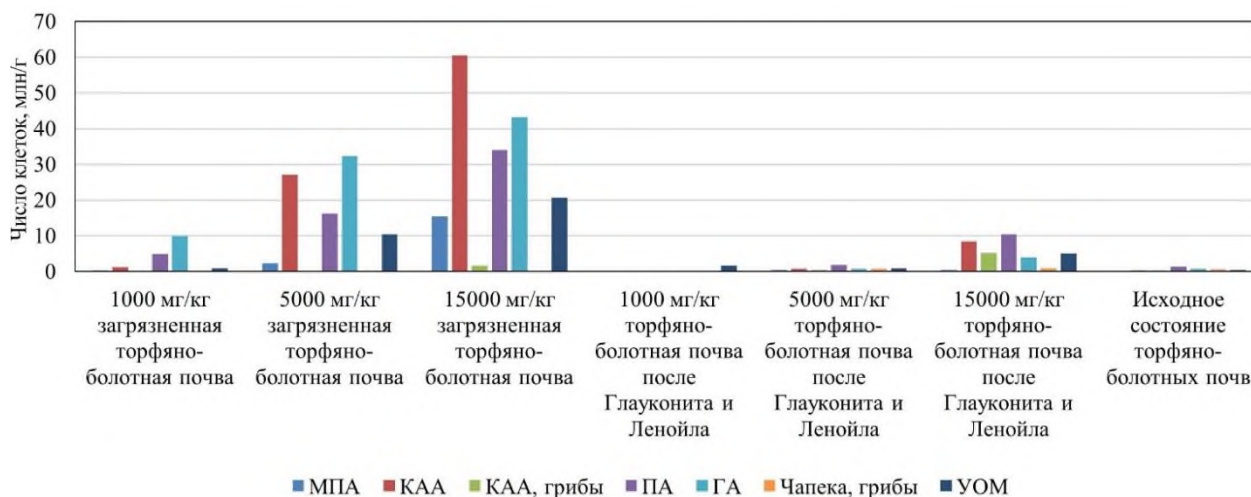


Рисунок 4. Биологические показатели торфяно-болотных почв после очистки препаратом Ленойл и минеральным сорбентом Глауконит.

Такая закономерность была отмечена для амилитической микрофлоры, педотрофной, олиготрофной и углеводородокисляющей микрофлоры во всех вариантах, рост не прекращался. Кроме того, применение сорбционных материалов и биопрепаратов благоприятно влияет на видовой состав микрофлоры торфяно-болотных почв.

Выводы. Анализируя результаты, можно сделать вывод о том, что биопрепарат «Ленойл» и минеральный сорбент «Глауконит» снижают концентрацию загрязнений нефтепродуктов и благоприятно влияет на видовой состав микрофлоры торфяно-болотных почв.

Кроме того, при применении препаратов снижается концентрация нефтепродуктов в торфяно-болотном типе почвы и наблюдается стимуляция процессов роста численности амилитической микрофлоры, олиготрофной и углеводородокисляющей микрофлоры с исходной концентрацией увеличилась в 1,5–2,5 раза, а применяемый сорбент и биопрепарат Ленойл NORД, является питательным субстратом. Ни в одном образце не обнаружены микромицеты рр. *Trichoderma* и *Chaetomium*, часто встречающиеся в почвах и разрушающие целлюлозу и другие полисахариды.

INVESTIGATION OF MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF OIL-CONTAMINATED PEAT-BOG SOILS WHEN USING OIL DESTRUCTORS

A.S. Borovskaya, E.V. Gayeva

Tyumen Industrial University, Tyumen, nastja_2009@mail.ru

Summary: *In the article, the authors present a study of the effect of the drug "Lenoil" and the mineral sorbent "Glaucosite" on the microbiological properties of oil-contaminated peat-bog soils, the concentration of petroleum products in the studied samples of peat-bog soils varies from 1000 mg/kg to 15,000 mg/kg. With the use of the mineral sorbent Glaucosite and the biological preparation Lenoil, the content of petroleum products decreased in the range from 81 to 85%. Changes in the number of microflora in the studied samples of peat-bog soil types are reflected.*

Keywords: *petroleum products, peat-bog soils, petrodestructors, microorganisms.*

Литература

1. Аббасян Ф., Локингтон Р., Мегарадж М. и др. Изменения биоразнообразия в микробной популяции почв, загрязненных сырой нефтью // Современная микробиология. 2016. Т. 72. № 6. С. 23–28.
2. Ахмадиев М.В. Применение нативных штаммов углеводородокисляющих микроорганизмов в биоремедиации нефте-загрязненных почв и грунтов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2014. №2 (14). С. 119–130.
3. Гоголева О.А., Немцева Н.В. Углеводородокисляющие микроорганизмы природных экосистем // Вестник Оренбургского научного центра Уральского отделения Российской академии наук (электронный журнал). 2012. № 2. С. 1–7.
4. Терещенко Н.Н., Акимова Е.Е., Минаева О.М. Современные методы оценки микробиологических свойств и экологического статуса почвы: практикум. Томск: Изд. дом ТГУ, 2017. 152 с.
5. Романенко В.И., Кузнецов С.И. Экология микроорганизмов пресных вод: лабораторное руководство. М.: Наука, 1974. 194 с.

УДК: 504.455

ВЛИЯНИЕ АКТИВНЫХ ФОРМ КРЕМНИЯ НА ПОДВИЖНОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ТЕХНОГЕННО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОДАХ И ГРУНТАХ

Е.А. Бочарникова

Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пущино, mswk@rambler.ru

***Аннотация.** Многие современные технологии, направленные на решение экологических проблем, имеют ограниченное применение из-за высокой стоимости и/или низкой эффективности. Как свидетельствуют работы последних 10–15 лет, вещества и соединения с высоким содержанием активных форм кремния (Si) могут быть использованы для детоксикации вод и территорий, техногенно-загрязненных тяжелыми металлами. Современная промышленность производит огромное количество отходов, многие из которых не содержат токсичные элементы, но имеют высокое содержание активных форм кремния и могут быть использованы для очистки промышленных сточных вод и рекультивации загрязненных земель. В работе оценена возможность применения кальцево-кремниевых металлургического шлака и природного минерала цеолита для снижения подвижности и токсичности тяжёлых металлов, а также оценена технология их активации с целью увеличения содержания активного Si. Эксперименты по применению шлака и цеолита в качестве фильтрующих материалов показали снижение концентраций As, Cd, Cr, Hg и Ni в загрязненной воде ниже ПДК только при внесении обработанных материалов. В условиях вегетационного эксперимента внесение в загрязненный грунт тестируемых материалов обеспечило снижение содержания подвижных форм тяжелых металлов на 60–98%, а также снижение токсического действия на культуру ячменя. Эффективность кремниевых материалов напрямую зависит от содержания водорастворимого и кислоторастворимого кремния. Установлено действие нескольких кремний-опосредованных механизмов, контролирующих поведение загрязняющих веществ: 1) взаимодействие между монокремниевой кислотой и тяжелыми металлами с образованием нерастворимых силикатов; 2) адсорбция загрязняющих веществ на поверхности материалов; 3) капсулирование загрязняющих веществ полимерами кремниевой кислоты.*

Ключевые слова: монокремниевая кислота, тяжелые металлы, сточные воды, загрязненные территории.

Шахтные и промышленные сточные воды, а также сильно загрязненные участки (свалки, хвостохранилища, бывшие промышленные зоны) являются крупнейшими источниками загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами, что создает угрозу для здоровья людей и экосистемы [1]. Разработка экономически эффективных технологий детоксикации сточных вод и иммобилизации загрязняющих веществ является актуальной задачей. Многие традиционные методы очистки сточных вод и рекультивации загрязненных земель характеризуются высокой стоимостью и недостаточной эффективностью [2]. Одним из перспективных подходов, направленных на снижение затрат на рекультивацию, является использование местных побочных промышленных продуктов (отходов), например шлаков. Некоторые виды шлаков рекомендованы для обвалования свалок [3]. Однако для снижения биодоступности тяжелых металлов (ТМ) шлаки, как правило, малоэффективны, более того, некоторые шлаки содержат потенциально токсичные элементы и могут быть источником дополнительного загрязнения окружающей среды.

Как свидетельствуют современные научные данные, вещества, богатые кремнием (Si), могут найти применение в технологиях детоксикации сточных вод и загрязненных территорий

и регулирования поведения тяжелых металлов в окружающей среде [4]. Наши исследования показали, что монокремниевая кислота может быть использована для повышения эффективности минеральных сорбентов [5, 6]. Целью данной работы было оценить влияние обработки металлургического шлака и цеолита монокремниевой кислотой на эффективность для адсорбции тяжелых металлов из загрязненных грунтов и вод. Кальциево-кремниевый шлак (Новокузнецкий металлургический комбинат, Россия) и цеолит (Орловская область, Россия) смешивали с раствором монокремниевой кислоты (MSi), содержащим 1,2 г/л кремния, в соотношении 4:1, затем сушили в нормальных условиях. Обработанные шлак и цеолит были протестированы для: (а) фильтрации загрязненной воды и (б) выращивания растений ячменя на загрязненной почве.

Эксперименты по фильтрации проводили в пластиковых колонках диаметром 5 см и длиной 20 см. Необработанные и MSi-обработанные шлак и цеолит смешивали с кварцевым песком в пропорции 1:1 для улучшения проникновения воды. Вода была загрязнена As – 10 ppm, Cd – 10 ppm, Cr – 10 ppm, Hg – 10 ppm, Ni – 10 ppm и Pb – 10 ppm. Загрязненную воду добавляли в колонку со скоростью 100 мл в час с помощью перистальтического насоса. Фильтраты собирали порциями с интервалом в 1 час. В каждую колонку подавали в общей сложности 1 л воды. Профильтрованные растворы анализировали на содержание As, Se, Cd, Pb, Ni, Cr и Hg с помощью ICP OES-спектрометра Perkin Elmer Optima 5300 DV. Эксперимент проводили в 3-х повторностях.

Вегетационный эксперимент выполняли в климатической камере при температуре 24°C и режиме день/ночь 12/12 часов. Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) выращивали в пластиковых горшках, наполненных смесью из 200 г измельченных хромсодержащих отходов предприятия „Хромпик“, Россия, и 800 г промытого песка. В горшки добавляли исходные и обработанные шлак и цеолит из расчета 5 г на 1 сосуд. После выращивания ячменя в течение 3 недель измеряли вес корней и побегов. Общее содержание As, Se, Cd, Pb, Ni, Cr и Hg в листьях определяли с помощью ICP OES-спектрометра Perkin Elmer Optima 5300 DV после обработки в микроволновой печи в смеси HNO₃-H₂O₂. Каждый вариант вегетационного эксперимента имел 3 повторности.

Эксперименты по фильтрации загрязненной воды показали снижение содержания As, Cd, Cr, Hg, Ni и Pb до уровней ниже ПДК только в вариантах с внесением активированного шлака и цеолита, в то время как необработанный цеолит и Ca-Si шлак адсорбировали лишь небольшую часть загрязняющих веществ и содержание тяжелых металлов существенно превышало ПДК. Обработка MSi обеспечивает изменение поверхностных свойств шлака и цеолита, как было показано в нашем предыдущем исследовании [6]. Шлак и цеолит, обработанные MSi, при внесении в почву обеспечили увеличение концентрации монокремниевой кислоты в почвенном растворе. Монокремниевая кислота способна реагировать с тяжелыми металлами с образованием малорастворимых силикатов, обеспечивая тем самым иммобилизацию ТМ.

В вариантах без добавления шлака или цеолита растения ячменя не прорастали. Необработанный и MSi-обработанный шлак или цеолит снижали биотоксичность загрязняющих веществ, позволяя растениям выживать. Применение MSi-обработанных материалов обеспечило увеличение массы корней и побегов даже по сравнению с контролем без загрязнения. Накопление загрязняющих веществ в растительных тканях также было значительно ниже в вариантах с добавлением MSi-обработанного шлака или цеолита (табл. 1). Как показали результаты, местные материалы, такие как природные минералы, богатые кремнием, и некоторые виды промышленных экологически безопасных побочных продуктов могут быть использованы для детоксикации загрязненных территорий (хвостохранилищ, свалок и других) и очистки промышленных сточных вод. Эффективность данных материалов в качестве средства детоксикации зависит от концентрации водорастворимого и кислоторастворимого кремния. Можно предположить действие нескольких механизмов, контролирующих биодоступность и токсичность загрязняющих веществ:

- 1) Химическое взаимодействие между монокремниевой кислотой и тяжелыми металлами с образованием малорастворимых или нерастворимых силикатов.
- 2) Химическая или физико-химическая адсорбция As, Cd, Cr, Hg, Ni и Pb на поверхности кремниевых минералов.
- 3) Возможно капсулирование адсорбированных металлов и металлоидов полимерами кремниевой кислоты.

Использование местных побочных промышленных продуктов, богатых кремнием, обеспечивает снижение затрат на ремедиацию загрязненных объектов.

Таблица 1. Общее содержание тяжелых металлов в корнях и листьях ячменя, мг/кг

| | Шлак | | Активированный шлак | | Цеолит | | Активированный цеолит | |
|----|-----------|-----------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|-----------|
| | Корни | Листья | Корни | Листья | Корни | Листья | Корни | Листья |
| As | 1,42±0,03 | 0,54±0,06 | 0,72±0,06 | 0,23±0,02 | 1,33±0,02 | 0,34±0,03 | 0,65±0,04 | 0,21±0,01 |
| Cd | 0,63±0,02 | 0,32±0,02 | 0,23±0,03 | 0,12±0,02 | 0,75±0,06 | 0,31±0,02 | 0,43±0,04 | 0,12±0,01 |
| Cr | 0,33±0,02 | 0,23±0,02 | 0,14±0,02 | 0,05±0,01 | 0,32±0,04 | 0,20±0,01 | 0,23±0,02 | 0,05±0,01 |
| Hg | 0,24±0,02 | 0,12±0,01 | 0,14±0,01 | 0,05±0,01 | 0,21±0,02 | 0,15±0,01 | 0,15±0,01 | 0,04±0,01 |
| Ni | 0,55±0,05 | 0,23±0,04 | 0,23±0,02 | 0,11±0,01 | 0,59±0,05 | 0,33±0,03 | 0,34±0,03 | 0,11±0,01 |
| Pb | 0,86±0,06 | 0,45±0,04 | 0,45±0,03 | 0,18±0,02 | 0,85±0,07 | 0,42±0,03 | 0,44±0,03 | 0,21±0,02 |

EFFECT OF ACTIVE SILICON FORMS ON MOBILITY OF HEAVY METALS IN CONTAMINATED WASTE-WATERS AND SOILS

E.A. Bocharnikova

Institute Basic Biological Problems RAS, Pushchino, mswk@rambler.ru

Summary: Many modern technologies aimed at resolving environmental problems have limited application because of high cost or/and low efficiency. As evident from recent studies, silicon (Si)-rich substances are a promising agent in technologies of detoxification of waste waters and contaminated sites and regulation of heavy metal behavior in the environment. Contemporary industries produce a lot of Si-rich by-products, which often don't contain hazardous elements and could be used for purification of industrial waste water and remediation of contaminated sites. The aim of the current study was to evaluate the feasibility to use Ca-Si metallurgical by-product and natural zeolite for reducing the mobility and toxicity of heavy metals as well as to assess the method of mineral treatment for increasing the content of active Si. Filtration tests have shown the ability of initial and Si-treated industrial by-product and zeolite to reduce the concentration of As, Cd, Cr, Hg, and Ni in contaminated water by 95 to 99%. In greenhouse study, the application of tested materials to contaminated soil provided decreases in the pollutant mobility by 60 to 98% and protection barley plants against toxicity. The efficacy of Si-rich materials directly depends on the content of water- and acid-soluble Si. Several Si-mediated mechanisms, that impact the pollutant behavior, were determined: 1) interaction between monosilicic acid and heavy metal with the formation of insoluble silicates; 2) adsorption of pollutants on the surface of Si-rich materials; 3) capsulation of pollutants by polymers of silicic acid.

Key words: monosilicic acid, heavy metals, waste-waters, contaminated area.

Литература

1. Liu D.H., Lipták B.G. (Eds.) Wastewater Treatment. Boca Raton: CRC Press, 2020. 472 с.
2. Ступин Д.Ю. Загрязнение почв и новейшие технологии их восстановления. Санкт Петербург: Лань, 2009. 428 с.
3. Herrmann I., Andreas L., Diener S., Ling L. Steel slag used in landfill cover liners: laboratory and field tests // Waste Management Research. 2010 № 28(12). P. 1114–1121.

4. Roychand R., Pramanik B.K., Zhang G., Setunge S. Recycling steel slag from municipal wastewater treatment plants into concrete applications – A step towards circular economy // *Resources, Conservation and Recycling*. 2020. № 152. P. 104533–104543.
5. Peng H., Ji X., Wei W., Bocharnikova E., Matichenkov V. As and Cd sorption on selected Si-rich substances // *Water Air Soil Pollution*. 2017. № 228(8). P. 288–294.
6. Ji X., Liu S., Huang J., Bocharnikova E., Matichenkov V. Monosilicic acid potential in phytoremediation of the contaminated areas // *Chemosphere*. 2016. №157. С. 132–136.

УДК 665.66:502.55:553.982(211-17)

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ БИОРЕМЕДИАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ НА НЕФТЕБАЗАХ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Ю.С. Глянцева, И.Н. Зуева, О.Н. Чалая, С.Х. Лифшиц, Н.И. Попова

Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», обособленное подразделение Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, glyaz1408@mail.ru

***Аннотация.** Приведены результаты изменения состава нефтезагрязнения в процессе биоремедиации почв с разным сроком загрязнения. По геохимическим данным установлены изменения в химической структуре, групповом компонентном и углеводородном составе, свидетельствующие о протекании процессов деградации нефтезагрязнения. Эффективность очистки при поверхностном свежем загрязнении поверхностном свежем загрязнении составила 79,6%, в почвах с давним сроком загрязнения 37,4%. Сделан вывод, что одного вегетационного сезона недостаточно для очистки почв.*

***Ключевые слова:** почва, нефтезагрязнение, биоремедиация, нефтебаза, углеводороды, н-алканы.*

В Республике Саха (Якутия) для обеспечения жизнедеятельности населения и предприятий нефтепродукты (НП) завозят из других регионов. Объекты хранения НП (нефтебазы, склады ГСМ, АЗС) относятся к категории объектов повышенной опасности, эксплуатация которых в условиях Крайнего Севера может сопровождаться риском возникновения аварийных ситуаций, иногда достигающих масштаба экологических катастроф. По данным Министерства экологии, природопользования и лесного хозяйства Республики Саха (Якутия) на территории нефтебаз регулярно происходят утечки нефти и НП [1]. Наиболее крупная авария была в 2001 г. на нефтебазе в г. Ленск в результате весеннего паводка, в результате которой в реку Лена вылилось около 10 тыс. тонн НП [2]. Другим примером стал техногенный разлив 500 м³ нефти на нефтебазе в с. Амга [3]. Последним ярким примером в РФ является аварийный разлив около 20 тыс. тонн дизельного топлива в 2020 году в г. Норильск [4, 5]. В Якутии срок эксплуатации многих нефтебаз составляет более 60 лет. Загрязнение их территорий является результатом как свежих поверхностных утечек НП, так и длительного накопления НП, что приводит к хроническому загрязнению почв вплоть до формирования техногенных залежей углеводородов (УВ). В связи с этим очистка загрязненных почв нефтебаз осложняется высокими концентрациями НП, иногда достигающих аномальных значений, широкой гаммой углеводородного состава самих загрязнителей, глубиной проникновения НП, срока загрязнения и т.п. Все это необходимо учитывать при разработке мероприятий по санации почвогрунтов и разработке способов восстановления, эффективных в условиях Крайнего Севера.

В ИПНГ СО РАН ведутся работы по разработке способов биоремедиации нефтезагрязненных почв [6], испытания и внедрение которых проводятся на территориях предприятий топливно-энергетического комплекса Якутии. Для оценки эффективности способов биоремедиации используется геохимический подход, учитывающий не только динамику изменения в содержании НП в почвах, но и особенности преобразования нефтяных УВ в почве в процессе биодegradации [5–7].

Объектом исследования послужили территории нефтебаз, на загрязненных участках которых проводились испытания по биоремедиации почв. Почвы участков – техногенно преобразованные, представляли собой речной песок с примесями гальки и легкосуглинистые насыпи. Участки характеризовались разным сроком загрязнения: в результате свежего

поверхностного разлива нефти (участок №1) и с давним сроком загрязнения (участок №2). Биоремедиация заключалась в обработке почв биопрепаратом на основе нефтеокисляющих микроорганизмов, выделенных из мерзлотных почв Якутии [8]. Пробы почв с участков отбирали до и после внесения биопрепарата. Период биоремедиации составлял 1 вегетационный сезон (в среднем 3 месяца). Для сравнения были исследованы фоновые почвы, отобранные на границе нефтяных баз, вдали от источников загрязнения.

Комплекс аналитических методов исследования включал: определение остаточного содержания НП в почвах гравиметрическим методом; изучение структурно-группового состава почвенных экстрактов методом ИК-Фурье спектроскопии; определение группового компонентного состава экстрактов методом жидкостно-адсорбционной колоночной хроматографии; определение индивидуального состава насыщенных УВ методом хромато-масс-спектрометрии.

Таблица 1. Геохимическая характеристика почв в процессе биоремедиации

| Параметры | Участок № 1 | | Участок № 2 | | Фоновая почва |
|------------------------------------------|------------------|----------------------|---------------------|------------------|------------------|
| | 1 месяц | | ~ 12 лет | | |
| Срок загрязнения | 1 месяц | | ~ 12 лет | | |
| Этап биоремедиации | 1 сутки | через 3 мес. | 1 сутки | через 3 мес. | – |
| Содержание НП, мг/кг | 54074±2704 | 11035±552 | 126392±6320 | 79092±3955 | 451±23 |
| Эффективность очистки, % | | 79,6 | | 37,4 | – |
| УВ, % | 81,2±13,8 | 25,8±4,4 | 54,7±9,3 | 45,6±7,8 | 20,8±3,5 |
| Бензолные смолы, % | 6,2±1,1 | 16,8±3,0 | 13,8±2,5 | 12,9±2,3 | 12,9±2,3 |
| Спиртобензолные смолы, % | 11,8±2,1 | 54,5±9,8 | 23,9±4,3 | 36,8±6,6 | 49,3±8,9 |
| Сумма смол, % | 18,0±3,2 | 71,3± | 37,7±6,7 | 49,7±8,8 | 62,2±11,2 |
| Асфальтены, % | 0,8±0,15 | 2,9±0,6 | 7,6±1,4 | 4,7±0,9 | 17,0±3,2 |
| Максимум n-алканов | nC ₁₇ | nC _{19, 25} | nC _{14,31} | nC ₃₁ | nC ₂₉ |
| Изопреноиды/n-алканы | 0,36 | 0,53 | 0,1 | 0,06 | 0,08 |
| Pr+Ph/nC ₁₇ +nC ₁₈ | 1,30 | 2,31 | 1,88 | 2,46 | 2,20 |

В фоновой почве содержание извлеченных хлороформом органических веществ составило в среднем 451 мг/кг (табл. 1). ИК-спектр фоновых почв представлен главным образом алифатическими соединениями (полосы поглощения (п.п.) 720 и 730, 1380 и 1460 см⁻¹) и кислородсодержащими группами и связями (п.п. 1700 и 1740 см⁻¹ карбонильные, 3200–3600см⁻¹ гидроксильные группы), а также сложными алифатическими эфирами п.п. 1170 и 1240 см⁻¹) (рис. 1а). В групповом составе основная доля приходилась на смолы (62,2%) и асфальтены (17 %) по сравнению с УВ – 20,8 % (табл. 1). В составе насыщенных УВ до 86% составляли алканы нормального строения, представленные гомологическим рядом от C₁₅ до C₃₂, среди которых преобладающую роль играют относительно высокомолекулярные гомологи с максимумом распределения в области nC₂₉. Данные пробы характеризовались низкими значениями соотношений изопреноиды/n-алканы, преобладанием пристана (Pr) и фитана (Ph) над n-гептадеканом и n-октадеканом (табл. 1). Такой состав и характер распределения насыщенных УВ характерен для чистых почв, незатронутых воздействием нефтяного загрязнения.

В почвах участка № 1 содержание НП на глубине 0–20 см до биоремедиации составляло 54074 мг/кг, в групповом составе преобладали УВ (81,2%). В более глубокие горизонты нефть не проникла, содержание НП на глубине 20–40 см составляло 348 мг/кг, что соответствовало фоновому уровню. Как видно из рис. 1б в химической структуре исходной нефтезагрязненной почвы участка №1 преобладают углеводородные группы и связи: соединения с длинными метиленовыми цепями (п.п. 720 см⁻¹) и ароматические УВ (п.п. 750, 810, 880 и 1600 см⁻¹), кислородсодержащие группы и связи присутствуют в незначительном количестве.

Почвы участка № 2 были пропитаны вязкой нефтью, содержание в них НП было аномально высоким и составляло на глубине 0–20 см 126392 мг/кг, что в 280 раз превышало значение для фоновой пробы. В групповом компонентном составе более половины приходилось на УВ и до 45% на смолы и асфальтены (табл. 1). ИК-спектр экстракта данной почвы (рис. 1 г) с интенсивной п.п. ароматических УВ (1600 см⁻¹) и набором п.п. в области 750 – 1000 см⁻¹ отражает загрязнение почвы нефтью. Присутствие карбонильных и гидроксильных групп свидетельствует о биохимическом окислении загрязнения в поверхностном горизонте. На это также указывают результаты изучения индивидуального состава насыщенных УВ – в составе алкановых УВ преобладают высокомолекулярные гомологи с максимумом на С₃₁, содержание изоалканов невысокое, Pr и Ph преобладают над рядом элюирующимися n-алканами nC₁₇ и nC₁₈ (табл. 1). Такой состав и распределение насыщенных УВ характерно для старых нефтезагрязнений.

Как видно из рисунка 2, отражающего распространение нефтезагрязнения по глубине в интервале от 0–20 см до 60 см, значительное уменьшение (на порядок) количества НП установлено, начиная с глубины 40см. Перенос нефти вглубь почвенного горизонта значителен, содержание НП на глубине оставляет около 12000–19000 мг/кг, при этом на глубине состав нефтезагрязнения более легкий, содержание УВ с глубиной увеличилось на 34 % (рис. 2).

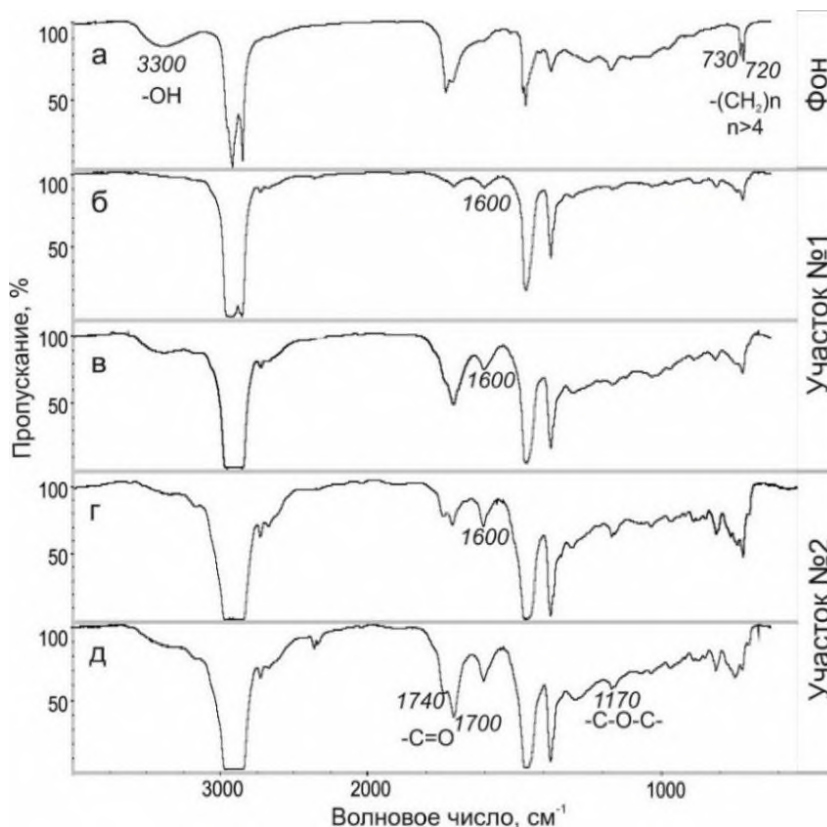


Рисунок 1. ИК-спектры проб почв: а – фоновой почвы; б – с участка № 1 до биоремедиации и в – через 3 месяца; г – с участка № 2 до биоремедиации и д – через 3 месяца.

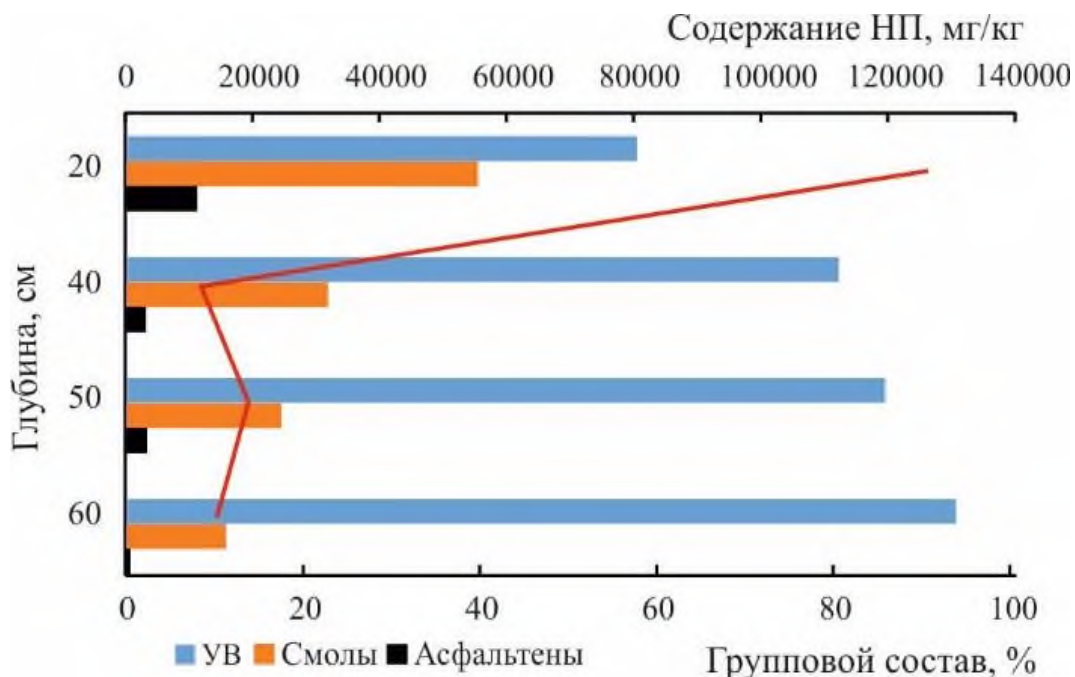


Рисунок 2. Динамика изменения содержания НП и группового состава в почвах участка №2 в зависимости от глубины.

Таким образом, исходный состав нефтезагрязненных почв участков № 1 и № 2 имеет существенные различия – в первом случае состав более углеводородный с высоким содержанием низкомолекулярных н-алканов, во втором случае более окисленный и деградированный с высокими концентрациями НП на глубине до 60 см.

Через 3 месяца после биоремедиации в почвах нефтебаз уменьшилось остаточное содержание НП, эффективность очистки на участке №1 составила 79,6%, на участке № 2 – 37,4% (табл. 1). Изменения в химическом составе происходили с разной степенью интенсивности и избирательности. В почвах участка №1 содержание УВ снизилось в 3 раза, в то время как в почвах участка № 2 их содержание уменьшилось незначительно (табл. 1). Снижение концентрации НП сопровождалось изменением структурно-группового состава почвенных экстрактов, о чем свидетельствует уменьшение количества длинных метиленовых цепей в химической структуре экстрактов (т.е. углеводородных соединений) и увеличение интенсивности п.п кислородсодержащих соединений (рис. 1 в, д).

В спектре почв участка № 1 после очистки появились п.п. гидроксильных групп (рис. 1в), отсутствовавшие в исходной загрязненной почве. Распределение н-алканов стало бимодальным с максимумами в низкомолекулярной на nC_{19} и высокомолекулярной на nC_{25} области по сравнению с исходным загрязнением, где максимум находился в более низкомолекулярной области на nC_{17} . В процессе биоремедиации увеличилось содержание изопреноидов, о чем свидетельствует уменьшение соотношения изопреноиды/н-алканы, и в 1,7 раз увеличилось значение коэффициента биодеградации $(Pr+Ph)/(nC_{17}+nC_{18})$ (табл. 1). Все это указывает на активно протекающие процессы биодеградация нефтяных УВ.

В почвах участка № 2 изменения в углеводородном составе менее выражены – содержание УВ снизилось незначительно с 54,7 до 45,6%, коэффициент биодеградация увеличился в 1,3 раза.

Алифатические УВ обладают различной устойчивостью к биодеградация [7]. В первую очередь процессам биодеградация подвергаются н-алканы, а среди них н- C_{17} и н- C_{18} , монометилалканы и только затем уже изопреноиды. В связи с этим, в составе почв участка №1 произошли более заметные изменения в направлении биодеградация УВ по сравнению с

почвами участка № 2, где за длительный период после загрязнения в составе почв стали преобладать тяжелые фракции нефтяных УВ, труднее всего поддающиеся биодеструкции и практически не осталось низкомолекулярных n-алканов, доступных для разложения нефтеокисляющими микроорганизмами.

Таким образом, детальное изучение химического состава нефтезагрязнения позволило установить особенности биодegradации нефтяных УВ в почвах с разным характером загрязнения. В целом, по результатам работ установлены изменения в направлении снижения концентрации НП, в химической структуре, групповом компонентном и углеводородном составе почвенных экстрактов, свидетельствующие о протекании процессов degradation нефтезагрязнения. Вместе с тем, остаточное содержание НП в почвах, особенно участка № 2, оставалось достаточно высоким. Недостаточная степень очистки обусловлена прежде всего изначально высоким уровнем загрязнения почв, превышающим фоновые значения в 120 и более раз. Установленные высокие значения остаточного содержания НП в почвах участка № 2 с давним сроком загрязнения как на поверхности, так и на глубине 60 см, и присутствие в их составе нефтяных УВ указывает на необходимость продолжения очистных работ и дальнейшего мониторинга за восстановлением почв. В зависимости от сроков и степени загрязнения почвогрунтов следует применять разные методы рекультивации. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в условиях Крайнего Севера одного вегетационного сезона недостаточно для очистки почв от нефтезагрязнения.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ИПНГ СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (НИОКТР 122011200369-1) с использованием научного оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН.

EXPERIENCE IN USING BIOREMEDIATION OF OIL-POLLUTED SOILS AT OIL DEPOTS IN THE FAR NORTH

Yu.S. Glyaznetsova, I.N. Zueva, O.N. Chalaya, S.Kh. Lifshits, N.I. Popova

Federal Research Center «Yakut Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», a separate division Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, Yakutsk, glyaz1408@mail.ru

***Summary:** The results of changes in the composition of oil pollution during the bioremediation process are presented for the objects with different periods of pollution. Based on geochemical data, changes in the chemical structure, group component and hydrocarbon composition have been detected, indicating oil pollution degradation processes. The cleaning efficiency for fresh surface pollution was 79.6%, in soils with long-term contamination – 37.4%. It was concluded that one growing season was not enough to cleanse soils.*

Keywords: soil, oil pollution, bioremediation, oil depot, hydrocarbons, n-alkanes.

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2018 году» [Электронный ресурс]. 2019. URL: <https://minpriroda.sakha.gov.ru/uploads/ckfinder/userfiles/2021/04/13/files/%D0%93%D0%94%202018.pdf> (дата обращения 03.06.2024).
2. Парфенова О.Т. Эколого-экономические последствия весенних половодий на реке Лена (на примере разлива нефти в 2001 г.) // Проблемы современной экономики. 2012. № 4(44). С. 435–437.

3. Попова Н.И., Глязнецова Ю.С., Ерофеевская Л.А. Application of biological preparation for bioremediation of oil-contaminated soils of the tank farm // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. V. 320. No. 1. P. 1–6. DOI:10.1088/1755-1315/320/1/012036
4. Сазонов А.Д., Комаров Р.С., Передера О.С. Разлив нефтепродуктов в Норильске 29 мая 2020 года: предполагаемые причины и возможные экологические последствия // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2020. Т. 1. № 5. С. 173–177.
5. Глязнецова Ю.С., Немировская И.А. Аварийный разлив дизельного топлива в Норильске // Природа. 2022. № 3. С. 27–38.
2. Ерофеевская Л.А., Глязнецова Ю.С., Зуева И.Н., Чалая О.Н., Лифшиц С.Х. Биоремедиация нефтезагрязненных почв в климатических условиях Крайнего Севера. Новосибирск: СО РАН, 2022. 132 с.
3. Lifshits S.K., Glyaznetsova Yu.S., Chalaya O.N., Zueva I.N. Increase in remediation processes of oil-contaminated soils // Remediation Journal. 2017. V. 28. № 1. P. 97–104.
4. Шихранов О.Г., Глязнецова Ю.С., Ерофеевская Л.А., Николаева А.В. Способы биоремедиации нефтезагрязненных почв для климатических условий Крайнего Севера и оценка их эффективности // Наука и технологии транспорта нефти и нефтепродуктов. 2015. №1 (17). С. 90–97.

НОВЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

М.А. Грицай¹, Т.В. Бауэр², В.А. Поляков¹, В.В. Бутова¹

¹Южный федеральный университет, Международный исследовательский институт интеллектуальных материалов, Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: gritsai@sfnedu.ru

²Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация. *Состояние окружающей среды вызывает опасения, особенно из-за загрязнения почв тяжелыми металлами. Металл-органические каркасные структуры (МОК), такие как MIL-100 и UiO-66, благодаря своей высокой пористости, термической и химической стабильности, показали отличные результаты в сорбции тяжелых металлов. Эти свойства делают МОК перспективными для разработки новых технологий очистки почв, что может существенно улучшить экологическую обстановку.*

Ключевые слова: *металл-органические каркасные структуры, тяжелые металлы, адсорбция, ремедиация почв.*

Современное состояние окружающей среды вызывает серьезные опасения, особенно в контексте загрязнения почв тяжелыми металлами. Для борьбы с загрязнением почвы применяются различные методы, включая механическую очистку, химическую нейтрализацию и биологическую ремедиацию. Механическая очистка включает удаление загрязненного слоя почвы, что является эффективным, но дорогостоящим и трудоёмким процессом. Химическая очистка предполагает использование реагентов для нейтрализации загрязнителей, но она может привести к вторичному загрязнению из-за остатков химикатов. Биологическая ремедиация использует растения и микроорганизмы для разложения загрязнителей, что является экологически безопасным методом, но его эффективность может быть ограничена специфическими условиями и типами загрязнителей [1].

В последние годы всё большее внимание привлекают нанотехнологии, которые потенциально способны значительно повысить эффективность традиционных методов. Внедрение таких технологий может существенно снизить уровень загрязнения почвы и улучшить экологическую обстановку, что является одной из ключевых задач современной науки и техники. В частности, использование наноматериалов, таких как металл-органические каркасные структуры (МОК), открывает новые перспективы в области очистки почв. МОК обладают рядом уникальных свойств, таких как высокая площадь поверхности, высокопористая структура и высокая термостабильность и химическая устойчивость [2], что делает их идеальными кандидатами для сорбции различных загрязнителей.

Металл-органические каркасные полимеры, такие как MIL-100, ZIF-8 и UiO-66, выделяются среди других МОК благодаря своим уникальным характеристикам. MIL-100 обладает порами наибольшего размера, что позволяет эффективно сорбировать даже крупные молекулы загрязнителей из почвы [3]. ZIF-8 отличается высокой термической стабильностью и устойчивостью в щелочных средах [4], а UiO-66 – в сильноокислых средах, что позволяет подбирать тип металл-органической структуры для конкретного типа загрязнения почвы с учетом ее кислотности [5].

Таким образом, применение нанокompозитов на основе МОК является перспективным направлением для разработки новых технологий очистки почв. В данной работе проведено обширное исследование сорбционных свойств различных семейств металлорганических каркасных структур, таких как UiO-66, MIL-100(Fe), ZIF-8 ST и ZIF-8 MW, синтезированных

микроволновым (MW) и гидротермальным (ST) методами (рис. 1) Для оценки влияния функциональных аминогрупп, а также дефектов линкера из семейства UiO выбраны как наиболее стабильные UiO-66, на основе которых получены: UiO-66-NH₂ – аминотерефталевая кислота в качестве линкера, UiO-66-BA (BA – бензойная кислота создает дефекты), UiO-66-NH₂ BA.

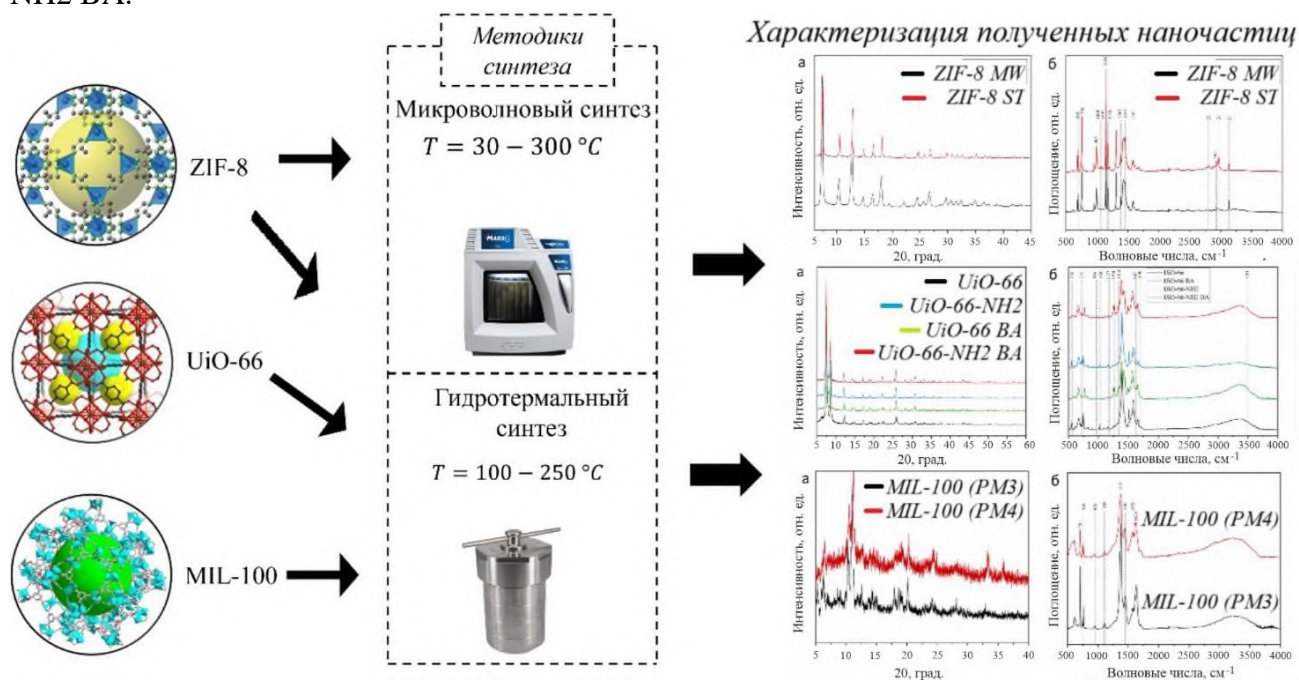


Рисунок 1. Методы синтеза МОК и их характеристика.

В ходе исследования были синтезированы образцы МОК, которые затем были всесторонне охарактеризованы с использованием современных физико-химических методов анализа, таких как порошковая рентгеновская дифракция (XRD), инфракрасная (ИК) спектроскопия, термогравиметрический анализ (ТГА), сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и низкотемпературная адсорбция азота. Эти методы позволили детально изучить структуру, морфологию и термическую стабильность синтезированных материалов.

Дальнейшее исследование заключалось в оценке адсорбционной способности МОК по отношению к ионам тяжелых металлов (Pb^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{3+} , Mn^{2+}) в растворах их нитратов в различной концентрации (0,005; 0,02; 0,06; 0,1 М). Контроль сохранения кристаллической структуры МОК осуществлялся с помощью рентгеновской дифракции (XRD), а сорбционная емкость материалов определялась методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии (XRF).

Результаты показали, что среди всех исследованных образцов, MIL-100(Fe) продемонстрировал наивысшую сорбционную емкость по отношению к ионам тяжелых металлов. Это связано с его наибольшей удельной поверхностью ($1930\text{ м}^2/\text{г}$) и значительными размерами пор (25 и 29 \AA), что способствует более эффективной адсорбции загрязнителей. Следует отметить, что образцы ZIF-8 разрушились при сорбции металлов за счет кислого гидролиза солей, что может ограничивать их применение в почвах с повышенной кислотностью.

Таким образом, проведенные исследования демонстрируют, что синтезированные металлоорганические каркасные структуры обладают значительным потенциалом для использования в качестве высокоэффективных материалов для ремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами. Эти материалы могут найти широкое применение в экологических и промышленных процессах очистки, способствуя улучшению состояния окружающей среды и снижению негативного воздействия антропогенных факторов.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-76-10054) в Южном федеральном университете.

NEW METHODS OF CLEANING SOIL FROM HEAVY METALS

M.A. Gritsai¹, T.V. Bauer², V.A. Polyakov¹, V.V. Butova¹

¹Southern Federal University, International Research Institute of Intelligent Materials, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: gritsai@sfnu.ru

²Southern Federal University, D.I. Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Rostov-on-Don, Russia,

Summary: *The state of the environment raises concerns, especially due to soil contamination with heavy metals. Metal-organic frameworks (MOFs) such as MIL-100 and UiO-66, due to their high porosity, thermal and chemical stability, have shown excellent results in the sorption of heavy metals. These properties make MOFs promising for the development of new technologies for soil purification, which can significantly improve the environmental situation.*

Keywords: *metal-organic frameworks, heavy metals, adsorption, soil remediation.*

Литература

1. Hassan Al-Taai S.H. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 790. № 1. P. 012009. DOI: [10.1088/1755-1315/790/1/012009](https://doi.org/10.1088/1755-1315/790/1/012009).
2. Ru J., Wang X., Wang F. et al. // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2021. V. 208. P. 111577. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111577>.
3. Forghani M., Azizi A., Livani M.J., Kafshgari L.A. // Journal of Solid State Chemistry. 2020. V. 291. №. P. 121636. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2020.121636>.
4. Mo Z., Tai D., Zhang H., Shahab A. // Chemical Engineering Journal. 2022. V. 443. P. 136320. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.136320>.
5. Ahmadijokani F., Molavi H., Rezakazemi M. et al. // Progress in Materials Science. 2022. V. 125. №. P. 100904. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2021.100904>.

УДК 631.8 (571.63)

ЗАПАСЫ ГУМУСА В АНТРОПОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ПОЧВАХ ПРИ ВНЕСЕНИИ БИОУГЛЯ НА О. РУССКИЙ

Е.А. Гуменная, А.В. Брикманс

Кафедра почвоведения, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, gumennaya.ea@dvfu.ru

Аннотация. В работе представлено влияние биоугля в дозе 1 и 3 кг/м² на накопление органического углерода в антропогенно-нарушенных почвах. Эксперимент показал, что внесение биоугля в почву способствовало увеличению запасов гумуса по сравнению с контрольным вариантом в 0,6 раз.

Ключевые слова: биоуголь, запасы гумуса, восстановление, антропогенно-нарушенные почвы.

В процессе добычи полезных ископаемых и строительства почва деградирует и процессы восстановления физических, химических, биологических ее свойств происходят очень медленно. Это приводит к снижению гумуса и азота, что напрямую влияет на почвенное плодородие. В настоящее время основной задачей является замедлить потерю гумуса, что неизбежно при разрушении поверхностного горизонта почвы [1]. В связи с этим ведется поиск новых технологий, которые способны восстановить плодородный слой почвы на нарушенных территориях. К такой технологии можно отнести применение биоугля на почвах.

Биоуголь – это твердый материал, содержащий углерод с большим количеством трудноминерализуемых ароматических структур, полученный путем карбонизации возобновляемой органической биомассы при высокой температуре без доступа кислорода (пиролиза) [2]. Он влияет на такие параметры, как водно-воздушные свойства почвы, значения pH почвенного раствора, доступность питательных веществ, доступность органического углерода, структурно-агрегатное состояние почв, также биоуголь уменьшает количество загрязняющих веществ, секвестрирует углерод и снижает эмиссию парниковых газов [3, 4].

Целью работы является оценить запасы гумуса при внесении биоугля в антропогенно-нарушенных почвах.

Объектом исследования был выбран опытный участок, расположенный на о. Русский, г. Владивосток, п. Аякс, лабораторный корпус ДВФУ, в 20 метрах от дороги (43°с.ш., 131°в.д.). Выбранный участок в следствие строительных работ претерпел изменение от бурозема типичного до урбанозем.

В июне 2021 года участок общей площадью 11 х 3 м был поделен на 9 равных частей размерностью 0,75 х 3 м. На исследуемый участок был внесен биоуголь в дозах 1 и 3 кг/м². Каждый вариант опыта включает контроль (без внесения биоугля), внесение биоугля в дозе 1 кг/м² и внесение биоугля в дозе 3 кг/м². Также на участке была высеяна травосмесь в одинаковых количествах на всех участках опыта. Схема опыта представлена на рисунке.

В июле 2023, были отобраны почвенные образцы из верхнего слоя (глубина слоя не более 10 см из каждого варианта опыта). Содержание общего углерода определяли методом мокрого сжигания по Тюрину [5]. Запасы гумуса рассчитывали по [6].

Исследования показали, что контрольные варианты опыта в среднем содержат органического углерода 1,91% (табл.), что в пересчете на гумус принимает значение 3,29% (таблица). Такое содержание гумуса оценивается согласно шкале [7] как «низкое». Образцы, в которые был внесен биоуголь в дозе 1 кг/м², в среднем содержат 2,65%, что в пересчете на гумус принимает значение 4,57%. Такое содержание гумуса оценивается как «ниже среднего». Объекты, в которые был внесен биоуголь в дозе 3 кг/м², в среднем содержат 2,95%, что в

пересчете на гумус принимает значение 5,08%. Такое содержание гумуса оценивается также «ниже среднего».

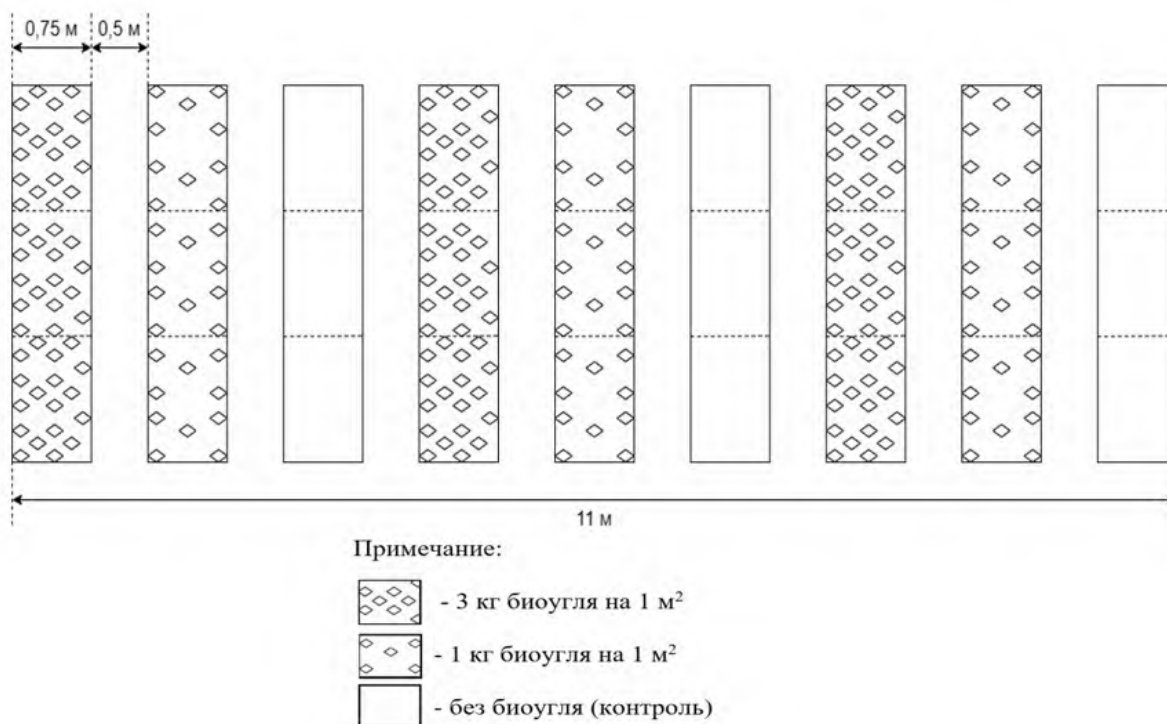


Рисунок. Схема опыта.

На основании полученных данных по гумусу были рассчитаны запасы гумуса на исследуемой территории в слое от 0–10 см (табл.).

Таблица. Оценка содержание гумуса и запасов гумуса в антропогенно-нарушенных почвах о. Русский Приморского края

| Объект исследования | Содержание органического углерода, % | Содержание гумуса, % | Оценка содержания гумуса по [7] | Запасы гумуса в слое 0–10 см, т/га | Оценка содержания запасов гумуса по [6] |
|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|
| Без биоугля (контроль) | 1,91 | 3,292 | Низкое | 21,9 | Очень низкий |
| Биоуголь в дозе 1 кг/м ² | 2,65 | 4,565 | Ниже среднего | 32,7 | Очень низкий |
| Биоуголь в дозе 3 кг/м ² | 2,95 | 5,077 | Ниже среднего | 36,3 | Очень низкий |

Исследования показали, что все варианты опыта относятся к очень низким показателям (от 21,9 до 36,3 т/га). Однако в вариантах с внесенным биоуглем в дозе 1 и 3 кг/м² наблюдается увеличение по сравнению с контрольным вариантом.

Исходя из полученных данных установлено, что содержание органического углерода при внесении биоугля выше, чем в контрольных вариантах без внесения биоугля. Также по запасам гумуса все варианты опыта показали очень низкие значения, однако в вариантах, где

был внесен биоуголь значения выше, по сравнению с контрольным вариантом, что говорит об эффективности биоугля.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Государственного задания Минобрнауки России №FZNS-2023-0019.

HUMUS RESERVES IN ANTHROPOGENIC DISTURBED SOILS WHEN APPLYING BIOCHAR TO RUSSKY ISLAND

E.A. Gumennaya, A.V. Brikmans

Department of Soil Science, Far Eastern Federal University, Vladivostok, gumennaya.ea@dvfu.ru

Summary: *The article presents the effect of biochar in doses of 1 and 3 kg/m² on the accumulation of organic carbon in soils disturbed by anthropogenic impact. The experiment showed that the introduction of biochar into the soil contributed to an increase in humus reserves by 0.6 times compared with the control variant.*

Keywords: *biochar, humus reserves, restoration, anthropogenic disturbed soils.*

Литература

1. Васильченко А.В. Рекультивация нарушенных земель: учебное пособие: в 2-х частях Оренбургский гос. ун-т. Оренбург: ОГУ, 2017. Ч. 1. 230 с.
2. Shackley S., Ibarrola Esteinou R., Hopkins D., Hammond J. Biochar Quality Mandate (BQM) version 1.0. British Biochar Foundation. 2014. 58 p.
3. Григорьян Б.Р., Грачев А.Н., Кулагина В.И., Сунгатуллина Л.М., Кольцова Т.Г., Рязанов С.С. Влияние биоугля на рост растений, микробиологические и физико-химические показатели малогумусированной почвы в условиях вегетационного опыта // Вестник Казанского технологического университета. 2016. № 11. С. 185–189.
4. Кулагина В. И., Грачев А. Н., Шагидуллин Р.Р., Рязанов С.С., Сунгатулина Л.М., Забелкин С.А., Кольцова Т.Г. Влияние биоугля на структуру почвы и содержание форм калия // Аграрный научный журнал. 2019. № 1. С. 16–20. DOI: 10.28983/asj.v0i1.460
5. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М. : Изд-во МГУ, 1970. 491 с.
6. Гришина Л.А., Орлов Д.С. Система показателей гумусного состояния почв // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978. С. 42–47.
7. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. №. 8. С. 918–926.

УДК 631.618

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБОВ РЕКУЛЬТИВАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

С.В. Залесов, В.С. Котова, А.Н. Марковская, Р.А. Осипенко, Е.П. Розинкина

Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург,
zalesovsv@m.usfeu.ru

***Аннотация.** Проанализирована эффективность лесохозяйственного направления рекультивации различных видов нарушенных земель в условиях Уральского Федерального округа (УрФО). Экспериментально установлено, что наиболее перспективно сочетание искусственного лесоразведения и естественного зарастивания при проведении рекультивационных работ. Учитывая низкое плодородие нарушенных земель, необходимо на их поверхность при проведении рекультивационных работ наносить слой почвогрунта толщиной 0,25–0,30 м. Основной древесной породой при лесоразведении на нарушенных землях является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), при этом для ускорения почвообразования можно использовать и другие древесные растения.*

***Ключевые слова:** Уральский Федеральный округ, нарушенные земли, рекультивация, лесоразведение, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.).*

В промышленно развитых регионах с наличием горнодобывающей и перерабатывающей промышленности огромной проблемой является рекультивация нарушенных земель. Накопление карьерных выемок, отвалов отходов обогащения бедных руд и золы, земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, ухудшают экологическую обстановку и условия проживания населения. Сложность рекультивации нарушенных земель заключается в том, что она имеет региональную специфику и требует индивидуальных подходов при различных видах нарушений. Не является в этом плане исключением и Уральский Федеральный округ (УрФО), где на протяжении более 300 лет ведется активная добыча и переработка полезных ископаемых.

Разработка способов рекультивации нарушенных земель в УрФО ведется уже давно и накоплен значительный опыт проведения рекультивационных работ [1, 2]. В настоящее время проблемами рекультивации занимаются несколько научных и учебных заведений, в том числе и ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический университет (УГЛТУ). Ученые университета уделяют внимание, прежде всего, лесохозяйственному направлению рекультивации. Последнее объясняется тем, что изъятие земель для разведки, добычи, переработки и транспортировки полезных ископаемых производится, прежде всего, из лесного фонда и, следовательно, после использования земли должны вернуться в лесной фонд для выращивания древесины.

Целью проводимых исследований является установление лесоводственной эффективности естественного самозарастания и рекультивации нарушенных земель при различных видах их предыдущего использования.

В основу исследований положен системный подход к проведению исследований с закладкой пробных площадей (ПП). На ПП проводился комплекс лесоводственно-таксационных исследований в соответствии с апробированными методиками [3].

В процессе исследований экспериментально подтверждено, что наиболее эффективным способом биологического этапа рекультивации является создание лесных культур сосны обыкновенной путем посева или посадки двухлетних сеянцев. Выбор сосны обыкновенной в качестве главной породы при создании лесных культур обусловлен ее низкой

требовательностью к плодородию почвы, устойчивостью против перепадов температур и других негативных природных и антропогенных факторов [4].

Для ускорения формирования почвы на нарушенных землях, при создании лесных культур могут использоваться и другие виды древесных растений, в частности, облепиха крушиновидная (*Hippophaë rhamnoides* L.) и другие ягодниковые кустарники [5]. При закреплении песчаных раздувов хорошо зарекомендовал себя способ посадки трав [6]. Посадка в шахматном порядке травянистых растений позволяет обеспечить закрепление песка и при наличии обсеменителей дальнейшее естественное зарастание песчаных раздувов. Помимо посадки трав с закрытой корневой системой для закрепления песков может быть использовано, так называемое, шелюгование, то есть посадка черенков ивы местных видов. Нами посадка ивы рассматривается как первый этап создания искусственных насаждений на нарушенных землях, в частности, на подштательных основаниях гидронамывных карьеров, сухойройных карьерах, песчаных раздувах, если отсутствует возможность закрепления песка нанесением на поверхность торфопесчаной смеси. После закрепления песка указанным способом, то есть прекращения его перевевания, на участке создаются лесные культуры сосны обыкновенной

На отвалах добычи хризотил-асбеста, при наличии вблизи источников семян появляется обильный самосев. Однако из-за низкого плодородия субстрата и неблагоприятного водного режима, накопление подроста и формирование молодняка не происходит, а появившиеся всходы сосны обыкновенной приобретают стелющуюся или кустарниковую форму, а затем отмирают [7]. Проблема естественного зарастания отвалов может быть решена путем его покрытия слоем осадка сточных вод. Проведенные эксперименты на территории Средне-Уральского таежного лесного района показали, что при использовании осадка сточных вод решается несколько задач. Во-первых, очищаются площадки накопители осадка сточных вод. Во-вторых, на поверхности отвалов отходов обогащения бедных руд создается слой, выполняющий роль мульчи, удерживающий атмосферные осадки и обеспечивающий самосев необходимыми питательными элементами.

При создании лесных культур на дражных отвалах, выработанных карьерах строительных материалов, в частности гранита, практически отсутствует конкуренция высаженными сеянцами со стороны живого напочвенного покрова. Последнее позволяет отказаться от посадки сеянцев, заменив ее посевом семян. Кроме того, отпадает необходимость в агротехнических уходах [8], что снижает затраты на проведение рекультивационных работ.

При рекультивации нарушенных земель вблизи медеплавильного производства, а также других предприятий с интенсивными выбросами промышленных поллютантов необходимо заменить сосну обыкновенную при создании лесных культур на березы повислую и пушистую. Использование при рекультивации указанных видов позволяет получить высокий лесоводственный эффект даже при достаточно сильном загрязнении воздуха. При восстановлении нарушенных земель на горных склонах хорошие результаты обеспечивает их террасирование. Создание террас в сочетании с нанесением на них слоя почвогрунта толщиной 25–30 см обеспечивает возможность восстановления древесной растительности на горных склонах, предотвращает эрозию почвы и способствует появлению травянистой растительности [9, 10]. Особо следует отметить увеличение доли краснокнижных видов в составе живого напочвенного покрова (ЖНП), что, на наш взгляд, объясняется снижением конкуренции других видов ЖНП в указанных условиях.

Хороший лесоводственный эффект достигается и при покрытии золоотвалов слоем почвогрунта толщиной 25–30 см. Указанное покрытие предотвращает разнос золы ветром и создает условия для создания высокопроизводительных искусственных сосновых насаждений [11, 12]. При этом отсыпку почвогрунта целесообразно производить полосами, что минимизирует затраты и способствует формированию в оставляемых полосах естественных насаждений за счет налета семян.

Накопленный опыт рекультивации нарушенных земель свидетельствует, что наиболее эффективно сочетание естественного зарастания нарушенных земель с созданием лесных культур, а также лесоводственного направления рекультивации с другими направлениями. Так, в частности, при рекультивации карьеров целесообразно использовать рыбохозяйственное направление, а также использовать рукотворные водоемы в качестве противопожарных.

Создание высокопроизводительных искусственных насаждений на нарушенных землях позволяет использовать их в рекреационных целях. Поскольку добыча большинства полезных ископаемых на Урале ведется открытым способом, после завершения работ остаются карьеры различной глубины, на базе которых можно создавать водоемы для разведения рыбы. Прилегающие к карьерам территории рекультивируются по лесохозяйственному направлению, а проведение работ по благоустройству, созданию малых архитектурных форм и дорожно-тропиночной сети обеспечивает высокую рекреационную привлекательность и нередко рекультивированные нарушенные земли становятся любимым местом отдыха населения прилегающих городов и поселков.

Выводы

1. При проведении работ по рекультивации нарушенных земель необходимо учитывать природные условия региона и вид использования земель, приведших их к нарушению.

2. Наиболее экономически выгодным направлением рекультивации нарушенных земель на территории УрФО является комбинированный, то есть сочетающий несколько направлений рекультивации, а также рекультивацию с естественным зарастанием.

3. При лесохозяйственном направлении рекультивации наиболее перспективно создание лесных культур сосны обыкновенной с предварительным покрытием полигона рекультивации слоем почвогрунта или торфо-песчаной смеси слоем 25–30 см.

4. При рекультивации песчаных раздувов, подштабельных оснований гидронамывных карьеров и карьеров добычи песка открытым способом в целях предотвращения перевевания песка целесообразно покрытые поверхности слоем торфо-песчаной смеси, а в случае отсутствия такой возможности, закрепления песка посадкой трав с закрытой корневой системой или черенков ивы.

5. Лесохозяйственное направление рекультивации обеспечивает выращивание на нарушенных землях высокопроизводительных насаждений, решая тем самым дополнительно задачи компенсационного лесоразведения и депонирования в древесине атмосферного углерода.

IMPROVEMENT OF METHODS OF RECLAMATION OF VARIOUS TYPES OF DISTURBED LANDS

S.V. Zalesov, V.S. Kotova, A.N. Markovskaya, R.A. Osipenko, E.P. Rozinkina

Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, zalesovsv@m.usfeu.ru

Summary: *The effectiveness of the forestry direction of reclamation of various types of disturbed lands in the conditions of the Ural Federal District (Ural Federal District) is analyzed. It has been experimentally established that the most promising combination of artificial afforestation and natural overgrowth during reclamation works. Given the low fertility of disturbed lands, it is necessary to apply a layer of soil 0.25–0.30 m thick to their surface during reclamation work. The main tree species for afforestation on disturbed lands is scots pine (*Pinus sylvestris* L.), while other woody plants can be used to accelerate soil formation.*

Keywords: *Ural Federal District, disturbed lands, reclamation, afforestation, Scots pine (*Pinus sylvestris* L.).*

Литература

1. Чибрик Т.С. Опыт биологической рекультивации. Екатеринбург: Урал. гос. ун-т, 2002. 172 с.
2. Залесов С.В., Зарипов Ю.В., Осипенко Р.А. Опыт лесохозяйственного направления рекультивации нарушенных земель при разработке месторождений глины, хризотил-асбеста и редкоземельных руд. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2022. 282 с.
3. Данчева А.В., Залесов С.В., Попов А.С. Лесной экологический мониторинг. Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. 146 с.
4. Котова В.С., Корчагин И.Е., Розинкина Е.П., Петров А.И., Осипенко Р.А., Годовалов Г.А. Определение перспективности сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) для создания карбоновых ферм // Леса России и хозяйство в них. 2023. № 3 (86). С. 3–13. DOI: 10.51318/FRET. 2023.3.86.001
5. Корчагин И.Е., Котова В.С., Марковская А.Н., Мартюшов П.А., Осипенко Р.А., Петров А.И. Использование облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.) при рекультивации нарушенных земель // Леса России и хозяйство в них. 2022. № 4 (83). С. 30–37. DOI: 10.51318/FRET. 2022. 73.80.004.
6. Залесов С.В., Оплетаев А.С. Способ рекультивации нарушенных земель / Патент на изобретение № 2738895. Зарегистрирован в гос. реестре изобретений РФ от 18.12.2020 г.
7. Зарипов Ю.В., Залесов С.В., Залесова Е.С., Попов А.С., Платонов Е.П., Стародубцева Н.П. Подрост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на отвалах месторождения хризотил-асбеста // Известия вузов. Лесной журнал. 2021. № 5. С. 22–33.
8. Петров А.И., Залесов С.В., Котова В.С. Эффективность создания лесных культур сосны обыкновенной на дражных отвалах // Сибирский лесной журнал. 2023. № 3. С. 15–20. DOI: 10.5372/SJFS 2023.03.02.
9. Залесов С.В., Бачурина А.В., Бачурина С.В. Состояние лесных насаждений, подверженных влиянию промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь» и реакция их компонентов на проведение рубок обновления. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620>.
10. Bachurina A.V., Zalesov S.V., Ayan S. Characteristics of plantations on disturbed lands in copper smelting zone in urals, Russia // Forest. 2022. 73 (1). 42–50. DOI: 10.5152/forestist. 2022. 22019.
11. Залесов С.В., Залесова Е.С., Зверев А.А., Оплетаев А.С., Терин А.А. Формирование искусственных насаждений на золоотвале Рефтинской ГРЭС // ИВУЗ «Лесной журнал». 2013. № 2. С. 66–73.
12. Zalesov S.V., Ayan S., Zalesova E.S., Opletaev A.S. Experiences on Establishment of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Plantation in Ash Dump Sites of Reftinskaya Power Plant, Russia // Alinteri Journal of Agriculture Sciences. 2020. 35 (1). P. 7–14. DOI: 10/28955/alinterizbd. 696559.

УДК 631.4:622.882

ВОССТАНОВЛЕНИЕ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕДОБЫЧИ В СРЕДНЕМ ПРИОБЬЕ

Л.П. Капелькина¹, Л.А. Малышкина²

¹Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург, kapelkina@mail.ru

²ПАО «Сургутнефтегаз», Сургут, malyshkina_la@surgutneftegas.ru

Аннотация. Освоение заболоченных территорий Среднего Приобья осуществляется путем предварительного намыва песков и отсыпки дорог и кустовых буровых площадок. Вследствие увеличения толщины насыпного корнеобитаемого слоя и формирования различных по гидротермическому режиму участков создаются более благоприятные условия для роста растений. За четверть века в результате проведения рекультивационных мероприятий и природных процессов восстановления растительности сформировались экосистемы, которые по биоразнообразию и продуктивности превосходят ранее существовавшие сообщества.

Ключевые слова: нарушенные земли, рекультивация, самозарастание, кустовые буровые площадки, лесные экосистемы, растительные сообщества

Исследования по естественному зарастанию нарушенных территорий и рекультивации земель проводились на сильно обводненных заболоченных территориях Среднего Приобья. Месторождение расположено в северо-таежной подзоне в центре Западно-Сибирской низменности в пределах обширной болотной системы в верховьях р. Тромъеган. На исследуемой территории преобладают грядово-мочажинно-озёрные и грядово-мочажинно-озерковые олиготрофные болота с участками переходных и низинных болот, которые располагаются вблизи рек и проточных озёр. Небольшое участие принимают лесные сообщества (сосняки) на минеральных островах.

Началу освоения и разработки месторождений, расположенных на заболоченных территориях, предшествует намыв на поверхность болот больших объёмов песка со дна близ расположенных водоемов с помощью средств гидромеханизации. Складирование песка осуществляется в штабели, по форме напоминающие усеченный конус. Спустя 1-2 года после отдачи воды штабелем осуществляется развоз автотранспортом песка и последующее устройство песчаных насыпей – оснований под буровые площадки, дороги, промышленные объекты. Из-за низкой несущей способности обводненных торфов освоение заболоченных ландшафтов Западной Сибири без проведения таких подготовительных работ практически невозможно. После завершения буровых работ и ввода скважин в промышленную эксплуатацию отработанные площади подлежат рекультивации.

Нарушенные земли, образованные при освоении и эксплуатации месторождений в Среднем Приобье, представлены песчаными аренами значительной площади, сформировавшимися при разборке штабелей намывного песка, кустовыми и разведывательными площадками скважин, сухойройными карьерами, образовавшимися при добыче общераспространенных полезных ископаемых экскаваторным способом. Значительные площади нарушены торфоразработками, линейными нарушениями поверхности, образовавшимися при строительстве дорог, трубопроводов, линий электропередачи и связи, территориями временных поселков, промышленных баз и другими нарушениями.

Обязательной и первоочередной рекультивации в этом регионе должны подлежать значительные по площади песчаные арены, вышедшие из-под гидроотвалов — штабелей намытого песка после его развоза. Прогноз самозарастания их, как правило, неблагоприятен. Вследствие бедности намытого песка питательными веществами, неблагоприятного водного режима, низкого запаса влаги, подверженности песков эрозионным процессам. В то же время участки, вышедшие из-под штабелей намытого песка, на территории Среднего Приобья являются основным резервом для увеличения лесопокрытой площади. Отвод земель под освоение месторождений в этом регионе осуществляется из земель лесного фонда.

Нарушенные площади в Среднем Приобье, образовавшиеся при освоении месторождений представлены разными грунтами (мелкозернистые пески, супеси, торф различной степени разложения), характеризуются различными химическими и водно-физическими свойствами, возможностью и скоростью естественного зарастания, технико-экономическими показателями их восстановления. Эти факторы предопределяют необходимость индивидуального подхода к каждому объекту рекультивации.

Рекультивация песчаных арен должна включать нанесение на поверхность слоя торфа, его перемешивание с подстилающими песками. Поверхностное нанесение торфа без перемешивания с песком обычно является малоэффективным, поскольку в сухую летнюю погоду пересохший поверхностный слой торфа часто становится недействительным. Использование для рекультивации сеянцев сосны с закрытой корневой системой более перспективно по сравнению с традиционной посадкой сеянцев с открытой корневой системой. Содержащийся в закрывающем корни растений торфяном грунте комплекс макро- и микроэлементов обеспечивает снижение после посадочной депрессии в жестких условиях рекультивируемых площадей.

Значительные площади нарушенных земель представлены кустовыми буровыми площадками. Кустовая буровая площадка, сооруженная на болоте, представляет собой насыпной объект площадью 4–6 га, возвышающийся над поверхностью болота. По периметру буровая площадка защищена обваловкой – насыпью высотой 1,5–3 метра, отсыпанной из привозного намытого песка. Обваловки сверху покрыты слоем торфа незначительной толщины для снижения эрозионных процессов. Размещение выбуренной породы: буровых шламов, содержащих различные химические реагенты, осуществляется в понижения, так называемые амбары. Таким образом, в процессе отсыпки площадок и бурения скважин на кустовой буровой площадке формируются различные местообитания (экотопы), как по гранулометрическому составу отсыпанных грунтов, так и условиям увлажнения – от избыточно влажных в амбарах, до участков обваловок с недостаточным увлажнением, сложенных привозными песками.

Многолетними исследованиями, проводимыми в этом регионе за восстановлением растительного покрова и самозарастанием нарушенных кустовых буровых площадок, установлено, что обваловки, с точки зрения эксплуатации скважин, защищают природный ландшафт от аварийных ситуаций, возможных разливов нефти, с биологической же точки зрения они способствуют формированию различных по гидротермическому режиму участков. Увеличение мощности (толщины) насыпного корнеобитаемого слоя, способствует созданию более благоприятных условий для роста растений, что обуславливает формирование и развитие древесной и травянистой растительности.

Следует признать целесообразным и успешным опыт проведения рекультивации амбаров без их засыпки привозным песком с использованием для посадки на обваловках и откосах амбаров (межамбарных перемычках) черенков местных ив, а в самих амбарах – рогоза. Многолетними наблюдениями за развитием высаженных растений подтверждена целесообразность и эффективность используемой ПАО «Сургутнефтегаз» технологии [1].

Использование для закрепления откосов черенков ив на начальных этапах формирования растительности было продиктовано необходимостью закрепления обваловок и межамбарных песчаных перемычек для снижения эрозионных процессов. Ивовые черенки,

посаженные в песок на откосах обваловок и перемычек 20–25 лет назад, выполнили эту задачу. Они закрепили откосы, обеспечили обильный самосев этой культуры практически на всех обследованных площадках. Ивы следует рассматривать как временную породу, дающую хорошие результаты при закреплении (рекультивации) песков на начальном этапе. Взрослые экземпляры ивы находятся в настоящее время в климаксовом (устойчивом) состоянии. В ближайшие годы произойдет их естественная гибель. В будущем на кустовых площадках произойдет смена растительности, сформируются лесные участки с преобладанием сосново-березовых сообществ, на отдельных площадках, примыкающих в лесным ненарушенным участкам, с большим количеством кедров.

На обследованных участках амбаров также наблюдается смена растительных сообществ. В первые годы в амбарах кустовых площадок сохранялась избыточная влажность, фиксировалось наличие открытой водной поверхности и влаголюбивой травянистой растительности. Преобладающими видами растений были тростник, рогоз, осоки. В последующем при снижении влажности грунтов в амбарах фиксировались такие виды как мать-и-мачеха, иван-чай, ситник, вейники, которые являются типичными представителями на многих зарастающих нарушенных участках не только в Западной Сибири, но и в других регионах России. Обсыхание амбаров и изменение местообитаний происходит быстрее, чем смена видового состава растительных сообществ. В настоящее время фиксируются изменения в растительном покрове со значительным увеличением количества древесных видов. На отдельных участках амбарных отложений количество всходов ив и берез достигает 12–15 экземпляров на одном квадратном метре. По результатам проведенных исследований в летний сезон 2023г. зафиксировано, что ивы, посаженные около 25 лет назад черенками, имеют высоту 4–6 метров, диаметр их крон достигает 7-ми метров. На откосах перемычек ближе к амбарам сосны имеет высоту 4–5 метров, прирост последних лет отдельных экземпляров составляет 40–45 см, появился обильный самосев лесных видов: берез, ив, сосен и кедров, что свидетельствует о создании более благоприятных условий для роста древесных растений.

Несмотря на продолжающуюся эксплуатацию скважин (добычу нефти) бывший природно-техногенный ландшафт, образованный в начальный период, всё отчетливее приобретает свойства лесного ландшафта. Здесь на повышенных элементах рельефа формируются лесные насаждения с различными видами древесных, травянистых растений и мхов. Процесс формирования растительных сообществ идет в направлении развития лесных экосистем. Наличие не зарастающих или плохо зарастающих участков, представленных песчаными отсыпками (преимущественно бывшие объездные дороги), обусловлено рядом причин, но важнейшей является низкий запас влаги в корнеобитаемом слое песков, которые имеют значительную толщину. При этом капиллярная кайма грунтовых вод остается недоступной для заносимых видов семян растений.

За четверть века на рекультивированных кустовых площадках вследствие увеличения толщины насыпного корнеобитаемого слоя и формированию различных по гидротермическому режиму участков созданы более благоприятные условия для роста растений, что обуславливает формирование и развитие более разнообразной растительности. Здесь на повышенных элементах рельефа формируются лесные насаждения с различными видами древесных, кустарниковых, травянистых растений, мхов и лишайников. Процесс формирования растительных сообществ идет в направлении развития лесных экосистем, увеличивается общая биомасса и продуктивность растительных сообществ. Обильная и разнообразная растительность служит дополнительной кормовой базой для животного мира. Об этом свидетельствует нахождение на кустовых площадках следов присутствия оленей, зайцев, появление муравейников, увеличение численности птиц.

На исследованных кустовых буровых площадках мы имеем уникальный вариант восстановления растительного покрова. В результате отсыпки буровых площадок, проведения простейших рекультивационных мероприятий и природных процессов восстановления растительности на нарушенных землях (болотах) спустя два с половиной десятилетия

сформировались новые ландшафты, которые по биоразнообразию и продуктивности растений превосходят ранее существовавшие на болотах сообщества. Это один из немногих случаев восстановления нарушенных земель, когда мы имеем положительное влияние техногенеза на экосистемы, которое заключается в формировании на локальных, ограниченных по площади участках, более продуктивных и ценных сообществ, соответствующих зональной растительности.

RESTORATION OF DISTURBED LANDS AT OIL PRODUCTION FACILITIES IN THE MIDDLE PRIOBIE

L.P. Kapelkina¹, L.A. Malyshkina²

¹St. Petersburg Federal Research Center RAS, St. Petersburg, kapelkina@mail.ru

²PJSC "Surgutneftegas", Surgut, malyshkina_la@surgutneftegas.ru

***Summary:** The development of the wetlands of the Middle Ob region is carried out by preliminary reclamation of sand and filling of roads and cluster drilling sites. Due to an increase in the thickness of the bulk root layer and the formation of areas with different hydrothermal regimes, more favorable conditions for plant growth are created. Over a quarter of a century, as a result of reclamation measures and natural processes of vegetation restoration, ecosystems have been formed that are superior in biodiversity and productivity to previously existing communities.*

***Key words:** disturbed lands, reclamation, overgrowth, cluster drilling sites, forest ecosystems, plant communities.*

Литература

1. Седых В.Н., Малышкина Л.А., Даниленко Л.А. Методическое руководство по рекультивации шламовых амбаров без их засыпки на территории лесного фонда Российской Федерации в среднетаежной подзоне Западной Сибири. М.: ФАЛХ, 2005. 39 с.

ОПЫТ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗОЛОТВАЛА В СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

И.Е. Корчагин

Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург,
Vankorch92@yandex.ru

Аннотация. Проанализирована эффективность рекультивации золоотвала № 1 Рефтинской ГРЭС в условиях Средне-Уральского таежного лесного района. экспериментально установлено, что покрытие золоотвала почвогрунтом слоем 25–30 см и посадка сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) обеспечивает формирование искусственных сосновых насаждений Ia–II классов бонитета с запасом стволовой древесины 290 м³/га в 31-летнем возрасте.

Ключевые слова: нарушенные земли, рекультивация, золоотвал, лесные культуры, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.).

Одной из крупнейших электростанций в Свердловской области и Уральском Федеральном округе является Рефтинская ГРЭС. Данная электростанция работает на Экибастузских углях, зольность которых достигает 45%. Указанное создает большие проблемы со складированием золы. Мелкодисперсионная зола при открытом хранении легко переносится ветром загрязнения окружающей среду и меняя лесорастительные условия на прилегающих территориях.

Заполнение золоотвала № 1 потребовало решения проблемы закрепления золы. Для этого на поверхность золоотвала был нанесен слой почвогрунта слоем 25–30 см с последующей посадкой лесных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Посадка производилась механизированным способом [1–3]. Выбор сосны обыкновенной в качестве главной породы был обоснован ее пластичностью, низкой требовательностью к плодородию почвы и опытом применения при лесохозяйственном направлении рекультивации различных видов нарушенных земель [4–6].

Поскольку после создания лесных культур прошел уже значительный период встает вопрос об устойчивости и производительности, созданных на золоотвале искусственных насаждений, поскольку ряд авторов отмечает возможность ветровала в создаваемых насаждениях.

Целью исследования являлось изучение производительности и устойчивости искусственных сосновых насаждений, созданных на золоотвале.

В основу исследований положен метод пробных площадей (ПП), которые закладывались в соответствии с апробированными методиками [7, 8].

В процессе выполнения работ для закладки ПП подбирались участки искусственных сосновых насаждений разного возраста, что позволяло проследить динамику изменения основных таксационных показателей.

Выполненные исследования показали, что на территории рекультивированного золоотвала сформировались высокопроизводительные искусственные сосновые насаждения (табл.). Материалы таблицы свидетельствуют, что на золоотвале сформированы практически чистые сосновые насаждения Ia–II классов бонитета. При этом пробные площади существенно различаются по густоте древостоев, относительной полноте. Несмотря на то, что различие в возрасте исследуемых древостоев не превышает 11 лет запас различается на 223 м³/га. При этом, если на ППП-1 средний годовой прирост древесины составляет 9,4 м³/га, то на ППП-11 он не превышает 3,4 м³/га. Однако для всех 5 ППП характерно увеличение среднего годового

прироста стволовой древесины с увеличением возраста древостоев. Полагаем, что на начальной стадии роста лесные культуры, созданные на золоотвале, адаптируются к специфическим условиям, а затем начинают увеличивать свой прирост.

Таблица. Лесоводственно-таксационная характеристика древостоев пробных площадей

| № ППП | Состав | Средние | | | Класс бонитета | Густота, шт./га | Полнота | | Запас, м ³ /га |
|-------|--------|--------------|-----------|-------------|----------------|-----------------|--------------------------------|---------------|---------------------------|
| | | возраст, лет | высота, м | диаметр, см | | | абсолютная, м ² /га | относительная | |
| 1 | 10С | 31 | 14,6 | 13,4 | | 2628 | 37,0 | 0,99 | 290 |
| | +Б | 25 | 12,3 | 8,8 | | 19 | 0,1 | 0 | 1 |
| | Итого | | 14,6 | | Ia | 2647 | 37,1 | 0,99 | 291 |
| 3 | 10С | 27 | 10,3 | 10,4 | II | 3013 | 25,6 | 0,87 | 161 |
| 4 | 10С | 24 | 10,0 | 10,6 | Ia | 3153 | 27,6 | 0,89 | 167 |
| 10 | 10С | 22 | 10,1 | 11,7 | | 1625 | 17,4 | 0,56 | 105 |
| | +Ос | 15 | 6,5 | 4,5 | | 41 | 0,1 | 0,01 | 0,3 |
| | Итого | | 10,1 | | Ia | 1666 | 17,5 | 0,57 | 105,3 |
| 11 | 10С | 20 | 7,0 | 8,0 | II | 3200 | 16,1 | 0,65 | 68 |

Все обследованные насаждения характеризуются хорошим санитарным состоянием. Признаки ветровала и других негативных последствий природных и антропогенных факторов не зафиксированы.

В то же время чистый состав древостоев и расположение на возвышенном золоотвале способствуют существенному повышению пожарной опасности. Во избежание гибели выращиваемых на золоотвале насаждений необходимо разработать и реализовать эффективную систему противопожарного устройства. В частности, наряду с противопожарными барьерами следует произвести обрезку нижних ветвей деревьев на высоту не менее 2,5 м во избежание перехода возможного низового пожара в верховой [9, 10]. Обрезку нижних ветвей целесообразно производить одновременно с проведением рубок ухода. Последние снизят густоту древостоев и позволят изъять из насаждения деревья потенциального отпада, а следовательно, уменьшат массу напочвенных горючих материалов в будущем. Товарная древесина от рубок ухода может быть реализована или использована для изготовления малых архитектурных форм [11], что весьма актуально, если учесть, что рекультивированный золоотвал активно используется местным населением как место отдыха.

Выводы

1. Лесохозяйственное направление рекультивации золоотвалов в условиях Средне-Уральского таежного лесного района показало высокую эффективность.

2. Покрытие золоотвала слоем почвогрунта толщиной 25–30 см с последующим созданием лесных культур сосны обыкновенной, посадкой 2-летних сеянцев обеспечивает формирование в будущем сосновых насаждений Iа–II классов бонитета.

3. При выращивании сосновых насаждений на золоотвалах необходимо систематически проводить рубки ухода по низовому методу и противопожарные мероприятия, включающие обрезку нижних ветвей на высоту до 2,5 м.

4. Лесоразведение на нарушенных землях не только решает вопросы экологии и компенсационного лесоразведения, но и вносит существенный вклад в депонирование парниковых газов в выращиваемой древесине.

EXPERIENCE OF ASH DUMP RECLAMATION IN THE SVERDLOVSK REGION

I.E. Korchagin

Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Vankorch92@yandex.ru

Summary: The efficiency of reclamation of ash dump No. 1 of Reftinskaya GRES in the conditions of the Middle Ural taiga forest region is analyzed. It has been experimentally established that covering the ash dump with a soil layer of 25–30 cm and planting seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) ensures the formation of artificial pine plantations of Ia–II classes of bonity with a stock of stem wood of 290 m³/ha at the age of 31.

Keywords: disturbed lands, reclamation, ash dumps, forest crops, Scots pine (*Pinus sylvestris* L.).

Литература

1. Залесов С.В., Залесова Е.С., Зверев А.А., Оплетев А.С., Терин А.А. Формирование искусственных насаждений на золоотвале Рефтинской ГРЭС // ИВУЗ «Лесной журнал». 2013. № 2. С. 66–73.
2. Залесов С.В., Оплетев А.С., Терин А.А. Формирование искусственных насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на рекультивированном золоотвале // Аграрный вестник Урала. 2016. № 8 (150). С. 15–23.
3. Zalesov S.V., Ayan S., Zalesova E.S., Opletaev A.S. Experiences on Establishment of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Plantation in Ash Dump Sites of Reftinskaya Power Plant, Russia // Alinteri Journal of Agriculture Sciences, 2020. 35 (1): 7–14.
4. Залесов С.В., Толкач О.В., Фрейберг И.А., Черноусова Н.Ф. Опыт создания лесных культур на солонцах хорошей лесопригодности // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 9. С. 42–47.
5. Залесов С.В., Залесова Е.С., Зарипов Ю.В., Оплетев А.С., Толстикова О.В. Рекультивация нарушенных земель на месторождении тантал-бериллия // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 12. С. 63–67.
6. Бачурина А.В., Залесов С.В., Толкач О.В. Эффективность лесной рекультивации нарушенных земель в зоне влияния медеплавильного производства // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 6. С. 67–71.
7. Бунькова Н.П., Залесов С.В., Залесова Е.С., Магасумова А.Г., Осипенко Р.А. Основы фитомониторинга. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 90 с.
8. Данчева А.В., Залесов С.В., Попов А.С. Лесной экологический мониторинг. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2023. 146 с.
9. Залесов С.В., Миронов М.П. Обнаружение и тушение лесных пожаров. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2004. 138 с.
10. Марченко В.П., Залесов С.В. Горимость ленточных боров Прииртышья и пути ее минимизации на примере ГУ ГЛПР «Ертыс Орманы» // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 10 (108). С. 55–59.
11. Zalesov S.V., Damary R., Vetoshkin Y., Pryadilina N., Opletaev Using the Wood from improvement felling for assembling small wooden structures // Increasing the use of wood in the Global bio-economy: 11 th International Scientific Conference Wood EMA. 2018. P. 369–373.

УДК 631.961

ГОРНО-ТАЕЖНАЯ И ЛЕСОСТЕПНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ КАРБОНОВЫХ ФЕРМ

Н.Е. Лысенко, В.А. Трофименкова, А.М. Шипилова

*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк,
Lysenko-Nikolai2@yandex.ru, asya_nk77@mail.ru*

***Аннотация.** В статье представлены основные сведения о карбоновых фермах и карбоновых полигонах, необходимость их создания. Рассматривается растительность орографических районов Кемеровской области. Описывается травянистая растительность горно-таежной и лесостепной зон Кемеровской области. Приводится ключевое различие между фотосинтезом С3, С4 и САМ растений. Предлагается создание карбоновых полигонов с растениями так называемой группы С3-фотосинтеза.*

***Ключевые слова:** карбоновые фермы, карбоновые полигоны, растительность, горно-таежной, лесостепной, цикл Кальвина, С3 растения, Кемеровская область.*

Введение. Всё более очевидной становится проблема глобального потепления и более актуальным становится вопрос о выбросах в атмосферу большого количества парниковых газов. Тема устранения последствий от изменения климата активно начала развиваться с Киотского протокола, который был принят в 1997 г., являясь дополнительным документом к рамочной конференции ООН об изменении климата. Рамочная конференция ООН, в свою очередь, была принята в 1992 г. Киотский протокол включал в себя положения, которые страны, ратифицировавшие соглашение, обязаны были выполнять:

Каждая Сторона осуществляет и далее разрабатывает в соответствии со своими национальными условиями энергетическую политику и меры по развитию и повышению эффективности используемой энергии. Некоторые из положений, относящиеся непосредственно к энергетической политике:

1. Повышение эффективности использования энергии в соответствующих секторах национальной экономики;
2. Охрана и повышение качества поглотителей и накопителей парниковых газов, содействие парниковым методам ведения лесного хозяйства, облесению и лесовозобновлению на устойчивой основе;
3. Поощрение устойчивых форм сельского хозяйства в свете соображений, связанных с изменением климата;
4. Проведение исследовательских работ, содействующие внедрению, разработки и более широкому использованию новых и возобновляемых видов энергии, технологий поглощения диоксида углерода и инновационных экологически безопасных технологий.
5. Меры по ограничению и сокращению выбросов парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, на транспорте [1].

Инструментами достижения целей Киотского протокола стали три основных механизма: Совместное осуществление (СО), механизм чистого развития (МЧР) и международная торговля квотами на выбросы (МТВ). СО и МЧР нацелены на разработку проектов сокращения выбросов парниковых газов в других странах, а также реализацию этих проектов, что позволяет создавать углеродные кредиты для продажи на углеродном рынке [2].

Механизм МТВ нацелен на прямую торговлю квотами на выбросы между странами. Данный механизм заключается в том, что на период обязательств определяется максимально допустимый объём выбросов парниковых газов. Квоты представляют собой «лимит» на

данный период, количество которых определяется документом «Национальный план распределения квот». Она квота – разрешение на выброс одной тонны CO₂. В том случае, когда установка производит объём выбросов ниже установленного уровня, оператор установки может продавать квоты. Если же наоборот, установленный уровень выбросов превышен, оператор обязан купить квоты компаний, которые нарушили установленный уровень.

Таким образом, можно видеть сформировавшуюся законодательно-правовую основу для развития способов регулирования и сокращения выбросов CO₂.

Если говорить о способах разрешения этого вопроса, то одним из способов сокращения парниковых газов в атмосфере является улавливание CO₂ из атмосферы через лесные и другими природными экосистемы. С этой целью создаются карбоновые полигоны.

Карбоновый полигон – это новое словосочетание, несколько лет назад о нем мало кто слышал. В феврале 2021 года Минобрнауки запустило пилотный проект по созданию карбоновых полигонов в различных регионах России, чтобы восполнить острый недостаток информации о потоках парниковых газов на территории нашей страны. В специально отобранных экосистемах принимаются меры по мониторингу (климатически активных) потоков парниковых газов и разрабатываются технологии для сокращения их выбросов и увеличения поглощения в атмосфере. Полигоны называются карбоновыми, потому что в основном речь идет об изучении выделения диоксида углерода, а вместе с ним и других парниковых газов, таких как метан или закись азота. Их содержание в атмосфере планеты сейчас самое высокое за последние 800 000 лет.

Эти выбросы окутывают землю, удерживая солнечное тепло, что приводит к росту глобальной температуры и другим климатическим изменениям. Сокращение антропогенных выбросов и восстановление потенциала природных экосистем, которые контролируют обмен между поверхностью Земли и атмосферой, представляют собой серьезную проблему для человечества [3].

Карбоновые фермы – плантации, участки земли, на которых эти технологии поглощения парниковых газов применяются на практике [4].

В связи с обсуждаемой климатической проблемой глобального потепления, одной из причин которого являются чрезмерные выбросы CO₂, в России в настоящее время активно развиваются карбоновые полигоны.

В 2021 году Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, реализуя цели национального плана мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года, запустило пилотный проект по созданию карбоновых полигонов на территории регионов России. Период реализации данного проекта 2 года, начиная с февраля 2021 года. Реализация пилотного проекта, согласно приказу от 5-го февраля 2021 года, планируется осуществляться в семи регионах: Чеченская Республика, Краснодарский край, Калининградская область, Новосибирская область, Сахалинская область, Свердловская область и Тюменская область. Первый карбоновый полигон в России создан в границах Национального парка «Угра» в Калужской области. В будущем по всей Российской Федерации планируется создание восьмидесяти карбоновых полигонов на территории от Сахалина до Ленинграда.

На сегодняшний день на территории Российской Федерации 18 действующих карбоновых полигонов (рис. 1) с общей площадью в 39 157,3 Га.

Актуальность снижения эмиссии углерода на территории Кемеровской области – Кузбасса обусловлена комплексом взаимосвязанных факторов. Так, вследствие концентрации на относительно малой (95,5 тыс. км²) площади, по сравнению с соседними регионами, развитой горнодобывающей отрасли, доля которой в общероссийском масштабе угледобычи составляет около 60%, удельная площадь нарушенных земель в Кузбассе чрезвычайно высока. По данным официальной статистики, в Кузбассе нарушено около 100 тыс. га, а по экспертным оценкам – в 1,5–2 раза больше. Эта площадь постоянно растет – посчитано, что на 1 млн. тоны добываемого угля изымается в среднем 36 га естественных экосистем. Таким образом, при

среднегодовом уровне добычи в 250 млн тон ежегодно оказываются уничтоженными около 9 тыс. га [5].



Рисунок 1. Карта действующих полигонов Российской Федерации.

Проблема отрицательного баланса углерода в области обостряется тем, что Кузбасс – это один из немногих регионов в России, где доля каменного угля в структуре топливно-энергетического комплекса на фоне других видов топлива резко преобладает [6].

Объект исследования. Объектом исследования являются виды растений, произрастающих на территории Кемеровской области, возможность их использования на карбоновых фермах.

Цель исследования – проанализировав видовой состав растительности кемеровской области подобрать оптимальные виды для использования на карбоновых фермах Кузбасса.

Кемеровская область, расположенная на юго-восточной окраине Западно-Сибирской равнины и горах Южной Сибири. Выделяется пять орографических районов: Кузнецкий Алатау, Горная Шория, Салаирский кряж, Кузнецкая котловина и Западно-Сибирская равнина.

Более половины территории покрыто тайгой, причем в горах тайга имеет название «черневая», а на крайнем севере области произрастает равнинная тайга. В Кузнецкой котловине и на северо-востоке области встречается степная и лесостепная растительность. Высоко в горах можно увидеть горную тундру, которая очень похожа на тундру северных районов России, и высокогорные альпийские луга с яркими травянистыми растениями.

На склонах гор и речных долинах раскинулись темнохвойные леса, в которых преобладают сибирская пихта, осина, растут сибирский кедр, сибирская ель, вереск и кустарники. Кроны хвойных деревьев образуют сплошной зеленый шатер.

Удивительная флора Горной Шории. Среди черновой тайги сохранились представители древней растительности сибирских лесов: липа сибирская и более 20 видов травяных растений, таких как подлесник европейский, подмаренник душистый, копытень европейский, чистец лесной.

Значительную часть территории области на севере и в Кузнецкой котловине занимают лесостепи. Они состоят из берёзовых, берёзово-осиновых колков и участков луговых степей.

Под пологом деревьев растут боярышник кроваво-красный, карагана кустарниковая, жимолость татарская. Богато лесное и луговое разнотравье лесостепей. Здесь распространены купальница азиатская и горичвет весенний, ветреница лесная и синеголовник плосколистный, типчак и сныть обыкновенная.

В западной части Кузнецкой котловины расположены разнотравно-ковыльные степи, плодородные черноземные почвы которых используются под поля. В настоящее время сохранились только отдельные участки этих степей. Характерными степными растениями являются ковыль перистый, типчак, тонконог гребенчатый, полынь обыкновенная. Весной степи расцветаются яркими красками цветущих растений.

Поднимаясь по склонам гор, можно увидеть, как черневую тайгу сменяет высокогорная кедро-пихтовая тайга. Кедр сибирский, пихта сибирская, берёза бородавчатая являются её основными деревьями. Выше, в горах, растут небольшими группами низкорослые пихты и кедр с флагообразной кроной. Заросли кустарников берёзы карликовой и ивы сизой чередуются с субальпийскими и альпийскими лугами. Богаты они разными травами: баданом толстолистным, горечавкой холодной, водосбором сибирским. Летом эти луга покрывают горы ярким и красочным ковром цветущих растений. Еще выше, до самых вершин, простираются горные тундра, каменистые россыпи которых покрыты мхами и лишайниками. Среди них выделяются низкорослые кустарники берёзы карликовой, ивы сизой, можжевельника сибирского (рис. 2) [7].

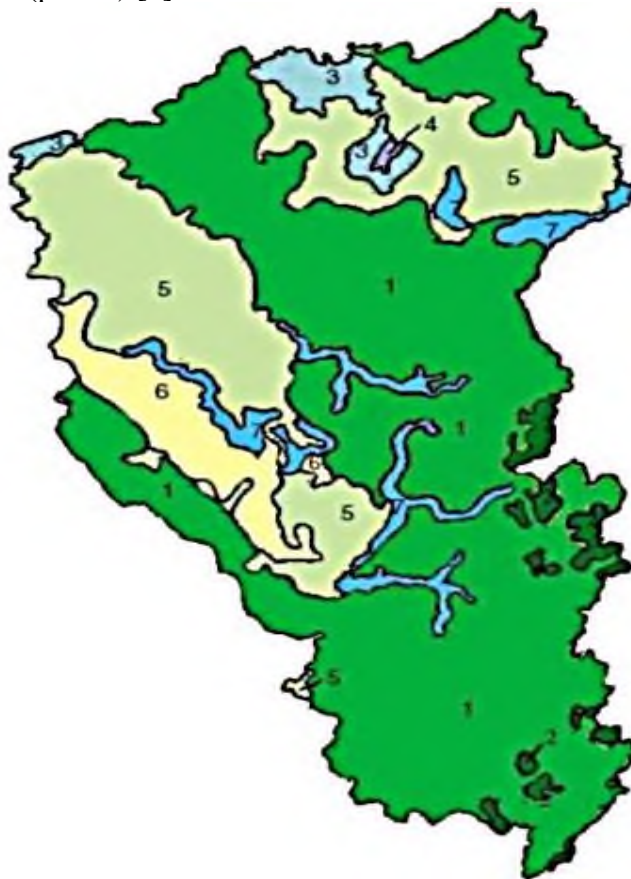


Рисунок 2. Карта растительности Кемеровской области.

Условные обозначения: 1 – темнохвойная тайга; 2 – альпийские и субальпийские луга, горные тундры; 3 – лиственные леса; 4 – светлохвойные леса и кустарники; 5 – лесостепи; 6 – степи и суходольные луга; 7 – пойменные луга.

Обсуждение результатов. На первый взгляд, Кемеровская область богата лесами. Общая площадь земель лесного фонда в Кузбассе составляет около 5,3 млн га, или 56% территории региона. Большая часть из них занята труднопроходимой черневой тайгой

Кузнецкого Алатау, главными ярусообразователями которой выступают пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.) и осина (*Populus tremula*). Через всю область тянется лесостепная Кузнецкая котловина – ее облесенность многочисленными березовыми колками достигает 30–35%. На севере Кузбасса начинается Западно-Сибирская низменность с ее знаменитыми вековыми ельниками и кедровниками. При оценке углеродного баланса прежде всего следует учесть, что около 60% лесов Кузбасса – это приспевающие, спелые и перестойные леса, которые имеют нулевой или отрицательный баланс углерода [8].

Цикл Кальвина, также известный как цикл фиксации углекислого газа, является одним из ключевых процессов фотосинтеза. Он был открыт и исследован в 1950-х годах. История открытия цикла Кальвина началась с исследований фотосинтеза и процесса фиксации углекислого газа в растениях. Кальвин и его коллеги проводили эксперименты с использованием изотопов углерода, чтобы отследить путь, по которому углекислый газ превращается в органические соединения. Цикл Кальвина или фотосинтетическое восстановление углерода – это серия химических реакций, которые преобразуют углекислый газ и соединения-переносчики водорода в глюкозу. Однако процесс фотосинтеза у разных растений разный, в зависимости от условий их обитания. Тримя важными типами фотосинтеза являются фотосинтез C₃, C₄ и САМ.

Ключевое различие между фотосинтезом C₃, C₄ и САМ заключается в способе извлечения растениями углекислого газа из солнечного света, который в значительной степени зависит от среды обитания растения. При фотосинтезе C₃ образуется трехуглеродное соединение по циклу Кальвина, в то время как при фотосинтезе C₄ образуется промежуточное четырехуглеродное соединение, которое распадается на трехуглеродное соединение по циклу Кальвина. Растения, использующие фотосинтез САМ, собирают солнечный свет днем и фиксируют молекулы углекислого газа ночью.

Несмотря на лесное богатство Кузбасса, эмиссия углерода в Кузбассе преобладает над депонированием. Для выравнивания углеродного баланса требуется увеличение доли молодых насаждений в общей структуре лесного фонда. Мы считаем, что эффективней будет создание карбоновых полигонов с растениями так называемой группы C₃-фотосинтеза. В результате это будут карбоновые фермы с неприхотливыми травянистыми культурами, которые смогут поглощать углекислый газ и выделять кислород.

C₃ растения – подавляющее большинство наземных растений, от которых мы полагаемся в качестве пищи и энергии для человека, используют путь C₃, который является старейшим из путей фиксации углерода и встречается у растений всех таксономий. Почти все современные живые организмы даже те, которые живут в регионах с C₄ и САМ-растениями – зависят от C₃-растений в качестве средств к существованию.

В таблице 1 приведены виды растений, подобранных, для использования на Карбоновых фермах Кузбасса.

Для карбоновых ферм в горно-таежном районе предлагаем использовать: бадан толстолистный, горечавка холодная, овсяница гигантская, ясменник душистый, водосбор сибирский, борщевик сибирский, борец высокий.

Бадан толстолистный – многолетнее травянистое растение, вид рода Бадан семейства Камнеломковые. Корневище ползучее, мясистое, толстое, на изломе светло-розовое, достигает нескольких метров в длину и 3,5 см в диаметре, сильно разветвлённое, расположенное близ поверхности почвы, переходящее в мощный вертикальный корень, уходящий на глубину до 50–60 см. Стебель толстый, безлистный, голый, розово-красный, высотой 15–50 см. Листья в прикорневой густой розетке (зимующей под снегом), тёмно-зелёные, с почти округлой пластинкой и плёнчатым влагалищем, крупные, широкоовальные, цельные, голые, кожистые, блестящие, в прикорневой розетке они сохраняются 2–3 года. Мелкие цветки, правильные, пятичленные, без прицветников, в верхушечном густом метельчато-щитковидном соцветии, с двумя длинными красноватыми безлистными цветоножками до 4 см длиной [9].

Таблица 1. Растения для карбоновых ферм

| Растительные зоны | Растения | Тип фотосинтеза |
|-------------------|----------------------------|-----------------|
| Горно-таежная | Бадан толстолистный | C3 |
| | Горечавка холодная | C3 |
| | Овсяница гигантская | C3 |
| | Ясменник душистый | C3 |
| | Водосбором сибирским | C3 |
| | Борщевик сибирский | C3 |
| | Борец северный | C3 |
| Лесостепная | Купальница азиатская | C3 |
| | Горицвет весенний | C3 |
| | Ветреница лесная | C3 |
| | Синеголовник плосколистный | C3 |
| | Типчак | C3 |
| | Сныть обыкновенная | C3 |
| | Ковыль перистый | C3 |
| | Тонконог гребенчатый | C3 |
| | Полынь обыкновенная | C3 |

Борщевик сибирский это двулетнее или многолетнее травянистое растение с вертикальным корнем. Корневище мощное стержневое, на срезе светлое. Стебель одиночный, высотой до 180 см, полый, грубый толстый ребристый, опушённый щетинистыми волосками, в верхней части ветвится. Растение обладает слабым, специфическим пряным запахом. Листья крупные, грубые, шероховатые, округло-яйцевидные лопастные или перисто-рассечённые, иногда дважды или трижды перистые, неравнозубчатые; нижние – черешковые, верхние – с сильно уменьшенной листовой пластинкой, сидящей на расширенном влагалище. Цветёт летом, плодоносит с июля по сентябрь [10].

Борец высокий – травянистое растение, вид рода Борец семейства Лютиковые. Корень длинный, ветвистый, образованный плотно сросшимися шнуровидными мочками. Стебель высотой от 65 до 200, иногда до 250 см высотой, ребристый, опушённый. Листья длиной до 15 и шириной до 25 см, сердцевидно и почковидно округлые, пушистые, особенно по краям и на нижней стороне по нервам. Соцветие – конечная рыхлая кисть, при основании ветвящаяся, с дугообразно отходящими цветоносами [10].

А для карбоновых ферм в лесостепном районе предлагаем использовать: купальница азиатская, горицвет весенний, ветреница лесная, синеголовник плосколистный, типчак, сныть обыкновенная, ковыль перистый, тонконог гребенчатый, полынь обыкновенная.

Купальница азиатская – травянистое многолетнее растение рода Купальница семейства Лютиковые. Корень состоит из многочисленных шнуровидных мочек. Стебель гладкий, прямостоячий, одиночный, простой или ветвистый 10–80 см высотой. Прикорневые листья на длинных черешках, пластинки их в очертании пятиугольные, до основания рассечённые на 5 ромбических сегментов, глубоко надрезанных на неравнозубчатые дольки. Стеблевые листья в числе 1–5, нижние черешковые, верхние сидячие, с пластинками, сходными с прикорневыми, но кверху мельчающими. Цветёт во второй половине мая – в июне. Опыляют цветок мелкие жуки, мухи, пчёлы, прилетающие за нектаром [11].

Ветреница лесная – многолетнее травянистое растение; вид рода Ветреница семейства Лютиковые. Стебель 5–15 см высотой, вверху почти беловойлочный. Цветоносный стебель с мутовкой из трёх черешковых листьев, опушённых с обеих сторон, рассечённых на три сегмента. Корневище вертикальное. Прикорневые листья в числе двух-шести, длинночерешковые, с тремя-пятью ромбическими трёхраздельными сегментами. Цветоносы

одинокими, длинными. Цветки 3–7 см в диаметре. Листочки околоцветника чисто белые, в числе пяти, снаружи опушённые. Цветет в конце весны – начале лета [7].

Полынь обыкновенная – вид многолетних травянистых растений рода Полынь, семейства Астровые. Ветвистое растение, обычно конусообразной формы, высотой 0,5–2 м, реже 2,5 м. Стебель облиственный по всей высоте, прямостоячий, буроватый с фиолетовым оттенком, в сечении угловато ребристый. Корневище многоглавое или коротко ползучее, в верхней части утолщённое. Листья мягкие дважды или трижды перисторассечённые с широколанцетными или линейно-ланцетными сегментами, зелёного цвета, длиной 5–20 см, сверху светло- или тёмно-зелёные, голые или слабо опушённые, снизу густоопушённые до белёсости и даже серебристости (нижняя часть листьев по окраске резко отличается от верхней – в этом отличие от близкой полыни горькой). Верхние листья простые и более мелкие. Конечные сегменты листьев 2,5–9 мм шириной. Хорошо заметны несколько пар ушек (от 1 до 5) у основания черешка. Цветки мелкие, многочисленные, жёлтые или коричневатые. Цветёт с июля по сентябрь [12].

Заключение. Из краткого обзора следует, что наблюдаемый рост концентрации углекислого газа в атмосфере может оказывать влияние на растительный покров не только косвенно, а изменяя климат. В настоящее время проблема выбросов CO₂, связанная с глобальным потеплением, становится всё более очевидной. И это ведет к поиску возможных направлений для решения данной проблемы. Одним из способов решения стало развитие карбоновых полигонов и ферм, что является важным этапом достижения целей новой климатической политики.

Выбирая местную растительность для карбоновых ферм, мы сможем не только поглощать углекислый газ и выделять кислород, но и поддерживать естественную экосистему. Такие карбоновые фермы будут состоять из таких типов растений, которые растут в местных климатических условиях.

Взятые на себя обязательства России по участию в климатической повестке обуславливают необходимость развития инструментов снижения выбросов парниковых газов и развития климатических проектов, в том числе направленных на повышение поглощающей способности лесного покрова. Поэтому развитие карбоновых полигонов и ферм будет развиваться и переносить положительный эффект на многие отрасли и виды экономической деятельности.

MOUNTAIN TAIGA AND FORESTS-STEPPE VEGETATION OF THE KEMEROVO REGION FOR CARBON FARMS

N.E. Lysenko, V.A. Trofimenkova, A.M. Shipilova

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Lysenko-Nikolai2@yandex.ru,
asya_nk77@mail.ru

Summary: *The article provides general information on carbon farms and carbon polygons, the need for their development. Vegetation of orographic areas of the Kemerovo region is considered. The grass vegetation of the mountain-taiga and forest-steppe zones of the Kemerovo region is described. A key difference between photosynthesis in C₃, C₄ and CAM plants is provided. It is proposed to create carbon polygons with plants of the so-called C₃ photosynthesis group.*

Keywords: *carbon farms, carbon polygons, vegetation, mountain-taiga, forest-steppe, Calvin cycle, C₃ plants, Kemerovo region.*

Литература

1. Дочкина Д.Д., Филимонова И.В. Социально-экономическое влияние развития карбоновых ферм на территории регионов // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. С. 218–226.
2. Энергоемкость и торговля квотами на выбросы после вступления в силу Киотского Протокола и механизма торговли квотами на выбросы ЕС / Энергетическая Хартия. Подготовлено EcoSecurities. 2006. 52 с.
3. Константинов А. Карбоновый полигон: что это такое и как работает [Электронный ресурс] // Сайт Цифровой океан. URL: <https://digitalocean.ru/n/lovcy-ugleroda>
4. Морковина С.С., Панявина Е.А., Шанин И.И., Авдеева И.А. Экономические аспекты организации карбоновых ферм на лесных землях // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2021. № 1 (52). С. 17–25.
5. Манакон Ю.А., Куприянов А.Н., Копытов А.И. Добыча каменного угля в аспекте устойчивого развития региона // Уголь. 2018. № 9. С. 89–94.
6. Копытов А.И., Куприянов О.А. Добыча угля в Кузбассе и новые экотехнологии // ЭКО. 2021. № 6. С. 67–76.
7. Марсова О.П. Растительный мир Кемеровской области [Электронный ресурс] // Сайт Образовательная социальная сеть nsportal.ru. URL: <https://nsportal.ru/blog/obshcheobrazovatel'naya-tematika/all/2013/05/02/rastitelnyy-mir-keмеровskoy-oblasti>
8. Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г. Углеродный бюджет лесов России // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 69–92.
9. Комаров В.Л., Юзепчук С.В. Флора СССР. Т. 9. М.; Л.: АН СССР, 1939. 540 с.
10. Губанов И.А., Киселёва К.В., Новиков В.С., Тихомиров В.Н. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Т. 2. Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные). М: Т-во научных изданий КМК, Ин-т технологических исследований, 2003. 631 с.
11. Никифоров Ю.В. Алтайские травы-целители. Горно-Алтайск: Юч-Сумер – Белуха, 1992. 205 с.
12. Губанов И.А., Киселева К.В., Новиков В.С., Тихомиров В.Н. Иллюстрированный определитель растений Средней России Т. 3: Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные). Москва: Товарищество науч. изд. КМК, 2004. 519 с.

УДК: 504.455

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРЕМНИЕВЫХ ПРЕПАРАТОВ ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННО ДЕГРАДИРОВАННЫХ РЕГИОНОВ

В.В. Матыченок

Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пущино, vvmatichenkov@yandex.ru

Аннотация. За последнее десятилетие проведено множество исследований, посвященных взаимодействию кремния (Si) и неорганических загрязнителей в воде, почве и растениях. Монокремниевая кислота, продукт растворения минералов, богатых кремнием, вступает в реакцию с тяжелыми металлами, образуя нерастворимые силикаты. Многие кремнийорганические вещества обладают высокой адсорбционной способностью. Было доказано, что улучшенное питание кремнием благоприятствует росту и развитию растений в условиях любого вида загрязнения. В лабораторных и тепличных экспериментах шлак, полученный при выплавке чугуна, и природный минерал цеолит, исходные и обработанные концентрированной монокремниевой кислотой, были использованы для детоксикации загрязненной почвы и очистки сточных вод, отобранных в районе шахты по добыче сурьмы (провинция Хунань, Китай). При фильтрации сточных вод через тестируемые материалы установлено снижение содержания неорганических загрязняющих веществ (As, Cd, Cu, Hg, Sb и Pb) на 70–98%. Внесение материалов в загрязненную почву обеспечило увеличение биомассы растений риса на 50–130% и содержания хлорофилла в листьях на 40–70% на фоне снижения подвижности загрязняющих веществ. Таким образом, кремнийсодержащие соединения, включая некоторые отходы промышленности, характеризующиеся высоким содержанием растворимого кремния, могут быть использованы при рекультивации техногенно деградированных территорий. Технология активации с помощью кремниевой кислоты позволяет повысить эффективность таких препаратов.

Ключевые слова: монокремниевая кислота, месторождение сурьмы, сточные воды, загрязненные территории.

Добыча полезных ископаемых является одним из наиболее значительных источников загрязнения окружающей среды. В провинции Хунань, Китай, расположено крупнейшее в мире месторождение сурьмы (Sb). Рудник Сикунаншань находится между 27.70° северной широты и 111.40° восточной долготы в северной части бассейна реки Сянчжун, недалеко от города Лэншуйцзян. Мощность шахты Сикунаншань составляет 40 000 тонн продуктов Sb в год [1]. Сильно загрязненная территория вокруг шахты занимает более 1,8 км². Сточные воды шахты содержат высокие концентрации As, Cd, Cu, Hg, Sb и Pb.

Несмотря на то, что к настоящему времени разработано множество методов восстановления загрязненных объектов окружающей среды, поиск новых экономически эффективных и экологически безопасных подходов по-прежнему актуален.

Многочисленные исследования, проведенные за последние годы, показали, что растворимые соединения кремния или твердые материалы с высоким содержанием кремния могут найти применение в технологиях детоксикации загрязненных территорий и контроля миграции и транслокации тяжелых металлов и других загрязнителей в системе почва-растение [2, 3]. Действие таких материалов обусловлено процессами осаждения неорганических загрязнителей в результате образования нерастворимых силикатов, адсорбции, активации почвенной микробиоты, способствующей разложению органических загрязнителей. Кроме того, растворимые соединения кремния непосредственно влияют на поглощение и транспорт неорганических загрязнителей внутри растения [2]. Целью данного исследования было

продемонстрировать способность местного металлургического шлака и цеолита, обработанных активным кремнием, иммобилизовать тяжелые металлы на загрязненных участках.

Образцы сточных вод и почвы были взяты на загрязненной территории вблизи шахты Сикуаншань (южная шахта). Данное место было выбрано из-за высокого уровня загрязнения [1]. Почва имела следующие характеристики: глинисто-суглинистый состав, pH_{H_2O} 5,5; содержание углерода 3,2%, емкость катионного обмена 8,4 смоль/100 г. Сточные воды были профильтрованы через бумажный фильтр марки 4 Whatman и хранились в пластиковой бутылке при температуре +4°C. В работе использовали следующие материалы:

1) цеолит (ZeoTradeResource Ltd. Орловская область, Россия) с содержанием SiO_2 69,0–74,0%, TiO 0,08–0,16%, Al_2O_3 11,4–14,0%, Fe_2O_3 0,60–1,8%, MnO 0,02–0,05%, CaO 1,7–3,3%, MgO 0,4–1,7%, K_2O 0,5–5%, Na_2O 0,4–0,9%, P_2O_5 0,4–0,5%; pH 6,5; размер частиц < 40 мкм; средняя площадь поверхности 60 м²/г, пористость 54%;

2) шлак на основе силиката кальция – доменный шлак металлургического предприятия Valin (Лауди, провинция Хунань, Китай) с содержанием водорастворимого кремния 4,6 мг/кг, SiO_2 39,6%, Fe_2O_3 5,6%, CaO 30,5%; MgO 6,1%, Pb 0,2 мг/кг; As , Cd , Hg и Se не были обнаружены; pH 8,5; размер частиц 1–2 мм. С целью активации цеолит и шлак были обработаны концентрированной монокремниевой кислотой (10% Si) в соотношении 50:1, затем высушены при 65°C и измельчены.

Вегетационные эксперименты проводили в климатической камере при температуре 30°C. В пластиковые сосуды помещали по 250 г чистого кварцевого песка и 250 г загрязненной почвы, отобранной на руднике Сикуаншань. Кремниевые материалы вносили из расчета 5 г на 1 сосуд, что соответствует 10 т/га. Рис (*Oryza sativa* L.) выращивали в течение 3 недель, затем растения собирали и измеряли вес надземных и подземных частей. В растениях анализировали содержание фотосинтетических пигментов. Высушенную при температуре 65°C почву анализировали на содержание подвижных (экстракция 0,1 н. HCl) и потенциально подвижных (экстракция 2 н HNO_3) форм As , Cd , Cu , Hg , Sb и Pb с помощью ICP OES-спектрометра Perkin Elmer Optima 5300 DV.

С использованными в вегетационном эксперименте грунтами были проведены колоночные эксперименты в пластиковых колонках объемом 10 см³ и диаметром 1 см. Сточные воды с загрязненного участка Сикуаншань добавляли в колонку со скоростью 6–8 мл в час при общем объеме 100 мл. Фильтраты анализировали на содержание As , Cd , Cu , Hg , Sb и Pb с помощью ICP OES-спектрометра Perkin Elmer Optima 5300 DV.

Внесение необработанных и кремний-обработанных материалов обеспечило увеличение биомассы растений риса на 50–130% (табл. 1). Содержание хлорофилла а, хлорофилла б и каротиноидов также значительно увеличилось (на 40–70%). Полученные результаты свидетельствуют о снижении токсичности загрязненной почвы.

Таблица 1. Биомасса риса и содержание фотосинтетических пигментов

| | Корни | Стебли и листья | Хлорофилл а | Хлорофилл б | Каротиноиды |
|-------------------|-----------------------|-----------------|-------------------|-------------|-------------|
| | сухой вес, г/растение | | мг/кг сырого веса | | |
| Контроль | 0,15 | 0,11 | 1,5 | 0,7 | 0,21 |
| Цеолит | 0,19 | 0,18 | 2,4 | 1,1 | 0,27 |
| Шлак | 0,18 | 0,16 | 2,1 | 1,0 | 0,24 |
| А-цеолит | 0,28 | 0,33 | 2,9 | 1,6 | 0,48 |
| А-шлак | 0,31 | 0,32 | 2,8 | 1,8 | 0,45 |
| НСР ₀₅ | 0,02 | 0,02 | 0,2 | 0,1 | 0,03 |

Использование кремнийсодержащих материалов снизило подвижность загрязняющих веществ в почве (табл. 2). Необработанный шлак был наименее эффективным. Активация шлака

концентрированной монокремниевой кислотой позволила значительно повысить его иммобилизирующее действие.

При использовании не активированного цеолита в качестве фильтрующего материала концентрация загрязняющих веществ в фильтрате значительно уменьшилась, тогда как не активированный шлак продемонстрировал низкую эффективность (табл. 3). После активации сорбционные свойства шлака и цеолита улучшились - снижение концентрации загрязняющих веществ в фильтрате составило 70–98%.

Таблица 2. Содержание подвижных и потенциально подвижных форм загрязняющих веществ в грунте, мг/кг

| | As | | Cd | | Cu | | Hg | | Sb | | Pb | |
|-------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|
| | 0,1 n HCl | 2 n HNO ₃ | 0,1 n HCl | 2 n HNO ₃ | 0,1 n HCl | 2 n HNO ₃ | 0,1 n HCl | 2 n HNO ₃ | 0,1 n HCl | 2 n HNO ₃ | 0,1 n HCl | 2 n HNO ₃ |
| Контроль | 30,5 | 128 | 5,4 | 6,7 | 25,3 | 78 | 0,82 | 0 | 6,6 | 10,3 | 12,3 | 80 |
| Цеолит | 3,4 | 35 | 2,1 | 4,3 | 10,4 | 43 | 0,34 | 0 | 3,5 | 4,5 | 4,5 | 45 |
| Шлак | 15,6 | 89 | 3,2 | 5,5 | 18,9 | 66 | 0,57 | 0 | 4,4 | 7,6 | 7,6 | 76 |
| А-цеолит | 2,1 | 12 | 0,6 | 1,2 | 4,5 | 12 | 0,05 | 0 | 0,4 | 1,2 | 0,4 | 21 |
| А-шлак | 2,0 | 25 | 0,6 | 1,3 | 5,0 | 14 | 0,04 | 0 | 0,6 | 1,1 | 0,5 | 18 |
| НСР ₀₅ | 0,2 | 5 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 4 | 0,01 | | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 3 |

Таблица 3. Концентрация загрязняющих веществ в фильтрате, колоночный эксперимент, мг/л

| | As | Cd | Cu | Hg | Sb | Pb |
|-------------------|-----|------|------|------|------|------|
| Контроль | 7,9 | 0,25 | 0,54 | 0,14 | 14,5 | 1,40 |
| Цеолит | 5,4 | 0,12 | 0,33 | 0,09 | 5,6 | 0,93 |
| Шлак | 7,5 | 0,20 | 0,50 | 0,10 | 10,2 | 1,21 |
| А-цеолит | 1,2 | 0,03 | 0,12 | 0,03 | 2,5 | 0,34 |
| А-шлак | 0,4 | 0,04 | 0,08 | 0,03 | 2,1 | 0,32 |
| НСР ₀₅ | 0,1 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,3 | 0,03 |

Как показали результаты, материалы с высоким содержанием кремния, такие как природный минерал цеолит и некоторые виды промышленных отходов, могут быть использованы для детоксикации загрязненных территорий и в качестве фильтров для очистки промышленных и шахтных сточных вод. Эффективность подобных материалов может быть повышена специальной обработкой концентрированной монокремниевой кислотой. Обработка монокремниевой кислотой позволяет увеличить площадь поверхности материалов. Необходимо отметить, что помимо непосредственного взаимодействия монокремниевой кислоты с неорганическими загрязнителями и адсорбции как металлических, так и неметаллических загрязнителей вносимыми материалами, важным механизмом, обеспечивающим улучшение роста и развития растений на загрязненных территориях, является способность кремния усиливать защиту растений от токсичности, вызванной загрязнителями [3].

Полученные данные продемонстрировали потенциал кремнийсодержащих соединений для снижения токсичности и подвижности загрязняющих веществ на загрязненных территориях. Соединения с высоким содержанием активных форм кремния могут быть использованы в качестве фильтров для снижения концентрации металлических и неметаллических загрязнителей в шахтных и промышленных сточных водах.

USE OF SILICON PREPARATIONS IN THE RECLAMATION OF TECHNOGENICALLY DEGRADED REGIONS

V.V. Matichenkov

Institute Basic Biological Problems RAS, Pushchino, vvmatichenkov@rambler.ru

Summary: *Over the last decade numerous studies focused on the interaction of silicon (Si) substances and inorganic pollutants in water, soil and plant. Monosilicic acid, the product of dissolving Si-rich minerals, reacts with heavy metals forming insoluble silicates. Many Si substances possess high adsorption capacity. Improved Si nutrition was shown to benefit growth and development of plants under any type of contamination. In laboratory and greenhouse tests, calcium silicate slag from iron smelting and zeolite, untreated and treated with concentrated monosilicic acid, were used for detoxification of contaminated ground and purification of waste-water collected in the antimony mine area (Hunan Province, China). Waste water filtration through tested materials resulted in decreases in inorganic pollutants (As, Cd, Cu, Hg, Sb, and Pb) by 70 to 98%. Soil-applied materials provided increase in the biomass of rice plants by 50 to 130% and in the leaf content of chlorophyll by 40 to 70%. The pollutant mobility in the ground was reduced as well. Thus, Si-rich compounds, including some industrial slags, could be promising for reclamation of technogenically degraded areas. The activation technology by silicic acid enhances the efficacy.*

Key words: *monosilicic acid, antimony mine, waste-waters, contaminated area.*

Литература

1. He M. Distribution and phytoavailability of antimony at an antimony mining and smelting area, Hunan, China // *Environmental Geochemistry and Health*. 2007. №29. P. 209–219.
2. Ji X., Liu S., Huang J., Bocharnikova E., Matichenkov V. Monosilicic acid potential in phytoremediation of the contaminated areas // *Chemosphere* 2016. №157. P. 132-136.
3. Liang Y., Sun W., Zhu Y.G., Christie P. Mechanisms of silicon mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants // *Environmental Pollution*. 2007. №147. P. 422–428.

УДК 57.01

ИСКУССТВЕННОЕ ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ НА РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ОТВАЛАХ БОРОДИНСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА

Р.Т. Мурзакматов, А.С. Шишкин

Институт леса им В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, takcator_m@mail.ru,
shishikin@ksc.krasn.ru

***Аннотация.** Рассматривается искусственное лесовосстановление выровненных отвалов Бородинского бурогоугольного разреза. Обращается внимание на дешевый и экологичный способ биологической рекультивации.*

***Ключевые слова:** отвал, лесозаращивание, биологическая рекультивация, приживаемость естественное возобновление.*

Карьерная разработка месторождений бурых углей в Средней Сибири имеет более полувековую историю. Наиболее сильные воздействия проявляются на рельеф в лесостепной зоне, где расположены основные сельхозугодья и высокая плотность населения Сибири. В связи с этим изучение закономерностей формирования посттехногенных ландшафтов актуально по нескольким направлениям: экологическая оценка последствий; корректировка действующих нормативов с учетом опыта их применения и разработка новых подходов использования техногенных ландшафтов [1].

Начиная с 2007 г., на отвалах бурогоугольного разреза «Бородинский» проводятся стационарные экологические исследования динамики почвогрунтов, растительности и животного населения на пробных площадях (ППП). В настоящем сообщении приводятся результаты лесоводственных исследований на биологически рекультивированных отвалах созданием искусственных лесопосадок.

Вся нарушенная горными работами территория угольного разреза «Бородинский» представляет собой сочетание внешних отвалов и выработанное пространство карьера глубиной до 200 м, частично заполненное пустыми породами. По материалам дешифрирования космической съемки, при общей площади нарушенности территории деятельностью разреза 4,0 тыс. га, старые рекультивированные отвалы (более 25 лет) составляют 22%, средневозрастные (12–15 лет) 6% и свежие до 5 лет 14%. Территории, не прошедшие горный этап рекультивации (технологические отвалы) – 10% [2].

Наиболее активно проводится лесная рекультивация путем создания лесных культур сосны обыкновенной, ель сибирская и облепихи. Наибольший возраст посадок облепихи 32, сосны и ели 17 лет. Облепиха высаживалась вручную на откосах для их закрепления, сосна и ель по традиционной технологии на выровненных отвалах и по откосам различной экспозиции лесопосадочными машинами с 5-ти метровым расстоянием между рядами и мене 1 м в ряду. Дальнейшее расселение облепихи проходило с помощью птиц. Такие «посеянные» птицами кусты облепихи встречаются практически на всех отвалах, где только есть удобное место для присады. В результате площадь облещишников естественным образом увеличивается из года в год. Приживаемость посадок сосны колеблется от 70 до 90%, уже через шесть лет прирост превышает 30 см., что указывает на высокие лесорастительные свойства вскрывших и вмещающих пород. Локально высаживалась ель, сохранность которой достаточно высокая (90%), как и последующий прирост (до 13,2 см.). Для возможности формирования кедровых садов проведен эксперимент ручной посадки кедра сибирского в междурядьях сосны и под пологом лиственного естественного возобновления. По результатам осенней инвентаризации

приживаемость саженцев первого года роста составила 95%. К сожалению, прошедший низовой пожар уничтожил первые посадки кедра под пологом лиственного древостоя.

Прослеживается нарастание среднего прироста созданных лесных культур, а также период их адаптации и сезонных колебаний благоприятных условий роста (рис.) Полнота сосновых культур составляет 1,0, средняя высота 8 м. Культуры сосны начали плодоносить и в последние годы появились всходы. По результатам раскапывания корней в культурах требуется проведения рубок ухода [3]. Культуры загущены, тип леса почти мертвопокровный, кроны опущены, междурядья забиты облепихой и при возникновении пожара есть вероятность потерять всю площадь искусственных посадок. Кедр в междурядьях сосны чувствует себя очень хорошо первые пять лет (адаптационный период до 2019 г.), средний ежегодный прирост не превышал 10 см, затем в благоприятные годы (2021) с достаточным увлажнением, превысил 25 см (рис). Следует отметить высокий рекреационный (собираательство) потенциал лесных культур [2].

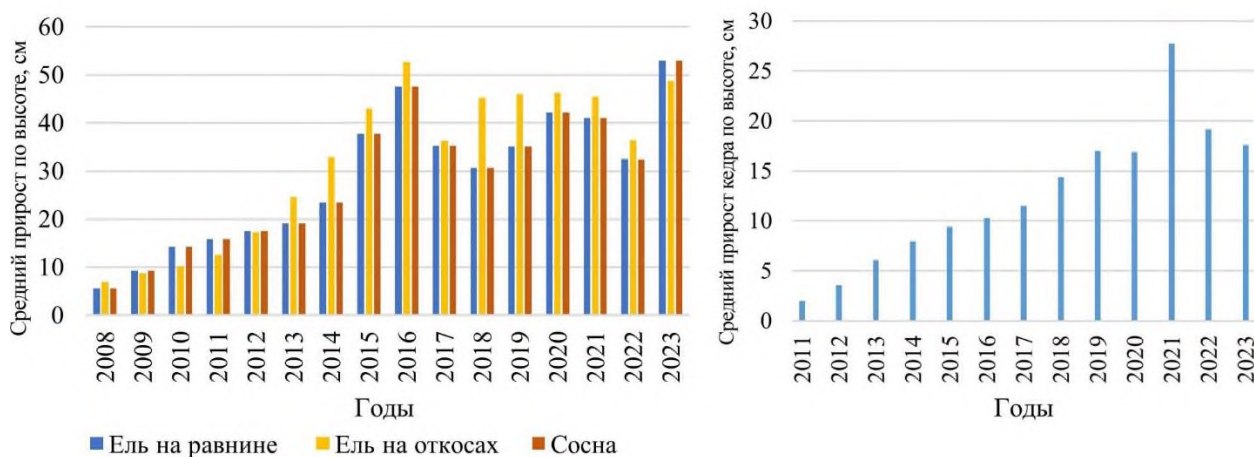


Рисунок. Динамика прироста сосны, ели и кедра в лесных культурах.

Таким образом, можно констатировать, что созданные лесные культуры сосны и ели, а при боковом притенении и кедра, на выровненных отвалах без нанесения плодородного слоя почвы растут очень хорошо, но требуют периодического лесоводственного вмешательства в целях предотвращения пожара и создания благоприятного условия.

ARTIFICIAL AFORESTATION ON RELATED DAMPS OF THE BORODINSKY LUNGE COAL MINE

R.T. Murzakmatov, A.S. Shishikin

Forest Institute named after V.N. Sukachev SB RAS, Krasnoyarsk, takcator_m@mail.ru, shishikin@ksc.krasn.ru

Summary: Artificial reforestation on reclaimed dumps of the Borodino brown coal mine is considered.

Keywords: dump, reforestation, reclamation, survival, natural regeneration.

Литература

1. Шишкин А.С., Мурзакматов Р.Т. Лесовозобновление на отвалах угольных разрезов лесостепи Средней // Всерос. науч. конф. с меж. участием, посвященная 70-летию Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. «Лесные биогеоценозы бореальной зоны:

- география, структура, функции, динамика» Красноярск. 2014 год. С. 485–486.
2. Шишкин А.С., Ефимов Д.Ю., Мурзакматов Р.Т. Биологические ресурсы горных отвалов (на примере Бородинского угольного разреза. Сибирский лесной журнал. 2019. № 5. С. 109–117.
 3. Мурзакматов Р. Т., Шишкин А. С., Борисов А. Н. Особенности формирования насаждений на отвалах угольных разрезов в лесостепной зоне // Сибирский лесной журнал. 2018, №1. С. 37–48.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ИСКУССТВЕННЫХ СОСНЯКОВ НА ДРАЖНЫХ ОТВАЛАХ В ЮЖНО-УРАЛЬСКОМ ЛЕСОСТЕПНОМ РАЙОНЕ

А.И. Петров, В.С. Котова, С.В. Залесов

Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург,
zalesovsv@m.usfeu.ru

Аннотация. Проанализирована перспективность лесохозяйственного направления рекультивации дражных отвалов созданием искусственных насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Южно-Уральского лесостепного района. Установлено, что к 50-летнему возрасту на рекультивированных отвалах формируются искусственные сосновые насаждения I–III классов бонитета с запасом стволовой древесины до 285 м³/га.

Ключевые слова: нарушенные земли, дражные отвалы, рекультивация, лесные культуры, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.).

Добыча драгоценных металлов, в частности россыпного золота, ведется на Урале с середины XVIII столетия. На первом этапе добычей занимались местные старатели, а затем работы были механизированы и началась добыча дражным способом. При этом работы велись в поймах рек с полным уничтожением лесных насаждений или луговых сообществ. При работе драги на дневную поверхность поднимаются слои песка со значительной глубины и формируется волнистый рельеф из чередующихся дражных отвалов и неглубоких водоемов.

Анализ естественного зарастания дражных отвалов показал, что данный процесс протекает крайне медленно, поскольку на большинстве отвалов находится не почва, а материнская порода. Кроме того, здесь создаются крайне неблагоприятные гидрологические условия. Зимние осадки сдуваются ветром в водоемы, а летние стекают с отвалов, вызывая эрозию почвы, приводя к заилению водоемов.

Зарастание протекает в направлении от водоема к центру отвала преимущественно околоводными травянистыми растениями и разными видами рода *Salix* L.

В целях недопущения заиления водоемов на дражных отвалах выполнена рекультивация по лесохозяйственному направлению посадкой и посевом сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Выбор сосны обыкновенной объясняется тем, что данный вид не страдает от заморозков, произрастает в широком диапазоне почв и малотребователен к плодородию почвы [1–4].

Цель работы – анализ продуктивности насаждений, сформированных на дражных отвалах в процессе реализации лесохозяйственного направления рекультивации.

Исследования проводились в соответствии с широко известными апробированными методиками [5, 6] с закладкой пробных площадей и проведением на них общепринятых таксационных измерений.

В предыдущих работах [7, 8] было описано, что создание лесных культур на дражных отвалах посадкой и посевом сосны обыкновенной дают положительные результаты. Спецификой создания лесных культур является отсутствие конкуренции сеянцами и всходами сосны со стороны живого напочвенного покрова и мягколиственных пород. Другими словами, при выращивании лесных культур не требуется проведение агротехнических и лесоводственных уходов, аналогичных таковым при создании лесных культур на вырубках.

Нами в процессе исследований подобраны участки искусственных насаждений сосны обыкновенной, созданных 50 лет назад на дражных отвалах и вырубках в Миасском

лесничестве Челябинской области, территория которого относится к Южно-Уральскому лесостепному лесному району.

Таксационная характеристика древостоев пробных площадей (ПП) приведена в таблице.

Таблица. Лесоводственно-таксационная характеристика пробных площадей

| № ПП | Состав | Средние | | | Класс бонитета | Полнота | | Густота, шт./га | | Запас, м ³ /га | |
|-------------------------------------------------------|--------|--------------|-----------|-------------|----------------|--------------------------------|---------------|-----------------|-------------------|---------------------------|-------------------|
| | | возраст, лет | высота, м | диаметр, см | | абсолютная, м ² /га | относительная | всего | в том числе сухой | общий | в том числе сухой |
| Искусственные насаждения на дражных отвалах | | | | | | | | | | | |
| 1 | 10С | 50 | 15,0 | 12,8 | II | 31,45 | 0,90 | 2433 | 0 | 253 | 0 |
| 2 | 10С | 50 | 12,2 | 10,2 | III | 18,35 | 0,60 | 2267 | 344 | 148 | 1 |
| 3 | 8С | 50 | 17,9 | 14,6 | | 26,85 | | 1600 | 178 | 234 | 4 |
| | 2Б | 31 | 17,2 | 12,6 | | 4,70 | | 378 | 33 | 47 | 1 |
| | едИв | 35 | 13,8 | 11,7 | | 0,60 | | 56 | 22 | 5 | 1 |
| | Итого | | 17,8 | | I | 32,14 | 0,88 | 2034 | 233 | 286 | 6 |
| Искусственные насаждения, созданные на вырубке | | | | | | | | | | | |
| 4 | 9С | 51 | 18,1 | 17,1 | | 28,10 | | 1223 | 69 | 274 | 4 |
| | 1Б | 55 | 16,1 | 12,9 | | 3,19 | | 246 | 0 | 28 | 0 |
| | едЕ | 50 | 13,1 | 16,2 | | 0,48 | | 23 | 0 | 3 | 0 |
| | Итого | | | | I | 31,77 | 0,86 | 1492 | 69 | 305 | 4 |
| 5 | 10С | 51 | 18,8 | 16,6 | | 23,54 | | 1092 | 150 | 240 | 16 |
| | +Б | 55 | 18,2 | 19,6 | | 1,01 | | 33 | 8 | 9 | 0 |
| | едЕ | 50 | 11,8 | 11,2 | | 0,16 | | 17 | 0 | 1 | 0 |
| | Итого | | | | I | 24,71 | 0,64 | 1142 | 158 | 250 | 16 |
| 6 | 10С | 53 | 16,1 | 16,5 | | 24,15 | | 1136 | 409 | 112 | 12 |
| | едБ | 40 | 12,7 | 9,9 | | 0,77 | | 100 | 0 | 6 | 0 |
| | Итого | | 16,1 | | Ia | 24,91 | 0,70 | 1236 | 409 | 118 | 12 |

Примечание: едИв – единичная ива, доля в запасе до 2,5%; едЕ – единичная ель, доля в запасе до 2,5%; едБ – единичная береза, доля в запасе до 2,5%; +Б – береза с долей в запасе от 2,5 до 5%.

Материалы таблицы свидетельствуют, что искусственные насаждения на дражных отвалах характеризуются большим размахом продуктивности. В частности, класс бонитета древостоев, созданных на середине дражного отвала, III (ПП-2), а около водоема – I (ПП-3). При этом на вырубке древостои в условиях сосняка разнотравного характеризуются в аналогичном возрасте I–Ia классами бонитета.

Древостои на дражных отвалах имеют значительно большую густоту и относительную полноту, что свидетельствует о необходимости проведения в них рубок ухода, а чистый состав требует проведения мероприятий по противопожарному устройству.

Выводы

1. Производительность древостоев сосны обыкновенной, созданных на дражных отвалах, в 50-летнем возрасте варьируется от 148 до 286 м³/га при таковой в искусственных насаждениях на вырубках сосняка разнотравного 118–305 м³/га.

2. Себестоимость выращивания искусственных насаждений на дражных отвалах ниже, чем на вырубках, поскольку при создании не требуется проведения агротехнических и лесоводственных уходов.

3. Лесохозяйственное направление рекультивации является наиболее перспективным для полигонов добычи россыпного золота.

4. При создании искусственных насаждений на дражных отвалах необходимо предусмотреть регулярное проведение рубок ухода и разработку системы противопожарного устройства.

PRODUCTIVITY OF ARTIFICIAL PINE FORESTS ON DRAINING DUMPS IN THE SOUTH URAL FOREST-STEPPE REGION

A.I. Petrov, V.S. Kotova, S.V. Zalesov

Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, zalesovsv@m.usfeu.ru

Summary: *The prospects of the forestry direction of recultivation of dredge dumps by creating artificial stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the conditions of the South Ural forest-steppe region are analyzed. It has been established that by the age of 50, artificial pine plantations of I-III classes of bonity with a stock of stem wood up to 285 m³/ha are formed on reclaimed dumps.*

Keywords: *disturbed lands, waste dumps, reclamation, forest crops, Scots pine (*Pinus sylvestris* L.).*

Литература

1. Залесов С.В., Залесова Е.С., Зверев А.А., Оплетаяев А.С., Терин А.А. Формирование искусственных насаждений на золоотвале Рефтинской ГРЭС // ИВУЗ «Лесной журнал». 2023. № 2 (332). С. 66–73.
2. Залесов С.В., Толкач О.В., Фрейберг И.А., Черноусова Н.Ф. Опыт создания лесных культур на солонцах хорошей лесопригодности // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 9. С. 42–47.
3. Залесов С.В., Залесова Е.С., Зарипов Ю.В., Оплетаяев А.С., Толкач О.В. Рекультивация нарушенных земель на месторождении тантал-бериллия // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 12. С. 63–67. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-12-63-67
4. Zalesov S.V., Ayan S., Zalesova E.S., Opletaev A.S. Experiences on Establishment of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Plantation in Ash Dump Sites of Reftinskaya Power Plant, Russia // Alinteri Journal of Agriculture Sciences. 2020. 35 (1). P. 7–14. DOI: 10/28955/alintevizbd. 696559.
5. ОСТ 56–69–83 Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки. М.: Экология, 1992. 17 с.
6. Данчева А.В., Залесов С.В., Попов А.С. Лесной экологический мониторинг. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2023. 146 с.
7. Петров А.И., Котова В.С., Осипенко Р.А., Залесов С.В. Лесохозяйственное направление рекультивации полигонов добычи россыпного золота // Леса России и хозяйство в них. 2023. № 2 (85). С. 16–23.
8. Петров А.И., Залесов С.В., Котова В.С. Эффективность создания лесных культур сосны обыкновенной на дражных отвалах // Сибирский лесной журнал, 2023. № 3. С. 14–20. DOI: 10.15372/SJFS 20230302.

УДК 37.08

**НОВЫЕ ВЫЗОВЫ – НОВЫЕ КАДРЫ. ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОВЫХ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ В СИБИРСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ИНДУСТРИАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**М.В. Темлянцев, Е.Н. Темлянцева, О.Г. Приходько, И.С. Семина, А.С. Водолев,
О.П. Черникова**

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк,
uchebn_otdel@sibsiu.ru

***Аннотация.** В данной статье рассмотрены современные вызовы, предпосылки разработки и реализации новых образовательных программ. Представлена новая образовательная программа, разработанная совместно с работодателями – крупными металлургическими, горными и теплоэнергетическими предприятиями Кузбасса.*

***Ключевые слова:** образовательная программа, современные вызовы, экология и природопользование.*

Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ) является первым инженерным вузом Кузбасса. Он создан в 1930 г. и летом 2025 г. отмечает свой 95-летний юбилей. СибГИУ систематически развивает перечень направлений подготовки в целях удовлетворения потребностей различных секторов экономики в высококвалифицированных кадрах. В 2011–2012 годах в СибГИУ начата подготовка бакалавров по направлениям «Техносферная безопасность», (профиль «Инженерная защита окружающей среды») и «Экология и природопользование» (профиль «Экология»). В 2023 г. на основе анализа более чем 10-летнего опыта реализации данных образовательных программ и взаимодействия с индустриальными партнерами, с учетом тенденции развития эколого-климатической повестки в России и мире [1], результатов собственных прикладных и фундаментальных исследований в предметных областях [2–7] в СибГИУ разработаны новые образовательные программы высшего образования по направлениям: 05.03.06 – «Экология и природопользование» – профиль «Геоэкология и эффективное управление природными ресурсами» (основной концепт программы - подготовка выпускника, обладающего знаниями, навыками, компетенциями в области геоэкологии, экономически эффективного и экологически безопасного использования природных ресурсов) и 20.03.01 – «Техносферная безопасность» – профиль «Инженерная защита окружающей среды и природоподобные технологии» (основной концепт программы – подготовка выпускника, обладающего знаниями, навыками, компетенциями в области создания и применения природоподобных технологий для защиты окружающей среды от техногенного воздействия). В сентябре 2024 г. осуществлен набор первокурсников (50 чел.) на новые направления подготовки.

Современными вызовами и предпосылками разработки и реализации новых образовательных программ стали:

- 1) Указ Президента РФ от 26 октября 2023 г. № 812 «Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации»;
- 2) Указ Президента Российской Федерации от 02.11.2023 № 818 «О развитии природоподобных технологий в Российской Федерации»;
- 3) Мировые тренды борьбы с климатическими изменениями на основе декарбонизации экономики и формирование рынка обращения углеродных единиц;
- 4) Интенсивное развитие секвестрационной индустрии;
- 5) Повестка и тренды ESG (environmental – окружающая среда, social – социальное развитие, governance – корпоративное управление);

6) Актуальность улучшения экологической обстановки в Новокузнецке и Кузбассе (объемы накопившихся техногенных отходов и техногенно нарушенных земель составляют более 150 тыс. Га, темпы их прироста – до 4 млрд. т. в год, ежегодно суммарный объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу составляет порядка 1600 тыс. т., значительную долю в общей массе выбросов в атмосферный воздух составляют парниковые газы, в том числе метан – 58,5%);

7) Повестка Научно-образовательного центра мирового уровня «Кузбасс-Донбасс»;

8) Наличие в Кузбассе значительных объемов и площадей техногенных отходов и техногенно нарушенных земель;

9) Запросы технологических партнеров;

10) Необходимость опережающей подготовки специалистов в области природоподобных технологий с развитыми навыками экологического мышления.

Проектирование новых образовательных программ реализовано совместно с работодателями – крупными металлургическими, горными и теплоэнергетическими предприятиями Кузбасса.

Для направления подготовки «Экология и природопользование» образовательная программа предполагает ориентацию на организационно-управленческий и проектно-производственный типы задач профессиональной деятельности, области и сферы которой представлены на рисунке 1.

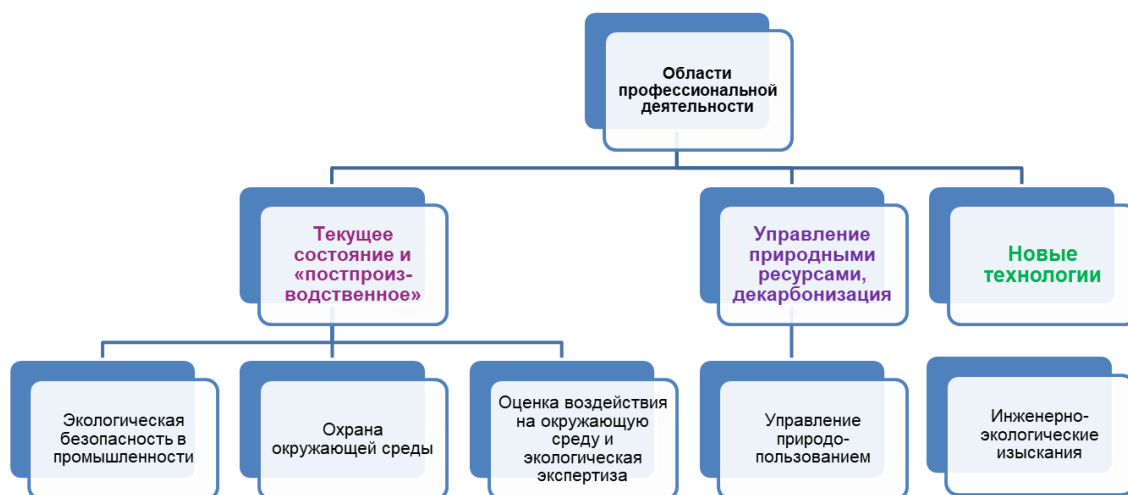


Рисунок 1. Области профессиональной деятельности для направления подготовки «Экология и природопользование».

Для направления подготовки «Техносферная безопасность» образовательная программа предполагает ориентацию на сервисно-эксплуатационный; экспертный, надзорный и инспекционно-аудиторский типы задач профессиональной деятельности, области и сферы которой представлены на рисунке 2.

Содержательная структура новых образовательных программ включает три смысловых блока (рис. 3). Первый блок – традиционный, академический, направлен на формирование базовых фундаментальных знаний и навыков в области естественных наук.

В структуре подготовки его объем составляет порядка 30%. Второй блок – прикладные знания и навыки, они охватывают текущее состояние и ближайшие перспективы в области применяемых технологий, оборудования, методов, методик, нормативно правовой базы. Объем этого блока – 50%. Третий блок – знания и навыки «опережающей подготовки». Он составляет порядка 20% и охватывает современные фронтиры и перспективы развития соответствующих областей знаний и технологий на ближайшие 5–10 лет.



Рисунок 2. Области профессиональной деятельности для направления подготовки «Техносферная безопасность».

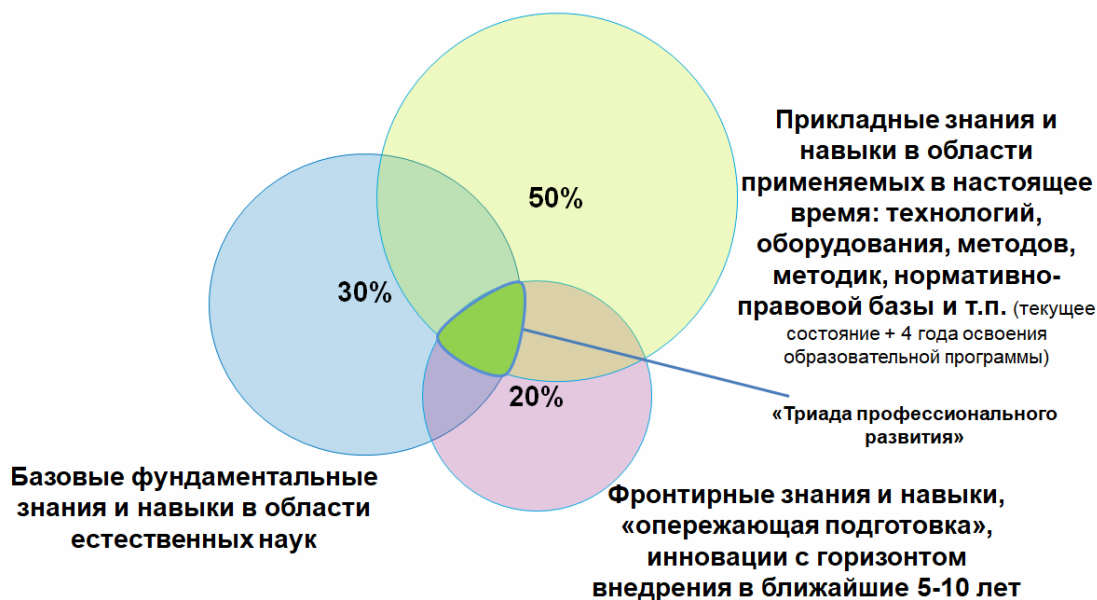


Рисунок 3. Содержательная структура новых образовательных программ.

Разработанные образовательные программы предполагают освоение новых учебных дисциплин, формирующих багаж знаний в области эколого-климатической повестки и декарбонизации экономики, в частности «Метеорология и климатология», «Биоценоз природных и техногенных экосистем», «Природоподобные технологии», «Геоинформационные системы», «Основы экологического проектирования», «Экономика природопользования и природоохранной деятельности» и др. Наряду с теоретическими знаниями образовательный трек предполагает погружение обучающихся в проектную деятельность по реальным запросам технологических партнеров.

В рамках реализации образовательной программы бакалавры осваивают основную программу профессионального обучения 13271 – «Лаборант по анализу газов и пыли», что дает обучающимся возможность не только получить дополнительную квалификацию, но и повысить конкурентные преимущества на этапе трудоустройства, позволяет получить более высокую позицию на предприятиях реального сектора экономики. Особенностью организации практик (ознакомительной, по профессии и технологической) является прохождение их в цикле обучения на различных предприятиях горной, металлургической отрасли и теплоэнергетики. Такой подход позволяет обучающимся осуществить осознанный выбор

наиболее интересной для них сферы приложения своих компетенций. Преддипломная практика проходит на предприятии, соответствующем тематике выпускной квалификационной работы.

NEW CHALLENGES – NEW PERSONNEL. EXPERIENCE IN DESIGNING NEW EDUCATIONAL PROGRAMS AT THE SIBERIAN STATE INDUSTRIAL UNIVERSITY

M.V. Temlyantsev, E.N. Temlyantseva, O.G. Prikhodko, I.S. Semina,
A.S. Vodoleev, O.P. Chernikova

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, uchebn_otdel@sibsiu.ru

Summary: This article examines the current challenges, prerequisites for the development and implementation of new educational programs. A new educational program is presented, developed jointly with employers – large metallurgical, mining and thermal power enterprises of Kuzbass.

Keywords: *educational program, modern challenges, ecology and environmental management.*

Литература

1. Цикл публичных дискуссий. Природоподобные технологии как ответ на новые глобальные вызовы. Выпуск 102. М.: 2020. 52 с.
2. Семина И.С., Соловьев С.В., Андроханов В.А., Костерев В.Б. Оценка современного восстановления биогеоценозов на рекультивированных территориях отходами углеобогащения // Экология и промышленность России. 2024. Т. 28. № 8. С. 54–59.
3. Семина И.С., Андроханов В.А. Почвенно-экологическое обследование участков, рекультивированных отходами углеобогащения, на примере Кемеровской области – Кузбасса // Уголь. 2021. № 7 (1144). С. 57–62.
4. Домнин К.И., Водолеев А.С., Темлянец М.В., Волюнкина Е.П. Исследование степени восстановления двухкомпонентных самовосстанавливающихся брикетов на основе железо- и углеродсодержащих отходов // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2023. Т. 79. № 8. С. 676–683.
5. Савина И.Н., Водолеев А.С., Захарова М.А., Домнин К.И. Экологическая политика города Новокузнецк в условиях современных требований развития металлургической отрасли // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2020. Т. 63. № 7. С. 512–520.
6. Глушакова О.В., Черникова О.П. Институализация ESG-принципов на международном уровне и в Российской Федерации, их влияние на деятельность предприятий черной металлургии. Часть 1 // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2023. Т. 66. № 2. С. 253–264.
7. Глушакова О.В., Черникова О.П. Институализация ESG-принципов на международном уровне и в Российской Федерации, их влияние на деятельность предприятий черной металлургии. Часть 2 // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2023. Т. 66. № 4. С. 498–507.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НА СЕВЕРЕ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

А.Г. Тюрюков

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирск, algt@inbox.ru

Аннотация. Установлена возможность использования многолетних злаковых трав для проведения биологической рекультивации нарушенных земель. Рассмотрены некоторые особенности роста многолетних злаковых трав в условиях тундры северной части полуострова Ямал.

Ключевые слова: Биологическая рекультивация, многолетние травы, урожайность, травостой, кострец безостый, минеральное удобрение, травосмесь.

При промышленном освоении севера Тюменской области большие площади тундровых земель оказались техногенно нарушены. Природа Крайнего Севера ранима к техногенным воздействиям. Проведённые исследования по биологической рекультивации техногенно нарушенных земель показали, что процессы их самозарастания дикорастущими растениями во времени и пространстве происходят очень медленно [1, 2]. Поэтому поиск путей проведения биологической рекультивации в данном регионе особенно актуален.

Целью работы было изучение возможности проведения биологической рекультивации отвалов гидронамыва грунта Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения на основе использования травосмеси многолетних злаковых трав и внесения комплексных минеральных удобрений. В задачи исследований входило определение урожайности травостоя, высоты растений, густоты стояния травостоя.

Работы по биологической рекультивации техногенно нарушенных земель проводились на территории Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения, которое расположено на севере Тюменской области в Ямальском районе Ямало-Ненецкого автономного округа. Место проведения рекультивационных работ техногенно нарушенных земель расположено севернее Полярного круга. Опытный участок находился на отвалах гидронамывного грунта.

Климат региона субарктический. Самый тёплый месяц – июль, среднемесячная температура воздуха +7,4 °С. Продолжительность безморозного периода – 52 дня. Сумма осадков, выпавших за год, составляет около 400 мм.

Почва опытного участка – отвалы гидронамывного грунта, взятого со дна крупных озёр. Почвы данного региона легкого механического состава. Механический состав грунта – супесь. Методы исследования – полевой и лабораторный.

До посева злаковых многолетних трав рекультивируемые участки техногенно нарушенных земель тщательно выравнивались бульдозером и планировщиком. Для проведения посева семян многолетних трав и рядкового внесения минеральных удобрений использовали сеялку СЗТ–3,6А в агрегате с гусеничным трактором Т–170. Глубина заделки семян многолетних злаковых трав составила 1–2 см. Посев многолетних трав провели 10 июля 2016 года. Послепосевное прикатывание почвы не проводили, так как влаги в гидронамывном грунте находилось в избытке. Таким образом, особенность данной технологии в том, что практически никаких обработок до посева семян многолетних трав не проводилось.

Учеты, наблюдения и обработка полученных данных проводилась с помощью общепринятых методик [3, 4]. Полученные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [5] с помощью пакета прикладных программ SNEDECOR V3 [6].

Результаты химического анализа грунта гидронамывных карьеров представлены в таблице 1.

Таблица 1. Химический анализ грунта гидронамывных карьеров до проведения биологической рекультивации

| Номер образца | Гумус, % | Азот | | | Фосфор подвижный (P ₂ O ₅), мг/кг (по Чирикову) | Калий обменный (K ₂ O), мг/кг | рН водн. |
|---------------|----------|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------|
| | | общий, % | нитратный (NO ₃), мг/кг | аммиачный (NH ₄), мг/кг | | | |
| 1 | 0,54 | 0,08 | 1,8 | 15,0 | 3,1 | 34 | 5,6 |
| 2 | 0,44 | 0,10 | 1,9 | 14,0 | 2,0 | 33 | 5,7 |
| 3 | 0,44 | 0,05 | 1,7 | 14,0 | 2,0 | 34 | 5,5 |
| 4 | 0,38 | 0,07 | 2,1 | 15,0 | 1,0 | 37 | 5,7 |
| 5 | 0,64 | 0,08 | 1,4 | 8,0 | 2,0 | 42 | 5,4 |
| 6 | 0,54 | 0,11 | 1,6 | 12,0 | 0,9 | 37 | 5,4 |
| 7 | 0,52 | 0,08 | 1,4 | 12,0 | 2,0 | 34 | 5,6 |
| 8 | 0,57 | 0,07 | 1,5 | 11,0 | 1,0 | 32 | 5,5 |
| 9 | 0,23 | 0,09 | 1,5 | 10,0 | 2,0 | 35 | 5,3 |
| 10 | 0,51 | 0,07 | 1,6 | 14,0 | 1,0 | 31 | 5,7 |
| Среднее | 0,51 | 0,08 | 1,6 | 12,6 | 1,7 | 35 | 5,6 |

Содержание гумуса в грунте гидронамывных карьеров составляет 0,23–0,64%, что свидетельствует об очень низком их плодородии. Общего азота содержится 0,05–0,11%, аммиачного азота – 8,0–15,0 мг/кг почвы, нитратного азота – 1,4–2,1 мг/кг почвы. Подвижного фосфора (P₂O₅) содержится 0,9–3,1, обменного калия (K₂O) – 31–42 мг/кг почвы. Реакция почвенной среды слабокислая, рН водной вытяжки составляет 5,3–5,7.

Основных элементов питания растений содержится в гидронамывном грунте недостаточно для нормального роста и развития многолетних трав, поэтому необходимо внесение комплексных минеральных удобрений в дозе (NPK)₉₀.

На третий год жизни травостоя наиболее сильно в злаковой травосмеси развились растения костреца безостого: высота их достигала 47 см, количество побегов составило 63 шт./м², глубже проникновение корневой системы – 19 см; наименее – растения тимофеевки луговой: 38 см, 22 шт./м² и 16 см, соответственно. Растения овсяницы луговой полностью выпала из травостоя на второй год жизни (табл. 2).

Таблица 2. Показатели злаковых многолетних растений на третий год жизни травостоя. Фон (NPK)₉₀. 05 августа 2018 г.

| Вид многолетнего растения | Высота растений, см | Количество побегов на 1 м ² , шт. | Урожайность сухой массы, ц/га | Глубина проникновения корней, см |
|---------------------------|---------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Кострец безостый | 47 | 63 | 4,2 | 19 |
| Тимофеевка луговая | 38 | 22 | 1,2 | 16 |
| Овсяница красная | 32 | 55 | 2,7 | 18 |
| Овсяница луговая | – | – | – | – |
| Дикорастущие растения | 15–55 | 72 | 0,7 | 15–25 |
| Сумма | – | 212 | 8,8 | – |
| Среднее | 39 | – | – | 17,7 |
| НСР ₀₅ | | | 1,3 | |

Общая урожайность сухой массы травосмеси многолетних злаковых трав составила 8,8 ц/га, из которой на долю костреца безостого приходится 4,2 ц/га или 47%, тимофеевки луговой – 1,2 ц/га или 14%, на долю овсяницы красной – 2,7 ц/га или 31%, дикорастущих растений – 0,7 ц/га или 8%. Растения костреца безостого оказались наиболее экологически адаптированным видом среди многолетних злаковых трав [7–9]. Глубина оттаивания гидронамывного грунта составила 42–90 см.

Таким образом, проведенные исследования в условиях Заполярного Ямала свидетельствуют о реальной возможности проведения биологической рекультивации карьеров гидронамыва грунта путем посева травосмеси злаковых трав с обязательным рядковым внесением комплексных минеральных удобрений в дозе (NPK)₆₀₋₉₀.

Генеративные побеги у злаковых многолетних трав формировались на третий год жизни травостоя.

Семена многолетних злаковых трав не успевали вызреть, поэтому их необходимо завозить из других регионов.

SOME FEATURES OF BIOLOGICAL RECULTIVATION TECHNOLOGY IN THE NORTH OF THE TYUMEN REGION

A.G. Tjurjukov

Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, algt@inbox.ru

Summary: *The possibility of using of perennial grasses for biological recultivation of disturbed lands has been established. Some features of the growth of perennial grasses in the tundra of the northern part of the Yamal Peninsula are considered.*

Keywords: *Biological recultivation, perennial grasses, yield, herbage, smooth bromegrass, fertilizer, grass mixture*

Литература

1. Денисов Г.В. Травосеяние в зоне вечной мерзлоты. Новосибирск: Наука. 1983. 241 с.
2. Коровин А.И. Эколого-физиологические особенности роста и развития растений на холодных почвах Севера / Проблемы освоения пойм северных рек. М.: Агропромиздат, 1987. С. 77–84.
3. Методика опытов на сенокосах и пастбищах. Ч. 1. М.: ВНИИ кормов, 1971. 174 с.
4. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М.: ВНИИ кормов, 1987. 196 с.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
6. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Краснообск: РПО СО РАСХН, 2004. 162 с.
7. Денисов Г.В. Травосеяние в зоне вечной мерзлоты (эколого-биологические основы). Новосибирск: Наука, 1983. 222 с.
8. Кашеваров Н.И., Осипова Г.М., Тюрюков А.Г., Филиппова Н.И. Результаты изучения костреца безостого *Bromopsis inermis* Leys и его использование в экстремальных условиях среды // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 6. С. 14–17.
9. Кашеваров Н.И., Тюрюков А.Г., Осипова Г.М. Урожайность костреца безостого в разных природно-климатических зонах Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2015. №11. С. 81–83.

УДК 550.461 + 504.054 + 504.064.45 + 504.064.47

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КИНЕТИЧЕСКИХ ТЕСТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОТХОДОВ ДОБЫЧИ УГЛЕЙ КАК МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Х. Цзе, Е.М. Кочеткова, С.А. Эпштейн

ФГАОУ ВО Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ФГАОУ ВО НИТУ «МИСИС»), Москва, haoj1127@gmail.com

***Аннотация.** В работе представлены результаты оценки «вымываемости» отходов добычи углей с использованием модифицированного кинетического теста. Установлено, что отходы характеризуются различными значениями рН водных вытяжек в зависимости от содержания в отходах серы. Показано, что кинетические тесты позволяют прогнозировать окисление серосодержащих соединений в породах и изменение мобильности элементов в природных условиях при длительном размещении или использовании при рекультивации.*

***Ключевые слова:** отходы добычи углей, долговременная «вымываемость», водная вытяжка, кинетический тест, рекультивация.*

Актуальность. При добыче углей образуется большой объем вскрышных и вмещающих пород. Значительная часть этих пород подлежит размещению в отвалах, что приводит к сокращению потенциально пригодных для сельского хозяйства и гражданской инфраструктуры территорий, деградации ландшафтов, загрязнению водных объектов и атмосферного воздуха [1]. Для снижения антропогенной нагрузки на угледобывающие территории целесообразно использовать отходы добычи углей в различных сферах деятельности, в том числе для рекультивации.

Использование отходов добычи углей в различных сферах деятельности должно сопровождаться оценкой их безопасности для окружающей среды. Для этих целей проводят статические и кинетические тесты. Статические тесты получили наибольшее распространение, поскольку являются сравнительно недорогими и более оперативными по сравнению с кинетическими тестами [2, 3].

Проведение кинетических тестов необходимо для оценки долговременного воздействия отходов добычи углей на окружающую среду при их использовании в качестве рекультивантов, а также при размещении в отвалах. Для этих целей в НИТУ МИСИС была разработана методика, основанная на определении выхода и состава водорастворимых форм макро- и микроэлементов, а также рН водных вытяжек. Авторами предложено 2 метода по оценке долговременной «вымываемости». В методе №1 оценку измеряемых показателей проводят в зависимости от времени нахождения отходов в условиях высокой влажности и постоянной температуры, в то время как метод №2 дополняют этапом экстракции обработанных отходов, моделирующим последовательное выщелачивание пород в природных условиях.

В работе [4] приведены результаты апробации метода №1 на отходах добычи углей различного минерального и химического состава. Показано, что породы с высоким содержанием серы характеризуются кислым характером водных вытяжек на протяжении всего периода испытаний. В водных вытяжках из этих пород отмечена наибольшая концентрация серы, железа, кальция и магния, что объясняется окислением серосодержащих минералов в условиях повышенной влажности. Пиковая концентрация соответствующих элементов отмечена на 6-й неделе испытаний.

В настоящей работе показаны результаты оценки долговременной «вымываемости» макро- и микроэлементов с использованием метода №2.

Объекты и методы исследования. В качестве объектов исследования были выбраны отходы добычи углей (У1, У2, У3), описанные ранее в работах [3, 4]. В соответствии с методом №2 пробы отходов помещали в климатическую камеру «КТХВ-150» при температуре (25 °С) и влажности (95 %). На каждой контрольной точке (1, 3, 6, 9, 25 недель) пробы извлекали из камеры и экстрагировали водой в соотношении твердого вещества к жидкому равному 1 к 5. В полученных экстрактах определяли рН водной вытяжки аналогично п. 4.3 ГОСТ 26423–85. Твердую пробу после экстракции высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали до крупности менее 3 мм и помещали в камеру для дальнейшей обработки.

Обсуждение результатов. На рисунке 2 сведены результаты значения рН водных вытяжек из отходов У1, У2 и У3. Видно, что значение рН водных вытяжек исследуемых отходов на протяжении всего периода обработки изменяется незначительно. Водные вытяжки из отхода У2 имеют кислый характер, в то время как водные вытяжки из отходов У1 и У3 характеризуются как нейтральные.

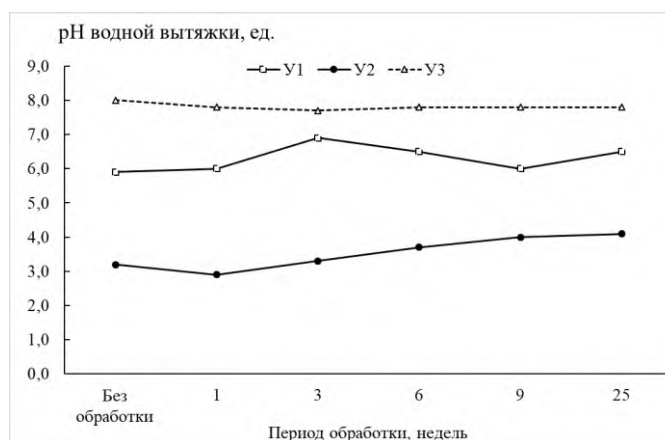


Рисунок 2. Динамика изменения рН водных вытяжек для отходов У1, У2 и У3.

Концентрация водорастворимой формы серы в отходах У1, У2 и У3 существенно различается (рис. 3). В водных вытяжках из отходов У1 и У3 концентрация серы последовательно снижается от 19 до 1,0 мг/дм³ и от 2,1 мг/дм³ до величины, соответствующим нижнему пределу обнаружения соответственно. Водные вытяжки из отхода У2 характеризуются существенно более высокой концентрацией серы, которая достигла 531 мг/дм³ на третьей неделе и экстремальной зависимостью от количества циклов.

Показано, что по сравнению с результатами кинетического теста №1 [4], последовательное удаление водорастворимых веществ после обработки пробы методом №2, приводит к ускорению процессов окисления серосодержащего содержания.

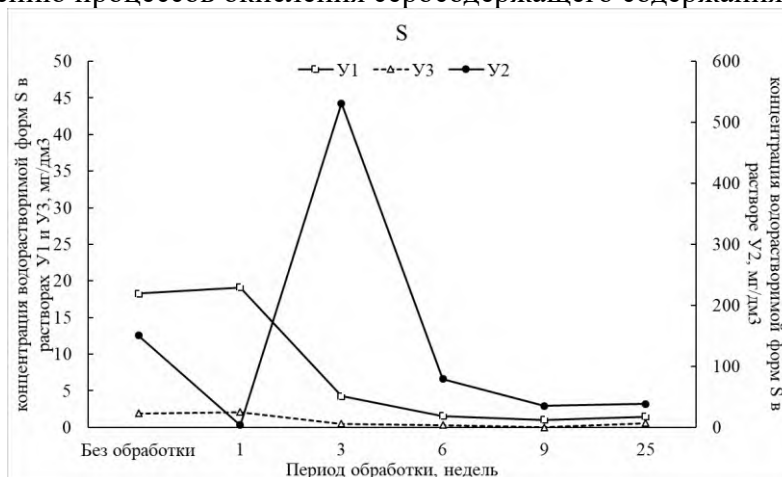


Рисунок 3. Изменение концентрации водорастворимой формы серы в водных вытяжках в исследуемых пробах.

Заключение

1. Закономерности, полученные при использовании обоих кинетических тестов в целом сопоставимы: для пород с низким содержанием серы рН водных вытяжек на всех циклах обработках, соответствует нейтральной среде, а для отхода с высоким содержанием серы – кислой.

2. Последовательное ударение водорастворимых веществ после циклов обработки приводит к ускорению процессов окисления серосодержащих веществ, что проявляется в изменении времени пиковых концентрации серы в водных вытяжках.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Стратегического проекта «Технологии устойчивого развития» Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».

EXPERIENCE IN USING KINETIC TESTS TO EVALUATE COAL MINING WASTES AS RECLAMATION MATERIALS

H. Jie, E.M. Kochetkova, S.A. Epshtein

University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russia, haoj1127@gmail.com

Summary: *The paper presents the results of assessment of leachability of coal mining wastes using a modified kinetic test. It was found that the waste is characterised by different pH values of aqueous extracts depending on the sulphur content in the waste. It is shown that kinetic tests allow predicting oxidation of sulphur-containing compounds in rocks and change of mobility of elements in natural conditions during long-term disposal or use during reclamation.*

Keywords: *coal mining wastes, long-term leachability, aqueous extract, kinetic test, reclamation.*

Литература

1. Zhengfu B. et al. Environmental issues from coal mining and their solutions // Mining Science and Technology (China). 2010. Т. 20. №. 2. С. 215–223
2. Гущина Т.О., Соколовская Е.Е. Разработка отечественной методики для оценки рисков образования дренажных кислых вод при складировании и утилизации отходов добычи и переработки углей // Наука и образование: актуальные исследования и разработки: Сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции, Чита, 29–30 апреля 2020 года. Чита: Забайкальский государственный университет, 2020. С. 100–107.
3. Цзе Х., Кочеткова Е.М., Эпштейн С.А. Мобильность макро- и микроэлементов в отходах добычи углей // Химия твердого топлива. 2023. № 4. С. 64–72.
4. Jie H., Kochetkova E.M., Epshtein S.A. Study of the long-term leachability of the major and trace elements in the coal mining wastes // Solid Fuel Chemistry. 2024. В печати.

УДК 661.183:1

ТЕМПЕРАТУРА ПИРОЛИЗА И ДОБАВЛЕНИЕ ЛИГНИНСОДЕРЖАЩЕЙ БИОМАССЫ КАК КЛЮЧЕВЫЕ ФАКТОРЫ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЗОПАСНЫХ БИОСОРБЕНТОВ ИЗ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В ЦЕЛЯХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВ

О.Е. Хронюк, Т.В. Бауэр, А.В. Барахов, Т.М. Минкина

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, hronuyk@sfedu.ru

***Аннотация.** В последние годы возникла потребность в разработке устойчивых технологий восстановления загрязненных почвенных ресурсов. Активное развитие получили сорбционные методы с использованием биоуглей с высокими сорбционными характеристиками. В данной работе методом пиролиза были получены образцы биосорбентов из осадка сточных вод. В целях минимизации потенциальных экологических рисков от содержания тяжелых металлов в образцах исследованы температурный и синергетический факторы совместного пиролиза осадка с лигнинсодержащей биомассой. В результате проведенных экспериментов получен перспективный адсорбент для целей восстановления загрязненных почв.*

***Ключевые слова:** сорбция, биоуголь, осадки сточных вод, экологические риски, безопасность, сопиролиз.*

В последние годы для борьбы с загрязнением деградированных почв активно развиваются устойчивые технологии [1]. Одним из перспективных методов является использование органических отходов в качестве исходного материала для получения биоугля методом карбонизации, что одновременно решает проблемы переработки отходов и восстановления почв [2]. Биоуголь представляет собой пористый углеродистый твердый материал с высокой степенью ароматизации и высокой устойчивостью к разложению и сравним с коммерческим активированным углем, но экономичнее и эффективнее в адсорбции различных загрязняющих веществ [3]. Благодаря своим свойствам, таким как большая удельная поверхность и пористость, биоуголь подходит для восстановления почв, загрязненных органическими и неорганическими поллютантами.

Основным сырьем, используемыми для производства биоугля, являются отходы сельскохозяйственных культур, городские отходы и навоз животных. В последние десятилетия рост населения, урбанизация и индустриализация привели к резкому увеличению количества осадков сточных вод (ОСВ). Осадок содержит тяжелые металлы (ТМ), патогены и органические загрязнители, такие как фармацевтические препараты и пестициды, и характеризуется высоким содержанием влаги и золы [4].

Традиционные методы утилизации осадков, такие как анаэробное сбраживание, захоронение и использование в качестве удобрений, имеют свои ограничения, включая выбросы парниковых газов. Пиролиз осадков сточных вод может значительно уменьшить их объем, уничтожить патогены и разложить органические загрязнители. Однако получаемый биоуголь часто содержит высокие концентрации металлов, требуя исследований для минимизации их экологического риска. При этом температура пиролиза играет ключевую роль в иммобилизации тяжелых металлов в биоуглях из ОСВ [5].

Повысить безопасность использования биоуглей позволяет сопиролиз. Смешивание осадка сточных вод с лигнинсодержащей биомассой при пиролизе эффективно снижает содержание загрязнителей и позволяет получать экологически чистый углеродистый материал. Совместный пиролиз осадков и биомассы увеличивает удельную поверхность, содержание углерода, снижает зольность и создает пористую структуру продукта. При этом

пониженное содержание влаги в смеси с растительной биомассой снижает энергозатраты на пиролиз [6].

Целью работы являлось определение влияния температуры пиролиза и внесения лигнинсодержащей биомассы на физико-химические характеристики биоуглей и потенциальные экологические риски их использования. Сырьем для получения биоуглей служили частично обезвоженные и уплотненные после обработки на центрифуге иловые ОСВ городских канализационных очистных сооружений, отобранные с АО «РостовВодоканал». Осадки предварительно высушивали до полного удаления влаги, после чего измельчали в фарфоровой ступке. Пиролиз проводили в высокотемпературной трубчатой печи с системой подачи газов. Осадки массой по 100 г загружали в цилиндрический реактор, который закрывали крышкой с отверстием диаметром 2 мм для отвода летучих веществ. Выдерживали при температуре 300 °С (ОСВ-300) и 700 °С (ОСВ-700), скорость нагрева 10 °С/мин в течение 60 мин. Для создания инертной атмосферы в реактор подавали азот. После завершения процесса пиролиза реактор охлаждали до комнатной температуры, извлекали и взвешивали полученные образцы биоугля и определяли их физико-химические характеристики, представленные в таблице 1.

Для выявления роли синергетического эффекта сопиролиза на качество продукта в лабораторной пиролизной установке были получены образцы биосорбентов из осадков сточных вод и соломы пшеницы (ОСВ-СП), смешанных в соотношении 1:1 по массе. Условия сопролиза были следующие: температура 700 °С, время выдержки 60 мин и скорость нагрева 10 °С/мин. Характеристики полученного образца приведены в таблице 1.

Значения pH используемого для пиролиза сырья и биоуглей, полученных из него, были измерены потенциометрическим методом. Для этого 1 г образца смешивали с 20 мл деионизированной воды, встряхивали в течение 10 мин на шейкере и оставляли в состоянии покоя на 5 мин до измерения pH [7]. Содержание общей золы оценивалось по остаточной массе после сжигания образцов в муфельной печи при температуре 750° С в течение 6 часов [8–9].

Определение площади удельной поверхности ($S_{\text{влет}}$) и общего объема пор ($V_{\text{общ}}$) ОСВ и биоуглей, полученных из него, выполнено на волюметрическом анализаторе «ASAP 2020» (Micromeritics, США) по методу низкотемпературной адсорбции азота. Расчет параметров проведен с использованием метода Брунауэра-Эммета-Теллера (БЭТ) в интервале относительного давления $P/P_0=0,04-0,10$. Распределение пор по размеру рассчитано с помощью метода теории функционала плотности [10]. Элементный состав образцов биоугля (C, H, N, S) определен методом сжигания (>1000 °С) в потоке кислорода и методом пиролиза (O) на анализаторе EMA502 (VELP Scientifica, Италия), оснащенным программным обеспечением EMASoft™. Результаты исследования использованы для расчета атомных соотношений H/C и O/C, характеризующих степень ароматичности и карбонизации биоугля [11]. Общее содержание ТМ в осадке сточных вод и биоуглях, полученных из него при различных температурах пиролиза, определяли методом XRF. Формы соединений ТМ в образцах оценивали с помощью модифицированной схемы последовательной экстракции BCR. Данная схема предусматривает выделение 4-х фракций ТМ: кислоторастворимой (F1), восстанавливаемой (F2), окисляемой (F3) и остаточной (F4). Первые две фракции (F1+F2) фракции ТМ включены в категорию биодоступных, которые очень склонны к выщелачиванию. F3 отнесена к потенциально биодоступной категории. F4 относится к небiodоступной категории и признана нетоксичной [12]. Для оценки экологического риска загрязнения ТМ осадка сточных вод и биоуглей был использован индекс потенциального экологического риска (RI), основанный на результатах фракционного состава ТМ в образцах [13].

На основании проведенных исследований установлено, что при повышении температуры пиролиза с 300 до 700 °С выход биоугля снизился с 75% до 53%. При этом возросли значения pH, зольности, пористости и $S_{\text{влет}}$ биоугля, а атомные соотношения H/C и O/C уменьшились (табл. 1).

Концентрации ТМ в исходном осадке (табл. 2) убывали в ряду: Mn (1099,55 мг/кг) > Zn (576,13 мг/кг) > Cu (95,02 мг/кг) > Cr (76,43 мг/кг) > Ni (46,12 мг/кг) > Pb (20,31 мг/кг) >> Cd

(1,13 мг/кг). Повышение температуры пиролиза привело к увеличению содержания ТМ в биосорбентах из ОСВ и снижению их биодоступности благодаря увеличению окисляемой и остаточной фракций металлов. При этом произошло снижение потенциального экологического риска RI с 357 при 300 °С до 185 при 700 °С. Однако, несмотря на значительное снижение индекса RI с ростом температуры пиролиза, полученный показатель свидетельствует о значительном потенциальном экологическом риске использования биосорбентов из ОСВ.

Таблица 1. Физико-химические свойства осадка сточных вод и биоуглей, полученных из него

| Образец | Выход продукта (%) | pH | S _{ВЕТ} (м ² /г) | V _{общ} (см ³ /г) | Средний диаметр пор (нм) | Атомные соотношения | |
|---------|--------------------|-------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------|------|
| | | | | | | Н/С | О/С |
| ОСВ | – | 7,28 | 0,78 | 0,0040 | 20,51 | 2,76 | 0,57 |
| ОСВ-300 | 75,37 | 8,36 | 3,49 | 0,0163 | 18,68 | 1,20 | 0,37 |
| ОСВ-700 | 53,48 | 11,33 | 14,02 | 0,0500 | 14,27 | 0,50 | 0,22 |
| ОСВ-СП | 41,25 | 9,92 | 25,31 | 0,0660 | 11,72 | 0,38 | 0,17 |

Добавление лигнинсодержащей биомассы к осадку в процессе пиролиза привело к снижению выхода биоугля на 12% по сравнению с образцом, полученным при пиролизе осадка в чистом виде (табл. 1). Величина pH биоугля, полученного из ОСВ и соломы пшеницы при температуре 700 °С, была ниже (9,92), чем у биоугля из ОСВ (11,33). Параметры S_{ВЕТ} и V_{общ} биосорбента достигли максимума (25,31 м²/г и 0,0660 см³/г) при добавлении к осадку соломы пшеницы. Средний размер пор образца ОСВ-СП также уменьшился по сравнению с образцом ОСВ-700 (табл. 1). В результате сопиролиза произошло увеличение содержания С, Н и О и снижение содержания N и S в образце ОСВ-СП по сравнению с образцом ОСВ-700, полученным из чистого осадка. Это также способствует снижению соотношения Н/С и О/С, что повышает ароматичность и устойчивость к окислению образцов биоугля.

Таблица 2. Содержание ТМ в осадке сточных вод и биоуглях, полученных из него

| Металл | Образец | | | |
|--------|---------|---------|---------|---------|
| | ОСВ | ОСВ-300 | ОСВ-700 | ОСВ-СП |
| Cu | 95,02 | 129,06 | 146,11 | 83,06 |
| Zn | 576,13 | 761,18 | 952,68 | 448,23 |
| Pb | 20,31 | 26,01 | 29,56 | 16,52 |
| Cr | 76,43 | 152,38 | 211,62 | 152,19 |
| Mn | 1099,55 | 1168,47 | 1284,32 | 1032,17 |
| Ni | 46,12 | 58,12 | 70,09 | 48,73 |
| Cd | 1,13 | 1,51 | 1,89 | 0,96 |

В условиях совместного пиролиза осадка и растительной биомассы концентрация металлов ниже (табл. 2), чем в образце ОСВ-700, а для Zn, Pb и Cd снижается до уровня в сыром осадке и ниже: Mn (1032,17 мг/кг) > Zn (448,23 мг/кг) > Cu (83,06 мг/кг) > Cr (152,19 мг/кг) > Ni (48,73 мг/кг) > Pb (16,52 мг/кг) >> Cd (0,96 мг/кг) в основном за счет «эффекта разбавления» (табл. 2). Совместный пиролиз способствовал гораздо большей стабилизации ТМ в полученных биоуглях за счет повышения концентрации металлов в остаточной фракции F4 (53,9% Cu, 59,3% Zn, 82,8% Pb, 48,3% Cr, 50,8% Mn и 65,9% Ni, соответственно). В свою

очередь, индекс RI снизился по сравнению с пиролизом только ОСВ до 48, что соответствует низкому потенциальному экологическому риску их использования.

Таким образом, повышение температуры пиролиза и внесение лигнинсодержащей биомассы (соломы пшеницы) при синтезе биоугля из ОСВ приводит к значительному снижению уровня риска загрязнения окружающей среды. При этом повышаются сорбционные свойства биоугля: площадь удельной поверхности, пористость, содержание углерода и ароматичность.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-76-10054) в Южном федеральном университете.

TEMPERATURE OF PYROLYSIS AND ADDITION OF LIGNIN-CONTAINING BIOMASS AS KEY FACTORS IN PRODUCING SAFE BIOSORBENTS FROM SEWAGE SLUDGE FOR SOIL REMEDIATION

О.Е. Hronyuk, T.V. Bauer, A.V. Barakhov, T.M. Minkina

Southern Federal University, Rostov-on-Don, hronuyk@sfedu.ru

Summary: *In recent years, there has been a growing need for the development of sustainable technologies for the remediation of contaminated soil resources. Sorption methods using biochars with high sorption characteristics have gained active development. In this study, biosorbent samples were obtained from sewage sludge by pyrolysis. To minimize potential environmental risks due to the content of heavy metals in the samples, the temperature and synergistic factors of the co-pyrolysis of sludge with lignin-containing biomass were investigated. As a result of the experiments, a promising adsorbent for soil remediation was obtained.*

Keywords: *sorption, biochar, sewage sludge, environmental risks, safety, co-pyrolysis.*

Литература

1. Hou D., Qi S., Zhao B., Rigby M., O'Connor D. Incorporating life cycle assessment with health risk assessment to select the 'greenest' cleanup level for Pb contaminated soil // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 162. P. 1157–1168.
2. Li Y., Xing B., Ding Y., Han X., Wang S. A critical review of the production and advanced utilization of biochar via selective pyrolysis of lignocellulosic biomass // Bioresource Technology. 2020. Vol. 312. P. 123614.
3. Rangabhashiyam S., Balasubramanian P. The potential of lignocellulosic biomass precursors for biochar production: performance, mechanism and wastewater application-a review // Industrial Crops and Product. 2019. Vol. 128. P. 405–423.
4. Paz-Ferreiro J., Nieto A., Méndez A., Askeland M.P.J., Gasco G. Biochar from biosolids pyrolysis: a review // International journal of environmental research and public health. 2018. Vol. 15. № 5. P. 956.
5. Khanmohammadi Z., Afyuni M., Mosaddeghi M. R. Effect of pyrolysis temperature on chemical and physical properties of sewage sludge biochar // Waste Management & Research. 2015. Vol. 33. № 3. P. 275–283.
6. Sun Y., Chen G., Yan B., Cheng Z., Ma W. Behaviour of mercury during Co-incineration of sewage sludge and municipal solid waste // Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 253. p. 119969.
7. Bordoloi S., Yamsani S. K., Garg A., Sreedeeep S., & Borah S. Study on the efficacy of harmful weed species Eicchornia crassipes for soil reinforcement // Ecological Engineering. 2015. Vol. 85. P. 218–222.

8. ASTM D. 84 Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal // ASTM International. 1762. Vol. 84. P. 1–2.
9. Keiluweit, M., Nico P.S., Johnson M.G., Kleber M. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar) // Environmental science & technology. 2010. Vol. 44. № 4. P. 1247–1253.
10. Suliman W., Harsh J.B., Abu-Lail N.I., Fortuna A.M., Dallmeyer I., Garcia-Perez M. Influence of feedstock source and pyrolysis temperature on biochar bulk and surface properties // Biomass Bioenergy. 2016. Vol. 84. P. 37–48.
11. Huang H.J., Yang Vol., Lai F.Y., Wu G.Q. Co-pyrolysis of sewage sludge and sawdust/rice straw for the production of biochar // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2017. Vol. 125. P. 61–68.
12. Devi P., Saroha A. K. Risk analysis of pyrolyzed biochar made from paper mill effluent treatment plant sludge for bioavailability and eco-toxicity of heavy metals // Bioresource technology. 2014. Vol. 162. P. 308–315.
13. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach // Water research. 1980. Vol. 14. № 8. P. 975–1001.

ПОЧВОГРУНТЫ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Г. Шайхислам, Т.М. Соловьев, С.А. Эпштейн

¹ФГАОУ ВО Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ФГАОУ ВО НИТУ «МИСИС»), Москва, gulshatshaikhislam@gmail.com

***Аннотация.** В работе рассмотрены биологическая активность вскрышных пород и влияние добавления почвогрунтов, состоящего из смеси бурого угля и золошлаковых отходов в разных соотношениях. Смешение в 10% содержании почвогрунтов, состоящие из 50% бурого угля со вскрышными породами показало существенное увеличение всхожести культур по сравнению с контрольным опытом.*

***Ключевые слова:** бурый уголь, окисленный каменный уголь, золошлаковые отходы, почвогрунт, вскрышные породы, значение рН, всхожесть.*

Добыча полезных ископаемых часто сопровождается образованием отходов, которые негативно влияют на почвенно-растительный покров и ландшафты, приводя к их деградации. Биологическая рекультивация – это процесс, направленный на восстановление этих земель, включающий в себя агротехнические мероприятия для восстановления почвы и растительности. В качестве природных компонентов при биологической рекультивации, как правило, применяют [1] потенциально-плодородный слой почв и потенциально плодородные вскрышные и вмещающие породы, отвечающие требованиям ГОСТ 17.5.1.03-86 «Охрана природы. Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель». Однако такие породы не всегда способствуют качественному росту растений. Для повышения эффективности процесса восстановления нарушенных земель применяют различные методы, в том числе приготовление специальных почвогрунтов, обладающих ростостимулирующими свойствами. Например, в работах [2–4] показано перспективность использования почвогрунтов, состоящих из бурых и окисленных каменных углей, а также золошлаковых отходов (ЗШО). Эффективность применения таких почвогрунтов заключается в том, что такие угли обогащены гуминовыми веществами, которые, в свою очередь, позитивно влияют на рост растений, а ЗШО обеспечивают щелочную среду для выделения гуминовых веществ [3].

В настоящей работе в качестве компонентов почвогрунтов использованы бурые угли Канско-Ачинского бассейна, а именно, разрезов Назаровский, Бородинский и Березовский, а также золошлаковые отходы, образующиеся при сжигании этих углей. Для подготовки почвогрунтов использовали разное соотношение угля к ЗШО: почвогрунт №1 – соотношение уголь:ЗШО=1:9; почвогрунт №2 – соотношение уголь:ЗШО=1:1. При подготовке почвогрунтов добавляли к твердым компонентам воду в соотношении Т:Ж=2:1 и проводили ультразвуковую активацию полученной суспензии. После активации смесь сушили при 80 °С до воздушно-сухого состояния [3].

Экспериментальные значения рН водных вытяжек, полученных из бурых углей, соответствует нейтральной среде и составляет 6,5–7,0 ед. Результаты анализа на почвогрунтах показали, что они имеют слабощелочную среду и характеризуются значением рН на уровне 8,1 ед.

Для оценки биологической активности исследуемых почвогрунтов было проведено тестирование [5] на семенах клевера. Все этапы испытания выполняли согласно указаниям и рекомендациям, предусмотренных в ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести». Ежедневно проверяли состояние увлажненности ложа, при необходимости смачивали его водой, не допуская переувлажнения.

Для формализации полученных результатов рассчитывали интегральный индекс фитоактивности (ИФ), который отражает отклонение показателей всхожести, средней длины главного стебля проростков от контрольного образца [5].

В настоящей работе в качестве субстрата использовали смесь вскрышных пород (контрольный образец). Для проведения испытаний в субстрат вносились исследуемые почвогрунты в количестве 10% [3, 4].

Результаты определения всхожести семян представлены в таблице 1. В целом, стоит отметить, что внесение почвогрунтов, имеющие равное соотношение угля и ЗШО, в смесь вскрышных пород, приводит к более высоким показателям всхожести и длины стеблей проростков. Наибольший эффект был получен при использовании почвогрунтов, с участием бурых углей Назаровского и Березовского разрезов, где уровень всхожести семян повысился на 12%, 15% и 17%, соответственно (по сравнению с результатами контрольного опыта). На это указывают также, более высокие показатели фитоактивности, полученные в смесях почвогрунтов со вскрышными породами – их индекс фитоактивности (ИФ) составил 1,13, 1,21 и 1,22, соответственно, относительно контрольного образца.

На биологическую активность почвогрунтов может повлиять содержание гуматов, образующихся в результате щелочной активации бурого угля. С учетом этого, можно предположить, что в почвогрунтах, состоящие из 50% угля, выделяется больше гуматов, что, в свою очередь, сказывается на их биологическую активность.

При оценке биологической активности необходимо также учитывать макро- и микроэлементный состав ЗШО и бурого угля. Почвогрунты, характеризующиеся повышенным содержанием агрохимических важных элементов, способствующих росту растений, будут обладать более высокой биологической активностью.

Таблица 1. Результаты определения биологической активности семян на почвогрунтах со вскрышными породами

| Месторождение | Смеси-основы | Всхожесть, % | Средняя длина стеблей, см | ЭП | ДС | ИФ |
|---------------------|------------------------------------------|--------------|---------------------------|-------|-------|------|
| | Смесь вскрышных пород (контрольный опыт) | 82 | 5,3 | 100,0 | 100,0 | 1,00 |
| Разрез Назаровский | Смесь №1А | 92 | 6,9 | 112,2 | 130,2 | 1,21 |
| | Смесь №1Б | 86 | 5,6 | 104,9 | 105,7 | 1,05 |
| пласт Бородинский-1 | Смесь №2А | 86 | 5,9 | 104,9 | 111,3 | 1,08 |
| | Смесь №2Б | 84 | 5,3 | 102,4 | 100,0 | 1,01 |
| пласт Бородинский-2 | Смесь №3А | 88 | 6,1 | 107,3 | 115,1 | 1,11 |
| | Смесь №3Б | 84 | 5,4 | 102,4 | 101,9 | 1,02 |
| пласт Рыбинский-1 | Смесь №4А | 86 | 6,4 | 104,9 | 120,8 | 1,13 |
| | Смесь №4Б | 80 | 5,9 | 97,6 | 111,3 | 1,04 |
| пласт Рыбинский-2 | Смесь №5А | 86 | 6,3 | 104,9 | 118,9 | 1,12 |
| | Смесь №5Б | 82 | 6,1 | 100,0 | 115,1 | 1,08 |
| Берёзовский-1 | Смесь №6А | 94 | 5,9 | 114,6 | 111,3 | 1,13 |
| | Смесь №6Б | 90 | 5,7 | 109,8 | 107,5 | 1,09 |
| Берёзовский-2 | Смесь №7А | 96 | 6,7 | 117,1 | 126,4 | 1,22 |
| | Смесь №7Б | 92 | 6,1 | 112,2 | 115,1 | 1,14 |

Примечание: «А» – 90% смесь вскрышных пород + 10% почвогрунта (1:1); «Б» - 90% смесь вскрышных пород + 10 % почвогрунта (9:1); ЭП – отклонение всхожести семян от контроля; ДС - отклонение длины стебля проростка от контроля; ИФ – индекс фитоактивности.

Таким образом, исследование показало, что почвогрунты на основе бурых углей Канско-Ачинского бассейна и ЗШО положительно влияют на рост растений и могут быть использованы в качестве активной добавки при рекультивации нарушенных земель.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Стратегического проекта «Технологии устойчивого развития» Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».

SOILS FOR BIOLOGICAL RECLAMATION OF TECHNOGENICALLY DISTURBED LANDS

G. Shaikhislam, T.M. Solovev, S.A. Epshtein

University of Science and Technology MISIS, Moscow, gulshatshaikhislam@gmail.com

Summary: *The paper considers the biological activity of overburden rocks and the effect of the addition of soils consisting of a mixture of brown coal and ash and slag waste in different ratios. Mixing of 10% of the soil content, consisting of 50% brown coal with overburden rocks, showed a significant increase in crop germination compared with the control experiment.*

Keywords: *brown coal, oxidized coal, ash and slag waste, soil, overburden rocks, pH value, germination.*

Литература

1. Шайхислам Г., Соловьев Т.М., Эпштейн С.А., Семина И. С. Оценка состава и свойств горных пород, окисленного каменного угля и золошлаковых отходов как материалов для биологической рекультивации // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2024. № 7. С. 21–37. DOI: [10.25018/0236_1493_2024_7_0_21](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_7_0_21).
2. Фоменко Н.А. Применение окисленных бурых углей для повышения экологической безопасности утилизации золошлаковых отходов: автореф. канд. техн. наук: М.: НИТУ «МИСиС». 2019. 22 с.
3. Шайхислам Г., Соловьев Т.М., Эпштейн С.А., Семина И.С. Биологическая активность почвогрунтов на основе окисленного каменного угля и золошлаковых отходов // VI Международная научно-техническая конференция «Защита окружающей среды от экотоксикантов: международный опыт и российская практика». С. 150–152.
4. Шайхислам Г., Соловьев Т.М., Эпштейн С.А., Пестряк И. В., Семина И. С. Получение почвогрунтов на основе окисленного каменного угля для биологической рекультивации нарушенных земель // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2024. № 8. С. 5–18.
5. Жеребцов С. И., Малышенко Н. В., Вотолин К. С., Шпакодраев К. М., Исмагилов З. Р. Биологическая активность нативных и модифицированных гуминовых кислот // Химия твердого топлива. 2020. № 4. С. 3–7.

УДК 631.42

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЛЕСНОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ КАРЬЕРОВ

А.П. Яковлев, Г.И. Булавко

Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, A.Yakovlev@cbg.org.by

***Аннотация.** Специфика почвенных условий песчано-гравийных карьеров требует принципиального нового подхода к агротехнологии искусственного создания растительных сообществ. Рассматриваются результаты метода беспочвенного восстановления плодородия нарушенных земель за счет интродукции агрономически-полезных микроорганизмов, способствующих активизации, усиливающих мобилизацию потенциального плодородия субстрата, накоплению в нем органического вещества и элементов питания в доступной для лесных культур форме.*

***Ключевые слова:** песчано-гравийный карьер, агрохимическая характеристика, рекультивация, микробные удобрения, изменение эдафических условий, рост и развитие саженцев.*

В настоящее время природная среда Беларуси подвергается все большему антропогенному воздействию. Карьеры, возникающие после выемки песка для строительных целей, являются одной из часто встречаемых форм техногенного ландшафта. На территории республики эксплуатируется около 300 месторождений минерального сырья, в том числе более 200 карьеров добычи строительного песка и гравийно-песчаного материала, в результате разработки которых полностью или частично уничтожается растительный покров, животные и микробные сообщества, претерпевают изменение экосистемы в целом [1]. Учитывая постоянно увеличивающиеся темпы нарушения территорий и широкий спектр негативных последствий добычи, становится очевидной необходимость рекультивации земель. Процесс добычи и переработки полезных ископаемых вызывает нарушение целостности природных ландшафтов, деградацию земель и снижение их способности поддерживать полноценное функционирование экосистемы, что приводит к формированию техногенно нарушенных земель, основная проблема рекультивации которых заключается в масштабных трансформациях почвенно-минеральных комплексов [2].

После выработки на карьерах начинаются процессы естественного зарастания, в ходе которого возникают фитоценозы, отличающиеся от окружающих естественных растительных сообществ. Восстановление растительности обуславливает развитие почвенных процессов на карьерах. Изучение развития растительного и почвенного покрова необходимо для разработки способов рекультивации в техногенных ландшафтах умеренных широт. Вследствие интенсивной деформации ландшафта на данных территориях земли характеризуются нарушениями физико-химических показателей, почвенных режимов, а также низким показателем органической составляющей. В связи с этим, для эффективного восстановления почвенно-растительного комплекса на техногенно нарушенных землях необходимо проведение рекультивационных мероприятий с применением органических мелиорантов.

С целью изучения эффективности использования микробных препаратов отечественного производства для улучшения эдафических условий нарушенных земель заложена серия полевых экспериментов в Витебской и Минской областях. Полевой опыт включал в себя 4 варианта: контроль (без внесения препаратов), обработка 2% раствором Агромик; обработка 2% раствором Гордебак; обработка 2% раствором Бактопин. На площадях ПГС «Крулевщизна» (Докшицкий р-н) в качестве испытуемых культур выступали 2-летние

сеянцы сосны обыкновенной и ели европейской. На рекультивируемой площади ПГС «Синьча» (Минская обл.) лесные культуры сосны и ели достигали возраста 7 лет.

Почвенным пробоотборником с глубины корнеобитаемого слоя путем 5 кратной случайной выборки формировали усредненный образец грунта для проведения аналитических работ в лабораторных условиях в соответствии с утвержденными методиками [3] по следующим показателям: уровень кислотности в солевой (pH_{KCl}) и водной вытяжке определяли потенциометрически с использованием ионметра И-160 МП; содержание нитратного азота; содержание аммонийного азота; содержание подвижных форм фосфора в пересчете на P_2O_5 – фотоэлектроколориметрически; содержание подвижных форм калия в пересчете на K_2O – методом пламенной фотометрии; содержание гумуса – по И. В. Тюрину.

Использование микробных препаратов обеспечило возрастание содержания органического вещества с 0,17...0,51 до 0,75...1,22%, а по азоту, фосфору и калию – достаточные условия для роста и развития растений (рис. 1, 2).

Используемые микробные препараты оказывали положительное влияние на уровень накопления в субстрате подвижных форм азота и калия по сравнению с контрольным вариантом как в посадках сосны обыкновенной, так и ели европейской. Вместе с тем, для сеянцев сосны в июле, а для ели в мае и июне отмечено отставание в эксперименте по содержанию подвижного фосфора в почве от контрольного варианта. Аналогичные тенденции выявлены и в посадках лесных культур сосны и ели на ПГС «Синьча», с той лишь разницей, что практически на протяжении всего сезона вегетации содержание подвижных форм фосфора в опытных вариантах оказалось ниже контроля. По нашему мнению, это связано с активизацией поглощения соединений фосфора растениями более старшего возраста, в связи с чем, следует или увеличить количество обработок микробных препаратов до 3-х за сезон, или повысить концентрацию вносимого рабочего раствора.

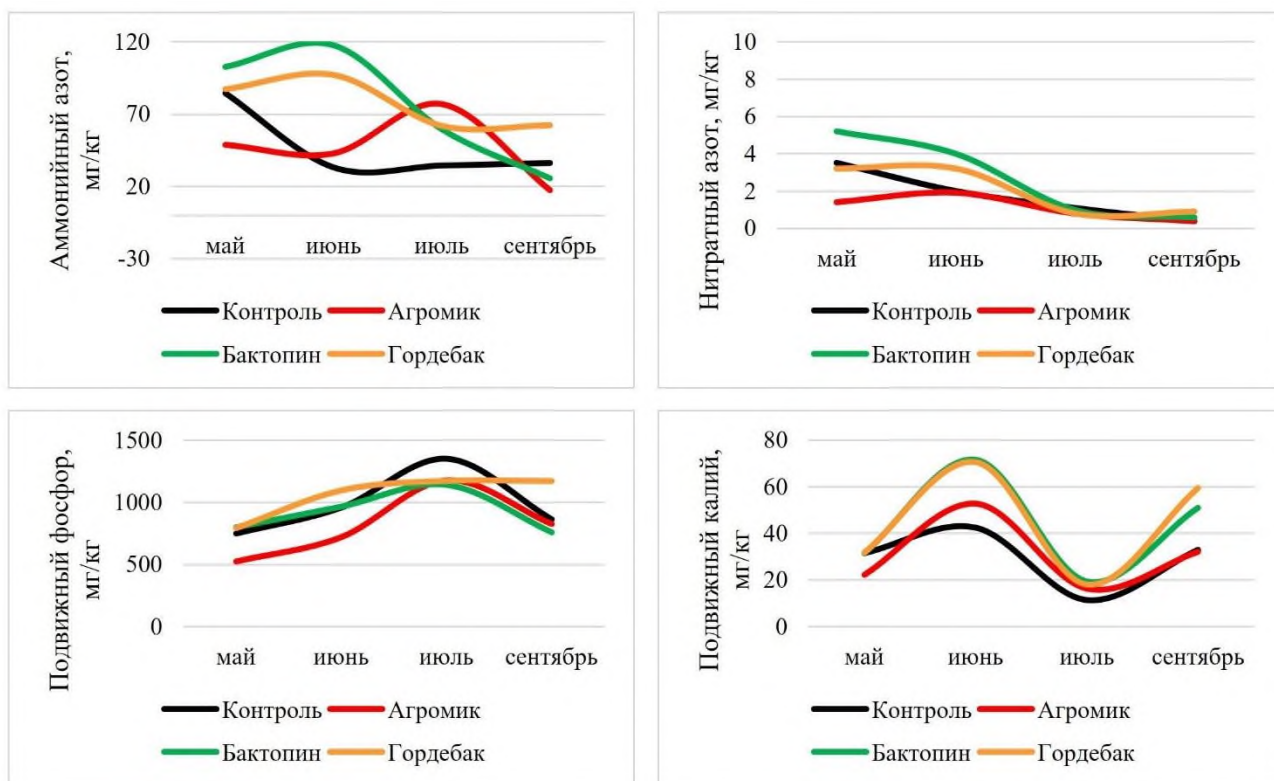


Рисунок 1. Изменение агрохимических характеристик песчаного субстрата на ПГС «Крулевщизна» в посадках сосны обыкновенной.

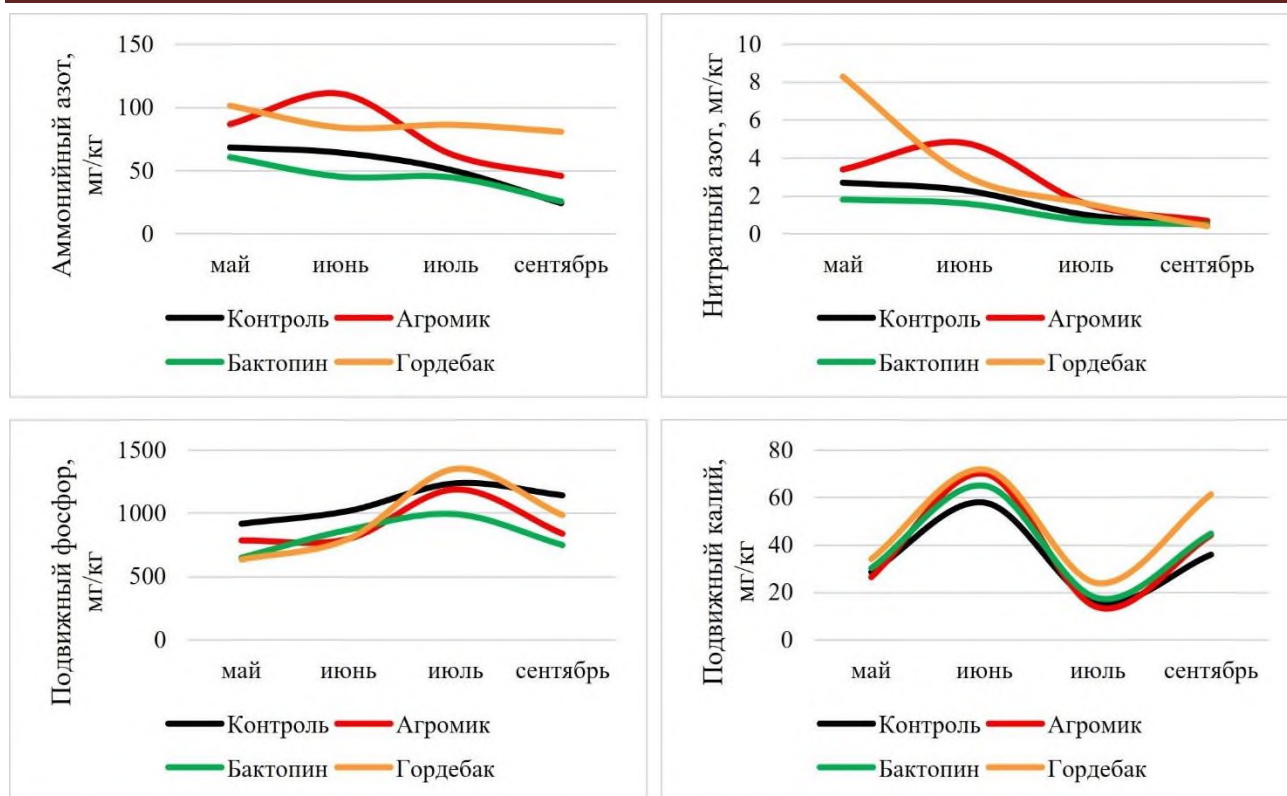


Рисунок 2. Изменение агрохимических характеристик песчаного субстрата на ПГС «Крулевщизна» в посадках ели европейской.

Внесение бактериальных удобрений в песчаный субстрат по-разному влияло на микробиом. Под посадками ели стабильно положительный эффект отмечен после обработки Гордебак. Добавление Агромик непосредственно после обработки (май) и в конце вегетации (июль-сентябрь) повышала величину биомассы, тогда как Бактопин приводил к снижению запасов микробной массы на протяжении всего периода вегетации и только в конце сезона отмечен положительный эффект (табл.).

Таблица. Величина микробной массы в субстрате песчаного карьера ПГС «Крулевщизна» в течение сезона вегетации

| Вариант опыта | май | июнь | июль | сентябрь |
|----------------|------------|------------|------------|------------|
| Сосна контроль | 148,2±2,6 | 173,0±11,6 | 146,6±6,0 | 115,7±12,1 |
| Агромик | 180,7±9,5 | 157,6±5,7 | 179,5±12,7 | 132,1±7,0 |
| Бактопин | 141,9±7,7 | 158,8±5,6 | 129,1±2,8 | 149,9±12,8 |
| Гордебак | 166,0±4,6 | 212,1±5,9 | 157,6±3,1 | 135,9±7,6 |
| Ель контроль | 163,8±4,5 | 180,9±5,7 | 145,4±7,7 | 141,4±12,1 |
| Агромик | 120,9±10,4 | 152,8±3,3 | 149,1±3,0 | 165,2±7,3 |
| Бактопин | 109,5±4,7 | 159,3±5,8 | 151,5±3,1 | 158,8±6,2 |
| Гордебак | 148,9±2,6 | 163,4±5,9 | 154,9±11,0 | 167,7±15,6 |

Под посадками ели обработка использованными бактериальными препаратами приводила к снижению величины микробной массы непосредственно после обработки и только в июле-сентябре величина показателя повышалась, что может быть связано с

адаптацией интродуцированных штаммов микроорганизмов к новым экологическим условиям. Установлено также, что эффект от обработки зависел в большей степени от вида растения и во вторую очередь от топографического положения. И в северной, и в центральной агроклиматических зонах республики повышение микробной массы давала обработка Гордебак.

Своевременная и качественная рекультивация призвана не только возродить продуктивность и плодородие нарушенных земель, но и создавать более организованные и оптимальные ландшафтные комплексы, ликвидируя при этом или сводя к минимуму отрицательное воздействие этих земель на природную среду.

Годичный прирост, количество, длина и диаметр хвои у *P. sylvestris* и *P. abies* без улучшения свойств субстрата на участках со слабой водоудерживающей спо-способностью и низким содержанием органического вещества в 1,4–2,1 раза были ниже опытных вариантов с применением микробных препаратов.

Микроравнин, а также полог склона явились определяющими для различий морфометрических характеристик надземной фитомассы сосны обыкновенной и ели европейской. Величина текущего прироста, степень охвоенности побега, размерные величины хвои и *P. sylvestris*, и *P. abies*, произрастающих на дне карьера, в контрольном варианте и с обработкой микробными препаратами оказались выше аналогичных показателей у лесных культур, высаженных на склоне. При этом степень выраженности изученных различий во всех вариантах с бактериальными удобрениями относительно контроля оказалась на 20–28% выше (рис. 3).

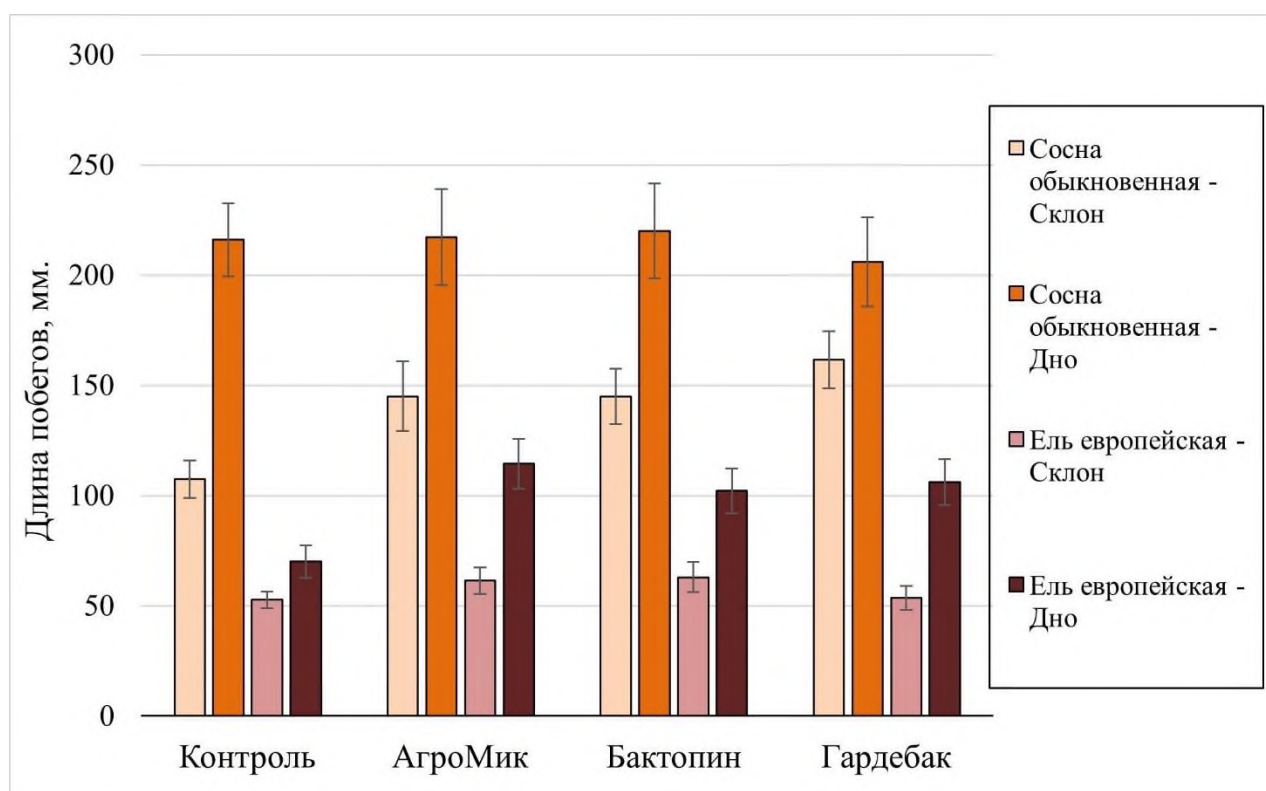


Рисунок 3. Морфометрические характеристики побегов растений сосны обыкновенной и ели европейской в полевом эксперименте ПГС «Синьча».

Создаваемые лесные культуры при рекультивации карьеров по добыче песчано-гравийного материала отличаются довольно высокими показателями сохранности, что позволяет ускорить период формирования древесного яруса на нарушенной лесной территории за счет сокращения длительного этапа естественного освоения древесными

растениями свободного минерального субстрата. Однако химические свойства песчаных техногенных грунтов без дополнительного внесения удобрений являются крайне несбалансированными по основным элементам питания, что приводит к замедлению процессов почвообразования и развитию растительного сообщества в целом. В результате формируются малопродуктивные фитоценозы с низким биоразнообразием.

Внесение органического вещества в виде микробных препаратов даже в небольших объемах существенно ускоряет процессы почвообразования и формирования благоприятных для растений почвенных условий. В связи с этим происходит формирование живого напочвенного покрова с высоким проективным покрытием и видовым разнообразием, в том числе с участием растений, типичных для богатых лесных сообществ.

USE OF MICROBIAL PREPARATIONS FOR OPTIMIZATION OF FOREST RECULTIVATION OF SAND AND GRAVEL PITS

A.P. Yakovlev, G.I. Bulavko

Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk,
A.Yakovlev@cbg.org.by

Summary: *Specificity of soil conditions of sand and gravel quarries requires a fundamentally new approach to agrotechnology of artificial creation of plant communities. The results of the method of soil-less recultivation of fertility of disturbed lands through the introduction of agronomically useful microorganisms promoting activation, enhancing the mobilization of potential fertility of the substrate, accumulation of organic matter and nutritional elements in it in a form accessible to forest crops are considered.*

Keywords: *sand and gravel pit, agrochemical characterization, recultivation, microbial fertilizers, changes in edaphic conditions, growth and development of seedlings.*

Литература

1. Громадская Е.И. и др. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень / под общ. ред. Е.И. Громадской. Минск: РУП «ЦНИИКИВР», 2023. 151 с.
2. Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 205 с.
3. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 488 с.

СЕКЦИЯ «ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ»

УДК 631.48

ЛИТОРЕФЛЕКТОРНОСТЬ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ И ПРОБЛЕМЫ ПОЧВОВОССТАНОВЛЕНИЯ

Е.В. Абакумов

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра прикладной экологии,
e_abakumov@mail.ru

Аннотация. Северо-Запад России, в особенности та его часть, которая была подвержена Валдайскому оледенению представляет «музей» четвертичных пород, находящихся на поверхности и дочетвертичных пород, залегающих не так глубоко, а потому добываемых чаще всего, открытым способом. В связи с этим на поверхности карьерно-отвальных комплексов экспонируются самые разнообразные вскрышные породы, анализ роли которых в скорости формирования инициальных почв представлен в докладе.

Ключевые слова: почвообразующие породы, техногенез, отвалы, почвообразование, рекультивация.

Введение. Открытые горные разработки почти полностью уничтожают почвенно-растительный покров зональных ландшафтов. При этом самовосстановление зональных экосистем Северо-Запада РФ занимает 100 лет и более. Приемы рекультивации могут ускорить наступление отдельных стадий восстановления почвы на 10–30 и даже 50 лет. Разработанные в России и зарубежных странах приемы рекультивации направлены, главным образом на восстановление органической части нарушенных экосистем. Биологическая рекультивация (посев бобовых, злаково-разнотравных смесей, лесопосадки) способствует более равномерному развитию растительного покрова, который, в свою очередь, ускоряет аккумуляцию органического вещества и биогенных элементов в почве. При этом, горнотехнический этап рекультивации во многом определяется местными неотехногенными литологическими и геоморфологическими условиями. В связи с этим, изучена роль отвальных и прочих неотехногенных почвообразующих пород в первичном почвообразовании на территории рекультивированных и заброшенных карьерно-отвальных комплексов Северо-Запада РФ (Санкт-Петербург, Ленинградская, Новгородская и Псковская обл.).

Объекты и методы. Объектами послужили разновозрастные почвы, в том числе, хроносери почвы, формирующиеся на самых разнообразных отвальных литологических субстратах. Почвообразующие породы различались по гранулометрическому, минералогическому, вещественному и компонентному составу. Таким образом литологический потенциал дифференциации почвенного профиля был крайне вариабельным. В работе применялись морфогенетические, ландшафтно-исторические и лабораторные химические методы исследования.

Результаты и обсуждение. Проведено исследование хроносерий педогенеза в различных субстратно-фитоценотических комбинациях и изучение экогенетических сукцессий на отвалах самых разнообразных карьерно-отвальных комплексов. При этом, необходимо отметить чрезвычайно большую роль пространственного распределения почвообразующих пород в дивергенции зонального почвообразования [1], не говоря, уже о посттехногенном педогенезе. Наибольшая интенсивность инициального почвообразования характерна для отвалов, сложенных породами легкого гранулометрического состава, здесь достаточно быстро формируется эмбриозем подзола. В случае нетоксичных пород легкого гранулометрического состава и положительных форм рельефа наиболее успешной стратегией восстановления почв является природная экогенетическая сукцессия. Наиболее долго дифференцируются профили почв на кембрийских глинах, известняках и массивно-кристаллических породах. В этом случае для рекультивации необходимо нанесение вскрышных пород легкого гранулометрического состава с целью оптимизации физических параметров корнеобитаемого слоя. Отдельной проблемой рекультивации земель в регионе является постепенное естественно затопление карьерно-отвальных комплексов после прекращения функционирования добывающих комплексов, откачивавших или отводивших воды. Так, огромные площади рекультивированных земель карьеров по добыче фосфорита оказались заболоченными и в настоящее время происходит деградация рекультивированных лесных экосистем. Еще одной экологической проблемой является пылевое загрязнение ландшафтов в районах проведения взрывотехнических работ на севере Карельского перешейка. Здесь пылевое загрязнение распространяется в пределах двадцатикилометрового радиуса. Кроме того, глубокие карьеры изменяют гидрологический режим сельговых ландшафтов, приводя к их иссушению. Таким образом, трансформация экосистем происходит не только в местах непосредственной добычи полезных ископаемых, но и на обширных прилегающих площадях. Еще одна важнейшая проблема Северо-Запада – рост площадей намывных территорий. При этом намывается суглинисто-глинистая суспензия со дна Финского залива, которая в субаэральных условиях резко затвердевает и теряет порозность аэрации. Из-за этого на поверхности оказываются крайне неблагоприятные для почвообразования субстраты. После нанесения на них рыхлого грунта и озеленения на соответствующей границе формируется мембранный эффект, способствующий вымоканию корней растений и развитию заболачивания. Таким образом, изучение гидрофизических параметров почвенно-литологических толщ посттехногенных пространств классическими гравиметрическими и современными неинвазивными электрофизическими методами является перспективным для коррекции тактики почвовосстановления и управления реабилитируемыми землями в целом

Сочетание приемов биологической и почвовосстановительной рекультиваций необходимы, но недостаточны. На первых этапах восстановления почв важнейшую роль играет литологическая основа. Неблагоприятный гранулометрический состав (песчаный или глинистый), каменистость, токсичность, эрозионная нестабильность и прочие факторы могут значительно осложнить проведение рекультивации и замедлять скорость восстановления биогеоценозов. Поэтому важно уделять внимание созданию оптимального гранулометрического состава минеральной части почвы.

Для природопользования в условиях глобального экологического кризиса важна способность почвы и биоценотического компонента эффективно взаимодействовать и выполнять при этом свои экологические функции [2]. Эффективность взаимодействия почвы и биоты не является при этом абстрактным понятием, но выражается в совместной эволюции почвы и растительного покрова в пространстве и во времени. Взаимодействие и совместное развитие растительного сообщества и почвы на начальных стадиях становления экосистемы осуществляется посредством биогенно-аккумулятивных процессов. Биогенно-аккумулятивные процессы могут стать той частью технологической схемы рекультивации, которая может быть описана как природоподобная. Именно природная эволюция изобрела

механизмы реабилитации экосистем после катастрофических нарушений, поэтому их внедрение в процессы хозяйственной деятельности, в том числе в рекультивационные схемы может стать вполне эффективным инструментом. При этом. В первые 50 лет, осуществление указанных механизмов и их эффективность очень сильно зависит от литологических характеристик карьерно-отвальных комплексов. Литология и локальная биогеохимия карьеров влияют, также на формирование локального биоразнообразия, в том числе, фиторазнообразия, что выражается в появлении в составе фитоценозов, например, кальцефильных и литофильных видов.

При регенерации нарушенных земель путем рекультивации взаимодействие систем «почва» и «растительный покров» выражено в меньшей степени в силу того, что они формируются отдельно, почти независимо друг от друга. Поэтому и гумусообразование, начинающееся после биологического этапа рекультивации не способствует эффективному функционированию системы почва – растение и совместной их эволюции вследствие несбалансированности основных системных процессов. Между тем, рекультивация является весьма эффективным «катализатором» почвенных и биоценологических процессов в посттехногенном ландшафте, кроме того, иногда без специальных мероприятий земли вообще не могут быть реабилитированы. Наиболее перспективным в сложившейся ситуации при создании технологий рекультивации является интенсивное привлечение данных об осуществлении природного механизма регенерации почв основанного на процессах биогенно-аккумулятивной группы с учетом специфики их проявления на различных литологических субстратах. Иными словами, речь идет о необходимости создания баз данных и имитационных моделей, анализирующих и подбирающих наиболее эффективное (с учетом заданных параметров) сочетание геогенных и биоклиматических факторов почвообразования.

Выводы. Разнообразие геогенных – литологических и геоморфологических условий в местах открытой разработки полезных ископаемых приводит к чрезвычайно разнонаправленной эволюции первичных инициальных почв на стадии линейного онтогенеза (до этапа развития профиля зональной эмбриональной почвы). Литорефлекторность почвообразования, характерная для зональных почв региона еще в большей степени проявляется в случае почв карьерно-отвальных комплексов. При этом следует выделить группу пород крайне благоприятных для осуществления природных зональных процессов почвообразования (водно-ледниковые пески и супеси, перемытые морены и т.п.) и группу пород, нетипичных для современное голоценовой дневной поверхности, почвообразование на которых осуществляется по особым траекториям (диктионемовые сланцы, карбоновые и кембрийские глины, отвалы ортоцератитовых дробленых известняков). Таким образом, изученный регион представляет уникальную литологически разнообразную матрицу экзогенных пород и разновозрастных почв, которую необходимо использовать в качестве модели вариативности скорости первичного педогенеза.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке РФФ, проект № 23-16-20003.

LITHOREFLECTORICITY OF TECHNOGENIC LANDSCAPES OF NORTH-WESTERN RUSSIA AND PROBLEMS OF SOIL RECLAMATION

E.V. Abakumov

Saint-Petersburg State University, department of Applied ecology, e_abakumov@mail.ru

Summary: *The North-West of Russia, especially that part of it, which was exposed to the Valdai glaciation, is a "museum" of Quaternary rocks on the surface and Pliocene rocks, which are not so deep and therefore are most often mined by open-pit methods. In this regard, a wide variety of*

overburden rocks are exposed on the surface of quarry-dump complexes, the analysis of the role of which in the rate of formation of initial soils is presented in the report.

Keywords: *parent materials, technogenesis, dumps, soil formation, reclamation.*

Литература

1. Гагарина Э.И. Литологический фактор почвообразования: (на примере Северо-Запада Рус. равнины). СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2004. 257 с.
2. Арчегова И.Б. Формирование почв при восстановительной сукцессии лесных экосистем на Севере // Сибирский экологический журнал. 2009. № 1. С. 91–98.

УДК 631.48

КЛЮЧЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В ЯМАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

Е.В. Абакумов¹, К. Джи², С. Янг³, С. Ву³

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра прикладной экологии, e_abakumov@mail.ru

² Отделение экологической педиатрии, факультет педиатрии, Медицинская школа Гроссмана, Нью-Йоркский университет, Нью-Йорк, штат Нью-Йорк, 10016, Соединенные Штаты Америки

³ Северо-западный институт экологии и ресурсов (NIEER), Китайская академия наук (CAS)

***Аннотация.** Почвенный покров Сибири регулярно нарушается экзогенными процессами, среди которых ведущую роль играет добыча полезных ископаемых открытым способом. В данной работе обсуждается специфика почвообразования в специфических биоклиматических и геокриологических условиях Арктики. Обсуждаются процессы становления профилей почв и факторы, лимитирующие почвовосстановление в условиях криолитозоны.*

***Ключевые слова:** Ямал, горные разработки, геокриология, рекультивация.*

Введение. Криогенные почвы характерны не только для обширных природных экосистем и ландшафтов криолитозоны РФ, но и для многочисленных городских и частично урбанизированных территорий. В связи с разработкой новой законодательной стратегии РФ по отношению к Арктике (8 опорных регионов), внимание ученых к Арктической зоне становится все более и более пристальным. Хотя население Арктического пояса составляет немногим менее 2,5 млн человек, при этом, по некоторым оценкам, до 89,3% от этого числа проживает на урбанизированных территориях. При этом урбанизированные территории представлены либо небольшими городами с населением около 20–50 тысяч человек, либо поселками. Плотность населения в урбанизированных территориях Севера высока, что вызывает коренную трансформацию почвенного покрова и экосистем. Также происходит увеличение мощности деятельного слоя и рисков дальнейшей деградации многолетнемерзлых пород на территории поселений. Горная добыча является неотъемлемым спутником урбанизированных территорий Арктики. Это обуславливает необходимость проведения рекультивации нарушенных земель. При этом не только территории горных разработок требуют рекультивации, но и многочисленные бедленды, а также деградировавшие сельскохозяйственные земли и ландшафты, коренным образом нарушенные функционированием линейных сооружений транспортных артерий. В связи с этим, целью данного исследования является анализ ключевых проблем и вызовов рекультивации земель в Ямальском регионе.

Материалы и методы. Изучены примеры восстановительного почвообразования в инвариантных комбинациях факторов инициального почвообразования в различных природных подзонах Ямальского региона с учетом геокриологических условий и локальных особенностей техногенного неорельефа. Проведена оценка морфогенетических особенностей почв, физических и химических параметров и признаков инициального почвообразования.

Результаты и обсуждение. Проведены полевые исследования почв и почвенного покрова в пределах различных природных хон в различных административных районах Ямало-Ненецкого автономного округа. В ходе экспедиционных исследований проведено изучение почв в следующих населенных пунктах: Салехард, Лабытнанги, Аксарка, Харсаим, Новый и Старый Уренгой, Надым и Старый Надым, Пангоды, Газ-Сале, а также в ряде

объектов, представляющих фоновые экосистемы. Установлены ключевые особенности влияния горной добычи в пригородах урбанизированных экосистем на трансформацию геогенных факторов, структуры ландшафтов и флорогенез карьерно-отвальных комплексов. Важно, в пределах развития техногенных форм неорельефа происходит дивергенция условий увлажнения. Так на возвышенных отвальных позициях формируются сухие и достаточно дренированные местообитания, где долгое время не восстанавливается тундровая или, даже лесотундровая растительности, а доминируют травянистые сообщества, составленные, в том числе, инвазивными многолетними видами растений. Вообще, карьеры и другие горные разработки, во многом связаны с действие линейных транспортных артерий, по которым виды бореальной флоры распространяются далеко на Север. Обратное движение тоже имеет место, однако изучено гораздо слабее. Таким образом, локальные ресурсы биологической рекультивации существенно трансформируются в настоящее время, что может проявиться более существенно в связи с нарастающими темпами изменения климата. Понижения и депрессии рельефа техногенного происхождения отличаются заболачиванием, хотя, такие формы рельефа менее распространены, чем формы рельефа с положительной энергией. Отдельным вопросом является формирование геокриологических условий в толще отвальных грунтов в связи с пространственной неоднородностью мезорельефа. Это крайне недоисследованный фактор, который может определять перспективы горнотехнической и биологической рекультивации земель.

Проведенные исследования показали, что в течение 10–50 лет после прекращения добычи и складирования вскрышных пород в отвалы, почвообразование вовсе не приближается к зональному типу. Крайне долго почвы остаются на стадии первичных, литоземных или пелоземных почв. Для отвалов характерна существенная дивергенция онтогенетической эволюции инициальных почв. В целом, регенерационный потенциал почвообразования невысок, в особенности, в сравнении с почвами карьерно-отвальных комплексов бореального и суббореального поясов.

Выводы. Рекультивация земель на Севере – крайне специфическая задача, связанная с необходимостью принятия множества ситуативных решений в рамках ограниченности литологических и биологических ресурсов рекультивации. Использование природного регенерационного потенциала полярных экосистем является ведущим вызовом для природовосстановления на Ямале.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке РНФ № 24-44-00006.

KEY PROBLEMS OF LAND RECLAMATION IN THE YAMAL REGION

E.V. Abakumov¹, X. Ji², S. Yang³, X. Wu³

¹Saint-Petersburg State University, department of Applied ecology, e_abakumov@mail.ru

²Division of Environmental Pediatrics, Department of Pediatrics, Grossman School of Medicine, New York University, New York, NY 10016, the United States of America,

³Northwest Institute of Eco-Environment and Resources (NIEER), Chinese Academy of Sciences (CAS)

Summary: *The soil cover of Siberia is regularly disturbed by exogenous processes, among which the leading role is played by open-pit mining. This paper discusses the specifics of soil formation in the specific bioclimatic and geocryological conditions of the Arctic. The processes of soil profile formation and factors limiting soil regeneration in cryolithozone conditions are discussed.*

Keywords: *Yamal, mining, geocryology, reclamation.*

УДК 631.45

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА *MISCANTHUS SINENSIS L.* ДЛЯ БИОРЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Аладин Д.Ю.¹, Севостьянов С.М.¹, Демин Д.В.^{1,2}

¹Институт фундаментальных проблем биологии РАН (ИФПБ РАН), Пущино, aladindanila@gmail.com

²Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии (ВНИИФ), Большие Вяземы

Аннотация. Признано, что *Miscanthus sinensis L.* является перспективным фитосорбентом. Выращивание растений проводили в условиях гидропоники при контролируемом содержании свинца и никеля. Разный коэффициент накопления в корнях и зелёной массе наблюдается при повышении концентрации тяжёлых металлов.

Ключевые слова: Мискантус, биоремедиация, тяжёлые металлы, биоаккумуляция.

Фиторемедиация загрязнённых почв и осадочных пород уже применяется для очистки военных полигонов (от тяжелых металлов, органических поллютантов), сельскохозяйственных угодий (пестициды, металлы, селен), промышленных зон (органика, металлы, мышьяк), мест деревообработки. Однако на сегодняшний день практически отсутствуют научно обоснованные критерии для выбора растений с точки зрения их потенциальной способности к фиторемедиации почв.

Фиторемедиация является новой экономически эффективной и экологически чистой технологией, которая использует растения для удаления, преобразования или стабилизации различных загрязнителей в воде, донных отложениях или почве.

Признано, что *Miscanthus sinensis L.* является перспективным фитосорбентом. В последние годы в мировой практике эта культура рассматривается как эффективный возобновляемый энергетический ресурс. Средняя урожайность в Европе для *Miscanthus sinensis L.* 12–20 т/га.

Для проведения эксперимента были выбраны два характерных для загрязненной территории тяжелых металла – свинец и никель. Выращивание растений проводили в условиях гидропоники.

Проведенные лабораторные исследования подтверждают его эффективность.

Результаты по зеленой массе содержания пигментов в растительном материале четко видно, что к окончанию эксперимента у выращиваемых на растворах свинца растениях, происходит возрастание количества хлорофилла а и в, а также каротиноидов с возрастанием концентрации. Для растений на соли никеля видна обратная тенденция, происходит падение данных показателей с ростом концентраций.

Следует отметить, что на растворах с концентрацией 10 ПДК при всех отборах проб фиксируются практически равные показатели хлорофилла а, в и каротиноидов для обеих солей металлов.

Учитывая, что в условиях проведенного опыта на гидропонике, где концентрация металлов непосредственно влияла на растения, в почвенных условиях *Miscanthus sinensis L.* должен иметь высокий уровень устойчивости к повышенным уровням тяжелых металлов,

По коэффициенту биологического накопления в вариантах со свинцом, накопление в зеленой массе (в сухой массе) составило менее единицы, а накопление в корнях – 2,23–3,45. Концентрации свинца в зеленой массе при 30 и 50 ПДК близки (131 и 127 мг/кг

соответственно), то есть поступление свинца в зеленую массу и его накопление ограничено корневой системой.

Таблица 1. Фактическое количество металлов в растениях изъятых для определения показателей

| Вариант | Содержание в сухих корнях, г | Содержание в зеленой массе, г | Соотношение побег/корень |
|-----------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Pb 10 ПДК | 1,886 | 0,197 | 0,105 |
| Pb 30 ПДК | 2,669 | 0,655 | 0,245 |
| Pb 50 ПДК | 5,28 | 0,673 | 0,127 |
| Ni 10 ПДК | 4,3956 | 0,234 | 0,053 |
| Ni 30 ПДК | 8,7058 | 0,8378 | 0,096 |
| Ni 50 ПДК | 21,63 | 7,676 | 0,355 |

По накоплению никеля картина иная. Обращает внимание близкие значения концентраций в вариантах 10 и 30 ПДК и в корнях и зеленой массе. При этом, при 50 ПДК происходит кратное повышение накопленных концентраций никеля, что сопровождалось отмиранием и высыханием большей части наземной части растений. То есть, при концентрации в растворе никеля в диапазоне от 30 до 50 ПДК растения не способны справиться с негативным действием соли никеля.

Таблица 2. Коэффициент биологического накопления металлов в растениях

| Вариант | Содержание ТМ, мг/кг сух. массы | | Содержание ТМ в растворе, мг/л | Коэффициент биологического накопления | |
|-----------|---------------------------------|----------------|--------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| | в зеленой массе | в массе корней | | зеленой массой | в массе корней |
| Pb 10 ПДК | 23,2 | 207 | 60 | 0,39 | 3,45 |
| Pb 30 ПДК | 131 | 402 | 180 | 0,73 | 2,23 |
| Pb 50 ПДК | 127 | 1000 | 300 | 0,42 | 3,33 |
| Ni 10 ПДК | 45 | 660 | 40 | 1,125 | 16,5 |
| Ni 30 ПДК | 59 | 580 | 120 | 0,49 | 4,83 |
| Ni 50 ПДК | 1010 | 4200 | 200 | 5,05 | 21 |

По коэффициенту биологического накопления в вариантах со свинцом, накопление в зеленой массе (в сухой массе) составило менее единицы, а накопление в корнях – 2,23–3,45. Концентрации свинца в зеленой массе при 30 и 50 ПДК близки (131 и 127 мг/кг соответственно), то есть поступление свинца в зеленую массу и его накопление ограничено корневой системой.

По накоплению никеля картина иная. Обращает внимание близкие значения концентраций в вариантах 10 и 30 ПДК и в корнях и зеленой массе. При этом, при 50 ПДК происходит кратное повышение накопленных концентраций никеля, что сопровождалось отмиранием и высыханием большей части наземной части растений. То есть, при концентрации в растворе никеля в диапазоне от 30 до 50 ПДК растения не способны справиться с негативным действием соли никеля. Важным моментом является то, что это хлорид, что само по себе негативно сказывается на росте и развитии растений, а также то, что никель как элемент более подвижен в системах «почва-растение».

При оптимальной продуктивности *Miscanthus sinensis* L., вынос с зеленой массой никеля составляет 1,3 года, свинца 1,4 соответственно. В случае уменьшения продуктивности, время изъятия увеличивается до 3 и 10 лет.

ASSESSMENT OF THE POTENTIAL OF *MISCANTHUS SINENSIS* L. FOR BIOREMEDIATION OF SOIL CONTAMINATED WITH HEAVY METALS

D.Yu. Aladin¹, S.M. Sevostyanov¹, D.V. Demin^{1,2}

¹ Institute of Basic Biological Problems Russian Academy of Sciences (IBBP RAS), Pushchino, aladindanila@gmail.com

² All-Russian Research Institute of Phytopathology, Bolshie Vyazemy

Summary: *Miscanthus sinensis* L. is recognized as a promising phytosorbent. Plants were grown under hydroponic conditions with controlled lead and nickel content. Different accumulation coefficients in roots and green mass are observed with increasing concentrations of heavy metals.

Keywords: *Miscanthus*, bioremediation, heavy metals, bioaccumulation.

Литература

1. Булаткин Г.А., Митенко Г.В. Перспективная энергетическая культура – мискантус китайский // Экологический вестник России. 2013. № 7. С. 31–36.
2. Деева Н.Ф., Сон Б.К., Севостьянов С.М. и др. Оценка потенциала *Miscanthus sinensis* L. для биоремедиации объектов, загрязненных тяжёлыми металлами // Нефтяная столица: Сборник материалов Шестого международного молодежного научно-практического форума, Нижневартовск, 22–23 марта 2023 года. Москва: Центр научно-технических решений (АНО ЦНТР), 2023. С. 378–379
3. Аладин Д.Ю., Азарова А.Б., Севостьянов С.М. и др. Перспектива использования *Miscanthus sinensis* L. для фиторемедиации загрязненных участков бывшего полигона ТКО в почвенно-климатических условиях г. Челябинска // Академический форум молодых ученых стран Большой Евразии «Континент науки»: Сборник тезисов докладов, Москва, 01–04 ноября 2023 года. Москва: Центр научно-технических решений, 2023. С. 291–292.
4. Хомякова М.А. Экономические перспективы выращивания мискантуса в Российской Федерации // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. 2023. № 3(19). С. 48–52.

УДК:631.618

ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ КУЗБАССА

В.А. Андроханов, В.П. Данилов

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, androhanov@issa-siberia.ru

***Аннотация.** В настоящее время в Кузбассе согласно различным данным, только угольными разрезами нарушено более 70 тыс. га природных ландшафтов. При этом технологии отработки угольных месторождений не позволяют относительно быстро выполнять рекультивационные работы, что приводит к формированию значительных площадей нарушенных земель, на которых постепенно в результате естественных процессов самовосстановления формируется растительный и почвенный покров. Поэтому возникает необходимость оценки экологического состояния таких территорий. В статье приводится методика по оценке почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов Кузбасса, основанная на анализе процессов формирования нового почвенного покрова на отвалах угольных разрезов. Скорость развития молодых почв – эмбриозёмов может служить объективным критерием оценки почвенно-экологического состояния нарушенных территорий. Использование этого подхода позволило охарактеризовать современное почвенно-экологическое состояние нарушенных территорий в различных природно-техногенных комплексах Кузбасса и оценить перспективы восстановления нарушенных земель в Кузбассе.*

***Ключевые слова:** почва, рекультивация, состояние, природно-техногенные комплексы, экология, фитоценоз, нарушенные земли.*

Актуальность. Территория Кемеровской области (Кузбасса) богата наличием различных месторождений полезных ископаемых, которые активно разрабатываются достаточно длительное время. В конце XX, начале XXI века произошло значительное увеличение добычи угля, основного ресурса Кузбасса, особенно открытым способом, что привело к увеличению тотально нарушенных территорий и формированию новых природно-техногенных ландшафтов, которые согласно российскому законодательству необходимо рекультивировать [1, 2]. На основных этапах отработки месторождений невозможно выполнять рекультивационные работы на больших площадях, что приводит к постоянному увеличению территории нарушенных земель. По разным оценкам в настоящее время в Кузбассе горнодобывающими работами нарушено около 100 тыс. га., а рекультивировано, в основном по лесному направлению, около 15 тысяч га [3]. Значительная часть нарушенных земель оставлена под естественное восстановление, что не всегда способствует развитию растительного и почвенного покрова. Поэтому в настоящее время работы по оценке почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов остаются весьма актуальными для Кузбасса.

Объекты и методы исследования. Исследования выполнялись на техногенных ландшафтах, расположенных в различных природно-техногенных условиях Кузбасса. С учетом ранее выполненного природно-техногенного районирования [3, 4], на территории Кузбасса выделено 8 крупных природно-техногенных комплексов (ПТК), которые различаются по расположению угольных месторождений, природно-климатическим условиям, составу техногенных пород и технологии формирования техногенных ландшафтов, а также по структуре почвенного покрова в районах размещения техногенных объектов. Природно-климатические и экологические условия расположения техногенно нарушенных

земель необходимо учитывать при планировании рекультивационных работ, а также они во многом определяют перспективы естественного восстановления растительности и почв на техногенных ландшафтах. Основные природно-климатические параметры в районах формирования ПТК приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные климатические условия в ПТК Кузбасса

| ПТК | Разрезы | Сумма осадков, мм | Среднегодовая температура, С° | Сумма биологически активных температур, С° |
|---------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Кемеровский | Кедровский Черниговский | 400–450 | 2–2,5 | 1900 |
| Беловский | Бачатский Моховский | 300–350 | 2–3 | 2100 |
| Восточно-Кузбасский | Караканский Черемшанский | 350–400 | 2–3 | 2000 |
| Киселевский | Прокопьевский Краснобродский | 400–450 | 2,5–3,0 | 2050 |
| Талдинский | Ерунаковский Талдинский | 350–400 | 2–2,5 | 2000 |
| Новокузнецкий | Листвянский Байдаевский | 450–500 | 2,5–3,5 | 2000 |
| Осинниковский | Калтанский Малиновский | 650–700 | 3–4 | 2100 |
| Междуреченский | Красногорский Ольжерасский | 750–800 | 1–2 | 1800 |

Приведенные климатические параметры показывают различия в обеспечении биоценозов на данных территориях тепловыми ресурсами и влагой атмосферных осадков. В целом для Кузбасса, для основных направлений рекультивации климатических ресурсов вполне достаточно, но для центральных участков Кузнецкой котловины (Беловский ПТК) наблюдается недостаток атмосферного увлажнения, а для горно-таежной (Междуреченский ПТК) зоны некоторый дефицит тепловых ресурсов. На остальных территориях Кузбасса природно-климатические условия благоприятны для восстановления нарушенных земель.

Для оценки почвенно-экологического состояния на техногенных ландшафтах, в первую очередь, необходимо учитывать состав и свойства пород, размещенных на поверхности и состояние биоценозов сформировавшихся на поверхности отвалов. После окончания формирования отвала, породы под действием абиотических и биотических факторов начинают постепенно разрушаться, трансформироваться и выполнять функции почвообразующего субстрата. Так как почвообразование – есть способ преобразования исходного субстрата, от свойств пород будет зависеть скорость образования новых почв, а также уровень развития всего комплекса биоценозов на техногенных ландшафтах и почвенно-экологическое состояние ПТК. Для территории Кузбасса наиболее благоприятными породами для восстановления почв на поверхности отвалов являются лессовидные суглинки и покровные глины, наименее пригодными плотные песчаники и алевролиты. Поэтому почвенно-экологическая оценка состояния ПТК Кузбасса проведена на основе анализа сингенетического развития растительного и почвенного покрова на поверхности отвалов [5].

Обсуждение результатов. Многолетние исследования сотрудников лаборатории Рекультивации почв ИПА СО РАН на техногенно нарушенных территориях позволили

установить этапность формирования биоценозов и почв на различных техногенных объектах [6]. При этом же была выявлена сингенетичность развития процессов восстановления растительных сообществ и развития новых, молодых почв – эмбриозёмов [7]. Это позволило сформулировать основы классификации почв техногенных ландшафтов [8]. Эта классификация отражает многообразие почв техногенных ландшафтов и является теоретическим фундаментом понимания процессов почвообразования в техногенных ландшафтах. Разработанная классификация предназначена не только для определения таксономического статуса почв техногенных ландшафтов, но и для картографирования поверхности нарушенных земель, определения структуры и состава почвенного покрова, а также для определения уровня саморазвития почв и оценки почвенно-экологического состояния техногенного объекта.

В настоящее время термин «почвенно-экологическое состояние» начинает широко использоваться для характеристики состояния различных территорий. При этом официальным можно считать термин «экологическое состояние территории» [9] и этот термин используется для оценки экологического состояния любого объекта и любого компонента природной среды, в том числе и почвенного покрова. Понятие «почвенно-экологическое состояние» техногенного ландшафта можно считать частным случаем этого термина. Однако принципиальным различием здесь является то, что понятие почвенно-экологическое состояние техногенного ландшафта направлено на решение общеэкологической задачи – диагностики состояния территории, точнее техногенного ландшафта, в плане оценки перспектив самовосстановления в этом ландшафте почв и почвенного покрова как базового компонента любой наземной экосистемы. По этой причине термин почвенно-экологическое состояние техногенного ландшафта мы определяем как способность сформированного ПТК обеспечивать развитие определенного уровня почвообразования и в конечном счете восстановление всех компонентов экосистемы.

Поскольку поверхность техногенного ландшафта в любой момент времени представлена почвенным покровом с набором различных типов – эмбриозёмов, элювиозёмов и технозёмов, а каждый тип этих почв формирует свой уровень жизнеобеспеченности биоценозов, то общее почвенно-экологическое состояние техногенного ландшафта может быть количественно охарактеризовано соотношением площадей, занятых тем или иным типом почв. Таким образом, диагностика почвенно-экологического состояния техногенного ландшафта должна осуществляться посредством картографирования почвенного покрова и анализа развития растительных сукцессий на поверхности техногенного объекта.

Проведенные исследования показали, что скорость восстановления растительности и почв во многом зависит от почвенно-экологических условий, которые формируются на техногенном этапе формирования нарушенных территорий. При этом чем быстрее идет эволюция почв, тем больше функций ландшафта восстанавливается, тем лучше почвенно-экологическое состояние. При естественном восстановлении нарушенных земель динамику почвенно-экологического состояния логично оценивать по скорости формирования наиболее развитого типа молодых почв – эмбриозёма гумусово-аккумулятивного. В зависимости от скорости формирования этих почв возможно разделить условия почвообразования на следующие пять категорий:

- неудовлетворительные, при которых почвообразование вообще не идет и почвы в течение прагматически приемлемого срока (20 лет) остаются на начальном этапе – эмбриозёмами инициальными;
- удовлетворительные, при которых почвообразовательные процессы идут медленно и в указанное выше время не приводят к образованию эмбриозёмов гумусово-аккумулятивных;
- хорошие, при которых эмбриозёмы гумусово-аккумулятивные формируются за период в 20 или несколько более лет;
- очень хорошие, при которых эмбриозёмы гумусово-аккумулятивные формируются за 10–20 лет;

– отличные, при которых эмбриоземы гумусово-аккумулятивные формируются за период короче 10 лет [10].

Сразу заметим, что очень хороших и отличных условий почвообразования в техногенных ландшафтах Кузбасса нами практически не зафиксировано.

Обследование техногенных ландшафтов Кузбасса по разработанной методике, позволило оценить современное состояние нарушенных земель образовавшихся в результате разработки угольных месторождений. Оценка почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов Кузбасса дает следующую картину (табл. 2). На сегодняшний день почти треть (30,5%) всей площади нарушенных открытой разработкой земель представлено техногенной пустыней с неудовлетворительным почвенно-экологическим состоянием и только немногим более десятой части (13,5%) находится в хорошем почвенно-экологическом состоянии и не требует рекультивации. Наибольшие площади нарушенных земель характеризуются удовлетворительным почвенно-экологическим состоянием и в настоящее время на этих территориях формируется растительный покров, однако нет достаточных условий для быстрого развития почвообразовательных процессов.

Таблица 2. Интегральная оценка почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов каменноугольных разрезов Кузбасса

| Состояние | Количество техногенных ландшафтов | |
|----------------------|-----------------------------------|--------------------|
| | га | % от общей площади |
| Неудовлетворительное | 22021 | 30,5 |
| Удовлетворительное | 39900 | 55,3 |
| Хорошее | 9747 | 13,5 |
| Очень хорошее | 542 | 0,7 |
| Отличное | Нет | Нет |
| Итого: | 72200 | 100 |

Такое почвенно-экологическое состояние нарушенных земель на угольных разрезах Кузбасса обусловлено неселективной обработкой угольных месторождений и хаотичным складированием вскрышных пород в отвалы. При этом наименее пригодные для почвообразования породы оказываются на поверхности отвалов, что значительно снижает скорость преобразования этих субстратов в почвы. Наибольшее количество техногенных объектов с неудовлетворительным почвенно-экологическим состоянием находится в Беловском и Киселевском ПТК, так как здесь дополнительным лимитирующим фактором становится небольшое количество атмосферных осадков, что совместно с каменистыми породами создает дефицит увлажнения для развития фитоценозов на поверхности нарушенных территорий.

Заключение. Приведенные материалы показывают, что разработанная методика оценки почвенно-экологического состояния техногенного ландшафта, может объективно оценивать перспективы восстановления нарушенных земель на угольных разрезах Кузбасса. Выполненные исследования показали, что более 30% нарушенных земель остро нуждаются в выполнении рекультивационных работ, более половины нарушенных земель также должны быть рекультивированы согласно проектам рекультивации и только около 14% нарушенных земель могут постепенно восстановиться до определенного экологически безопасного уровня. Таким образом почвенно-экологическое состояние определяет характер, скорость и направленность почвообразования на техногенно нарушенных территориях на любой стадии самовосстановления нарушенных земель, а набор типов эмбриоземов в почвенном покрове и соотношение их площадей адекватно отражают различия сформированных местообитаний и перспективы восстановления разрушенных экосистем.

SOIL-ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE STATE OF MAN-MADE LANDSCAPES OF KUZBASS

V.A. Androhanov, V.P. Danilov

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, androhanov@issa-siberia.ru

Summary: According to various sources, more than 70 thousand hectares of natural landscapes have been disturbed in Kuzbass by open-pit coal mines alone. At the same time, coal mining technologies do not allow for relatively quick reclamation work, which leads to the formation of significant areas of disturbed lands, on which vegetation and soil cover are gradually formed as a result of natural self-restoration processes. Therefore, there is a need to assess the ecological state of such territories. The article presents a methodology for assessing the soil and ecological state of technogenic landscapes in Kuzbass, based on the analysis of the processes of new soil cover formation on coal mine dumps. The rate of development of young soils - embryozems can serve as an objective criterion for assessing the soil and ecological state of disturbed territories. The use of this approach made it possible to characterize the current soil and ecological state of disturbed territories in various natural and technogenic complexes of Kuzbass and to assess the prospects for restoring disturbed lands in Kuzbass.

Key words: soil, reclamation, condition, natural and man-made complexes, ecology, phytocenosis, disturbed lands.

Литература

1. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Кемеровской области (на 15.06.2020 г.) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202011/b689bdea84fdb2a34e12d4e178eb3886.pdf>
2. ГОСТ Р 59057-2020. Охрана окружающей среды. Земли. Общие требования по рекультивации нарушенных земель. М: Стандартинформ, 2020.
3. Потапов В.П., В.П. Мазикин В.П., Счастливец Е.Л., Вашлаева Н.Ю. Геоэкология угледобывающих районов Кузбасса. Новосибирск: Наука, 2005. 650 с.
4. Трофимов С.С. Экология почв и почвенные ресурсы Кузбасса. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1975. 300 с.
5. Андроханов В.А., Курачев В.М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2010. 224 с.
6. Гумусообразование в техногенных ландшафтах. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1986. 166 с.
7. Андроханов В.А. Сингенез почвенно-генетических и биологических процессов в техногенных ландшафтах Кузбасса // Вестник Томского государственного университета. 2003. №7. С. 16–23.
8. Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1992. 305 с.
9. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия от 30 ноября 1992 года [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901797511>
10. Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 205 с.

ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕХНОЗЕМОВ В ГОРНО-ТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЕ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ – КУЗБАССА

А. Баранов, И.С. Семина

Сибирский государственный индустриальный университет, abaranov199@mail.ru

***Аннотация.** В данной работе рассматривается фракционный состав, а также минеральный состав техноземов литогенных, сформированных на отвале в горно-таежной подзоне Кемеровской области – Кузбасса. Установлено количество содержания определенных фракций на разных глубинах, выявлены существенные различия между участками, сложенных разными вскрышными и вмещающими горными породами. Практически во всех техноземах, количество крупной фракции с глубиной увеличивается, а количество мелкозема уменьшается.*

***Ключевые слова:** техногенный ландшафт, технозем, корнеобитаемый слой, фракционный состав, каменистость.*

В Кемеровская область – Кузбасс является одним из лидеров по добыче угля, как открытым, так и подземным способом. Однако, эксплуатация месторождений полезных ископаемых приводит к нарушению естественных территорий и образованию техногенных ландшафтов. В результате деятельности угледобывающих предприятий образуются техногенные ландшафты, сложенные вскрышными и вмещающими осадочными породами. Данные ландшафты отличаются от исходных природных образований составом, строением и свойствами и нуждаются в рекультивации.

Почвенно-экологическая эффективность проведенных рекультивационных работ зависит от свойств и параметров техногенных почв, лимитирующих или стимулирующих выполнение ими своих экологических функций. На почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов особое влияние оказывают физические свойства почв.

Цель работы – исследование физических свойств (фракционного состава и плотности) техноземов литогенных, сформированных на техногенном отвале в горно-таежной подзоне Кемеровской области – Кузбасса. В качестве объекта исследования были выбраны экспериментальные участки, расположенные на техногенном ландшафте (внешнем отвале).

Геологическое строение разреза характеризуется наличием комплексом континентальных, лагунных и прибрежно-морских отложений различных геологических систем, начиная от карбона и заканчивая четвертичной. Основные типы выносимых горных пород представлены песчаниками, алевролитами, аргиллитами, известняками, туфоконгломератами и суглинками. На основании петрографического и минералогического составов следует, что вскрышные породы представлены песчаниками, алевролитами, реже аргиллитами и рыхлыми породами. Представленный песчано-глинистый комплекс состоит из слабометаморфизованных пород, среди которых преобладают разномерные, в основном алевролиты и песчаники (рис. 1). Песчаники светло-серой окраски с разномерной текстурой, от слабослоистой до беспорядочной. Структура, в основном, псаммитовая. Цемент в породе (в среднем около 15%); по типу цемента в песчаниках пленочно-поровый. Смесь алевролитов и аргиллитов представлена в виде однородной массы (рис. 2). Структура скрытокристаллическая. Цвет серый. Основной минеральный состав: гидромусковит, кварц (мелкокристаллический в основной массе), кальцит (жилистые включения в основной массе), углистое вещество и глинистая масса (отмечено присутствие агрегатов монтмориллонита). Рудные минералы представлены гетитом.

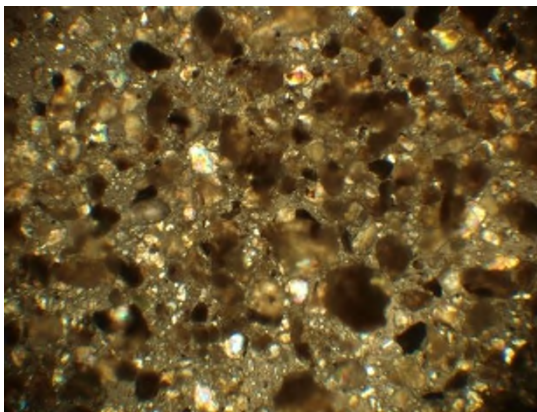


Рисунок 1. Песчаник. Проходящий свет. Ув. 100х.



Рисунок 2. Аргиллит. Отраженный свет, ув. 200Х.

Добыча угля осуществляется открытым способом. Корнеобитаемый слой практически на всех экспериментальных участках представлен четвертичными отложениями (суглинками с включением каменистых отдельностей). Корнеобитаемый слой экспериментального участка № 10 представлен техногенным элювием из обломков песчаника, алевролитов, аргиллитов и углистых частиц.

Следует отметить, что важной составляющей физических свойств техногенных почв (техноземов) является их гранулометрический состав. Гранулометрический состав оказывает влияние на все физические свойства почв, такие как порозность, плотность сложения, водопроницаемость, влагоемкость, воздушный и гидротермический режимы и др.

На поверхности техногенного отвала сформированы техногенные почвы – техноземы литогенные. Для названия почв использовалась профильно-генетическая классификация почв техногенных ландшафтов, разработанная в ИПА СО РАН [2, 3].

Для выполнения исследований фракционного состава и дальнейшего наблюдения за изменением состояния (агрехимического, физического, химического и минералогического) техногенных почв (техноземов) на каждом экспериментальном участке были размещены мониторинговые (пробные) площадки в трехкратной повторности (размером 10×10 метров). Данные площадки расположены на горизонтальной поверхности с разными лесными культурами.

Экспериментальные участки: № 1 – т. 1.1; т. 1.2, т. 1.3 с лесными культурами (Ель сибирская, Лиственница сибирская); № 2 – т. 2.1; т. 2.2, т. 2.3 с лесными культурами (Сосна обыкновенная, Лиственница сибирская); № 3 – т. 3.1; т. 3.2, т. 3.3 с лесными культурами (Ель сибирская, Сосна обыкновенная); № 4 – т. 4.1; т. 4.2, т. 4.3 с лесными культурами (Липа сердцелистная, Кедр сибирский, Пихта сибирская); № 5 – т. 5.1; т. 5.2, т. 5.3 с лесными культурами (Липа сердцелистная, Рябина сибирская, Черемуха сибирская, Калина сибирская,

Осина, Таволга средняя); № 10 – т. 10.1; т. 10.2, т. 10.3 с лесными культурами (Ель сибирская, Пихта сибирская, Сосна обыкновенная).

Результаты лабораторных исследований фракционного состава техноземов приведены в [4].

На основании полученных результатов, можно отметить, что в основном, практически во всех техноземах, количество крупной фракции с глубиной увеличивается, а количество мелкозема уменьшается. Особенно следует отметить, что по сравнению с другими площадками фракционный состав участка № 10 (т. 10.1, т. 10.2 и т. 10.3) значительно отличается от остальных, в профиле техногенного элювия данного участка преобладает крупная фракция диаметром более 10 мм, количество которой изменяется от 46% (т. 10.3) на глубине 5–20 см до 52% (т. 10.1) на глубине 0–5 см, тем самым в несколько раз превышает содержание аналогичной фракции на большинстве предыдущих 12 мониторинговых площадках. Количество мелкозема (мелкие частицы диаметром <1 мм) изменяется от 9% (т. 10.2) на глубине 5–20 см до 14% (т. 10.1) в верхнем слое (0–5 см), на всем участке количество крупной каменистой фракции и мелкозема с глубиной уменьшается на несколько процентов. Высокая каменистость данного участка обусловлена составом слагающих пород [4]. Большая доля крупной каменистой фракции влияет на физические свойства, увеличивается водопроницаемость, влага для растений становится труднодоступной для биологических процессов, устанавливаются неблагоприятные гидротермические условия, и соответственно ухудшает почвенно-экологическую эффективность рекультивации нарушенных земель.

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств ФГБОУ ВО «СибГИУ», договор № 199/2024/НиИД от «17.06.2024г.».

OF PHYSICAL PROPERTIES OF TECHNOSOILS IN THE GORNO-TAIGA SUBZONE OF THE KEMEROVO REGION - KUZBASS

A. Baranov, I.S. Semina

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, abaranov199@mail.ru

Summary: *This article deals with the fractional composition and mineral composition of lithogenic technozems formed on the waste dump in the mountainous taiga subzone of the Kemerovo region - Kuzbass. The amount of content of certain fractions at different depths was determined, significant differences between the areas composed of different overburden and host rocks were revealed. Practically in all technozems, the amount of coarse fraction increases with depth, and the amount of fine fraction decreases.*

Keywords: *technogenic landscape, technosoil, root layer, fractional composition, stoniness.*

Литература

1. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 415 с.
2. Гаджиев И.М., Курачев В.М. Генетические и экологические аспекты исследования и классификации почв техногенных ландшафтов // Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1992. С. 6–15.
3. Курачев В.М. Классификация почв техногенных ландшафтов / В.М. Курачев, В.А. Андроханов // Сиб. экол. журнал. 2002. № 3. С. 255–261.
4. Баранов А. Оценка фракционного состава техноземов, сформированных на техногенном отвале в горно-таежной подзоне Кемеровской области – Кузбасса // Материалы XII Инновационного конвента – 2024. С. 261–263.

УДК 631.4

ВЛИЯНИЕ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ НИТРАТНОГО АЗОТА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

Е.А. Горбунова

Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности Российской академии наук – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (НИЦЭБ РАН – СПб ФИЦ РАН),
gea-93@mail.ru

***Аннотация.** В трехлетнем опыте произведена оценка содержания нитратного азота в процессе фиторемедиации нефтезагрязненной дерново-подзолистой почвы после посева многолетних трав. Установлено положительное влияние бобовых на увеличение содержания нитратного азота в почве и состояние травянистого покрова.*

***Ключевые слова:** нефтяное загрязнение, рекультивация почвы, деструкция нефти, нитратный азот, фиторемедиация, многолетние травы.*

Актуальность. Нефть является распространенным техногенным загрязняющим веществом, при разливах которой на длительное время нарушается нормальное функционирование почвенной экосистемы, ухудшается плодородие, меняется интенсивность и направленность окислительно-восстановительных процессов. При загрязнении в почве изменяется живая экосистема, происходит снижение основных элементов питания растений, ухудшается водно-воздушный режим, азотный режим и уменьшается доступность подвижных форм минеральных элементов [1].

Ликвидировать остатки нефтепродуктов и снизить загрязнение можно с помощью высева трав, но способность различных растений произрастать в условиях нефтяного загрязнения неодинакова. Выявление и изучение растений, способных не только произрастать на нефтезагрязненных почвах, но и стимулировать восстановление их функций является важнейшим аспектом рекультивации почв. Процесс фиторемедиации, основан на применении растений, их способности перерабатывать загрязнения, а также активизировать деятельность почвенных микроорганизмов при загрязнении, обеспечивая их доступными формами необходимых питательных элементов [2, 3].

Объекты и методы исследования. Объектами исследований являлась нефтезагрязненная дерново-подзолистая почва после посева многолетних трав. Варианты опыта включали засев участка многолетними злаковыми травами (овсяница красная, тимофеевка луговая, райграс пастбищный, мятлик луговой. Опыт 1). Во втором варианте, были дополнительно введены в травосмесь бобовые виды растений (клевер луговой и люпин многолетний). Наблюдения проводились в течении 2021, 2022 и 2023 годов.

Загрязнение почв сырой нефтью проводили в условиях полевых мелко-деляночных опытов, заложенных на территории Ленинградской области в 2020 году. Загрязнение почв сырой нефтью осуществилось путем нанесения различных доз нефти: 0,7; 1,4; 4,0; 10,0 л на квадратный метр. Площадь делянок 1 м², повторность опытов четырехкратная. Загрязнение нефтью проводили после перекопки и разравнивания окультуренной дерново-подзолистой почвы. Почва на опытных загрязнённых участках после нанесения нефти перемешивались на глубину 20 см (зона основного распространения корневых систем). Контролем служил участок без нанесения нефти.

Использованы следующие методы почвенных исследований: рН водной суспензии (потенциометрия); содержание нитратного азота дисульфифеноловым методом.

Обсуждение результатов. Агрохимические показатели почв на момент заложения опыта характеризовались следующими показателями. Содержание подвижного фосфора в почве составляло 30 мг/100 г, калия 28 мг/100 г. Содержание нитратного азота на контрольном участке в течение срока наблюдения колебалось по годам от значений 3,46 до 27,51 мг/100 г почвы. Реакция среды (рН) при заложении опыта была равна 7,52.

Почвенные пробы для определения химических показателей отбирались в середине вегетационного периода. В первый год отмечалось ингибирование роста и развития растений при повышенных количествах внесенной дозы нефти и увеличение органического вещества на 1-3% по сравнению с контролем за счет внесения углерода нефти. Посев и посадка растений на умеренно и слабозагрязненной почве ускоряет разложение нефтепродуктов за счет увеличения аэрации при развитии корневых систем. Кроме того, в процессе роста и развития растений, корневые системы растений выделяют биологически активные вещества, стимулирующие рост микроорганизмов, а поглощение CO₂ и продуцирование кислорода ускоряет деградацию нефтяных углеводородов.

Определение содержания нитратных форм азота проводилось ежегодно (табл. 1). Показатели зависели от изначального уровня внесенной нефти. По результатам первого года наблюдений в опыте №1 (посев злаковых культур) содержание нитратной формы азота (N-NO₃⁻) после посева злаковых культур при уровне загрязнения 0,7 л/м² уменьшилось на 38,8% по отношению к незагрязненной контрольной почве. При уровне 1,4 л/м² количество N-NO₃⁻ уменьшилось на 44,7%. При загрязнении 4,0 л/м² количество N-NO₃⁻ осталось на том же уровне 44,9%, а при 10 л/м² нитратная форма снизилась до 57,7%. С 2021 года по 2023 год, содержание нитратного азота в почве по годам в зависимости от дозы нефтезагрязнения максимально снизилось до 68,1%.

В опыте №2 (с включением в травосмеси бобовых культур), содержание нитратного азота характеризовалось следующими показателями (табл. 1). При уровне загрязнения 0,7 л/м² количество N-NO₃⁻ уменьшилось на 26,3% по отношению к «чистой» почве. При уровне 1,4 л/м² количество N-NO₃⁻ уменьшилось на 33,0%. При загрязнении 4,0 л/м² количество N-NO₃⁻ снизилось на 37,5%, а при 10 л/м² нитратная форма снизилась до 48,0%. С 2021 года по 2023 год, содержание нитратного азота в почве по годам в зависимости от дозы нефтезагрязнения максимально снизилось до 60%.

Таблица 1. Содержание N-NO₃⁻ в слое 0–20 см нефтезагрязненной почвы на опытных площадках в зависимости от дозы внесенной нефти

| Доза внесенной нефти, л/м ² | N-NO ₃ ⁻ , мг/100 г почвы | | | | | |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------|--------|--------|--------------------------------------|--------|--------|
| | Опыт 1 | | | Опыт 2 | | |
| | Злаковые культуры | | | Злаковые культуры + бобовые культуры | | |
| | 2019 г | 2020 г | 2021 г | 2019 г | 2020 г | 2021 г |
| 0,7 | 2,82 | 1,86 | 20,52 | 6,90 | 3,24 | 20,52 |
| 1,4 | 2,55 | 1,76 | 17,85 | 6,27 | 3,00 | 19,17 |
| 4,0 | 2,55 | 1,46 | 12,54 | 5,85 | 2,85 | 18,90 |
| 10,0 | 1,95 | 1,12 | 11,10 | 3,93 | 2,82 | 16,63 |

Результаты исследований показывают относительное накопление нитратного азота в почвах площадок, на которых были высеяны злаковые культуры с включением бобовых. Визуальные наблюдения, проведенные за опытными площадками, также показали преимущества введения в высеваемые травосмеси при фиторемедиации нефтезагрязненных почв бобовых культур. Травостой и проективное покрытие на этих площадках был выше на 5-10% по сравнению с посевами только злаковых культур.

Выводы:

1. В результате воздействия нефтяного загрязнения нарушается азотный режим почвы, подавляется процесс нитрификации, что приводит к азотному голоданию у растений.

2. При загрязнении почв нефтью происходит угнетение роста и развития растений в следствии нарушения режима питания растения

3. Опытные посевы показали преимущества введения в травосмеси при фиторемедиации нефтезагрязненных почв бобовых культур.

THE EFFECT OF OIL POLLUTION ON THE CONTENT OF NITRATE NITROGEN IN SOD-PODZOLIC SOIL

E.A. Gorbunova

Saint-Petersburg Scientific Research Centre for Ecological Safety – a separate structural subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science «Saint-Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences», gea-93@mail.ru

Summary: In a three-year experiment, the nitrate nitrogen content was estimated in the process of phytoremediation of oil-contaminated sod-podzolic soil after sowing perennial grasses. The positive effect of legumes on an increase in the content of nitrate nitrogen in the soil and the state of the herbaceous cover has been established.

Keywords: *oil pollution, soil reclamation, oil degradation, nitrate nitrogen, phytoremediation, perennial grasses.*

Литература

1. Полонский В.И., Полонская Д.Е. Реакция растений на низкие уровни нефтезагрязнения почвы // Сиб. вестн. с.-х. науки. 2009. № 8. С. 18–22.
2. Максименко А.П. О новой технологии очистки почвы, загрязненной нефтью / А.П. Максименко, В.А. Герш // Агро XXI. 2009. № 1–3. С. 56–57.
3. Хлыбов К.Н., Заболотских В.В. Фиторемедиация нефтезагрязненной почвы // Сборник трудов седьмого международного экологического конгресса (девятой международной научно-технологической конференции). 2019. №5. С. 142–149.

УДК 624.131.47:528.931.3:622.271.45(571.513):[528.344:629.783]

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ ХАКАСИИ ПО ДАННЫМ SENTINEL-2

А.А. Жуков, Е.Ю. Жукова

ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Абакан,
flk19@mail.ru

***Аннотация.** В работе представлены результаты картографирования растительности шести тестовых участков отвалов угольных разрезов и одного участка лигниновых полей гидролизного завода в Республике Хакасия за 2020–2022 гг. Картографирование проведено по методу дерева решений. В качестве исходных данных взяты снимки Sentinel-2, по которым был рассчитан вегетационный индекс NDVI. Результаты показали, что тестовые участки имели высокий процент покрытия древесно-кустарниковой растительностью – свыше 60%. Водные источники практически отсутствуют. Состояние растительности сильно зависит от метеорологических параметров. Наиболее благоприятным был 2021 г.*

***Ключевые слова:** растительность, картографирование, NDVI, NDWI, Sentinel 2, отвалы угольных разрезов, Хакасия.*

В Республике Хакасия, где сосредоточены значительные запасы угля (5,3 млрд. тонн угля), активно развивается горнодобывающая промышленность. В результате, образуются отвалы горных пород, занимающие тысячи гектаров, которые затем подвергаются рекультивации или зарастают естественным путем. На формирующихся отвалах угольных разрезов формируется специфичная растительность. Динамические сукцессионные процессы быстро меняют облик техногенных ландшафтов. Спутниковые системы позволяют оперативно отследить эти изменения и провести количественную оценку состояния растительности.

В Хакасии проводились исследования отвалов по данным Landsat. В Хакасии число угольных разрезов с 1985 до 2021 гг. возросло с 3 до 9, площадь нарушенных земель с 2560 до 7334 га. На 640 га отвалов Черногорского и Изыхского месторождений появилась древесная растительность. В 2016–2021 гг. выявлено, что гребневидная поверхность отвала способствовала восстановлению экосистем. На 297 га отвалов с 2005 г. проведена лесная рекультивация. Требуется рекультивация еще для 3610 га. Общий тренд площади нарушенных земель положительный [1, 2].

Цель исследования – провести картографирование растительности отвалов угольных разрезов Республики Хакасия на примере тестовых участков с использованием спутниковых данных Sentinel-2.

Район исследования характеризуется континентальным субаридным климатом с большой амплитудой колебания среднемесячных температур. Среднегодовое количество осадков – 250 мм. Рельеф – равнинный, слабохолмистый, значительно изменен в результате угледобывающей деятельности (высота отвалов в среднем 400 м, протяженность в среднем 2–4 км, отвалы насыпаны железнодорожным или автомобильным способами). Гидрографическая сеть представлена реками Абакан и Енисей, а также мелкими пресными водоемами. Почвенный покров территории представлен южными и обыкновенными черноземами, в меньшей степени каштановыми. Зональную растительность настоящие мелко-дерновинные степи, встречаются также крупнодерновинные и опустыненные степи [3]. Рядом с отвалами расположены залежи – заброшенные сельскохозяйственные поля. Растительность значительно изменена в ходе формирования отвалов и рекультивационных мероприятий.

В работе использовали данные спутника Sentinel-2 Европейского космического агентства. Для обработки снимков и расчета показателей использовали программу SNAP. Этапы обработки данных:

1. расчет вегетационного индекса NDVI для снимков Sentinel 2, 2020–2022 г.;
2. применение маски кучевых и перистых облаков и теней от облаков;
3. составление карт пространственного распределения вегетационного индекса методом дерева решений и векторизация получившихся растров;
4. извлечение и анализ количественных данных.

На отвалах разреза «Черногорский» и «Изыхский» выбрано по три участка (001Cher, 002Cher, 003Cher, 004IZ_old, 005IZ_old, 006IZ). Отдельно в качестве примера техногенно нарушенной территории был взят участок лигниновых полей закрытого гидролизного завода (007Gydro).

На участке 004IZ_old доминирующей древесной породой являлась *Pinus sylvestris*. На остальных участках доминировал *Ulmus pumila*. На участке 007Gydro преобладали *Cerasus fruticosa*, *Urtica cannabina*, *Phragmites australis* и *Solanum nigrum*.

К началу июля хорошо развита растительность, листья деревьев достигли своих нормальных размеров. Влияние фактора засухи снижено, т.к. температура воздуха не достигает максимума.

Карты индексов растительности за июль 2020–2022 г. представлены в на рисунке 1, легенда в таблице 1.

На рисунке 1 заметны зоны наибольших значений вегетационного индекса (0,7–1,0). Для участков 002Cher и 003Cher карту распределения вегетационных индексов невозможно построить из-за отсутствия данных в период близкий к 4 июля. Для всех регионов интереса наиболее благоприятным для растительности оказался 2021 г., где наблюдалось широкое распространение высокопродуктивных классов растительности (1,0–0,7). Распределение этих классов, в целом, совпадает с древесной растительностью. На втором месте 2020 г., а 2022 г. был сравнительно неблагоприятным для растительности.

Как видно из таблицы 1 и рисунка 1, на всех участках практически отсутствуют классы от -1,0 до 0,2. Это свидетельствует о небольшом количестве водных объектов, открытого грунта и разреженной растительности. В 2022 г. наибольшее количество классов от 0,5 до 0,6 – от 15,4 % до 43,0 %; от 0,6 до 0,7 – от 15,2% до 30,2%; от 0,8 до 1,0 – от 0,9 до 16,7%, при этом на четвертом участке этот класс отсутствовал. В 2021 г. увеличилась доля класса 0,8–1,0 на всех участках, что связано с погодными условиями. В 2020 г. доля данного класса была меньше, чем в 2021 г. На участках 002Cher и 003Cher нет данных для сравнения.

Хорошо развита древесная растительность на 004IZ_old и 006IZ. Высокие значения NDVI отмечены и для 007Gydro (в средней и в южной части), динамичность полей связана с затоплением территории и пожарами.

В условиях субаридного климата Хакасии, даже в неблагоприятное время, доля растительности со средними и высокими показателями вегетационного индекса на исследуемых участках составила не менее 64,0%. Это отражает наземные данные о том то, что растительность тестовых участков покрыта высокопродуктивной растительностью, преимущественно древесно-кустарниковой.

Агрегация и автоматизация обработки картографических данных о растительности отвалов угольных разрезов будет способствовать развитию и оценке эффективности лесоклиматических проектов при рекультивации отвалов, принятию обоснованных управленческих решений в данном направлении.

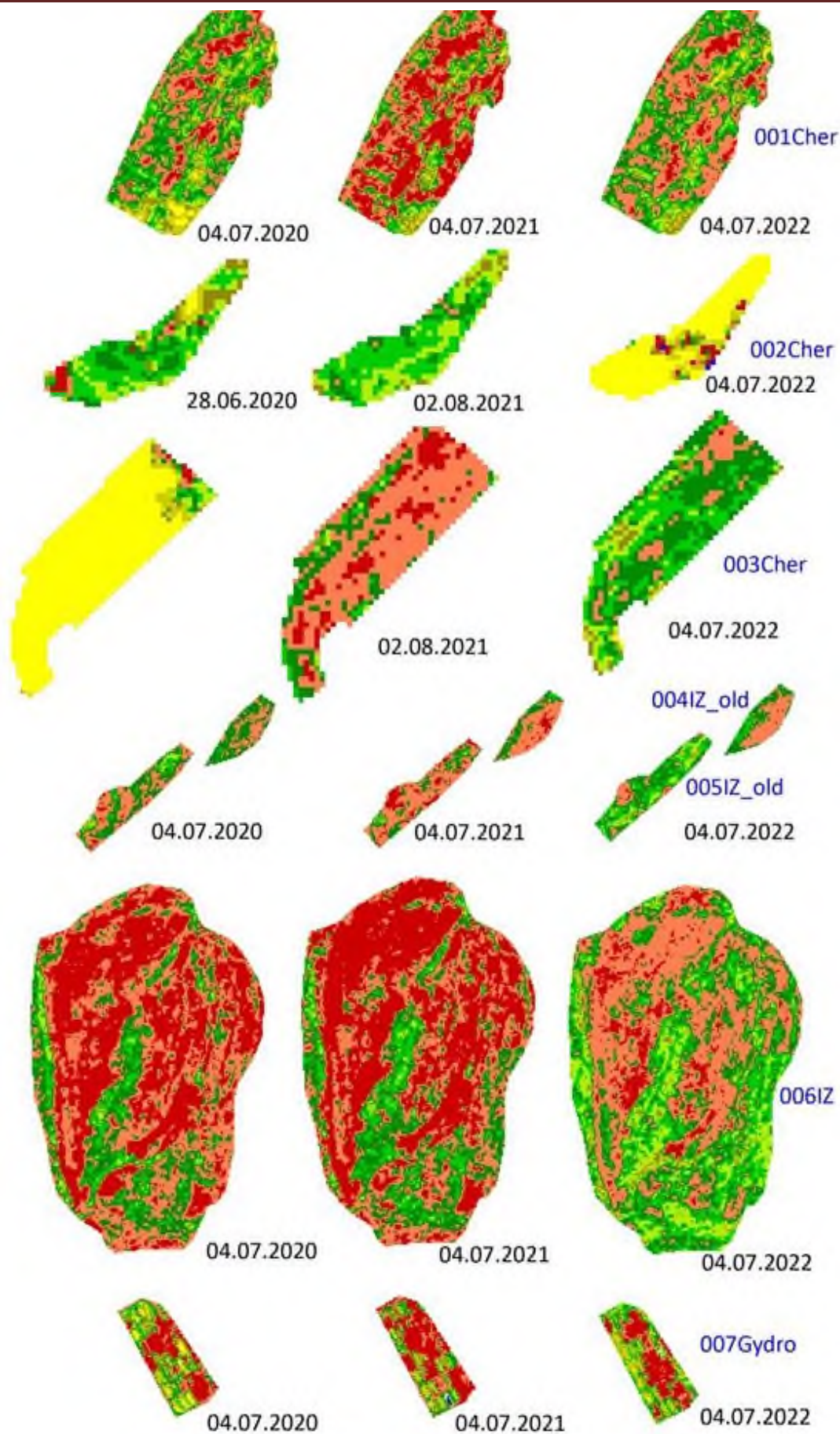


Рисунок 2. Карты пространственного распределения NDVI 2020–2022 г.

Таблица 1. Легенда к рисунку 2

| № п/п | Значения NDVI | Расшифровка класса |
|-------|---------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 0,0–0,2 | почва, области закрытые маской |
| 2 | 0,2–0,3 | низкопродуктивные луговые и степные сообщества |
| 3 | 0,3–0,4 | среднепродуктивные луга |
| 4 | 0,4–0,5 | высокопродуктивные луга |
| 5 | 0,5–0,6 | низкорослые или разреженные кустарниковые заросли |
| 6 | 0,6–0,7 | кустарники высокие, деревья в нарушенном состоянии |
| 7 | 0,7–0,8 | высокие деревья |
| 8 | 0,8–1,0 | высокие деревья в хорошем состоянии, высокотравные сообщества (тростник) |

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Министерства образования и науки Республики Хакасия (Соглашение № 94 от 13.12.2022 г.) в рамках Программы деятельности научно-образовательного центра мирового уровня «Енисейская Сибирь».

MAPPING VEGETATION OF COAL DUMPS IN KHAKASSIA ACCORDING TO SENTINEL-2

A.A. Zhukov, E.Y. Zhukov

Khakass State University named after N.F. Katanov, Abakan, flk19@mail.ru

Summary: *The paper presents the results of vegetation mapping of six test sites of coal mine dumps and one site of lignin fields of a hydrolysis plant in the Republic of Khakassia for 2020-2022. The mapping was carried out using the decision tree method. As initial data, Sentinel 2 images were taken, from which the vegetation index NDVI was calculated. The results showed that the test areas had a high percentage of tree and shrub vegetation coverage - over 60%. There are practically no water sources. The state of vegetation strongly depends on meteorological parameters. The most favorable year was 2021.*

Keywords: *vegetation, mapping, NDVI, NDWI, Sentinel 2, coal mine dumps, Khakassia.*

Литература

1. Зеньков И.В. и др. Результаты полевых исследований и дистанционного мониторинга формирования экосистем на территории горнопромышленного ландшафта угольного разреза «Изыхский» // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 1. С. 36–41.
2. Зеньков И. В. и др. Результаты дистанционного мониторинга и полевых исследований экологического состояния нарушенных земель угольными разрезами в Республике Хакасия // Уголь. 2017. № 9. С. 72–75.
3. Куминова А.В. и др. Растительный покров Хакасии / под ред. А. В. Куминовой. Новосибирск: Наука, сибирское отделение, 1976. 127 с.

УДК 631.46

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ПО СТЕПЕНИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ПОЧВЫ

С.И. Колесников

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, kolesnikov@sfedu.ru

***Аннотация.** Разработана методология оценки эффективности рекультивации нарушенных земель по степени восстановления экологических функций почвы. Методология апробирована на землях, нарушенных деятельностью горнодобывающих предприятий, загрязненных тяжелыми металлами, нефтью и нефтепродуктами и др.*

***Ключевые слова:** рекультивация, экобиотехнологии, экологические функции почвы, качество окружающей среды, биодиагностика, экологическое нормирование, биоремедиация.*

Представляется перспективным оценивать эффективность рекультивации нарушенных земель по степени восстановления экологических функций почвы, выполняемых почвой в экосистеме. Степень восстановления экологических функций почвы в результате рекультивации отражает степень восстановления нарушенной экосистемы и, соответственно, может служить мерой эффективности проведенной рекультивации.

Это возможно благодаря тому, что нарушение (срыв) экологических функций почвы происходит в определенной очередности в зависимости от силы антропогенного воздействия. Сначала нарушаются информационные функции, затем биохимические, физико-химические, химические и целостные, и в последнюю очередь физические функции почвы. Под потерей почвой своего здоровья должна пониматься, прежде всего, утрата ею целостных экосистемных функций, таких как аккумуляция и трансформация веществ и энергии в биогеоценозе, санитарная функция, функция буферного и защитного биогеоценозического экрана, условия существования и эволюции организмов. Нарушение этой группы функций следует считать порогом устойчивости почвы к антропогенному воздействию, превышение которого чревато экологическим кризисом или даже катастрофой для экосистемы.

В качестве критерия степени нарушения экологических функций почвы целесообразно использовать интегральный показатель ее биологического состояния (ИПБС) [1, 2], определенный на основе набора наиболее чувствительных и информативных биологических (микробиологических, биохимических и фитотоксикологических) показателей, хорошо отражающих выполнение почвой различных экологических функций. Снижение интегрального показателя в той или иной степени свидетельствует и нарушении тех или иных экологических функций почвы. Если значения ИПБС составляют 95–100 % от ненарушенной почвы, значит почва выполняет свои экологические функции полноценно, 90–95% – нарушены информационные экофункции, 75–90% – биохимические, физико-химические, химические и целостные, менее 75% – физические (классификация экологических функций дана по [3]).

В результате рекультивации земель должны быть восстановлены целостные экологические функции почвы, определяющие ее основное свойство – плодородие. Об этом может свидетельствовать восстановление ИПБС почвы до 90–100% от исходной ненарушенной почвы.

Представленная методика апробирована на землях, нарушенных деятельностью горнодобывающих предприятий, загрязненных тяжелыми металлами, нефтью и нефтепродуктами и др. [4–7].

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Программы «Приоритет 2030», государственной поддержке ведущей научной школы Российской Федерации.

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF RECLAMATION OF DISTURBED LAND ACCORDING TO THE DEGREE OF RESTORATION OF ECOLOGICAL FUNCTIONS OF SOIL

S.I. Kolesnikov

Southern Federal University, Rostov-on-Don, kolesnikov@sfedu.ru

Summary: *a methodology has been developed for assessing the effectiveness of reclamation of disturbed lands based on the degree of restoration of the ecological functions of the soil. The methodology was tested on lands disturbed by the activities of mining enterprises, contaminated with heavy metals, oil and petroleum products, etc.*

Key words: *reclamation, ecobiotechnologies, ecological functions of soil, environmental quality, biodiagnostics, environmental regulation, bioremediation.*

Литература

1. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Денисова Т.В., Даденко Е.В., Тищенко С.А. Способ комплексной оценки экологического состояния почв. № 2501009 от 10.12.2013.
2. Колесников С.И., Ротина Е.Н., Кирий О.А., Казеев К.Ш. Оценка эффективности рекультивации загрязненных мазутом земель по биологическим показателям // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. № 2. С. 30–37.
3. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв). М.: Наука; 1990.
4. Ruseva A., Minnikova T., Kolesnikov S., Trufanov D., Minin N., Revina S., Gaivoronsky V. Assessment of the ecological state of haplic chernozem contaminated by oil, fuel oil and gasoline after remediation. *Petroleum Research*. 9 (2024) 155–164. <https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2023.03.002>.
5. Minnikova T., Kolesnikov S., Revina S., Ruseva A., Gaivoronsky V. Enzymatic Assessment of the State of Oil-Contaminated Soils in the South of Russia after Bioremediation // *Toxics*. 2023. 11. 355. <https://doi.org/10.3390/toxics11040355>.
6. Minnikova T., Ruseva A., Kolesnikov S. Assessment of ecological state of soils in southern Russia by petroleum hydrocarbons pollution after bioremediation // *Environmental Processes*. 2022. 9:49. <https://doi.org/10.1007/s40710-022-00604-9>.
7. Храпай Е.С., Кузина А.А., Колесников С.И., Минникова Т.В., Казеев К.Ш. Оценка содержания тяжелых металлов в почве рекультивированного хвостохранилища Урупского горно-обогатительного комбината // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2024. № 4. С. 56–68. DOI: [10.25018/0236_1493_2024_4_0_56](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_4_0_56).

УДК 631.453:504.054

ДИАГНОСТИКА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ В ЦЕЛЯХ ИХ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НА НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЯХ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО САХАЛИНА

Д.Н. Липатов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва,
lipatovdn@my.msu.ru

***Аннотация.** На основе обнаружения аккумуляции нефтепродуктов в верхней, средней или нижней толще почв рассмотрена типология профилей для выбора методов рекультивации различных нефтезагрязненных земель. Определены уровни загрязнения нефтепродуктами (10000–60000 мг/кг), соответствующие формированию хемогенных признаков техно- и хемоземов, которые могут использоваться в их полевой диагностике.*

***Ключевые слова:** почвенный мониторинг, почвенный профиль, миграция нефтепродуктов.*

Обследование почв является важнейшим этапом оценки нефтезагрязненных земель для проведения их рекультивации, восстановления или консервации. В ходе исследований на загрязненных территориях необходимо определение уровней содержания нефтепродуктов в почвенных горизонтах, выявление глубины загрязненной толщи почвы и слоя максимальной концентрации нефти, оценка возраста загрязнения [1, 2]. При этом в полевых условиях в качестве экспресс-методов для установления степени загрязнения могут использоваться органолептические показатели (обнаружение запаха нефтепродуктов, визуальные оценки доли нефти в почве и при ее выжимании рукой, градации потемнения цвета почвенных горизонтов). Однако для более точных количественных оценок загрязнения необходим отбор почвенных проб с последующим измерением в них содержания нефтепродуктов по стандартизованным методикам. Нормирование проводится на основе сравнения полученных значений с условной ориентировочно допустимой концентрацией ($ОДК_{НП}=1000$ мг/кг), региональным допустимым остаточным содержанием нефтепродуктов (ДОСНП) и фоновыми уровнями содержания нефтепродуктов в почвах региона [3]. Апробация и дополнение регламентов обследования нефтезагрязненных почв является актуальной научно-практической задачей.

Цель работы – описание типов распределения нефтепродуктов в вертикальных профилях и ранжирование морфологических свойств нефтезагрязненных почв для выбора проектов их рекультивации или консервации.

Исследования проводились в Ногликском районе Сахалинской области на выведенных из эксплуатации объектах: нефтяного месторождения Катангли, нефтегазоконденсатного месторождения Нижнее Даги, старого нефтехранилища поселка Вал, а также на двух фоновых участках. На контрольных площадках закладывались почвенные разрезы до глубины почвенно-грунтовых вод (0–100 см). Всего было заложено 14 разрезов. В разрезах проводилось описание морфологических свойств горизонтов почв и их хемогенных признаков, обусловленных нефтепродуктами, оценивалась степень загрязнения по этим показателям. Одновременно выполнялся отбор почвенных проб последовательно из всех 10-сантиметровых слоев по горизонтам профилей. В лабораторных условиях пробы высушивались при температуре 30 °С и гомогенизировались, измерение суммы нефтепродуктов в них проводилось в соответствии с методикой ПНДФ 16.1:2.2.22-98.

На северо-востоке о. Сахалин в почвенном покрове преобладают подзолы и ржавоземы на хорошо дренируемых территориях, и торфяные болотные почвы – на плохо дренируемых. В пределах промышленных площадок месторождений наиболее распространены техногенно

преобразованные почвы: техно- и хемоземы, характеризующиеся значительными механическими нарушениями естественного сложения и химическим загрязнением.

Зафиксированные региональные фоновые уровни содержания нефтепродуктов в подзолах, исследованных на фоновых участках, удаленных от месторождений на 5 км, составили 100–500 мг/кг. Согласно шкале Ю.И. Пиковского [4], такие уровни соответствуют повышенному природному фону, характерному для почв нефтедобывающих территорий.

В профилях почв, исследованных на территориях месторождений и старого нефтехранилища, выявлено значительное увеличение содержания нефтепродуктов по сравнению с региональными фоновыми уровнями. Загрязнение нефтепродуктами слабой (1000–10000 мг/кг) и средней (10000–25000 мг/кг) степени отмечены в техноземах на законсервированных промышленных площадках месторождений. При этом выявлено три типа вертикального распределения с аккумуляцией нефтепродуктов в различных частях профилей: 1 – в верхней толще (поверхностно-аккумулятивный), 2 – в средней толще (срединно-аккумулятивный) и 3 – в нижних оглеенных горизонтах почв (грунтово-аккумулятивный) (рис. 1). Первый тип профильного распределения нефтепродуктов выявляется на участках мелких поверхностных разливов нефти или промысловых вод. Второй тип отмечен для промплощадок, на которых после окончания эксплуатации проводилась засыпка поверхности песчаным или супесчаным грунтом, вследствие чего самый загрязненный слой оказался погребенным на глубине 20–40 см. Третий тип профильного распределения, при котором аккумуляция нефтепродуктов приурочена к нижним оглеенным горизонтам, формируется в результате внутрпочвенных потоков нефти, распространяющихся по верхней кромке почвенно-грунтовых вод. Такие внутрпочвенные потоки нефтепродуктов образуются в случае утечек из подземных трубопроводов и нефтешламовых амбаров. Сходная типология распределения нефтепродуктов в загрязненных почвах отмечалась и на нефтедобывающих территориях Ненецкого автономного округа [5] и Сибири [6].

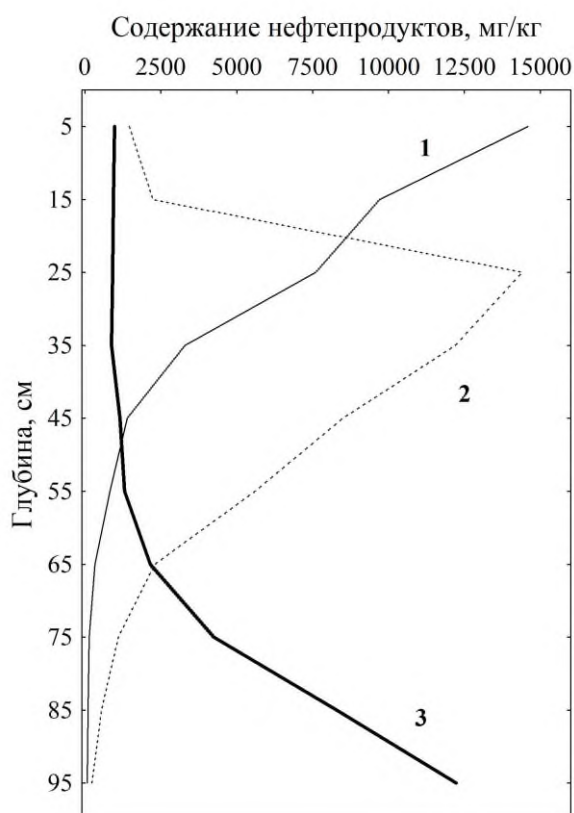


Рисунок 1. Распределение нефтепродуктов в почвенных профилях по различным типам: 1 – аккумуляция нефтепродуктов в верхней толще, 2 – аккумуляция нефтепродуктов в средней толще, 3 – аккумуляция нефтепродуктов в нижних оглеенных горизонтах почв.

В профилях почв, исследованных на участках аварийных разливов и крупных утечек из внутрипромысловых трубопроводов, а также на природных выходах нефти на поверхность (месторождение Катангли), загрязнение почв нефтепродуктами достигает сильной (25000–50000 мг/кг) и очень сильной (более 50000 мг/кг) степени. При таких уровнях загрязнения кардинально изменяются морфологические свойства почв и техно-почв, и они трансформируются в хемоземы. Профильное распределение нефтепродуктов в этих хемогенных почвах чаще всего имеет равномерный характер, охватывая всю их толщу.

В ходе полевых исследований отмечены специфические морфологические признаки нефтезагрязненных почв: потемнение цвета почвенных горизонтов, маслянистый блеск, битуминизированные корки на поверхности, техногенные агрегаты в почвенной массе. Эти признаки сопоставлялись с уровнями загрязнения, измеренными в тех же почвенных горизонтах. Хемогенная трансформация почв наиболее отчетливо прослеживалась в горизонтах с очень высокой степенью загрязнения: более 50000 мг/кг. Вместо серого, белесого и ржаво-бурого цвета, характерного для верхних и средних горизонтов подзолов и ржавоземов, нефтезагрязненные хемоземы приобретают темно-коричневую, почти черную прокраску. Темный цвет загрязненных горизонтов формируют смолисто-асфальтеновые вещества, входящие в состав нефтей. В горизонтах с содержанием нефтепродуктов 25000–50000 мг/кг не отмечено сплошного потемнения почвы, но зафиксированы желто-бурые и коричневатые пятна, обусловленные пропиткой различными фракциями нефтей (табл. 1).

Органолептический показатель – запах нефтепродуктов – обнаруживается начиная с 10000 мг/кг, т.е. уже при низких и средних уровнях загрязнения, его оттенки зависят от состава углеводородов и других соединений. Маслянистость почвенной массы при визуальном определении проявлялась при уровне загрязнения более 35000 мг/кг [7]. В отдельных сильнозагрязненных слоях почв зафиксирован маслянистый блеск, иногда с иризацией, в других при меньших уровнях содержания нефтепродуктов отмечена маслянистость без блеска. Степень выраженности маслянистости, блеска и иризации зависит не только от уровня загрязнения, но и от состава нефти, а также от влажности и других свойств почв.

Во многих нефтезагрязненных почвенных горизонтах выявлены техногенные микроагрегаты, которые имели темно-бурый цвет, были уплотненные, округло-кубовидной и мелкоглыбистой формы. Маслянистость, «обмыленность» их граней являются хемогенными признаками, отражающими увеличение гидрофобности загрязненных почвенных частиц. Их формирование, по-видимому, связано не только с воздействием нефтепродуктов, но и с другими факторами технопедогенеза. На промышленных площадках в условиях нефтяного загрязнения такие техногенные агрегаты могут занимать 20–40% объема почвенных горизонтов. При уровне загрязнения нефтепродуктами более 60000 мг/кг на поверхности исследованных хемоземов зафиксирована битуминизированная корка (табл. 1).

Таблица 1. Уровни загрязнения, при которых проявляются хемогенные морфологические и органолептические признаки в нефтезагрязненных почвах на северо-востоке о. Сахалин

| Морфологические и органолептические признаки нефтезагрязненных почв | Уровень загрязнения нефтепродуктами, при котором в почве проявляется признак |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Запах нефтепродуктов | Более 10000–15000 мг/кг |
| Желто-бурые и коричневатые пятна в почве | 25000–50000 мг/кг |
| Техногенные микроагрегаты | Более 25 000 мг/кг |
| Маслянистость почвенной массы | Более 35 000 мг/кг |
| Темно-коричневый (почти черный) цвет почвы | Более 50000 мг/кг |
| Битуминизированная корка на поверхности | Более 60000 мг/кг |

Диагностика уровня загрязнения и распределения нефтепродуктов в почвах необходима для обоснованного выбора методов их рекультивации. Для различных

техногенных сценариев и гидрологических условий разработаны наилучшие доступные технологии рекультивации нефтезагрязненных земель [1]. Рекультивация глубоких горизонтов почвы сложнее и требует больших материальных затрат. В ряде случаев специалистами рекомендуется консервация загрязненных земель [2].

Нефтезагрязненные слои, локализованные в средней и нижней толще почв, менее подвержены природным факторам самоочистки, в них отсутствует фотохимическое воздействие ультрафиолетового излучения и ослаблены процессы биохимического окисления нефтепродуктов микроорганизмами по сравнению с поверхностными горизонтами. Для почв с аккумуляцией нефтепродуктов в средних и нижних горизонтах могут применяться специальные методы рекультивации, направленные на рассеяние загрязняющих веществ внутрипочвенными потоками, включая промывки с помощью дренажных систем. В подобных проектах необходимо обустройство дополнительных сооружений: ограждающего канала, нефтеловушек, гидрозатворов на реках.

Таким образом, с увеличением степени нефтяного загрязнения почв в них появляются следующие хемотропные признаки: запах нефтепродуктов (при содержании суммы нефтепродуктов более 10000–15000 мг/кг), желто-бурые и коричневатые пятна (25000–50000 мг/кг), техногенные микроагрегаты (более 25000 мг/кг), маслянистость почвенной массы (более 35000 мг/кг), темно-коричневый цвет почвы (более 50000 мг/кг), битуминизированная корка на поверхности (более 60000 мг/кг).

В техно-почвах с поверхностно-аккумулятивным типом распределения нефтепродуктов выбор методов рекультивации можно основывать на процессах биохимического и фотохимического окисления углеводов, обуславливающих их высокий потенциал самоочистки. Для техно-почв с грунтово-аккумулятивным типом распределения нефтепродуктов пригодны рекультивационные мероприятия, активизирующие внутрипочвенные водные потоки, однако при этом необходимо обустройство сооружений, обеспечивающих защиту поверхностных и грунтовых вод от загрязнения.

DIAGNOSTICS OF POLLUTED SOILS FOR THE PURPOSE OF THEIR RECLAMATION IN THE OIL-PRODUCING TERRITORIES OF NORTHEASTERN SAKHALIN

D.N. Lipatov

Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty, Moscow, lipatovdn@my.msu.ru

Summary: *Based on the detection of accumulation of petroleum products in the upper, middle or lower soil column, the typology of profiles for the selection of methods of reclamation of various oil-contaminated lands is considered. The levels of contamination with petroleum products (10000-60000 mg/kg) corresponding to the formation of chemogenic signs of techno- and chemozems that can be used in their field diagnostics have been determined.*

Keywords: *soil monitoring, soil profile, migration of petroleum products*

Литература

1. ГОСТ Р 57447-2017 Наилучшие доступные технологии. Рекультивация земель и земельных участков, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Основные положения. Москва: Стандартинформ. 2017. 25 с.
2. ГОСТ Р 59057-2020 Охрана окружающей среды. Общие требования по рекультивации нарушенных земель. Москва: Стандартинформ. 2020. 19 с.

3. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. Практическое руководство. 2-е изд., перераб. и доп. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 270 с.
4. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ. 1993. 206 с.
5. Никонова А. Н. Трансформация экосистем дельты Печоры в зоне влияния Кумжинского газоконденсатного месторождения (Ненецкий автономный округ): дисс. ... канд. геогр. наук. Москва. 2016. 29 с.
6. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1998. 376 с.
7. Матвеева Н.В., Липатов Д.Н. Изменение морфологических свойств ржавоземов под влиянием нефтяного загрязнения // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2015. № 4. С. 29–36.

УДК: 628.5

ОПЫТ РАЗВЕДКИ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ КАК ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДИКИ БЛОЧНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

П.М. Маниковский, Г.П. Сидорова, П.М. Сахнова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Забайкальский государственный университет», Чита,
manikovskiymp@zabgu.ru, manikovskiymp@yandex.ru

***Аннотация.** В статье рассматривается актуальность изучения минеральных объектов техногенного происхождения через авторскую методику их разведки и обработки полученных результатов с помощью инструментария современных горно-геологических систем. Отличительной особенностью методики стало использование цифровых блочных моделей для картирования объекта с точки зрения геоэкологии, удельной эффективной активности естественных радионуклидов, а также выявления, зонирования и потенциального использования полезных компонентов.*

***Ключевые слова:** геоэкологическое картирование, цифровое блочное моделирование, золошлаковые отходы, естественные радионуклиды.*

Актуальность. В условиях внешнеэкономических ограничений, в которых на сегодняшний день существует Российская Федерация (далее – РФ), существует необходимость комплексного освоения недр, в том числе с использованием вторичных продуктов переработки минерального сырья. В этой парадигме уголь не является исключением. Кроме того, на сегодняшний день РФ и часть стран ближнего зарубежья сталкивается с проблемой накопления золошлаковых отходов (далее – ЗШО), которые негативно влияют на территории их расположения. Учитывая аналитику и статистику по объему накопленных отходов, можно утверждать, что объемы накопленных ЗШО занимают около 300 км², что составляет половину географической площади Сингапура -710 км². Учитывая вещественный состав лежалых ЗШО, который варьируется в зависимости от типа угля и условий его сжигания образуется минерализованный объект техногенного происхождения [1, 2]. Необходимость освоения подобных минеральных объектов и уменьшения объемов ЗШО и занимаемых ими площадей закреплена в ряде нормативных документов: Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 г.: (распоряжение Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р), комплексном плане по повышению объемов утилизации золошлаковых отходов V класса опасности (распоряжение Правительства Российской Федерации от 15 июня 2022 г. № 1557-р), ФЗ №89 «Об отходах производства и потребления». Также следует отметить, что согласно аналитике национальной ассоциации развития вторичного использования сырья (далее – АРВИС) прогнозируемые темпы заполнения имеющихся на балансе предприятий топливно-энергетического комплекса (далее – ТЭК) золоотвалов составят 95% к 2035 году. Учитывая изложенное, а также текущий вектор развития РФ, который условно называют «разворотом на Восток», продекларированным первыми лицами государства на Восточном экономическом форуме в начале сентября 2024 г. возрастает необходимость опережающих темпов развития Дальнего Востока РФ, что повлечет за собой развитие энергетических мощностей для обеспечения потребностей развивающейся экономики и промышленности Дальнего Востока. В свою очередь, развитие энергетики в приграничных не газифицированных или частично газифицированных регионах, при этом обладающих значительными запасами ископаемых

углей ляжет на угольную энергетику, что повлечет за собой еще большее увеличение объема и территории, занимаемой ЗШО.

Объекты и методы исследования. Учитывая специфику энергетической системы Забайкальского края и имеющиеся на его территории разведанные в разной степени угольные месторождения и углепроявления, общие запасы по которым по разным источникам превышают 2 млрд. т. можно с уверенностью заключить, что угольная энергетика на территории края должна получить развитие, а это, в свою очередь влечет за собой необходимость переработки накопленных ЗШО с целью уменьшения их объема и недопущения отчуждения новых площадей под золоотвалы [3]. Для исследования лежалых ЗШО на базе Забайкальского государственного университета была создана научно-учебная испытательная лаборатория цифрового горного дела и геоэкологии «Перспектива». Миссия лаборатории заключается в комплексном исследовании отходов горного, перерабатывающего, электро и теплогенерирующего производств для их вовлечения в дальнейшее использование. Таким образом, объектами исследования лаборатории стали техногенные минеральные объекты Забайкальского края, образованные в результате деятельности горного, перерабатывающего, электро и теплогенерирующего производств.

Также необходимо отметить наличие в университете, на базе которого базируется лаборатория, компетенции цифрового моделирования горных объектов, вследствие чего, коллективом лаборатории эти наработки решено было перенести на минеральные объекты техногенного происхождения для разработки комплексной технологии дифференцированного освоения подобных объектов размещения отходов (далее – ОРО). В ходе работы на отвалах ЗШО Забайкальского края была применена авторская методика разведки техногенных минеральных объектов, отличительной особенностью которой стало использование цифровых блочных моделей для картирования объекта с точки зрения геоэкологии, удельной эффективной активности естественных радионуклидов (далее – ЕРН), а также выявления, зонирования и потенциального использования полезных компонентов.

Обсуждение результатов. При выполнении заявленного комплекса работ на минеральных объектах техногенного происхождения была применена следующая методика:

1. Камеральный этап ревизионно-оценочных работ, который включает в себя учет времени возникновения объекта, сроки его существования, анализ условий формирования отходов.

2. Полевой этап ревизионно-оценочных работ, который включает в себя определение сетки бурения, непосредственное бурение скважин, отбор представительных проб для проведения необходимых испытаний: определения вещественного состава, удельной эффективной активности ЕРН, других необходимых исследований.

3. Этап геодезического сопровождения проводимых работ с целью определения системы координат для привязки к государственной геодезической сети, получения координат устьев скважин, создания облака точек поверхности для дальнейшего цифрового моделирования поверхности исследуемого объекта.

4. Лабораторный этап геологического опробования, в ходе которого выполняется процесс пробоподготовки, определения вещественного состава проб, определение удельной эффективной активности ЕРН и прочие испытания, признанные необходимыми для всесторонней оценки исследуемого объекта.

5. Этап цифрового моделирования объекта, который включает в себя получение цифровых поверхностей, каркасных и блочных моделей исследуемого объекта, интерполяцию полученных данных опробования в блочную модель и предварительный подсчет запасов ценных компонентов на основании модели и выявленных свойств объекта.

6. Этап подготовки исследовательского геологического отчета об объекте, его оценка и подготовка рекомендаций по его вовлечению в переработку на основе оценки промышленности региона, существующих мощностей, перспективности использования в текущих или изменяющихся условиях.

Результаты, полученные при использовании описанной методики приведены на рисунках (рис. 1, 2) на примере одного из ОРО. Для наглядности приведены данные картирования материалов с выделением зон отношения к одному из четырех классов материалов согласно норм радиационной безопасности (НРБ-99/2009), существующих для классификации строительных материалов (щебень, гравий, песок, бутовый и пиленный камень, цементное и кирпичное сырье и пр.). Информация по суммарной удельной эффективной активности $A_{эфф}$ ЕРН представлена на рисунке 1.

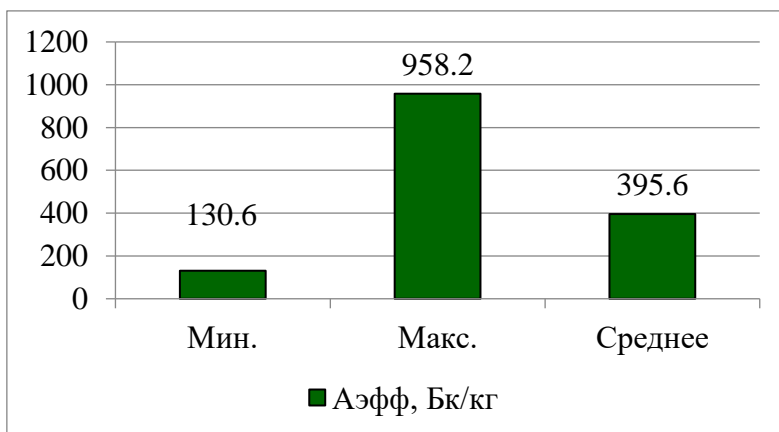


Рисунок 1. Статистические показатели распределения удельной эффективной активности естественных радионуклидов $A_{эфф}$, Бк/кг одного из отвалов ЗШО, расположенных в Забайкальском крае.

Следует отметить, что из выборки в 146 проб к III классу материалов было отнесено 2 пробы, ко II классу – 73, к I классу – 71 проба. Дифференцированная классификация первой секции представленного техногенного минерального объекта по отношению к классу материала производилась на основе созданной цифровой блочной модели с использованием программного обеспечения (далее – ПО) Micromine Origin&Beyond (рис. 2).

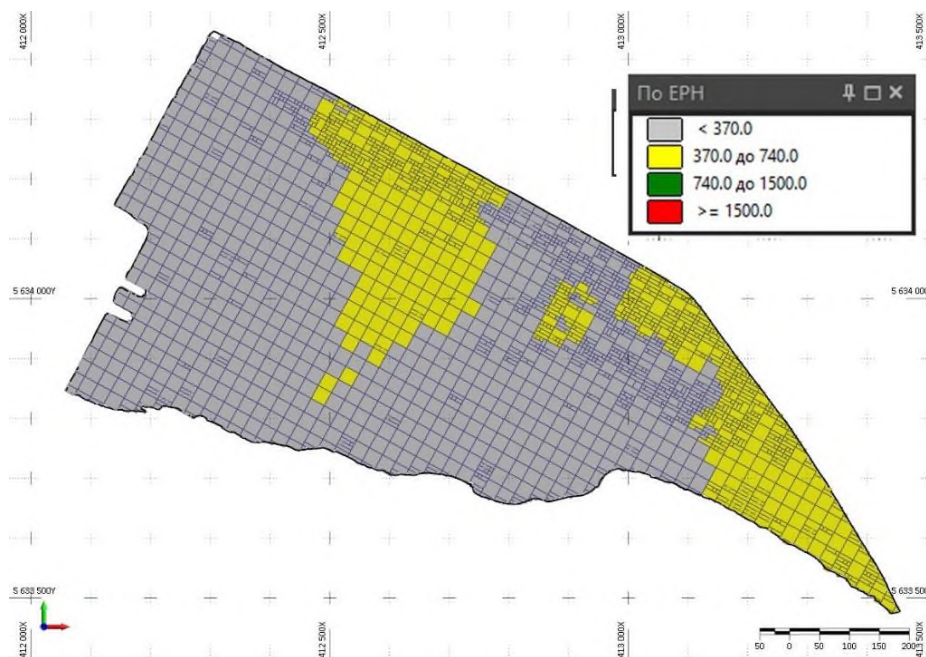


Рисунок 2. Цифровая блочная модель одного из отвалов ЗШО, расположенных в Забайкальском крае с кодировкой по классу материала согласно НРБ-99/2009.

Заключение. Предлагаемая методика разведки минеральных объектов, образованных техногенным способом, отвечает практикам, используемым передовыми предприятиями горнодобывающей отрасли при освоении рудных и россыпных месторождений.

Кроме того, в процессе выполнения работы сделано предположение о том, что подобный подход посредством применения инструментария современных горно-геологических информационных систем (далее – ГГИС) не только для предварительной оценки показателей качества потенциального минерального сырья для вовлечения во вторичную переработку, но и для прогнозирования показателей потенциальной геоэкологической опасности этих материалов, таких как, содержание ЕРН при использовании этих материалов в качестве строительного сырья не только возможен, но и необходим. Цифровая модель позволяет дифференцированно осваивать техногенный минеральный объект и при этом избегать участков с повышенным содержанием радиоактивных или потенциально опасных элементов, которые будут рекомендованы к захоронению или использованию в качестве материалов-заполнителей для рекультивации горных выработок. Кроме того, картирование помогает производить селективную выемку материала и не останавливаться на одном направлении вовлечения отходов из ОРО в переработку, а напротив – использовать комплексный подход с целью переработки максимально возможного объема ЗШО

Финансирование. Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-20029. <https://rscf.ru/project/24-27-20029>.

THE EXPERIENCE OF EXPLORATION OF ASH AND SLAG DUMPS OF THE TRANS-BAIKAL TERRITORY AS MAN-MADE DEPOSITS USING THE BLOCK MODELING TECHNIQUE

P.M. Manikovskiy, G.P.Sidorova, P.M. Sakhnova

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Transbaikal State University», Chita, manikovskiypm@zabgu.ru, manikovskiypm@yandex.ru.

Summary: The article considers the relevance of studying mineral objects of technogenic origin through the author's methodology of their exploration and processing of the results obtained using the tools of modern mining and geological systems. A distinctive feature of the technique was the use of digital block models for mapping an object from the point of view of geoecology, the specific effective activity of natural radionuclides, as well as the identification, zoning and potential use of useful components.

Keywords: Geoecological mapping, digital block modeling, ash and slag waste, natural radionuclides.

Литература

1. Пичугин Е.А. Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов теплоэлектростанций // Проблемы региональной экологии. 2019. № 4. С. 77–87. DOI: [10.24411/1728-323X-2019-14077](https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-14077).
2. Панков П.П., Коновалова Н.А., Бесполитов Д.В. Изучение состава и свойств золошлаковых отходов ТЭС Забайкальского края для снижения антропогенного воздействия на окружающую среду // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28, № 2. С. 131–141. DOI: [10.22363/2313-2310-2020-28-2-131-141](https://doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-2-131-141).

3. Угольная база России: К 300-летию горно-геологической службы России / Министерство природных ресурсов Российской Федерации, Министерство энергетики Российской Федерации, Всероссийский научно-исследовательский геологоразведочный институт угольных месторождений. Том 3. Москва: ООО «Геоинформцентр», 2002. 488 с.

УДК: 628.5

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПЫЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТВАЛОВ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ)

П.М. Маниковский, Г.П. Сидорова, П.М. Сахнова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Забайкальский государственный университет», Чита,
manikovskiy@zabgu.ru, manikovskiy@yandex.ru.

***Аннотация.** В статье рассматривается авторский подход к решению вопроса минимизации пыления техногенных минеральных объектов, размещенных вблизи населенных пунктов. Приводится первый этап эксперимента по проращиванию растений, на основании которого авторский коллектив планирует к переходу ко второму этапу – работе с ксерофитными растениями.*

***Ключевые слова:** почвогрунт, золошлаковые отходы, смесь золошлаковых отходов и почвы, ксерофитные растения.*

Актуальность. В ходе работы предприятий топливно-энергетического комплекса (далее – ТЭК), использующих в качестве топлива ископаемые угли образуется значительное количество вторичных материалов - золошлаковых отходов (далее – ЗШО), которые содержат минеральные элементы, некоторые из которых могут быть потенциально опасны с геоэкологической точки зрения. В этой связи важно отметить, что некоторые угли добываются из месторождений, находящихся в непосредственной близости от Стрельцовской рудоносной площади – месторождения урана. Ввиду богатого вещественного состава такие минеральные объекты можно считать месторождениями техногенного происхождения. Поверхности образованных объектов размещения отходов (далее – ОРО) подвержены пылеобразованию, а их подвижные формы активно вымываются дождевыми водами, что приводит к загрязнению атмосферы, водоемов и почвы в местах размещения ОРО. Стоит отметить, что в Забайкальском крае преобладает резко континентальный климат с недостаточным количеством осадков и высокой долей западных и юго-западных ветров [1]. Вследствие этого в атмосферный воздух в виде аэрозолей попадают микрочастицы золы и пыли, содержащей в себе потенциально опасные элементы. В связи с этим, проблема увеличения объема ЗШО, а вместе с ним и роста площадей занимаемых ОРО сегодня стоит особенно остро и требует внимания исследователей. Ежегодно в Российской Федерации (далее – РФ) для производства электроэнергии сжигается около 125 миллионов тонн твердого угольного топлива, что приводит к образованию более 20 миллионов тонн ЗШО в дополнение к уже накопленным 1,5 миллиардам тонн. Отчуждено из землепользования для размещения ЗШО около 28 тысяч гектаров земли, выведенной из земельного оборота [2]. На сегодняшний день отчуждение больших площадей земли из земельного фонда является одной из основных проблем ЗШО – они требуют значительных площадей для хранения. Учитывая этот факт, увеличение площадей приводит к увеличению негативного воздействия на территории размещения ОРО, в частности, на атмосферный воздух. По классификации твердых бытовых отходов ЗШО, в основном, относятся к 4 и 5 классу опасности для окружающей среды, то есть считаются малоопасными. Однако, учитывая темпы развития угольной энергетики ТЭК РФ, при сохранении текущего минимального уровня утилизации ЗШО, к 2030 году их объем может превысить 2 млрд. т. Это создает перспективу переполнения полигонов, а также вовлечения новых площадей под ОРО.

В Забайкальском крае ежегодно образуется более 20 тысяч тонн ЗШО, которые находятся в непосредственной близости к населённым пунктам. Учитывая характер энергосистемы Забайкальского края, где более 95% выработки энергии приходится на тепловые электростанции (далее – ТЭС), остро стоит вопрос купирования пылеобразования на ОРО региона. Как уже подчеркивалось, ситуацию усугубляют частые изменения погодных условий ввиду преобладания резко континентального климата. В результате резких изменений климатических условий теплые воздушные массы из Монголии сталкиваются с холодным воздухом на западе, что усиливает ветер. Усиление ветра, в свою очередь, способствует образованию аэрозолей, в которых содержатся микрочастицы ЗШО. Этим способом потенциально опасные микроэлементы попадают в воздух и распространяются на ближайшие территории, в том числе на населенные пункты, вследствие чего население этих районов вынуждено дышать загрязненным воздухом.

Таким образом, проблема утилизации золошлаковых отходов является крайне актуальной для Забайкалья и требует незамедлительного решения.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования стали ОРО – золошлакоотвалы Забайкальского края, образованные в результате деятельности предприятий ТЭК региона.

В ходе анализа возможных решений проблемы пыления поверхностей ОРО, образованных техногенным способом, мы пришли к выводу о том, что минимизации пыления этих объектов возможно достичь с помощью растительных насаждений [3–5]. Учитывая характеристику исследуемого ОРО, а также его близость к Стрельцовской рудоносной площади исходим из того, что для создания почвогрунтового слоя, обеспечивающего минимизацию пыления поверхности минерального объекта с одной стороны и способствующего всхожести растений с другой стороны будут использоваться 2 составляющих. Первый компонент – почва из района, непосредственно прилегающего к ОРО, второй компонент – ЗШО. Анализ проб ЗШО определялся методом неразрушающего определения химических элементов с помощью рентгенофлуоресцентного анализатора WEPER XRF2501 с проведением предварительного доозоления исследуемого материала в муфельной печи до стабилизации массы исследуемого материала согласно ГОСТ Р 55661-2013 (ИСО 1171:2010). Пороговые результаты испытаний 12 проб ЗШО, смесь которых использовалась при подготовке почвогрунтовой смеси приведены в таблице (табл. 1).

Таблица 1. Элементный состав проб ЗШО (в оксидных формах) в пробах исследуемого объекта, %

| | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | SO ₃ | K ₂ O | CaO | TiO ₂ | MnO ₂ | BaO |
|------|------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------|------------------|------------------|------|
| Мин | 1,46 | 32,12 | 29,97 | 0,52 | 4,29 | 0,00 | 1,65 | 4,88 | 0,17 | 0,01 |
| Макс | 1,58 | 43,29 | 35,25 | 5,11 | 22,38 | 0,00 | 1,81 | 7,59 | 4,78 | 0,07 |

Исследование предполагает 2 этапа:

1 этап заключается в работе с семенами растений, которые обладают наиболее быстрой всхожимостью для выявления процентного соотношения почвы и ЗШО, обеспечивающего наиболее эффективный рост растений. Этому этапу посвящено текущее исследование.

2 этап предполагает работу с ксерофитными видами растений. Развитие проекта видится рабочей группе именно во втором этапе, поскольку для климата Забайкальского края растения, обладающие способностью к всхожимости в условиях засушливого климата наиболее характерны [6]. Использование ЗШО планируется в виде минеральной добавки к почвенному слою для повышения его плодородности. Таким образом, мы сможем уменьшить пыление поверхности техногенного минерального объекта. Для того, чтобы выявить процентное соотношение почвы и ЗШО, обеспечивающее наиболее быструю всхожимость, были подготовлены 7 вариантов смесей. Соотношения смесей приведены в таблице (табл. 2).

Таблица 2. Состав смесей, принимающих участие в исследовании

| | Масса почвы, г. | Масса ЗШО, г. | Суммарная масса смеси | ЗШО от массы грунта, % |
|---------------------|-----------------|---------------|-----------------------|------------------------|
| Контейнер №1 | 132,599 | 19,8 | 152,41 | 15 |
| Контейнер №2 | 132,37 | 39,37 | 171,74 | 30 |
| Контейнер №3 | 137,288 | 55,01 | 192,3 | 40 |
| Контейнер №4 | 138,2 | 62,41 | 200,61 | 45 |
| Контейнер №5 | 136,518 | 68,26 | 204,78 | 50 |
| Контейнер №6 | 136,771 | 82,15 | 218,92 | 60 |
| Контейнер №7 | 137,554 | 103,48 | 241,04 | 75 |

Смеси были тщательно перемешаны. В подготовленные контейнеры были высажены семена трех быстровсходных растений: редис «Заря», кресс-салат «Данский», жирнолистный шпинат. После высадки растений был спроектирован и установлен испытательный стенд для установки светодиодного светильника для растений, который обеспечивал освещение растений в ночной период и период сумерек Demtax lvl-2014-04cl (рис. 1). Растения находились при комнатной температуре. Эксперимент проводился в течение 5 полных суток (120 часов), при четырехразовой поливке растений в течение рабочего дня через каждые 2 часа.

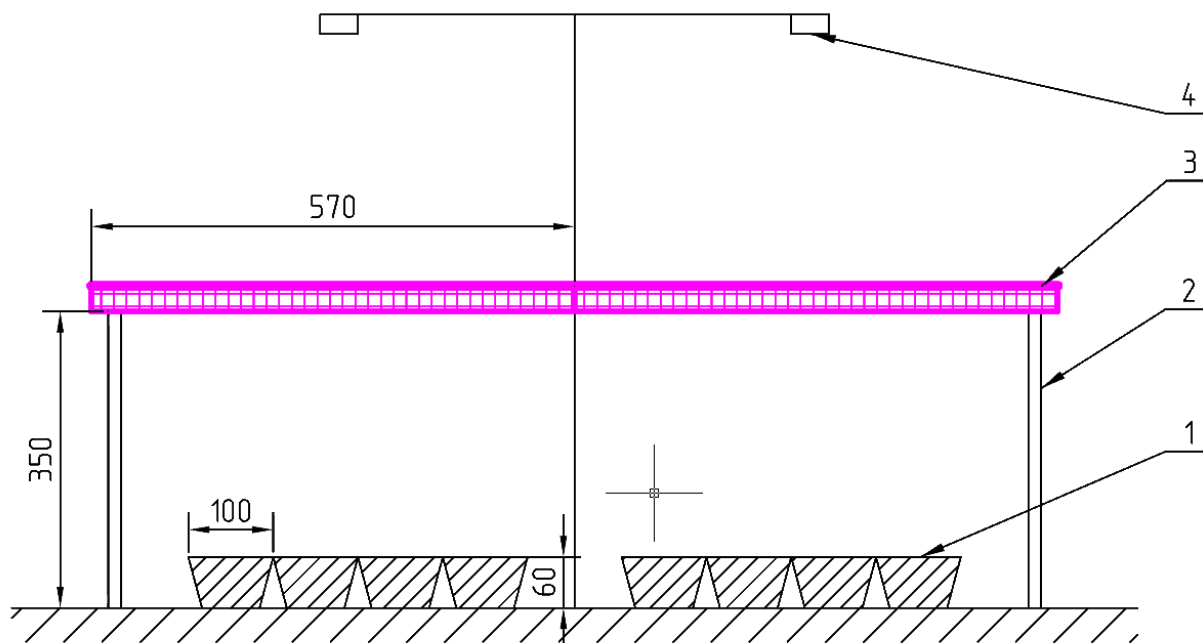


Рисунок 1. Схема испытательного стенда.

Примечание: 1 – пластиковый контейнер под смесь; 2 – штатив; 3 – светодиодный светильник Demtax lvl-2014-04cl; 4 – камера фото/видео фиксации.

Обсуждение результатов. Результат проведенного эксперимента оценивался по высоте растений, которые проросли за приведенное время. С уверенностью можно сделать вывод о том, что смесь с 60% добавлением ЗШО показала наилучший результат – растения достигли высоты в 6,4 см. (рис. 2). Стоит отметить, что подобный эксперимент необходимо повторять индивидуально под каждый исследуемый техногенный минеральный объект.



Рисунок 2. Результат эксперимента.

Заключение. Результат эксперимента говорит о том, что подобный подход перспективен для тех территорий, где ОРО располагаются вблизи населенных пунктов. Использование подобных почвогрунтов может существенно улучшить геоэкологическую обстановку. Так же считаем существенным отметить, что подобный подход минимизирует экономические затраты предприятия на обеспечение надлежащих условий содержания ОРО.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке Программы развития Забайкальского государственного университета «Приоритет-2030. Дальний Восток», проект № НП-1.

PREVENTION OF DUSTING OF THE SURFACES OF MAN-MADE DEPOSITS (USING THE EXAMPLE OF ASH AND SLAG DUMPS OF THE TRANSBAIKAL TERRITORY)

P.M. Manikovskiy, G.P.Sidorova, P.M. Sakhnova

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Transbaikal State University», Chita, manikovskiy@zabgu.ru, manikovskiy@yandex.ru

Summary: *The article considers the author's approach to solving the problem of minimizing dusting of man-made mineral objects located near populated areas. The first stage of the plant germination experiment is presented, on the basis of which the author's team plans to move to the second stage – work with xerophytic plants.*

Keywords: *soil, ash and slag waste, a mixture of ash and slag waste and soil, xerophytic plants.*

Литература

1. Носкова, Е. В. Ветровой режим Забайкальского края / Е. В. Носкова, В. А. Обязов // Ученые записки Забайкальского государственного университета. 2015. № 1(60). С. 115–121.
2. Черенцова А.А., Олесик С.М. Оценка золошлаковых отходов как источник загрязнения окружающей среды и как источник вторичного сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № S3. С. 230–243.

4. Шайхислам Г., Соловьев Т.М., Эпштейн С.А., Семина И.С. Оценка состава и свойств горных пород, окисленного каменного угля и золошлаковых отходов как материалов для биологической рекультивации // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2024. № 7. С. 21–37.
5. Лавыгина О.Л., Степанов И.Г. Исследование эффективности методов снижения пылеобразования на золошлакоотвалах // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020. Т. 1. № 4(35). С. 570–577.
6. Шайхислам Г., Соловьев Т.М., Эпштейн С.А. и др. Получение почвогрунтов на основе окисленного каменного угля для биологической рекультивации нарушенных земель // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2024. № 8. С. 5–18. DOI: [10.25018/0236_1493_2024_8_0_5](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_8_0_5).
7. Чудновская Г.В. Роль эколого-биологических характеристик лекарственных растений Восточного Забайкалья в оценке продуктивности их сырья // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2013. № 24(167). С. 57–65.

УДК 622.882:712.4(477.61/62)

ВНЕСЕНИЕ НЕКОТОРЫХ МЕЛИОРАНТОВ В СУЛЬФИДНУЮ ГОРНУЮ ПОРОДУ ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ ЕЁ СВОЙСТВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ ОЗЕЛЕНЕНИЯ

М.Л. Новицкий, Е.С. Бондар

ФГБУН «Никитский ботанический сад-Национальный научный центр»,
maxim.novickiy@bk.ru

***Аннотация.** В работе выявлены особенности формирования технозёмов при внесении карбонатного суглинка и мелиорантов (древесные опилки (ДО) и осадки хозяйственных стоков (ОХС) на сульфидных шахтных отвалах. Основная задача этого способа рекультивации заключается в нейтрализации либо ослабление отрицательных и развитие ее положительных качеств и создание плодородных техногенных субстратов на плоских отвалах для их озеленения древесно-кустарниковыми растениями. Были выявлены ряд лимитирующих факторов, которые существенно влияют на развитие корневой системы древесно-кустарниковых растений.*

***Ключевые слова:** шахтные отвалы, рекультивация, техногенный субстрат, сульфидная горная порода.*

Формирование техногенных ландшафтов на землях, нарушенных угольной промышленностью, обусловлено интенсивным отвалообразованием. Наиболее сложными для биологического освоения являются отвалы с сульфидсодержащими породами [1, 2, 3, 5]. Такие метаморфические породы, как глинистые сланцы, алевролиты, аргиллиты характеризуются наличием в большей или меньшей степени минералов пирита или маркизита (FeS_2), троилита (FeS), которые при выносе на дневную поверхность подвергаются нарастающему во времени химико-биологическому окислению, с образованием серной кислоты и гидролизующихся сульфатов железа. Для успешной фитомелиорации таких отвалов необходима искусственная регенерация почвенного покрова [4, 5, 6, 7]. Наиболее эффективным, на наш взгляд, является нейтрализация фитотоксичности породы карбонатным суглинком и улучшение ее свойств, показателей внесением в нее легкодоступных мелиорантов: древесные опилки (ДО) и осадки хозяйственных стоков (ОХС).

Техногенные субстраты по классификации отнесены к среднескелетным видам. Благодаря внесению различных мелиорантов количество скелетных фракций уменьшилось почти в 3 раза по отношению к контролю и составили около 15% в слое 0–50 см.

Важным показателем с экологической точки зрения, является плотность сложения субстрата. Высокой плотностью сложения обладает сульфидная горная порода, особенно в слое 20–50 см. Также установлено, что с момента рекультивации и через 11 лет после её проведения она существенно не изменилась и составляла $1,45 \text{ г/см}^3$. При внесении карбонатного суглинка и мелиорантов через 11 лет после плантажа произошла усадка в среднем на 8–10 см и мощность корнеобитаемого слоя уменьшилась до 50–52 см. За счёт усадки субстрата увеличилась его плотность сложения. Такие процессы наблюдаются, как в верхнем 20-сантиметровом слое, но особенно сильно уплотнились слои 40–50 см, что ограничило проникновение в этот слой корней некоторых деревьев и кустарников. Мелкозём в варианте с ОХС сразу после рекультивации составлял $1,30 \text{ г/см}^3$, а через 11 лет плотность увеличилась до $1,44 \text{ г/см}^3$, вариант с добавлением ДО от $1,27$ до $1,42 \text{ г/см}^3$, что не повлияло на распространение корневой системы древесно-кустарниковых растений.

Гранулометрический состав мелкозема сульфидной породы был тяжелосуглинистый крупнопылевато-песчаный. Количество ила в нем составляло 12%. Техногенный субстрат на вариантах опыта с древесными опилками и осадками хозяйственных стоков был

тяжелосуглинистым песчано-иловатым с преобладанием илистых фракций (24%). Улучшение гранулометрического состава связано с «разбавлением» породы различными мелиорантами.

Известно, что при снижении скважности до 38–35% многие виды декоративных деревьев испытывают недостаток воздуха. На всех исследованных вариантах опыта с добавлением мелиорантов таких низких значений порозности не наблюдалось. Порозность мелкозёма техногенного субстрата была хорошей и колебалась от 44 до 58%, что в достаточной мере обеспечивает подземную часть растений кислородом. На контрольном варианте в верхнем слое порозность была неудовлетворительной (37%).

Основным вместилищем элементов питания, влаги и корней растений является мелкозем, следовательно для расчета его запасов необходимо определять плотность сложения мелкозема, а не общую массу субстрата. Различия в плотности всего образца и мелкозема могут достигать больших численных различий, что приводит к ошибкам в расчетах запасов мелкозема, так и других показателей [4]. Запасы мелкозема в полуметровых слоях показали, что по сравнению с контролем, где было – 4024 т/га, в техногенном субстрате их больше с внесением ОХС – 5955 т/га, а с древесными опилками – 5841 т/га. Таким образом, вариант с ОХС на 1931 т/га больше контрольного варианта.

Содержание валовой серы в горной породе в слое 0–50 см составляло 0,87%. В процессе смешивания породы и карбонатного суглинка и мелиорантами содержание серы уменьшилось. Так в варианте с ДО до 0,16%, а в варианте с ОХС до 0,53%.

Как известно, при кислотности pH_{KCl} 4 и ниже в сульфидной породе начинает накапливаться подвижный алюминий, концентрация которого в контрольной пробе составляла 40,32 мг/кг, что наряду с поглощенным водородом обусловило обменную кислотность 2,82 смоль(+)/кг и повысило кислотность породы до 2,90 pH_{KCl} . На вариантах в слое 0–40 см pH_{KCl} был слабокислый и нейтральный. В слое 40–50 см происходит резкое изменение pH_{KCl} , что приводит данный показатель к очень сильно кислым. Установлено, что с увеличением кислотности увеличивается и количество подвижного алюминия. Эти показатели тесно связаны между собой ($r=0,98$, $n=44$), поскольку обменная кислотность на 79% определяется содержанием подвижного алюминия. Одним из решающих ограничивающих факторов, влияющих на распространение корней растений является увеличение кислотного комплекса в нижележащих горизонтах.

Количество подвижных форм железа (Fe^{3+}) в слое с развитым кислотным комплексом достигало 141 мг/кг. При внесении и перемешивании карбонатного суглинка, мелиорантами с горной породой в среднем содержалось около 42 мг/кг. Наличие свободного железа, которое извлекается из техногенного субстрата и горной породы 0,2 Н HCl (по Кирсанову), находится в прямой зависимости от количества общей серы ($r=0,54$; $n=52$), так как сульфидсодержащие минералы марказит или пирит (FeS_2), троилит (FeS), халькопирит ($FeCuS$), которых много в рассматриваемых углистых сланцах, выветриваясь, пополняют растворы ионами Fe^{3+} в аэробных условиях [6].

Количество карбоната кальция в отсыпанном суглинке в слое 0–50 см в среднем было 5%, при перемешивании суглинка с породой происходит уменьшение количества $CaCO_3$ (в среднем 2%), то есть произошло его «разбавление» породой. Количество карбонатов с глубиной уменьшается и достигало 0,2%. В сульфидной породе карбонаты не обнаружены.

При добавлении в горную породу карбонатного суглинка и различных мелиорантов почвенный поглощающий комплекс (ППК) претерпел количественные и качественные изменения. Возросла поглотительная способность, увеличилась сумма поглощенных оснований с 8 смоль(+)/кг в горной породе до 15 смоль(+)/кг в исследуемом субстрате. Из сорбционного комплекса техногенного субстрата в значительной мере происходит вытеснение натрия и замещение его кальцием (до 78%), что приводит к улучшению некоторых свойств и структуры субстрата. Содержание натрия в среднем менее 0,3% от емкости обмена. Таким образом, внесение кальцийсодержащего мелиоранта не только нейтрализовало кислотность

сульфидсодержащей породы, но и снизило степень солонцеватости, а также улучшило почвенный поглощающий комплекс.

Как известно, аргиллиты, выступающие в качестве почвообразующей породы, отличаются повышенным содержанием валовых форм фосфора и калия, общего углерода и азота. Темпы накопления экстрагируемого углерода и N, P, K в доступных для растений формах является показателем интенсивности почвообразовательного процесса. Интенсивное накопление экстрагируемого органического углерода в первую очередь связано с разложением подземной части растений. Содержание экстрагируемого углерода, выраженное в процентах, не отражает истинное богатство или бедность техногенных субстратов и пород органическим веществом в силу различных запасов мелкозема, вызванных различной скелетностью [5]. Показателем гумусного состояния молодых техногенных почв, на наш взгляд, является содержание экстрагируемого углерода. Характеризуя содержание экстрагируемого углерода на опытных участках, следует отметить, что изначально в отсыпанном на породу карбонатном суглинке присутствовало от 0,34 до 0,81% гумуса. В свою очередь свежееотсыпанная сульфидная горная порода содержала не более 0,05% гумусового вещества. Техногенный субстрат по содержанию гумуса относился к слабогумусированным. Особенно верхний 20-ти см слой, где содержалось в среднем 0,20%, что почти в два раза больше, чем в контрольном варианте. Для того чтобы избежать методических ошибок, был произведён расчёт запасов гумуса в мелкозёме сульфидной горной породе и техногенных субстратах. Нами установлено, что субстрат с ДО обладает запасами мелкозёма в 4,5 раза больше, чем в контрольный вариант.

Внесение карбонатного суглинка и различных мелиорантов способствовало созданию оптимальных почвенных условий для выращивания некоторых древесно-кустарниковых растений. Биометрические показатели и декоративность растений в баллах показала, что на техногенных субстратах такие растения как *Symphoricarpos albus* (L.) S.F.Blake, *Elaeagnus commutata* Bernh. ex Rydb., *Pyracantha coccinea* M.Roem, *Pinus nigra subsp. pallasiana* (Lamb.) Holmboe, *Acer platanoides* L. показали максимальный балл по шкале декоративности и хорошую приспособляемость. Растения *Gleditsia triacanthos* L и *Catalpa bignonioides* Walter оказались менее устойчивыми к эдафическим условиям, что показала шкала декоративности и биометрические показатели. Кроме этого, нами была проведена раскопка корневой системы некоторых видов древесных растений (*Acer platanoides* L., *Pyracantha coccinea* M.Roem., *Gleditsia triacanthos* L). Из полученных результатов видно, что в большей степени корни осваивают слой 0–40 см, где сосредоточено до 90% проводящих и всасывающих корней. Что связано по нашему мнению с тем, что слой 40–60 более уплотнен, в нем содержится меньше экстрагируемого углерода, чем в верхнем слое и реакция почвенной среды менее благоприятна.

Технология, при которой в сульфидную горную породу вносятся карбонатный суглинок для нейтрализации кислотности, а ДО и ОХС для её улучшения физических и химических свойств и всё это перемешивается на глубину до 60 см позволяет высаживать ряд древесно-кустарниковых растений.

THE INTRODUCTION OF SOME AMELIORANTS INTO SULFIDE ROCK TO CHANGE ITS PROPERTIES AND INDICATORS FOR THE PURPOSE OF LANDSCAPING

M.L. Novitsky, E.S. Bondar

FSBIS «Nikita Botanical Gardens – National Scientific Center RAS», maxim.novickiy@bk.ru

Summary: The purpose of this work is to identify the features of the formation of technozems during the introduction of carbonate loam and meliorants (sawdust (S) and sediments of hazbite effluents (SHE) on sulfide mine dumps. The main task of this method of recultivation is to neutralize or weaken

the negative and develop its positive qualities and create fertile man-made substrates on flat dumps for their landscaping with woody and shrubby plants. A number of limiting factors have been identified that significantly affect the development of the root system of woody and shrubby plants.

Keywords: *mine dumps, reclamation, technogenic substrate, sulfide rock.*

Литература

1. Абакумов Е.В, Парникоза И.Ю., Лупачев А.В., Лодыгин Е.Д., Габов Д.Н., Кунах В.А. Содержание полициклических ароматических углеводородов в почвах окрестностей антарктических станций // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 7. С. 20–25.
2. Андроханов В.А., Соколов Д.А. Фракционный состав окислительно-восстановительных систем почв отвалов каменноугольных разрезов // Почвоведение. 2012. № 4. С. 453–457.
3. Андроханов, В.А. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка / В. А. Андроханов, В. Н. Курачев; отв. ред. А. И. Сысо; Рос. акад. наук, Сибирское отделение, Ин-т почвоведения и агрохимии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.
4. Новицкий М.Л. Почвообразование на сульфидсодержащих отвалах шахт Западного Донбасса и пригодность молодых почв для декоративных насаждений / Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства: сборник научных трудов. 2016. Выпуск 12. (Рязань, 9 декабря 2016). Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2016. С. 291–295.
5. Опанасенко Н.Е., Корженевский В.В., Халимендик Ю.М., Оболонский А.Е., Кононенко Н.А. Теория и практика рекультивации и озеленения породных отвалов в Западном Донбассе // Уголь Украины. 2000. № 7. С. 29–32.
6. Плугатарь Ю.В., Корженевский В.В., Новицкий М.Л. Почвенно-биологические основы оценки и повышения плодородия технозёмов и эмбриозёмов на сульфидных отвалах // Земледелие. 2020. № 8. С. 19–23.
7. Choi S.-D. Time trends in the levels and patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in pine bark, litter, and soil after a forest fire // Sci. Total Environ. 2014. V. 470-471. P. 1441–1449.

УДК 631.42

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ В СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ЗОНЕ НА ТЕРРИТОРИЯХ КАРЬЕРНОЙ ДОБЫЧИ ЗОЛОТА

Т.В. Пономарёва

Институт леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН, Красноярск, bashkova_t@mail.ru

***Аннотация.** В работе дана характеристика экологических факторов формирования почвенного покрова в среднетаежной зоне в пределах северо-восточной части Енисейского края. По результатам исследования отвалов вскрышных пород на территории горнодобывающего комбината показано направление почвообразовательного процесса, выявлена скорость формирования почв и растительного покрова техногенных экосистем. Определены количественные морфометрические показатели и гумусное состояние инициальных почв.*

***Ключевые слова:** техногенные экосистемы, отвалы, инициальные почвы.*

Почвенный покров северо-восточной части Енисейского края представлен широким спектром зональных и интразональных типов. Изучение почв в горных районах Енисейского края было проведено Корсуновым В.М., Ведровой Э.Ф., Красехой Е.Н., 1988; Горбачевым В.Н., Поповой Э.П., 1992 [2, 4, 5]. В литературе имеется информация о формировании здесь преимущественно почв текстурно-дифференцированных, альфегумусовых и железисто-метаморфических отделов.

Исследуемые объекты расположены в Северо-Енисейском районе, который занимает часть обширного Средне-Сибирского плоскогорья, отличающегося относительной сглаженностью широких водораздельных пространств, в которые на значительную глубину (200–600 м) врезаются долины больших и малых рек, создающие кряжи и увалы. На западе плоскогорье постепенно переходит в низкогорье Енисейского края. Енисейский кряж расположен в пределах средней и южной тайги. В северной части, особенно в долинах рек, отметки не превышают 200 м. К югу характер поверхности становится более изрезанным, а отметки высот – до 600 м. Основные слагающие породы в долинах рек – сланцы, песчаники и известняки, нередко перекрытые делювиально-аллювиальными четвертичными отложениями [7].

Климат района резко континентальный с суровой продолжительной холодной зимой и коротким жарким летом. Минимальные зимние температуры (декабрь, январь) достигают -61°C, максимальные летние +34°C (июль). Среднегодовая температура составляет -5°C. Количество дней со среднесуточной отрицательной температурой воздуха – 209. Стабильный снеговой покров появляется в конце сентября и полностью исчезает в середине июня. Мощность снежного покрова достигает местами 3,5 м, в среднем около 1,3 м. Глубина промерзания нарушенных горных пород: крупнообломочных – 3,3 м; глинистых – 2,8 м. Глубина сезонного промерзания колеблется от 0,5 до 2,0 м, в зависимости от толщины снежного покрова. Незначительная глубина сезонного промерзания объясняется ранним и устойчивым снежным покровом без промежуточного оттаивания [1].

Норма годовых осадков 480–521 мм. Район месторождения отличается повышенной нормой выпадения осадков. Преобладают затяжные, морозящие дожди, а зимой длительные и обильные снегопады. По данным метеостанций ближайших поселков годовая норма осадков составляет 480–520 мм, а для района месторождения около 1600 мм.

Температурный режим является одним из наиболее важных факторов почвообразования. Повышение температуры поверхности (аномалия температуры

поверхности составляет до 20%) в техногенных ландшафтах приводит к значительному продлению бесснежного периода (до 30 дней), влияет на перераспределение влаги в почве и другие показатели микроклимата. Изменение теплового состояния поверхности может быть вызвано как природными факторами, так и техногенным воздействием. Растительность и почвы западного макросклона кряжа в пределах изучаемой территории формируются в условиях относительно повышенной влажности и более благоприятного, чем в речных долинах, теплового режима воздуха.

Почвенный покров формируется на повсеместно распространенных делювиальных и элювиальных отложениях. Элювиальные отложения представлены дисперсной и обломочной корами выветривания сланцев на склонах различной крутизны.

В настоящее время ведущую роль в трансформации почвенного покрова северной части Енисейского кряжа наряду с лесными пожарами играет антропогенная нагрузка, промышленное освоение, интенсивная хозяйственная деятельность. Весомый вклад в нарушение почвенного покрова вносит добыча золота с применением различных технологий (дражная, карьерная).

В Красноярском крае действует более 70 горнодобывающих предприятий, из которых на золотодобывающие приходится более половины. В северной части Северо-енисейского района известна серия крупных золоторудно-россыпных узлов: Олимпиадинский, Ведугинский, Советский, которые и географически, и структурно приурочены к Енисейскому кряжу. В металлогенических зонах Енисейского Кряжа сосредоточены значительные запасы золота – более 2641 т или 17,1% российских. Функционирование золотодобывающих предприятий создает промышленную напряженность района. Самой крупной золотодобывающей компанией является АО «Полнос Красноярск». Здесь разрабатываются месторождения золото-мышьяковисто-сульфидных руд в углеродсодержащих терригенных толщах (Олимпиадинское, Ведугинское) и золото-кварцевых (Благодатное) [3].

В представленной работе, нацеленной на исследование почвообразования на посттехногенных территориях, рассмотрены техногенные ландшафты и формирующиеся на техногенных субстратах отвалов почвы на территории Олимпиадинского ГОК.

Большая часть исследованной территории носит признаки пирогенного воздействия (пожары) разного возраста, на которые накладываются техногенные и антропогенные факторы, в том числе рекреационные, обусловленные близостью населенных пунктов. Наиболее распространенными среди почв горных территорий на исследованной территории являются горные примитивные – петроземы, петроземы гумусовые, в которых почвообразование проявляется в формировании маломощных верхних горизонтов – подстильно-торфяного (О) или гумусового слабо развитого (W); литоземы грубогумусовые типичные, литоземы серогумусовые типичные, ржавоземы грубогумусовые. По долинам рек распространены аллювиальные почвы, характеризующиеся пойменным водным режимом, сопровождающимся процессами торфонакопления и оглеения в почвах.

Обследование техногенных поверхностных образований на отвалах пустых пород рядом с р. Тырыда показывает скорость процессов почвообразования. За 7-летний период наблюдения отмечено увеличение доли мелкозема в верхних 50 см техногенного грунта за счет выветривания пород, слагающих отвал. Дифференциация в профиле под действием физических и биологических факторов приводит к изменению структурной организации поверхностных слоев грунтов отвала. На техногенных участках почвообразование находится на инициальной стадии, органо-аккумулятивный горизонт формируется в основном за счет заселения водорослей, мхов и лишайников, и травянистой растительности. Формирование древесной растительности в техногенных ландшафтах идет пионерными видами за счет примыкающих фоновых экосистем. Малая удаленность коренных и производных лесов от отвалов позволяет семенам распространяться на нарушенные территории. Древесная растительность на исследованном отвале 20-летнего возраста не представляет сомкнутого насаждения, опад листьев березы, которая в первую очередь заселяет отвалы, не создает

сплошного органогенного горизонта. На выровненной поверхности отвала свежий опад выдувается, вследствие чего аккумуляция органического вещества замедляется.

В результате формирования микробоценоза и заселения отвала растительностью (мхами, лишайниками, травянистыми и древесными видами) и беспозвоночными животными на поверхность отвала поступает органическое вещество, увеличивается мощность органоминерального горизонта до 2–3 см. Содержание гумуса в верхнем слое 0–10 см составляет 6–8%. Влажность в 10 см слое в среднем увеличилась на 20–30%. За счет поступления органики в техногенные грунты увеличивается их водоудерживающая способность и теплофизические свойства, формируется теплоизолирующий слой, регулирующий суточную амплитуду температур.

На зарастающих отвалах изменяется тепловой и водный режим почв, обуславливающий продолжительность вегетационного периода и косвенно определяющий общее биоразнообразие. За период наблюдения в техногенной экосистеме отвала существенное увеличивается биоразнообразие, как растительности, так и животного населения. Особенно стоит отметить появление большого количества видов грибов. Грибы осуществляют широкий спектр биосферных функций, важнейшей из которых является разложение органического вещества. Грибам в экосистемах отводится особый экогоризонт и роль посредников между живым и косным веществом в биосфере. Они контролируют широкий спектр экосистемных функций – первичную и вторичную продуктивность, регенерацию биофильных элементов путём разложения растительных и животных остатков и перевода элементов из геологического в биологический круговорот [6]. Таким образом микофлора может быть индикатором стадии развития экосистем на техногенных участках.

На автомобильных отвалах, сложенных карбонатными породами в районе карьера «Известковый» отмечается интенсивный процесс самозарастания как древесными лиственными, так и хвойными видами. Бугристый микрорельеф на таких отвалах способствует накоплению органического вещества на поверхности отвала, сложенного крупными фракциями породы, формируется мозаичный рыхлый органогенный горизонт. Почвы имеют близкую к петроземам организацию профиля.

Выявлено, что почвообразование на отвалах идет по зональному принципу, от литостратов (эмбриоземов инициальных) (формула С или W-C) к петроземам и литоземам грубогумусовым (формула АО-(С)-М), ржавоземам грубогумусированным (формула О-АО-А-Вм-ВС-С).

20-летние отвалы продолжают быть нестабильными геосистемами: наблюдается просадка грунта, линейная эрозия склонов, что свидетельствует о необходимости разработки индивидуальной технологии горной и биологической рекультивации отвалов.

Интенсификация процессов почвообразования благоприятно сказывается на восстановлении нарушенных территорий, самозарастании и восстановлении экологических функций после технической рекультивации. Роль техногенных типов в почвенном покрове на этих территориях по мере промышленного освоения значительно увеличивается, а учитывая разведанные месторождения золота и перспективу добычи, в ближайшее время структура почвенного покрова неизбежно будет меняться в сторону увеличения доли техногенных и антропогенно-преобразованных почв.

Финансирование. Исследования выполнены за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-14-20007 (<https://rscf.ru/project/23-14-20007/>) Красноярского краевого фонда науки.

ECOLOGICAL STATE OF SOILS IN THE MIDDLE TAIGA ZONE IN THE TERRITORIES OF QUARRY GOLD MINING

T.V. Ponomareva

Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia, bashkova_t@mail.ru

Summary: *The work describes the environmental factors of soil cover formation in the middle taiga zone within the northeastern part of the Yenisei Ridge. Based on the results of a study of overburden dumps on the territory of a mining plant, the direction of the soil-forming process was shown, and the rate of formation of soils and vegetation cover of technogenic ecosystems was revealed. Quantitative morphometric parameters and humus status of the initial soils were determined.*

Keywords: *technogenic ecosystems, dumps, initial soils.*

Литература

1. Безруких В.А. Агроприродный потенциал Приенисейской Сибири: оценка и использование. Красноярск: Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, 2010. №10. 24 с.
2. Горбачев В.Н., Попова Э.П. Почвенный покров южной тайги Средней Сибири. Новосибирск: Наука, 1992. 224 с.
3. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 г.». М.: ВИМС, 2022. 625 с.
4. Корсунов В.М., Красеха Е.Н. Пространственная организация почвенного покрова / Отв. ред. И.А. Ишигенов; АН СССР, Сибирское отд-ние, Бурятский ин-т биологии. Новосибирск: Наука, 1990. 199 с.
5. Красеха Е.Н., Корсунов В.М., Ведрова Е.Ф. Почвенный покров таежных ландшафтов Сибири. Новосибирск: Наука, 1988. 188 с.
6. Марфенина О.Е. Антропогенная экология почвенных грибов // Медицина для всех. 2005. 196 с.
7. Плешиков Ф.И. Лесные экосистемы Енисейского меридиана. Красноярск: Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2014. С. 22–38.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫРАБОТАННЫХ И ВЫБЫВШИХ ИЗ СЕЛЬХОЗПОЛЬЗОВАНИЯ УЧАСТКОВ ТОРФЯНИКОВ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А.М. Потапенко¹, Н.В. Толкачева¹, И.А. Машков¹, А.В. Судник²

¹Институт леса НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь, formelior@tut.by

²Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси», г. Минск, Беларусь, asudnik@tut.by

Аннотация. Проведена инвентаризация выработанных и выбывших из сельскохозяйственного пользования участков торфяников, переданных в лесной фонд Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь. За период с 2008 года по 2018 год включительно передано 1550,7 га, выведенных из сельскохозяйственного оборота и 4444,5 га выработанных торфяных месторождений от промышленных предприятий. Переданные в лесной фонд торфяники характеризуются как низко продуктивные и неэффективно использовавшиеся в сельском хозяйстве торфяные земли.

Ключевые слова: торфяники, гидромелиорация, деградация, почвы, лесные насаждения.

В Республике Беларусь для сельскохозяйственного производства было осушено около 1 млн. га торфяных почв ($\frac{1}{3}$ всех мелиорированных земель), для промышленной добычи торфа – около 300 тыс. га. Осушение торфяных болот сопровождается полным изменением естественной среды, что проявляется в прекращении процессов накопления торфа и перехода его в фазу обратного процесса окисления (медленного сгорания), т.е. ускоренного разложения накопленных органических веществ. Нарушение водного режима мелиорированных территорий привело к трансформации режима и химического состава поверхностных и подземных вод, начались процессы минерализации торфяного слоя, ускорилась деградация почв, увеличился период засух и заморозков [1]. При проведении осушительной мелиорации недостаточно учитывается влияние процесса осушения торфяников на состояние почвенного покрова, а также на минерализацию торфа при интенсивном использовании земель с торфяными почвами в сельском хозяйстве.

В настоящее время в Республике Беларусь площадь осушенных земель, по данным Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь [2], составляет 2810,4 тыс. га (13,5% от общей площади страны). Значительная площадь осушенных земель (2661,4 тыс. га – 94,7% от общей площади осушенных земель) расположена на территории сельскохозяйственных предприятий. В лесном фонде осушенные земли занимают 500,0 тыс. га (17,8%) [1]. В настоящее время 17,8–20,6% всех мелиорированных торфяных почв из-за разрушения торфяного слоя деградировали в низко плодородные минеральные участки [3].

В соответствии с Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 361 от 29 апреля 2015 г. «О некоторых вопросах предотвращения деградации земель (включая почвы)» [4] производится передача низко бальных (ниже 22 баллов) земель сельскохозяйственного назначения для ведения лесного хозяйства предприятиям Минлесхоза. Согласно принятым Постановлениям [4, 5] из сельскохозяйственного землепользования в состав лесного фонда систематически передаются не эффективно используемые мелиорированные низко бальные земли, деградированные торфяные почвы, в том числе выработанные торфяные месторождения, заброшенные или поросшие мелколесьем.

В настоящее время в лесном фонде Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь (далее – Минлесхоз) насчитывается 500,0 тыс. га осушенных земель.

Передача в лесной фонд значительного количества антропогенно нарушенных торфяников, которые имеют высокую вероятность к возникновению пожаров и значительно осложняют пожарную обстановку в лесах Беларуси, возникла необходимость установить фактическое состояние и оценить степень пожароопасности переданных в лесхозы торфяников. Определить по каждому участку, выбывшему из сельскохозяйственного оборота или промышленной добычи торфа, комплекс требуемых противопожарных мероприятий по эффективному их использованию и обеспечению на них пожарной безопасности.

Таким образом, проведение исследований на переданных в лесной фонд выбывших из сельскохозяйственного и промышленного использования осушенных торфяниках, является одним из актуальных направлений по оптимизации использования лесных земель.

Основной целью проводимых исследований являлось изучение и оценка состояния антропогенно нарушенных торфяных участков, которые были переданы в лесной фонд после прекращения на них деятельности сельскохозяйственных предприятий и завершения промышленной добычи торфа; перспективы их использования.

Объектом исследований являлись переданные в лесной фонд торфяные участки, выбывшие из сельскохозяйственного и промышленного пользования. Основным методом исследования являлся метод полевых обследований торфяных месторождений, состоящих на балансе лесохозяйственных предприятий, переданных после длительного времени неиспользования в сельском и промышленном предприятиях.

Торфяные почвы в результате осушения и интенсивной эксплуатации оказались подверженными ускоренным процессам деградации, вследствие быстрого биохимического разложения в них торфа. Наиболее остро воздействие их проявляется в Белорусском Полесье, к территории которого приурочены основные площади мелиорированных торфяных почв. Торфяники Белорусского Полесья относятся преимущественно к мелкозалежным слоям торфа, имеющим глубину 1–2 метра (63%) и менее 1 метра (37%). В результате мелиорации и последующего сельскохозяйственного использования они быстро деградируют из-за минерализации органического вещества торфа.

Спустя 30–40-летний период после масштабного освоения болот стало очевидным, что осушение и интенсивное сельскохозяйственное использование осушенных торфяных почв сопровождается сокращением их площади, изменением качественного состава, ускоренной «сработкой» органического вещества. Как следствие, на территории Полесья начали формироваться антропогенно преобразованные почвенные разновидности, которые представляют собой новые низко плодородные почвы, по основным параметрам приближающиеся к минеральным [6].

Использование нарушенных торфяников со временем становится экономически неэффективным, и землепользователи прекращают на них производственную деятельность. К таким нарушенным торфяникам относятся деградированные торфяные почвы, использовавшиеся ранее в сельском хозяйстве, а также неэффективно используемые выбывшие из промышленной эксплуатации торфяные месторождения (143,3 тыс. га). Кроме того, к нарушенным торфяникам следует отнести и около 90 тыс. га болот, на которых существенно нарушен гидрологический режим, в результате непродуманной мелиорации.

К настоящему времени, по разным источникам, от 17,8% до 20,6% всех осушенных торфяных почв полностью утратили природные генетические признаки торфяников из-за разрушения слоя торфа и превратились в низко плодородные минеральные участки. Часть этих земель (77,2 тыс. га) передана в состав лесного фонда за период с 2000 г. по 2005 г. По состоянию на 2000 год в лесном фонде Минлесхоза имелось 140,5 тыс. га выработанных торфяников. За период с 2008 года по 2018 год включительно передано 1550,7 га, выведенных из сельскохозяйственного оборота и 4444,5 га выработанных торфяных месторождений от промышленных предприятий.

Таким образом, в процессе обследования было установлено, что в состав лесного фонда в основном была произведена передача неэффективно использовавшихся мелиорированных

торфяных участков, которые перестали иметь экономический интерес для бывших землепользователей. Они представляют собой выработанные торфяники промышленного назначения и неэффективно использовавшиеся в сельском хозяйстве земли, на которых идут процессы заболачивания. Данные площади являются труднодоступными и проблемными для эффективного ведения лесного хозяйства.

Большая часть исследуемых земель является непригодной и для ведения лесного хозяйства, поскольку в их пределах нарушен гидрологический режим и трансформированы почвенно-грунтовые комплексы. Использование трансформированных осушенных земель для лесного хозяйства в большинстве случаев экономически не выгодно, поскольку требует значительных затрат на рекультивацию площадей под посадки или естественное возобновление древесных пород, регулирование гидромелиоративной сети, предварительные противопожарные мероприятия, борьбу с пожарами. Открытые пространства нарушенных и выработанных торфяников становятся источниками ряда экологических угроз: выбросов CO₂, деградации земель, торфяных пожаров. При этом масштабы распространения и степень воздействия угроз на сопредельные экосистемы возрастают в зависимости от площади нарушенных земель и могут проявляться, как на местном, так и на региональном уровнях. Создание насаждений оптимального породного состава на таких территориях является одним из действенных механизмов по предотвращению последствий изменения климата, противодействию деградации почвы, сохранению мест обитания ряда редких видов болотной фауны и флоры, способствует вовлечению деградированных торфяников в хозяйственный оборот, сохранения естественных экологических систем. Реализация вышеуказанных мероприятий будет способствовать выполнению одного из мероприятий Национального плана действий по предотвращению деградации земель (почв) на 2021–2025 годы – разработать рекомендации по ренатурализации выработанных торфяных месторождений путем создания чистых и смешанных высокопродуктивных насаждений.

PROSPECTS FOR THE USE OF AREAS OF PEATLANDS AND PEATLANDS REMOVED FROM AGRICULTURAL USE IN FORESTRY OF THE REPUBLIC OF BELARUS

A.M. Potapenko¹, N.V. Tolkacheva¹, I.A. Mashkov¹, A.V. Sudnik²

¹Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus, formelior@tut.by

² V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: asudnik@tut.by

Summary: *The inventory of depleted and retired from agricultural use peatland areas transferred to the forest fund of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus was carried out. For the period from 2008 to 2018 inclusive, 1,550.7 hectares of peatlands withdrawn from agricultural turnover and 4,444.5 hectares of depleted peat deposits from industrial enterprises were transferred. The peatlands transferred to the forest fund are characterized as low productive and inefficiently used in agriculture peat lands.*

Key words: *peatlands, hydro-reclamation, degradation, soils, forest plantations.*

Литература

1. Булко Н.И., Машков И.А., Толкачева Н.В., Москаленко Н.В. Состояние лесомелиоративных систем в лесном фонде Беларуси и будущее мелиорированных лесов / Мелиорация. Современные методики, инновации и опыт практического применения: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 19–20 окт. 2017 г.) / Нац. акад. наук

- Беларуси, Ин-т мелиорации; редкол.: Н.К. Вахонин [и др.]. Минск: Беларус. наука, 2017. С. 40–46.
2. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь (по состоянию на 1 января 2024 года) [Электронный ресурс] // URL: http://gki.gov.by/uploads/files/RZR_2024_1.doc (дата обращения: 01.07.2024).
 3. Судник А.В., Булко Н.И., Толкачева Н.В., Потапенко А.М., Степанович И.М., Комар А.Ю., Голушко Р.М., Машков И.А., Серенкова В.А. О стратегии и схеме устойчивого использования земель с измененным гидрологическим режимом в лесном фонде Республики Беларусь // Природные ресурсы. 2022. № 2. С. 75–86.
 4. О некоторых вопросах предотвращения деградации земель (включая почвы) / Постановление совета министров Республики Беларусь от 29 апреля 2015 г. № 361 [Электронный ресурс] // URL: <https://docplayer.ru/35982366-O-nekotoryh-voprosah-predotvrashcheniya-degradacii-zemel-vklyuchaya-pochvy.html> (дата обращения: 21.01.2019).
 5. Стратегия по реализации Конвенции Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке / утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 29 апреля 2015, № 361. Минск. 11 с.
 6. Машканова А.С., Подхватилина С.С. Последствия антропогенного воздействия на состояние сельскохозяйственных земель в Республике Беларусь // Экология и управление. № 3. 2011. С. 120–125.

УДК 631.45

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЛЮЦЕРНЫ ПОСЕВНОЙ

О.С. Самохвалова

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк,
samohvalova_os@sibsiu.ru

***Аннотация.** В работе представлены результаты двухлетнего микрополевого опыта по исследованию влияния различных удобрений на урожайность и элементный химический состав люцерны посевной, выращиваемой на лугово-черноземовидных почвах в Амурской области. Установлено, что торфогуминовые удобрения способствуют большему увеличению зеленой массы по сравнению с минеральными. Люцерна посевная активно накапливает цинк и бор, содержание потенциально токсичных элементов – кадмия и свинца – не превышает максимально допустимых величин.*

***Ключевые слова:** люцерна посевная, многолетние травы, почва, удобрения, микроэлементы, Амурская область.*

Актуальность. Почвы Амурской области являются одними из самых плодородных и благоприятных для ведения сельского хозяйства в Дальневосточном федеральном округе. Растениеводство в области развито в 18 из 20 муниципальных районов и округов [1]. Площадь земель сельскохозяйственного назначения в регионе – 3531,8 тыс. га, или 9,8% от общей площади земель. Сельскохозяйственные угодья занимают 2378,7 тыс. га, в том числе пашня – 1533, сенокосы – 287,3, пастбища – 355,6, залежи – 195,7, многолетние насаждения – 7 тыс. га. Однако, сам округ, несмотря на наибольшую площадь в стране, по производству продукции сельского хозяйства, находится на последнем месте [2].

За последние десятилетия в хозяйствах Дальнего Востока продолжается снижение посевных площадей под многолетними культурами. В 2019 году в Амурской области площадь кормовых культур составила 60 385 га (5,1% от всей посевной площади), а в 2021 году – 2 126 га (0,2 %) соответственно, что ведет к нарушению научно обоснованной системы земледелия, так как на первом месте по почвозащитной роли стоят многолетние травы, составляющие основу кормопроизводства во всех сельскохозяйственных предприятиях области и имеющие большое экологическое значение [3]. Для решения такой проблемы рекомендуется увеличить долю кормовых культур, в частности многолетних трав.

Одной из наиболее значимых многолетних кормовых культур в Амурской области является люцерна посевная [4]. Эта универсальная культура, применяющаяся для производства и разнообразия кормовой базы. В мире ежегодно засеивают семенами люцерны более 30 миллионов гектар земли, в России ее выращивают на юге и юго-востоке, степных и лесостепных зонах. Богата люцерна и по питательной ценности: на 100 кг сена люцерны дают 50,2 кормовых единиц, из которых 13,7 кг приходится на перевариваемый протеин. Люцерна используется в качестве кормовой базы и в зеленом виде, но тогда ее питательная ценность несколько ниже. 100 кг свежей биомассы дает примерно 21 кормовую единицу, из которых чистого белка – 4 кг.

Удобрения увеличивают урожайность люцерны. Установлено, что при внесении доз минеральных удобрений пополняется содержание подвижных форм элементов питания и создаются благоприятные условия для формирования высокого урожая вегетативной массы люцерны [8, 9]. Однако важное значение имеет не только количество получаемой продукции, но и ее минеральная полноценность, которая значительно снизилась в последние годы [10, 11].

В основном химические элементы поступают в растения из почвы. Обеспеченность почв микроэлементами обусловлена основными факторами почвообразования, физико-химическими свойствами почв, элементным химическим составом почвообразующих пород и т.п., а в промышленных регионах – техногенным воздействием. В почвы сельскохозяйственных угодий химические элементы дополнительно поступают с удобрениями (в основном фосфорными) и мелиорантами [12, 13].

Учитывая вышеизложенное, цель данной работы – исследование изменения урожайности и содержания биофильных и токсичных элементов под воздействием различных удобрений в основной многолетней бобовой культуре Амурской области – люцерне посевной.

Объекты и методы исследований. Исследования проводились на лугово-черноземовидных почвах учебно-опытного хозяйства Дальневосточного государственного аграрного университета (с. Грибское) Амурской области в течение 2005–2006 гг. Лугово-черноземовидные почвы характеризуются высоким содержанием гумуса и гуматным его составом. Этим почвам свойственны слабокислая и нейтральная реакция, высокая емкость поглощения во всех горизонтах профиля, почти полная насыщенность поглощающего комплекса основаниями. Почвы отличаются хорошей, но непрочной структурой и низкой водопроницаемостью, широко применяются в сельском хозяйстве и активно реагируют на внесение удобрений. Однако за последние десятилетия отмечено, что вследствие антропогенной и техногенной нагрузки на лугово-черноземовидные почвы в Приамурье наблюдается их дегумификация, в некоторых районах экологическая ситуация близка к критической по всем показателям – потере гумуса, почвенной эрозии, загрязнению остаточными количествами пестицидов [1].

Использованная в опытах луговая черноземовидная почва имеет следующие показатели: содержание гумуса – 5,9%, pH_{KCl} – 5,8%, содержание подвижного фосфора – 35,5 мг/кг, обменного калия – 320,0 мг/кг, подвижных форм соединений (мг/кг) бора – 0,74, цинка – 28, молибдена – 0,25, селена – 0,04, свинца – 0,72, кадмия – 0,11.

При закладке опытов использовали методики В.А. Доспехова (1985), З.И. Журбицкого (1968), В.Г. Игловикова (1971).

Микрополевые опыты закладывали в 3-кратной повторности, в сосудах без дна. Высевали сорт люцерны посевной Марусинская 425. Схема опыта: Вариант 1 – контроль (без внесения удобрений), вариант 2 – торфо-гуминовые удобрения (ТГУ) «Деметра» (5 г/сосуд), вариант 3 – минеральные удобрения (суперфосфат 0,9 г/сосуд, калий хлористый 0,5 г/сосуд (РК)).

Содержание химических элементов в почвах и растениях определяли атомно-адсорбционным методом на приборах «Квант» и «Hitachi». Статистическая обработка данных была проведена в программе Excel.

Обсуждение результатов. В таблице 1 представлены полученные результаты. При внесении под люцерну минеральных и торфогуминовых удобрений на лугово-черноземовидных почвах создаются благоприятные условия для формирования более высокого урожая зеленой массы люцерны. Все варианты опыта статистически значимо отличались между собой, максимальную эффективность показали торфогуминовые удобрения. Возможно, одной из причин этого стал тот факт, что, в отличие от минеральных удобрений, элементы питания в составе ТГУ находились в адсорбированном состоянии, т.к. предварительно торф, из которого затем готовили ТГУ, был активирован специальным щелочным составом, позволяющим увеличить его адсорбционную способность в несколько раз. В литературе также отмечается [14], что эффективность ТГУ в полевых опытах бывает намного выше, чем минеральных удобрений, за счет пролонгированного действия элементов минерального питания.

Таблица 1. Результаты учета урожая в микроделяночных опытах с люцерной в сосудах без дна за 2005–2006 гг.

| Вариант опыта | Вес снопа после сушки, г | | Средняя урожайность | | Прибавка | |
|-------------------|--------------------------|---------|---------------------|---------|----------|---------|
| | | | г/сосуд | | | |
| | 2005 г. | 2006 г. | 2005 г. | 2006 г. | 2005 г. | 2006 г. |
| Контроль | 40,8 | 40,3 | 36,0 | 35,5 | - | - |
| | 32,9 | 32,0 | | | | |
| | 34,2 | 34,1 | | | | |
| ТГУ | 65,4 | 63,4 | 57,1 | 58,1 | 21,1 | 22,7 |
| | 49,2 | 51,1 | | | | |
| | 56,8 | 59,8 | | | | |
| РК | 50,2 | 52,1 | 43,8 | 45,5 | 7,8 | 10,1 |
| | 42,6 | 44,2 | | | | |
| | 38,6 | 40,2 | | | | |
| НСР ₀₅ | | | 7,4 | 7,5 | | |

Полученные результаты урожайности люцерны посевной первого и второго года практически совпадают (рис. 1). Метеорологические условия в годы проведения исследований были характерными для климата Амурской области, в течение вегетационного периода преобладало неравномерное распределение осадков и температуры – в мае исследуемых периодов отмечалась сухость почвы, в летние месяцы частичное переувлажнение, но в целом метеорологические особенности на урожае люцерны не отразились.

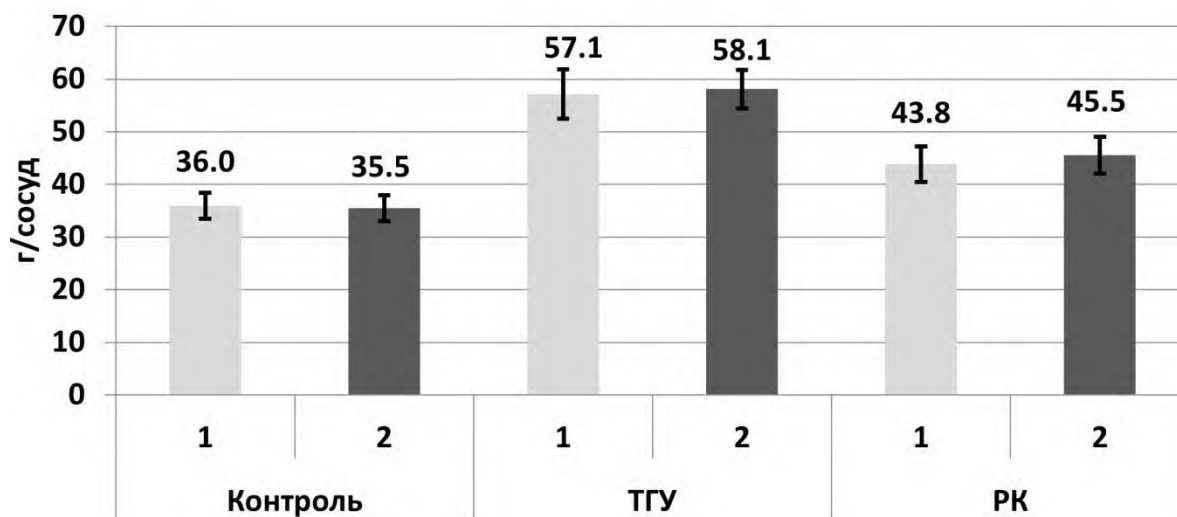


Рисунок 1. Средняя урожайность люцерны посевной, г/сосуд. Условные обозначения: 1, 2 – годы проведения исследований, 2005 и 2006 соответственно.

Наибольшая урожайность зеленой массы люцерны получена в варианте с ТГУ во втором году. Средняя урожайность люцерны выше на 64% в опыте с Деметрой по сравнению с контролем второго года, наименьший показатель в сравнении с контролем – 22% – у РК в первом году (рис. 2).

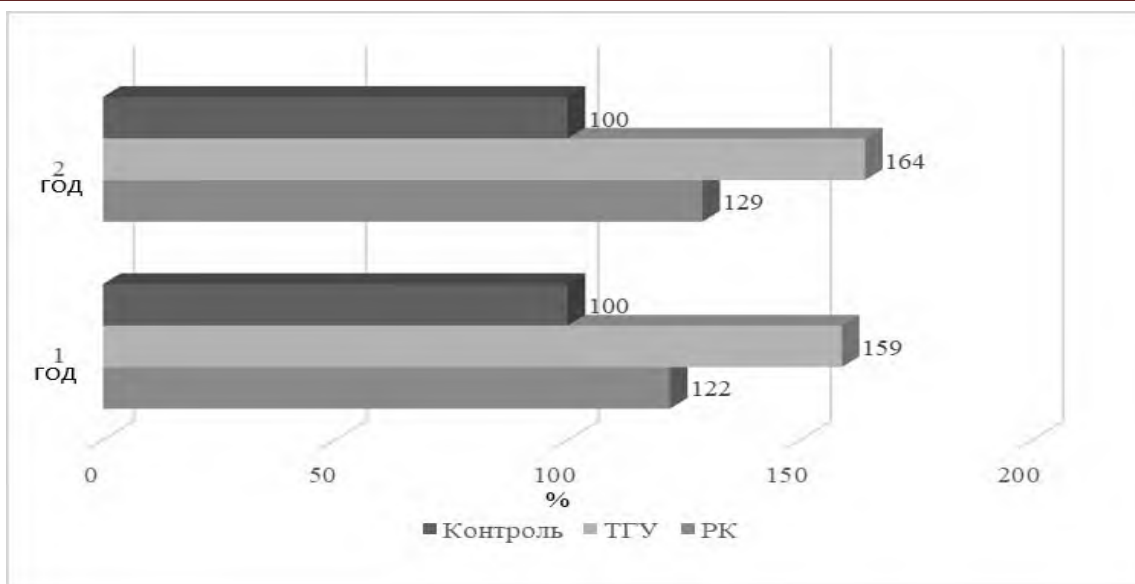


Рисунок 2. Относительная урожайность люцерны посевной, %.
Условные обозначения: 1, 2 – годы проведения исследований, 2005 и 2006 соответственно.

Помимо урожайности растений, большое значение имеет содержание в них определенных химических элементов. Масштаб поглощения элементов определяется их ролью в жизни растений. Zn, Mo, B относят к «элементам жизни», поскольку они участвуют в ключевых метаболических процессах: дыхании, фотосинтезе, углеводном и белковом обмене и т.п. Mo влияет на обмен веществ, в частности, на метаболизм аминокислот и нуклеиновых кислот, участвует в обмене серы в организме [15]. Важными функциями B является образование сахаров, накопление меристемы, плодообразование. Zn необходим для синтеза белков, липидов и нуклеиновых кислот, а также метаболизма углеводов [16]. В жизни растений также важен Se, он оказывает влияние на ростовые процессы, фотосинтетическую деятельность, зимостойкость, засухоустойчивость и продуктивность сельскохозяйственных культур [17]. Что касается Pb и Cd, то установлено, что при увеличении их содержания в листьях люцерны подавляется на 10–30% фотосинтетическая активность мезофильных клеток, что вызывает снижение продуктивности растений [18].

В таблице 2 представлено содержание вышеперечисленных элементов в люцерне посевной.

Таблица 2. Накопление микроэлементов люцерной посевной на луговых черноземовидных почвах в микроделяночном опыте (среднее из 3-х повторностей)

| Вариант опыта | Содержание, мг/кг | | | | | |
|---------------|-------------------|-----|-------|------|------|------|
| | B | Mo | Zn | Se | Pb | Cd |
| Контроль | 9,5 | 1,8 | 91,7 | 0,08 | 0,64 | 0,17 |
| ТГУ | 24,1 | 2,1 | 126,9 | 0,13 | 0,89 | 0,19 |
| РК | 12,7 | 4,9 | 90,0 | 0,09 | 1,40 | 0,21 |
| Норма | 1–30 | 2–3 | 30–60 | – | – | – |
| МДУ | – | 3,0 | 50 | – | 5,0 | 0,3 |

Примечание. Норма – биогеохимическая норма содержания элементов в кормах [19]; МДУ – максимально допустимый уровень концентрации элементов в грубых кормах [20].

Как свидетельствуют данные таблицы 2, больше всего люцерна накапливает цинк и бор, причем более активно при внесении торфогуминовых удобрений. Содержание цинка в люцерне посевной во всех случаях превышает нормируемые значения. Вероятно, это вызвано

высоким содержанием в почве подвижного цинка – 28 мг/кг при предельно допустимой концентрации 23 мг/кг. Содержание молибдена и свинца сильнее возрастает при внесении минеральных удобрений, возможно, за счет их содержания в фосфорных удобрениях [12]. Именно вариант с внесением минеральных удобрений сопровождается увеличением в растениях содержания молибдена выше допустимого уровня. Концентрация кадмия и селена в растениях минимальна и практически не отличается между вариантами опыта, МДУ кадмия не превышено.

Полученные результаты согласуются с ранее проведенными исследованиями по изучению содержания химических элементов в бобовых растениях в Барабинской низменности, где среднее содержание химических элементов в бобовых многолетних травах в концентрации (мг/кг) составляет: бора – 18–26, молибдена – 1,2–2,0, кадмия – 0,1–0,2, свинца – 0,7–1,5 [11]. Это указывает на близкие содержание в растениях биофилов В и Мо и отсутствие загрязнения растений токсикантами Cd и Pb. Селен в растениях до сих пор изучен весьма фрагментарно, что затрудняет сопоставление полученных результатов.

Заключение. Проведенные исследования показали, что внесение удобрений приводит к статистически значимому увеличению урожайности люцерны посевной – на 22–29% при внесении минеральных и на 59–64% при внесении торфогуминовых. Урожайность первого и второго года опытов практически не отличается между собой, влияния климатических условий выявлено не было. Наибольшая прибавка зеленой массы была получена на втором году опытов при внесении торфогуминовых удобрений.

Концентрация исследованных химических элементов в люцерне посевной снижается в ряду $Zn > B > Mo > Pb > Cd > Se$. МДУ токсичных элементов свинца и кадмия в растениях не превышено, однако содержание цинка примерно в 2 раза выше нормируемых значений – вероятно, из-за его высокого содержания в почве.

INFLUENCE OF DIFFERENT TYPES OF FERTILIZERS ON YIELD AND MICROELEMENT COMPOSITION OF ALLFALFA

O.S. Samokhvalova

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, samokhvalova_os@sibsiu.ru

Summary: *The paper presents the results of a two-year microfield experiment to study the effect of various fertilizers on the yield and elemental chemical composition of alfalfa grown on meadow-chernozem-like soils in the Amur region. It has been established that peat-humic fertilizers contribute to a greater increase in green mass compared to mineral ones. Alfalfa actively accumulates zinc and boron, the content of potentially toxic elements - cadmium and lead - does not exceed the maximum permissible values.*

Keywords: *alfalfa, perennial grasses, soil, fertilizers, microelements, Amur region.*

Литература

1. Голов В.И., Бурдуковский М.Л., Иваненко Н.В., Попова Ю.А. Экологическое состояние пахотных почв Дальнего Востока и ближайшие перспективы их использования // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2020. № 1(209). С. 6–74.
2. Ничутин А.С. Состояние и перспективы развития растениеводства Амурской области // Молодой ученый. 2023. № 7 (454). С. 53–57.
3. Бюллетень о состоянии сельского хозяйства. Продукция сельского хозяйства в 2021 году // Сайт Росстата РФ. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277>

4. Иванова Е.П., Чувиллина Е.П., Хасбиуллина О.И., Беркаль И.В. Роль многолетних бобовых трав в биологизации земледелия и развитии кормопроизводства Дальнего Востока // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 10. С. 41–46.
5. Шмелева Н.В. Многолетние травы - важный фактор воспроизводства и регулирования плодородия почв Верхневолжья // Владимирский земледелец. 2022. № 2(100).
6. Лазарев Н.Н. Долголетие люцерны изменчивой в одновидовых посевах и травосмесях / Доклады ТСХА, Москва, 02–04 декабря 2014 года. Том 1. Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2015. С. 100–103.
7. Дроздова В.В., Шеуджен А.Х., Нещадим Н.Н., Лиманский А.Н. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зеленой массы люцерны // Плодородие. 2013. № 6(75).
8. Казарина А.В., Марунова Л.К. Влияние режима питания на продуктивность люцерны в условиях самарского Заволжья // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2017. № 12. С. 101–105.
9. Сысо А.И., Лебедева М.А., Худяев С.А. и др. Макро- и микроэлементы в почвах и кормовых травах прифермерских полей Барнаульского Приобья // Вестник НГАУ. 2017. № 3(44). С. 54–61.
10. Сысо А.И. Актуальные вопросы гигиенической и биогеохимической оценки качества почв и растительной продукции / Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах: материалы II Международной школы-семинара для молодых исследователей, посвященной памяти профессора В.Б. Ильина (Тюмень, 16–20 мая 2016 года). Тюмень: Тюменский государственный университет, 2016. С. 132–142.
11. Кондратова А.В. Прокопчук В.Ф. Содержание микроэлементов в чернозёмовидных почвах Зейско-Буреинской равнины // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. 2018. Т. 23. С. 68–77.
12. Костиков Д.Н. Микроэлементы в почвах Зейско-Буреинской равнины / Тр. Благовещ. с.-х. ин-та, 1971. Т. 6. С. 106–109.
13. Голов В.И., Самохвалова О.С., Ананьева Э.В., Тимофеев А.Н. Условия накопления микроэлементов и тяжелых металлов основными кормовыми культурами на почвах Амурской области // Вестник КрасГАУ. 2007. № 2. С. 59–62.
14. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010.
15. Иванищев В.В. Цинк в природе и его значение для растений // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. № 2. С. 35–49. DOI: [10.46689/2218-5194-2022-2-1-35-49](https://doi.org/10.46689/2218-5194-2022-2-1-35-49).
16. Побилат А.Е., Волошин Е.И. Особенности содержания селена в системе почва-растение // Вестник КрасГАУ. 2020. № 11. С. 95–102.
17. Желтухина В.И., Морозова Т.С., Панин С.И. и др. Поведение тяжелых металлов в почвенно-биотическом комплексе агроценозов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2021. № 4(32). С. 136–140.
18. Башкин В.Н., Евстафьева Е.В., Снакин В.В. и др. Биогеохимические основы экологического нормирования. М.: Наука, 1993. 304 с.
19. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф. Геохимическая экология животных. М.: Наука, 2008. 315 с.

УДК 631.427

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОДЗОЛОВ И АБРАЗЕМОВ КРИОЛИТОЗОНЫ

О.Ю. Семина

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва,
sem_olga02@mail.ru

***Аннотация.** В работе была изучена активность каталазы, инвертазы, уреазы, а также интенсивность базального дыхания и содержание углерода микробной биомассы. Для всех почв свойственно снижение активности каталазы и инвертазы вниз по профилям, что связано со снижением содержания водорастворимого углерода. Изменение по профилям почв уреазы сильно варьирует. Интенсивность базального дыхания и содержание углерода микробной биомассы снижается по мере продвижения вниз по профилю.*

***Ключевые слова:** подзолы; абраземы; криолитозона; ферментативная активность почв; дыхательная активность почв; северные почвы.*

Одним из важнейших параметров, характеризующих почву, является ее биологическая активность, которая состоит из взаимодействий живых организмов почвы друг с другом и продуктами их жизнедеятельности. Высокая биологическая активность – это один из главных признаков «хорошего» биогеоценоза [1].

Для каждой почвы характерен сложный комплекс ферментов, называемый ферментативным пулом, формирующийся за счет микроорганизмов, экссудатов растений и почвенной фауны [2]. Ферментативный пул представляет собой совокупность ферментов, обладающих способностью находиться в свободной состоянии (в жидкой фазе), и ферментов, иммобилизованных. Почва характеризуется определенным набором ферментов, активность которых определяется окружающими условиями: температурой, влажностью, субстратом, рН и др.

Ферменты класса оксиредуктаз отвечают за ускорение окислительно-восстановительных реакций, принимающих участие в важных биохимических процессах, например, в разложении и синтезе гуминовых веществ (ГВ).

Каталаза – это фермент, относящийся к классу оксидоредуктаз. Каталаза является катализатором реакции разложения перекиси водорода на воду и молекулярный кислород [3].

Гидролазы – класс ферментов, разрушающий связи высокомолекулярных органических соединений и отвечающий за протекание реакции гидролиза. Одним из представителей класса гидролаз является инвертаза или β -фруктофуранозидаза. Этот фермент осуществляет гидролиз сахарозы на глюкозу и фруктозу. Активность большинства ферментов класса гидролаз – индикатор антропогенного воздействия на почвы и важнейший показатель биологической активности [4]. К классу гидролаз относится уреазы, принимающая участие в регулировании азотного обмена в почве. Уреазы катализируют гидролитическое разложение мочевины на аммиак и диоксид углерода за счет разрыва связи между атомом азота и углерода в молекулах органического вещества (ОВ) [5].

Важнейшую роль в регуляции газового состава атмосферы и круговороте элементов минерального питания играет живая часть почвы, преобладающая часть которой представлена почвенными микроорганизмами [6–7]. Дыхание почвы является ключевым процессом для поступления углерода в атмосферу [8].

Объектами исследования являются почвы, отобранные на территории Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) летом 2023 г. Почвы – подзолы грубогумусированные и торфяно-подзол турбированный, представленные естественными ненарушенными вариантами и антропогенно преобразованными.

В работе было задействовано 4 площадки, располагающихся под различными естественными растительными сообществами. Большая часть растительных ассоциаций характеризуется доминирующими мохово-лишайниковыми и травяно-кустарниковыми ярусами, однако встречается древесная растительность, представленная преимущественно разнообразными низкорослыми видами.

Методы исследования:

1. **Базальное (БД) и субстрат-индуцированное дыхание (СИД)** определены по Ананьевой Н.Д., Сусьян Е.А., Гавриленко Е.Г. [9].

2. **Углерод микробной биомассы (Смик)** рассчитан по Т.Н. Anderson, К.Н. Domsch [10]: $MB\text{-}Смик (мкгC\text{-}CO_2/г\text{ почвы}) = СИД * 40,04 + 0,37$.

3. **Активность каталазы в почве** была определена газометрически по Звягинцеву [11].

4. **Инвертаза (β -фруктофуранозидаза)** была определена с учётом восстанавливающих сахаров по Бертрану [11].

5. **Активность уреазы** была определена по Щербаковой [11].

Как в естественных подзолах, так и в антропогенно преобразованных абраземах происходит снижение активности каталазы и инвертазы с глубиной, что связано со снижением содержания углерода водорастворимых соединений и лабильных гумусовых веществ, являющихся наиболее доступным субстратом для почвенных микроорганизмов.

Практически во всех горизонтах исследованных почв активность ферментов каталазы и инвертазы характеризуется как «очень бедная» и «бедная». Исключение составляют только два горизонта – торфяной горизонт торфяно-подзола глеевого турбированного и горизонт О_{ао} подзола грубогумусированного (3).

Данные, полученные по активности уреазы, получились не однозначными. Несмотря на то, что все горизонты всех исследованных почв характеризуются «средней обогащенностью» этого фермента, распределение по профилям почв сильно различается и не подчиняется никакой зависимости. Например, в подзоле грубогумусированном (1) наблюдается увеличение активности фермента уреазы к альфегумусовому горизонту (глубина залегания 16–30 см). Это может быть связано с увеличением содержания в этом горизонте белков и нуклеиновых кислот, являющихся источниками мочевины. Похожая закономерность наблюдается в подзолах грубогумусированных (2) и (3). В торфяно-подзоле глеевом турбированном максимальная активность уреазы наблюдается в торфяном горизонте. Для иллювиальных горизонтов абраземов характерны высокие значения по активности уреазы, превышающие значения в верхних горизонтах в естественных подзолах.

В подзолах грубогумусированных и торфяно-подзоле глеевом турбированном происходит снижение базального дыхания и углерода микробной биомассы вниз по профилю. Максимальные значения базального дыхания (БД) и углерода микробной биомассы (Смик) приурочены к верхним горизонтам, так как именно в них было диагностировано самое высокое содержание углерода водорастворимых соединений (С_{вов}), ОВ и углерода лабильных гумусовых веществ (С_{лгв}); в том числе, верхние горизонты характеризуются лучшим температурными и водно-воздушными условиями. В абраземах альфегумусовых наблюдается аналогичная закономерность – снижение интенсивности БД и содержания Смик вниз по профилю. Значения, полученные для абраземов, сопоставимы со значениями, полученными в естественных подзолах. Это говорит о наличии микроорганизмов, как в активном состоянии, так и в «спящем» в абраземах.

Была получена прямо пропорциональная зависимость между содержанием Смик и интенсивностью БД. Коэффициент детерминации составил 0,89. Кроме того, была получена положительная прямо пропорциональная зависимость между содержанием Смик и содержанием С_{вов}. Коэффициент детерминации равен 0,77.

Автор выражает глубокую благодарность сотрудникам ООО «СеверПодводСтрой» – Лыхве С.В., Горбунову Ю.Н., Чупрову В.С. за участие в подготовке и осуществлении отбора материалов для исследований, сопровождение во время проведения полевых работ на объектах

газотранспортной инфраструктуры на территории ЯНАО, а также за помощь в решении всех возникавших технических и бытовых вопросов. А также сотрудникам факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова: Дёмину В.В., Завгородней Ю.А., Белову А.А., Смирновой И.Е., Прокофьевой Т.В. за консультации и помощь в выполнении исследований.

BIOLOGICAL ACTIVITY OF PODZOLS AND ABRASEMS OF CRYOLITHOZONE

O.Y. Semina

Lomonosov Moscow State University, Moscow, sem_olga02@mail.ru

Summary: *The activity of catalase, invertase, urease, as well as the intensity of basal respiration and the carbon content of microbial biomass were studied. All soils are characterized by a decrease in catalase and invertase activity down the profiles, which is associated with a decrease in the content of water-soluble carbon. The change in the profiles of urease soils varies greatly. The intensity of basal respiration and the carbon content of microbial biomass decrease as you move down the profile.*

Keywords: *podzols; abrasives; cryolithozone; enzymatic activity of soils; respiratory activity of soils; northern soils.*

Литература

1. Лукьянов О.А. К проблеме оценки качества и состояния нарушенных экосистем // Животные в условиях антропогенного ландшафта. Свердловск, 1990. С. 61–69.
2. Хазиев Ф.Х. Экологические связи ферментативной активности почв // Экобиотех. 2018. Т. 1. № 2. С. 80–92.
3. Костерина В.В. Каталаза как представитель биологических катализаторов и ее активность в разных сортах картофеля // Вестник Совета молодых учёных и специалистов Челябинской области. 2016. № 4 (15). Т. 1. С. 31–34.
4. Adam G., Duncan H. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils // Soil Biology and Biochemistry. 2001. Vol. 33. P. 943–951.
5. Галкина Е.Э. Ферментативная активность почвы под разными биогеоценозами в пойме реки Зeya / Молодежный вестник Дальневосточной аграрной науки: сборник студенческих научных трудов факультета агрономии и экологии. Выпуск 5. Благовещенск: ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, 2020. С. 10–15.
6. Martens R. Current methods for measuring microbial biomass C in soil: Potentials and limitations // Biol. Fertil. Soils. 1995. Vol. 19. №2–3. P. 87–99.
7. Dilly O. Regulation of the respiratory quotient of soil microbiota by availability of nutrients // FEMS Microbiology Ecology. 2003. Vol. 43. P. 375–381.
8. Pell M., Stenström J., Granhall U. Soil Respiration // Microbiological methods for assessing soil quality. 2005. 307 p.
9. Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Гавриленко Е.Г. Особенности определения углерода микробной биомассы методом субстрат-индуцированного дыхания // Почвоведение. 2011. № 11. С. 1327–1333.
10. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biology and Biochemistry. 1978. Vol. 10. No. 3. P. 215–221.
11. Белов А.А., Чепцов В.С., Лысак Л.В. Методы идентификации почвенных микроорганизмов. Москва: МАКС-ПРЕСС, 2020. 196 с.

УДК 504.062.4

СОЗДАНИЕ ЭКОСИСТЕМ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЛОИСТЫХ СИЛИКАТОВ

М.В. Слуковская^{1,2}, И.П. Кременецкая², Т.К. Иванова^{1,2}, А.С. Сошина³, А.А. Чапоргина³,
Н.В. Фокина³, Е.С. Латыук³, А.Г. Петрова¹, Л.А. Иванова^{3,4}

¹ Лаборатория природоподобных технологий и техносферной безопасности Арктики, Центр наноматериаловедения, Кольский научный центр РАН, г. Апатиты Мурманской обл.,
m.slukovskaya@ksc.ru, tk.ivanova@ksc.ru, petrova_anna93@mail.ru

² Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева, Кольский научный центр РАН, г. Апатиты, i.kremenetskaia@ksc.ru

³ Институт проблем промышленной экологии Севера, Кольский научный центр РАН, г. Апатиты, a.soshina@ksc.ru, a.chaporgina@ksc.ru, n.fokina@ksc.ru, e.latyuk@ksc.ru

⁴ Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина, Кольский научный центр РАН, г. Апатиты, ivanova_la@inbox.ru

Аннотация. Представлены результаты многолетних исследований по восстановлению растительного покрова в импактной зоне предприятия цветной металлургии в Мурманской области с применением слоистых силикатов (исходных и термоактивированных серпентинов, термовермикулита). Показана принципиальная возможность многолетнего устойчивого функционирования искусственно созданных экосистем и запуск процесса почвообразования в условиях действующего предприятия.

Ключевые слова: серпентин, вермикулит, Субарктика, ремедиация.

Мурманская область, территория которой относится к Арктической зоне Российской Федерации, является удобным модельным полигоном для проведения природоохранных мероприятий, в том числе рекультивации техногенно загрязненных почв. Деятельность такого крупного предприятия, как медно-никелевый комбинат (ОАО «Кольская ГМК», площадка Мончегорск) привела к возникновению обширных участков, которые нуждаются в применении адаптивных технологий для восстановления растительного покрова. С другой стороны, в регионе имеются большие объемы горнопромышленных отходов, минеральный и химический состав которых позволяет использовать их для создания искусственных фитоценозов, а именно серпентин-вермикулитовые отходы добычи флогопита (г. Ковдор).

Нашей группой исследователей в более чем 10-летних экспериментах показана принципиальная возможность восстановления растительности как на деградированных подзолах, так и на торфяных почвах в импактной зоне комбината с использованием посевных травянистых фитоценозов на щелочных горнопромышленных отходах и материалах на их основе, содержащих доступные растениям магний, кальций и активный кремний в исходных и термообработанных серпентиновых минералах и вермикулите [1–3].

Исследованы сорбционные свойства исходных и термоактивированных серпентинов, содержание форм нахождения в них элементов (Ca, Mg, Si). Предпосылкой для проведения эффективных рекультивационных мероприятий являются такие свойства серпентинов, как 1) наличие кислотонейтрализующих компонентов, 2) сорбционная способность по отношению к металлам; 3) образование растворимого кремния. Важным условием успешного внедрения результатов проекта является обеспечение работ материалами и технологиями. Выполнены работы по оптимизации процесса обжига серпентинов с использованием данных о трансформации серпентинов при обжиге, а также, проведены испытания обжига зернистых

продуктов (вермикулит-лизардитового продукта обогащения отходов добычи флогопита и вермикулитового концентрата).

Установлено, при содержании серпентинов 50–75 об.% достигается снижение токсичности почвосмесей до уровня, приемлемого для произрастания растений. На основании сопоставления биомассы, химического состава растений и содержания в них пигментов сделан вывод о том, что ключевым фактором устойчивости фитоценозов является корректировка дисбаланса минерального питания в результате перехода в почвенный раствор компонентов серпентиновых материалов. Мониторинг рекультивационных площадок в течение четырех лет полевого эксперимента показал, что травяной покров способен к устойчивому функционированию за счет нейтрализации кислотности торфяной почвы, снижения токсичности почвенных растворов, устранения дисбаланса макрокомпонентов. Серпентиновые минералы способствуют снижению степени выщелачивания металлов в результате перераспределения содержания форм, связанных с органическим веществом, в минеральные формы [4].

Содержание доступной и кислоторастворимой форм Cu и Ni было тем меньше, чем больше в этих фракциях было содержание компонентов мелиорантов (Ca, Mg, Si), что подтверждает существенное влияние гидролитических и сорбционных процессов, протекающих с их участием, на распределение металлов по формам геохимической миграции. Минеральные частицы изменяют состав торфа, проникая в нижележащие слои.

Исходный торф обладает своим микробиомом, адаптированным к экстремальной техногенной нагрузке. Добавление минеральных мелиорантов разбавляло исходный торф, что выражалось в уменьшении базального дыхания и функционального разнообразия микробного сообщества. Наибольшее влияние на микробиом оказывала температура воздуха, подтверждая, что температура является лимитирующим фактором для развития микроорганизмов, особенно в северных экосистемах. Выявлены некоторые сезонные изменения для сообщества микроорганизмов в разных вариантах эксперимента. Дыхательная активность микроорганизмов, отраженная в показателе базального дыхания, была выше летом, как для исходного торфа, так и для некоторых вариантов почвосмесей. В весенний период отмечена наибольшая скорость минерализации органических субстратов и наиболее сбалансированное сообщество микроорганизмов на физиологическом уровне, что может быть связано с высоким разнообразием легкодоступных органических веществ в начале вегетационного сезона, и их постепенного сокращения к осени, что также проявлялось в уменьшении функционального разнообразия к концу вегетационного сезона. Весной и осенью дыхательный отклик микроорганизмов почвы и почвосмесей кластеризовался в зависимости от концентрации минерального материала: на варианты с более низким содержанием мелиорантов и на варианты – с более высоким содержанием. В летний период эффект от добавления разных минеральных материалов в разной концентрации нивелировался.

Выполнен комплекс исследований по получению азотсодержащих мелиорантов пролонгированного действия. На основании результатов исследования процессов фазообразования при взаимодействии термоактивированных серпентиновых минералов с водой получен азотсодержащий гранулированный серпентин. Фитотестирование тройных смесей показало, что термосерпентин, содержащий аммоний, при подборе оптимальной дозировки способствует повышению морфометрических параметров растений на ранних стадиях онтогенеза. Вермикулит эффективнее сорбирует аммоний по сравнению с серпентиновыми минералами. Выявлено положительное влияние добавления вермикулита в состав почвосмесей. Наиболее благоприятные почвенные условия создаются при внесении вермикулита в количестве 5 мас.% благодаря увеличению доли фиксированного аммония, который превращается в нитратную форму медленнее по сравнению с обменным аммонием. Полевые испытания вермикулита, насыщенного растворами удобрений, показали, что данный способ является перспективным для обеспечения растений азотом на начальном этапе проведения рекультивационных работ [5].

Успешное восстановление растительности возможно при условии соответствия технологических приемов особенностям рельефа и процессам естественного почвообразования. Для перезапуска процесса почвообразования в условиях, аналогичным условиям экспериментального участка, целесообразен подход, предусматривающий рекультивацию с применением минеральных субстратов, что позволяет создавать устойчивые искусственные фитоценозы, в которых происходит не потеря, а постепенное накопление органического вещества, т.е. реализуется процесс первичного почвообразования.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта министерства образования и науки Мурманской области (соглашение № 216 от 25.06.2024).

CREATION OF ECOSYSTEMS IN EXTREME NATURAL-TECHNOGENIC CONDITIONS OF THE MURMANSK REGION USING LAYERED SILICATES

M.V. Slukovskaya^{1,2}, I.P. Kremenetskaya², T.K. Ivanova^{1,2}, A.S. Soshina³, A.A. Chaporgina³, N.V. Fokina³, Ye.S. Latyuk³, A.G. Petrova¹, L.A. Ivanova^{3,4}

¹ Laboratory of Nature-inspired Technologies and Environmental Safety of the Arctic region, Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences, Apatity, m.slukovskaya@ksc.ru, tk.ivanova@ksc.ru, petrova_anna93@mail.ru

² I.V. Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials, Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences, Apatity, i.kremenetskaia@ksc.ru

³ Institute of North Industrial Problems, Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences, Apatity, a.soshina@ksc.ru, a.chaporgina@ksc.ru, n.fokina@ksc.ru, e.latyuk@ksc.ru

⁴ N.A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute, Russian Academy of Sciences, Apatity, ivanova_la@inbox.ru

Summary: *The results of many years of research on the restoration of vegetation cover in the impact zone of a non-ferrous metallurgy enterprise in the Murmansk region using layered silicates (original and thermally activated serpentines, thermovermiculite) are presented. The fundamental possibility of long-term sustainable functioning of artificially created ecosystems and the launch of the soil formation process in the conditions of an existing enterprise is shown.*

Keywords: *serpentine, vermiculite, Subarctic, remediation.*

Литература

1. Slukovskaya M.V., Kremenetskaya I.P., Drogobuzhskaya S.V., Ivanova L.A., Mosendz I.A., Novikov A.I. Serpentine Mining Wastes - Materials for Soil Rehabilitation in Cu-Ni Polluted Wastelands // Soil Science. 2018. Vol. 183 Issue 4. P. 141–149. DOI: [10.1097/SS.0000000000000236](https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000236)
2. Slukovskaya M.V., Vasenev V.I., Ivashchenko K.V., Dolgikh A.V., Novikov A.I., Kremenetskaya I.P., Ivanova L.A., Gubin S.V. Organic matter accumulation by alkaline-constructed soils in heavily metal-polluted area of Subarctic zone // Journal of Soils and Sediments. 2021. 21. P. 2071–2088. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02666-43>.
3. Slukovskaya M.V., Kremenetskaya I.P., Mosendz I.A., Ivanova T.K., Drogobuzhskaya S.V., Ivanova L.A., Novikov A.I., Shirokaya A.A. Thermally activated serpentine materials as soil additives for copper and nickel immobilization in highly polluted peat // Environmental Geochemistry and Health. 2023. Vol. 45. P. 67–83. <https://doi.org/10.1007/s10653-022-01263-3>
4. Slukovskaya M.V., Petrova A.G., Ivanova L.A., Ivanova T.K., Mosendz I.A., Novikov A.I., Shirokaya A.A., Kovorotniaia M.V., Panikorovskii T.L., Kremenetskaya I.P. Serpentine

Overburden Products–Nature-Inspired Materials for Metal Detoxification in Industrially Polluted Soil // *Toxics*. 2023. 11(12). 957. <https://doi.org/10.3390/toxics11120957>

- Иванова Т.К., Кременецкая И.П., Мосендз И.А., Слуковская М.В. Способ ремедиации техногенно-нарушенной почвы, загрязненной тяжелыми металлами. Патент на изобретение № 2795705, заявка 2022127201, 18.10.2022. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 11.05.2023 г. Бюл. № 14.

УДК 631.34

ОСОБЕННОСТИ МНОГОСЛОЙНОГО ДРАЖИРОВАНИЯ СЕМЯН ДОННИКА ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

О.М. Соболева^{1,2}, А.О. Авдеев¹, С.Н. Витязь¹

¹ ФГБОУ ВО Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецовка

² ФГБОУ ВО Кемеровский государственный медицинский университет Минздрава России
Кемерово, meer@yandex.ru

Аннотация. Дражированные семена донника требуют особых условий для своего производства. Нанесение покрытий улучшает фазы прорастания, ускоряет фенологические процессы, улучшает физико-морфологические показатели и урожайность. Дражирование семян представляет собой эффективный инструмент улучшения состояния культур, используемых в рекультивации нарушенных земель. Погрешности в технологии дражирования могут привести к снижению качества самого драже, уменьшению всхожести дражированных семян, пониженной сохранности развивающихся растений.

Ключевые слова: дражирование семян, многослойное дражирование, проблемы дражирования, донник желтый, рекультивация нарушенных земель.

Актуальность. Грунты на отвалах угледобывающих предприятий биологически инертны за счет своих характерных особенностей: неблагоприятного гранулометрического состава, незначительного содержания азота при одновременно приемлемом количестве калия и фосфора, отсутствия органического компонента, бедности и нетипичности состава микробиоты. Принятые в настоящее время методы биологической рекультивации не всегда отвечают требованиям экологов и запросам углепромышленников: их не устраивают недостаточные приживаемость и скорость возобновления используемых видов растений, низкое видовое разнообразие, высокая стоимость технологии за счет необходимости нанесения дополнительных слоев, например, потенциально плодородного слоя (ППС). Предполагается, что указанные сложности могут быть частично преодолены и компенсированы за счет использования семян донника лекарственного (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.), дражированных по специальной технологии. Оболочка такого дражированного семени представляет собой сложную многослойную биоорганичминеральную гранулу с микроорганизмами-симбионтами и комплексом веществ с разнообразными свойствами (влагоудерживающими, ростостимулирующими, субстратоподобными, стресс-протекторными, питающими и др.).

Спрос на дражированные семена среди производителей сельскохозяйственной продукции продолжает расти [1], поскольку такие семена можно высевать с высокой точностью. Точное расстояние между семенами, достигаемое с помощью использования дражированных семян, снижает необходимость в прореживании и экономит посевной материал, что особенно важно для мелкосеменных культур. В дальнейшем незагущенные всходы лучше развиваются, меньше болеют, показывают более высокую продуктивность. Вместе с тем известно, что дражирование требует больше времени и специальных знаний по сравнению с другими технологиями нанесения покрытий из-за широкого применения активных компонентов, жидкостей и твердых частиц [2]. Дражирование не должно препятствовать прорастанию семян при посеве в полевых условиях [3].

Целью современной технологии дражирования семян сельскохозяйственных культур является равномерное нанесение широкого спектра активных компонентов на семена сельскохозяйственных культур в желаемых дозировках, чтобы облегчить посев и повысить

урожайность [4]. Увеличение массы семян при этих различных способах нанесения покрытия составляет от <0,05% до >5000% (в диапазоне >100 000 раз). Современные технологии нанесения покрытий обеспечивают доставку множества функциональных материалов, включая биостимуляторы, питательные вещества и средства защиты растений. Семена в природных условиях могут подвергаться широкому спектру биотических и абиотических стрессов, приводящих к снижению продуктивности посевов. Однако рациональное использование химических, биохимических и биологических компонентов дражирования семян может защитить и улучшить их приживаемость, рост и потенциальную продуктивность.

Дражирование помогает увеличить размер семян, придает им более равномерную форму и облегчает выращивание. Ключевым элементом успешного дражирования семян зависит от материала матрицы, связующего вещества и активных ингредиентов. В частности, материал матрицы увеличивает размер семян, что облегчает их выращивание, не препятствуя поглощению воды и воздуха. Некоторыми из обычно используемых материалов-матриц являются карбонат кальция, известняк, бентонит, цеолит, пемза, гипс, тальк, древесный уголь, вермикулит и диатомит [5]. Однако различные типы материалов для гранулирования семян также обладают различными физическими свойствами, поэтому они подходят для разных типов семян.

Назначение активных ингредиентов заключается в защите и повышении эффективности семян и проростков с точки зрения всхожести, роста и развития. Механизм действия активного ингредиента определяет его роль в защите и/или улучшении качества. Активные ингредиенты включают биостимуляторы, питательные вещества для растений, средства защиты от абиотического и биотического стресса и инокулянты [6]. Средства защиты семян являются наиболее широко используемой группой ингредиентов для борьбы с патогенами и вредителями во время посева. Отдельные грибковые и/или бактериальные микроорганизмы используются в промышленности для защиты растений и в качестве инокулянтов для фиксации азота. После посева могут возникнуть абиотические стрессы, вызванные засолением почвы или засухой, и для смягчения этих стрессов при обработке семян могут быть применены специальные биологические и синтетические средства для обработки семян [7].

Целью исследования стало изучение технологии многослойного дражирования семян донника и проблем, возникающих в процессе дражирования, а также соответствующий поиск их решений.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования служили семена донника желтого (лекарственного) (*Melilotus officinalis* Desr.). Использовались следующие материалы для дражирования: прилипатель, комплексное удобрение «Гумат +7 «Здоровый урожай»» (филиал Россельхозцентр по Кемеровской области, г. Кемерово), торф верховой нейтрализованный, инокулянты бактерий-азотфиксаторов в торфяной форме («Био-торфин-Т» + «Гумариз-Т» для донника) (ООО «Биофабрика», Пензенская область, г. Кузнецк), биофунгициды, вермикулит.

В результате дражирования семена донника оказывались заключенными в сложносоставную биоорганическую оболочку. Драже изготавливали ручным способом. После изготовления каждой партии драже ее отправляли на проращивание. Экспериментальный посев опытных партий драже производили на поверхность горной породы отвалов угледобывающего предприятия Кемеровской области. Посев проводили в пластиковые контейнеры объемом 250 см³, полив – водопроводной водой. В контейнеры, кроме воды и опытных драже, не вносили дополнительные удобрения, плодородные грунты и другие добавки.

Обсуждение результатов. По мере изготовления опытных партий драже и последующего их проращивания на субстрате из породы с отвалов угледобывающих предприятий появлялись сложности (табл.), для решения которых необходимо было найти

решение и усовершенствовать как технологию изготовления, так и рецептуру драже. Иногда это требовало введения новых ингредиентов, например, биофунгицидов.

В процессе дражирования сложность заключается в формировании драже и сочетании матрицы, прилипателя (связующего вещества) и ингредиентов-наполнителей. Выбор подходящего материала матрицы для семян также является сложной частью процесса дражирования семян [8].

Таблица. Проблемы при изготовлении опытных партий драже семян донника желтого

| Проблема | Причина | Решение |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| После сушки драже рассыпаются, не держат форму | Недостаточное количество прилипателя | Использование дополнительных слоев прилипателя и торфа – до 4–6 в общей сложности |
| Невсхожие драже | Сушка при слишком высокой температуре | Контроль используемой температуры сушки – не выше 40°C |
| Драже при хранении покрываются плесенью | Недостаточный период сушки | Контроль продолжительности сушки по конечной массе – не более 15% от первоначальной |
| Драже при прорастании покрываются плесенью | Нестерильные условия изготовления + благоприятные условия для роста плесени (высокая влажность, наличие легкодоступного питательного субстрата – крахмала) | Введение в состав драже дополнительного слоя биофунгицидов – конкурентных грибов рода <i>Trichoderma</i> |
| Неодновременное прорастание семян | Большой размер драже | Для целей рекультивации такая особенность не является проблемой. Для сельскохозяйственных целей необходимо уменьшать размер драже |

Введение в состав драже биофунгицидов показало, что неконтролируемый рост плесеней хранения прекратился; на поверхности драже развивается только культурный штамм гриба с характерными для него морфологическими и культуральными свойствами (рис.), что подтверждено микроскопически.

Эксперименты показали, что каждое из получаемых драже, независимо от его состава и размера, обладает высокой гигроскопичностью, хорошо поглощает воду и полностью пропитывается водой уже через 15–25 мин (в зависимости от размера). Были изучены два варианта увлажнения:

1) При избыточном доступе влаги каждое из драже распадается, освобождая заключенные в нем семена.

2) Если же влага поступает только снизу, из пятна контакта с влажным грунтом, то драже чаще всего полностью или частично сохраняет свою форму.

И в том, и в другом случае начинается процесс набухания семян и их прорастания. Второй вариант, когда драже под воздействием влаги не рассыпается полностью, по-видимому, даже будет более желателен в природных условиях при рекультивации: в верхней части драже семена не набухают и не начинают прорастание. Эти семена образуют, таким образом, своеобразный «запас» на будущее. Такой «запас» начнет прорастать при выпадении

последующих осадков, что может дать второй очереди семян конкурентное преимущество в том случае, если первая партия проросших семян по какой-либо причине погибнет.

Заключение. Таким образом, проведенное исследование показало, что технология многослойного дражирования семени донника требует особо строгого соблюдения отдельных технологических этапов, т.к. их нарушения могут привести к получению невсхожих партий драже. Из обнаруженных проблем необходимо отметить потерю всхожести, поражение плесенью в период хранения драже или в период их прорастания.

FEATURES OF MULTILAYER DREDGING OF CLOVER SEEDS FOR RECLAMATION OF DISTURBED LANDS

O.M. Soboleva^{1,2}, A.O. Avdeev¹, S.N. Vityaz¹

¹ Kuzbass State Agrarian University named after V.N. Poletskov

² Kemerovo State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
Kemerovo, meer@yandex.ru

Summary: *Drained sweet clover seeds require special conditions for their production. Coating improves germination phases, accelerates phenological processes, improves physico-morphological parameters and yields. Seed grazing is an effective tool for improving the condition of crops used in the reclamation of disturbed lands. Errors in the technology of draining can lead to a decrease in the quality of the dragee itself, a decrease in the germination of the drained seeds, and a reduced preservation of developing plants.*

Keywords: *Pelleting of seeds, multilayer pelleting, pelleting problems, yellow sweet clover, reclamation of disturbed lands.*

Литература

1. Afzal I. et al. Modern seed technology: Seed coating delivery systems for enhancing seed and crop performance // Agriculture. 2020. Т. 10. №. 11. С. 526.
2. Trefilov R. A. et al. Evaluation of the process of pelleting for pre-sowing treatment of flax seeds // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2020. Т. 421. №. 6. С. 062010.
3. Степуро М.Ф. Влияние дражирования семян на всхожесть и урожайность моркови столовой // Земледелие и растениеводство. 2022. №. 6. С. 52–55.
4. Brown V. . et al. A global review of seed enhancement technology use to inform improved applications in restoration // Science of the Total Environment. 2021. Т. 798. С. 149096.
5. Jeephet P. et al. Effect of seed pelleting with different matrices on physical characteristics and seed quality of lettuce (*Lactuca sativa*) // International Journal of Agricultural Technology. 2022. Vol. 18(5). P. 2009–2020.
6. Pallares Pallares A. et al. Pulse seeds as promising and sustainable source of ingredients with naturally bioencapsulated nutrients: Literature review and outlook // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2021. Vol. 20. №. 2. С. 1524–1553.
7. Javed T. et al. Seed coating technology: An innovative and sustainable approach for improving seed quality and crop performance // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2022. Vol. 21. No. 8. P. 536–545.
8. Ćurčić Ž. et al. Comparison of quality parameters of non-pelleted and newly developed pelleted lettuce seed // Ratarstvo i povrtarstvo / Field and Vegetable Crops Research. 2022. Vol. 59. №. 1. P. 25–30.

УДК 630*116; 630*237; 630*26; 630*385

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИДРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ В ЛЕСНОМ ФОНДЕ БЕЛАРУСИ, РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ ДАЛЬНЕЙШЕМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

А.В. Судник¹, А.М. Потапенко², Н.В. Толкачева², Р.М. Голушко¹, В.А. Серенкова²,
А.Ю. Комар¹

¹ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф.Купревича НАН Беларуси», г. Минск, Беларусь, asudnik@tut.by

²ГНУ «Институт леса НАН Беларуси», г. Гомель, Беларусь, anto_ha86@mail.ru

***Аннотация.** Дана экологическая оценка последствий функционирования гидролесомелиоративных систем в лесном фонде Беларуси. Всего на территории 102 юридических лиц, ведущих лесное хозяйство, обследовано 927 участков лесного фонда с гидролесомелиоративными системами общей площадью 455960,7 гектар. Для каждого участка разработаны рекомендации по направлениям дальнейшего их использования: экологическая реабилитация путем повторного заболачивания, восстановление осушительных систем и оставление без изменений.*

***Ключевые слова:** осушительная мелиорация, гидролесомелиоративные системы (ГЛМС), лесной фонд, рекомендации, направления устойчивого использования.*

Под термином «гидролесомелиорация» понимается осушение избыточно увлажненных лесных земель с целью увеличения продуктивности и хозяйственной ценности произрастающих на них насаждений, а также проведение важнейших сопутствующих осушению гидротехнических, дорожных и лесохозяйственных работ. Однако, огромные масштабы и техническое несовершенство мелиоративных систем одновременно с положительным эффектом привели к ряду серьезных негативных последствий.

Экономическая целесообразность дальнейшего использования ГЛМС, построенных в советское время, находится под большим вопросом. Гидромелиорация верховых болот и части насаждений на переходных болотах, как правило, не дает лесоводственного эффекта, хотя по литературным данным на отдельных территориях отмечен эффект от гидролесомелиорации в виде дополнительного прироста древесины 0,6–2,4 м³/га на верховых болотах и до 8,5 м³/га на переходных и низинных болотах. Осушая прилегающие участки, ГЛМС превращают болота в «пороховые бочки», которые при возгорании выбрасывают в атмосферу огромное количество углекислого газа. С другой стороны, эффект от восстановления гидрологического режима на осушенных верховых болотах и некоторых переходных для сохранения биоразнообразия, смягчения последствий изменения климата и улучшения водного режима территорий более значим, чем получение дополнительного прироста древесины. Поэтому правомочным становится вопрос оценки последствий и эффективности проведения гидролесомелиорации.

Осушенные болотные леса с точки зрения экологии – это антропогенно преобразованные техногенные экосистемы, развитие которых определяется уже не природными процессами, а техногенными факторами: осушением, выработкой торфа, вторичными воздействиями (пожары, минерализация торфа и эрозия почвы). Осушение вызывает коренные изменения природной среды: «полностью прекращается процесс торфонакопления и переходит в обратную фазу – фазу окисления (медленного сгорания) и постепенного исчезновения накопленных органических отложений». В отличие от естественных болотных лесов и открытых болот, функционирующих на основе природной саморегуляции, осушенные лесные болота, как и другие техногенные экосистемы, для

поддержания своей работоспособности нуждаются в регулярном уходе и текущем ремонте мелиоративной сети. Лесные осушительные системы со временем деградируют, выходят из строя за счет заиления и зарастания, перегораживания их бобровыми плотинами и прекращают свое функционирование. Средний срок работы мелиоративной сети, как правило, 25–30 лет, и, после его окончания, необходимо принимать решение, что делать дальше: либо повторно заболачивать, либо реконструировать.

В 2018–2021 годах Институтом экспериментальной ботаники НАН Беларуси совместно с Институтом леса НАН Беларуси проведена комплексная инвентаризация участков лесного фонда с измененным гидрологическим режимом, включая земли, осушенные ГЛМС, построенными в 1950–1990 годах. К землям с измененным гидрологическим режимом относилась и была обследована часть земель лесного фонда, где на планшетах, планах лесонасаждений и космоснимках была изображена сеть каналов и часть прилегающих сопредельных лесов, где влияние осушения было подтверждено полевым обследованием. Для таких участков дана экологическая оценка состояния и эффективности использования земель с ГЛМС в лесном фонде, подготовлены и согласованы предложения по их дальнейшему использованию. Всего на территории 102 лесхозов было обследовано 927 участков лесного фонда с ГЛМС общей площадью 455 960,7 гектар. Для каждого из обследованных участков разработаны рекомендации по направлениям дальнейшего их использования на основании комплексной оценки экологической и экономической эффективности. Рекомендации сгруппированы в 3 основные категории:

1. Экологическая реабилитация путем повторного заболачивания. Осуществляется поднятием воды в уровень поверхности почвы с восстановлением типичного для болот водного режима, растительного покрова и процесса торфообразования. Площадь земель с ГЛМС, для которых рекомендовано повторное заболачивание составила 21,2% от обследованных. Участки, для которых назначалась данная рекомендация:

– Как правило, данная рекомендация относилась к участкам осушенных верховых болот. Растительный покров таких участков в результате осушения претерпел сильные изменения в сторону его ксерофитизации, а именно увеличения обилия вереска обыкновенного (до 75–85% проективного покрытия на отдельных участках), при резком снижении участия (до полного выпадения) в травяно-кустарничковом ярусе типичных видов переходных и верховых болот. Есть участки открытого торфа. Как следствие осушения – понижение УСБВ (глубже 25 см, а на отдельных участках – глубже 50 см), что привело к повышению пожароопасности. Низкий уровень воды, наличие участков открытого торфа, высокое проективное покрытие вереском – признаки высокой пожарной опасности.

– Сходная ситуация имеет место на бывших торфоразработках. Растительный покров проходит начальную стадию восстановительной сукцессии. Характеризуется чередованием открытых торфяных обнажений, лишенных растительности, и фрагментов сосново-березового леса мелиоративно-производных типов. Верхний слой торфяной почвы в период вегетации иссушается. Для развития лесоболотного фитоценоза это неблагоприятные условия.

– В окрестностях и на отдельных участках земель с ГЛМС встречаются инвазивные виды: борщевик Сосновского, золотарник канадский и другие. Борьба с инвазиями является дополнительным аргументом в пользу регулирования гидрологического режима путем подъема УСБВ в уровень почвы. Таким образом, на таких участках целесообразно восстановление гидрологического режима путем повторного заболачивания.

Целью работ является восстановление способности неэффективно осушенных, выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот к выполнению биосферных функций, направленных на сохранение и/или восстановление водно-болотных угодий и их биологических ресурсов, а также ценных биологических природных объектов – сообществ и отдельных популяций редких, исчезающих и хозяйственно полезных видов растений и животных путем стабилизации гидрологического режима, благоприятного для возобновления болото- и торфообразовательных процессов. Данные работы могут

проводиться силами лесхозов в рамках выполнения мероприятий государственных программ в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов за счет средств, выделяемых на их реализацию, средств международной технической помощи, а также за счет иных источников, не запрещенных законодательством.

2. Восстановление осушительных систем для поддержания их эффективности и повышения продуктивности лесов.

Данная рекомендация относилась к землям с измененным гидрологическим режимом, где в результате осушения достигнут положительный эффект и отмечено увеличение прироста у произрастающих насаждений. В результате мелиорации на таких участках, произошла трансформация лесоболотного комплекса в сторону более сухих типов леса (например, участки папоротниковой и крапивной серий типов леса перешли в кисличные и снытевые; долгомошные – в черничные, местами даже кисличные). На территории этих земель с измененным гидрологическим режимом произрастают высоко- и среднепродуктивные (IA-II классов бонитета с запасом 300 и более м³ на 1 га) естественные и искусственный чистые и смешанные хвойные и мелколиственные насаждения мелиоративно-производных типов леса. Отмечены насаждения с участием дуба черешчатого, клена остролистного и других широколиственных пород. На более увлажненных участках сформировались высокопродуктивные черноольховые и пушистоберезовые древостои. Наиболее оптимальным для таких участков является поддержание сложившегося режима ведения лесного хозяйства.

Однако, повышенный уровень воды в части каналов, в том числе из-за деятельности бобров, способствовал подтоплению прилегающих насаждений. На отдельных участках наблюдается отпад приспевающих и спелых древостоев. В среднем индекс жизненного состояния составляет 35,6–59,1% (лесные насаждения в среднем оцениваются как «сильно поврежденные» или «поврежденные»). Подтопление в результате прекращения функционирования мелиоративной сети или деятельности бобров наносит существенный экономический ущерб. Кроме того, в отдельных лесхозах на основе таких земель построены или строятся лесовозные дороги с целью освоения труднодоступных участков. Поэтому, для таких территорий рекомендуется восстановление мелиоративной сети.

Восстановление осушительных сетей рекомендовано для отдельных ГЛМС, состоящих на балансе лесохозяйственных учреждений. Площадь земель, рекомендуемых под восстановление мелиоративной сети, составила 4,7%. Следует отметить, что лесхозы не обладают соответствующей техникой для ремонта и содержания мелиоративных систем. В лучшем случае, все работы сводятся к удалению древесно-кустарниковой растительности по откосам и бровкам каналов, а также в полосе отвода. В целом, работы по уходу за мелиоративными каналами, которые выполняются лесхозами без использования специализированной техники, обладают малой эффективностью и не дают должного эффекта. Поэтому, целесообразным будет привлечение районных ПМС. Может проводиться в рамках выполнения мероприятий государственных программ в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов за счет бюджетных средств, выделяемых на их реализацию, средств международной технической помощи, а также за счет иных источников, не запрещенных законодательством.

3. Оставление без изменений. Рекомендовано для всех остальных земель лесного фонда с ГЛМС. При этом для назначения данной рекомендации выступали следующие аргументы:

– *Территория затоплена в результате повторного заболачивания, УСБВ находится на уровне почвы или выше. Формируются водно-болотные угодья. При необходимости контроль численности бобра. Территории заболочены, с высоким уровнем воды, иногда выше поверхности почвы, древостой почти полностью выпал, местами сформировались мелководные водоемы. На низинных болотах на открытых пространствах господствует тростник, формирующий монодоминантные тростниковые, тростниково-осоковые или ивняково-тростниково-осоковые сообщества. На верховых болотах – фитоценоз сохраняет*

свой естественный облик верхового болота во всех ярусах. В перспективе на участках с высоким УСБВ – формирование болотной, водно-болотной или лесоболотной экосистем. Понижение или искусственное повышение УСБВ на таких участках нецелесообразно. Контроль численности бобра рекомендуется на тех участках мелиоративных систем, где существует реальная угроза подтопления сопредельных суходольных угодий, включая сельскохозяйственные земли. И хотя сами системы, как правило, затоплены, сохраняется высока вероятность нанесения экономического ущерба. Общая площадь земель с ГЛМС, где УСБВ в уровень почвы или выше, составила 40,6% всех обследованных земель. Общая площадь земель, где рекомендован контроль численности бобра, составила 5,6%.

– *Болотные типы леса трансформировались в суходольные.* УГВ – 50 см и ниже. Каналы не функционируют в результате падения УГВ, задернены, заросли древесно-кустарниковой растительностью. Как правило, такие мелиоративные сети рекомендованы к списанию. Преимущественно это участки лесной мелиорации, где мелиоративная сеть пришла в полную негодность, не выполняет своих функций и ремонту не подлежит. Гидролесомелиорация проведена более 50 лет назад. Осушительная сеть в основном в неудовлетворительном состоянии; каналы как сухие с задернением, так и топкие, заросшие (на дне каналов уже произрастает древесно-кустарниковая растительность), не выполняют свои функции. И даже если почистить каналы, за счет низкого УГВ (около 100–150 см) они не будут наполняться и выполнять свои функции. В окружающих лесных насаждениях влияние мелиорации утрачено. Протекают естественные восстановительные сукцессии. Как правило, на этих участках произрастают естественные хвойные и мелколиственные мелиоративно-производные насаждения, а также культуры хвойных (сосны и ели) пород. Болотные типы леса уже трансформировались в суходольные, произрастающие по I-II классам бонитета. У растущих деревьев, как правило, выражены микроповышения у стволов, иногда больше 50 см по высоте. Много древесного опада и сухостоя. В таких насаждениях формируется подлесок средней или выше густоты, в подросте ель, дуб, клен, реже ольха черная. Направление использования – традиционное ведение лесного хозяйства. Общая площадь земель с ГЛМС, рекомендованных к списанию, 7,4%.

– *Лесхозами созданы лесные культуры или рекомендуется создание лесных культур.* Для отдельных ГЛМС перспективы дальнейшего использования – искусственное лесовосстановление. На отдельных системах уже посажены культуры, преимущественно с доминированием ели, реже сосны, часто требующие дополнения. Анализ имеющихся ведомственных материалов и результатов обследования на таких участках позволяют рекомендовать создание лесных культур, в том числе из ольхи черной и березы. Общая площадь земель с ГЛМС, для которых рекомендовано лесовосстановление путем создания лесных культур, составила 1,0% всех обследованных земель.

– *Сукцессии направлены на восстановление болотной или лесоболотной экосистемы.* Это категория участков земель с измененным гидрологическим режимом представляет значительно продвинутую стадию восстановительной сукцессии (на уровне сформированной кустарниковой и лесной растительности) или участки с продуктивными черноольховыми и пушистоберезовыми древостоями. На момент проведения исследований некоторые участки заболочены, в первую очередь вследствие зарастания или запруживания каналов, их заваленности или перекрытия бобровыми плотинами. Часть земель лесного фонда земель с ГЛМС прилегают к сельскохозяйственным угодьям и отрегулировать уровень воды невозможно, не подтопив или не подсушив сопредельные территории, поэтому рекомендовано для таких территорий оставить без изменений.

– *ГЛМС расположена в границах ООПТ, где введены запреты на изменение гидрологического режима.* Более четверти обследованных земель с ГЛМС (27,4%) полностью или частично расположены на особо охраняемых природных территориях, как правило, гидрологических или водно-болотных заказниках. На этих ООПТ в числе прочего запрещается проведение работ по гидротехнической мелиорации, работ, связанных с изменением

существующего гидрологического режима, за исключением работ по его восстановлению, а также ремонтно-эксплуатационных работ по обеспечению функционирования существующих мелиоративных систем. Кроме того, на отдельных участках, не входящих в состав заказников, при полевых работах были отмечены виды растений и животных, внесенные в Красную книгу Республики Беларусь, жизнедеятельность которых связана с болотными экосистемами. Такие участки целесообразно оставить без вмешательства в их гидрологический режим.

В целом, площадь земель с ГЛМС, рекомендуемых оставить без изменений, составила 74,1%. Данные земли лесного фонда требуют периодической инвентаризации (раз в 10 лет) и регулярного наблюдения. Инвентаризация состояния насаждений на таких землях проводится ЛРУП «Белгослес» при очередном туре лесоустройства. Регулярные наблюдения будут осуществляться силами государственной лесной охраны лесхозов в рамках основной деятельности, включая контроль за возможным подтоплением насаждений, в том числе в результате деятельности бобра на самих объектах и на сопредельных территориях. Длительные и регулярные наблюдения за состоянием насаждений и направленностью сукцессионных процессов могут проводиться в рамках мониторинга лесных избыточно-увлажненных земель (организатор – ЛРУП «Белгослес»); комплексного мониторинга торфяников (организатор – ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси»).

Результаты реализации предложенных рекомендаций могут быть использованы для совершенствования технологии экологической реабилитации нарушенных торфяников, принятия проектных, управленческих и директивных решений в области регулирования водного режима болот, восстановления и сохранения их естественного биологического и ландшафтного разнообразия и природных ресурсов, ведения устойчивого экологически ориентированного лесного хозяйства на осушенных землях в лесном фонде и в строгом соответствии с лесным и природоохранным законодательством.

Заключение. Проведена широкомасштабная инвентаризация земель, осушенных мелиоративными системами, построенными в 1950–1990 годах, переданных в лесной фонд выработанных торфяников, сельскохозяйственных и других мелиорированных земель. Выполнена оценка текущего состояния природных экосистем на исследуемых территориях на основе специально разработанных биоиндикационных критериев. Дана экологическая оценка состояния и эффективности функционирования ГЛМС в лесном фонде, подготовлены и согласованы с лесхозами рекомендации по их дальнейшему использованию. Для участков с ГЛМС разработаны рекомендации по дальнейшему их использованию с учетом экологической и экономической эффективности этих земель, которые сгруппированы в 3 основные категории: экологическая реабилитация путем повторного заболачивания, восстановление осушительных систем и оставление без изменений. Рекомендации переданы ЛРУП «Белгослес» для учета в проектной документации по организации и ведению лесного хозяйства лесохозяйственных учреждений отрасли на очередной ревизионный период.

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF CONSEQUENCES OF FUNCTIONING OF FOREST HYDRO AMELIORATIVE SYSTEMS IN THE FOREST FUND OF BELARUS. RECOMMENDATIONS FOR THEIR FURTHER USE

A.V. Sudnik¹, A.M. Potapenko², N.V. Tolkacheva², R.M. Golushko¹, V.A.Serenkova², A.Y. Komar¹,

¹V.F.Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, E-mail: asudnik@tut.by

²Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus, E-mail: anto_ha86@mail.ru

Summary: An ecological assessment of consequences of functioning of forest hydro ameliorative

systems in the forest fund of Belarus is given. In total, 927 plots with forest hydro ameliorative systems with total area of 455,960.7 hectares were surveyed on the territory of 102 forest enterprises. Recommendations have been developed for each plots on the directions of their further sustainable use: environmental rehabilitation by re-waterlogging, restoration of drainage systems and leaving unchanged.

Keywords: *drainage reclamation, forest hydro ameliorative systems, forest fund, recommendations, directions of sustainable use.*

УДК 504.06:004.4

ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

Е.Л. Счастливцев^{1,2}, Н.И. Юкина¹

¹Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Кемерово, yukina@ict.sbras.ru

²Институт водных и экологических проблем СО РАН, Кемерово, schastlivtsev@ict.sbras.ru

***Аннотация.** В работе представлена цифровая система мониторинга, которая представляет собой совокупность технологий и инструментов, позволяющая собирать и обрабатывать данные о состоянии окружающей среды. В ее состав входит система мониторинга почвенного и растительного покрова, включающая анализ изменений техногенных ландшафтов, вызванных промышленной деятельностью. Анализ динамики изменения техногенных ландшафтов подчеркивает успешность принятых мер по снижению негативного воздействия промышленности на окружающую среду и потенциальное улучшение экологической ситуации в регионе. Важным шагом для сокращения негативного воздействия на окружающую среду является интеграция цифровой системы мониторинга с созданием карбоновых полигонов, способствующих поглощению и уменьшению уровня парниковых газов в атмосфере. Это открывает новые перспективы в управлении углеродным следом от выбросов промышленных источников выбросов, что имеет большое значение для борьбы с изменением климата.*

***Ключевые слова:** мониторинг, техногенные ландшафты, горнодобывающая промышленность, рекультивация, нарушенные земли, парниковые газы, карбоновые полигоны.*

Современные системы мониторинга используют всё больше информации о состоянии изучаемого объекта. Эти данные разнообразны по своему характеру и поступают из разных источников. Можно выделить два типа таких данных:

- глобальные данные, описывающие состояние объекта с учётом его обширной территории (как правило, данные дистанционного зондирования);
- локальные данные, полученные путём точечных измерений с последующей пространственной интерполяцией на площадь объекта.

Цифровая система геоэкологического мониторинга представляет программно-аппаратный комплекс (на базе цифровой фабрики), обеспечивающий сбор, обработку и оценку данных (включая регистраторы загрязнения природной среды по технологии «интернета вещей») о компонентах природной среды, таких как атмосфера, водные ресурсы, растительный и почвенный покров.

С использованием программно-аппаратного комплекса осуществляется мониторинг распространения атмосферных загрязнений в режиме реального времени. С использованием системы оценивается вклад источников выбросов в общее загрязнение и обеспечиваются необходимые протоколы сбора, обработки и передачи данных.

Система мониторинга водных ресурсов, содержит информацию о физических, гидрохимических, паразитологических и микробиологических показателях состава техноприродных вод. Данные в систему поступают, как от аккредитованных лабораторий, определяющих гидрохимическое загрязнение в точках сброса, так и с датчиков (например, работающих по технологии «интернета вещей»).

Цифровая система экологического мониторинга почвенного и растительного покрова (рис. 1) представляет собой совокупность технологий и инструментов, с помощью которых

были собраны и обработаны данные о состоянии окружающей среды и представлены в удобной для контроля и принятия решений форме.

Система мониторинга почвенного и растительного покрова, содержит информацию как о климатических, ландшафтно-геохимических и биоэкологических параметрах, так и о влиянии горных работ на их состояние.

Оценка состояния почвенного и растительного покрова производится на основе существующей нормативной базы, в том числе на основании расчета индекса концентрации видового богатства и индекса редких видов, комплексного почвенно-экологический индекс (ПЭи) состояния почв и др.

Система мониторинга почвенного и растительного покрова обеспечивает эффективный контроль нарушенных, рекультивированных земель, земель с самозарастанием нарушенных площадей, качество рекультивации и эффективность самозарастания. Система обеспечивает оценку зоны и степени влияния техногенных объектов на прилегающие территории.

Программно-аппаратный комплекс цифровой системы мониторинга представляет информацию о различных аспектах окружающей среды и помогает принимать обоснованные решения для снижения негативного воздействия угольной промышленности на окружающую среду.

Разработанный программно-аппаратный комплекс обеспечивает мониторинг растительного, почвенного покрова и оценку поглощения (выделения) парниковых газов. Данные комплексного (наземного и дистанционного) мониторинга обеспечивают инновационный подход к управлению углеродными выбросами.

Интеграция цифровой системы мониторинга с созданием карбоновых полигонов позволяет эффективно управлять углеродным следом промышленности и других источников выбросов, способствуя снижению негативного воздействия на климат и окружающую среду.

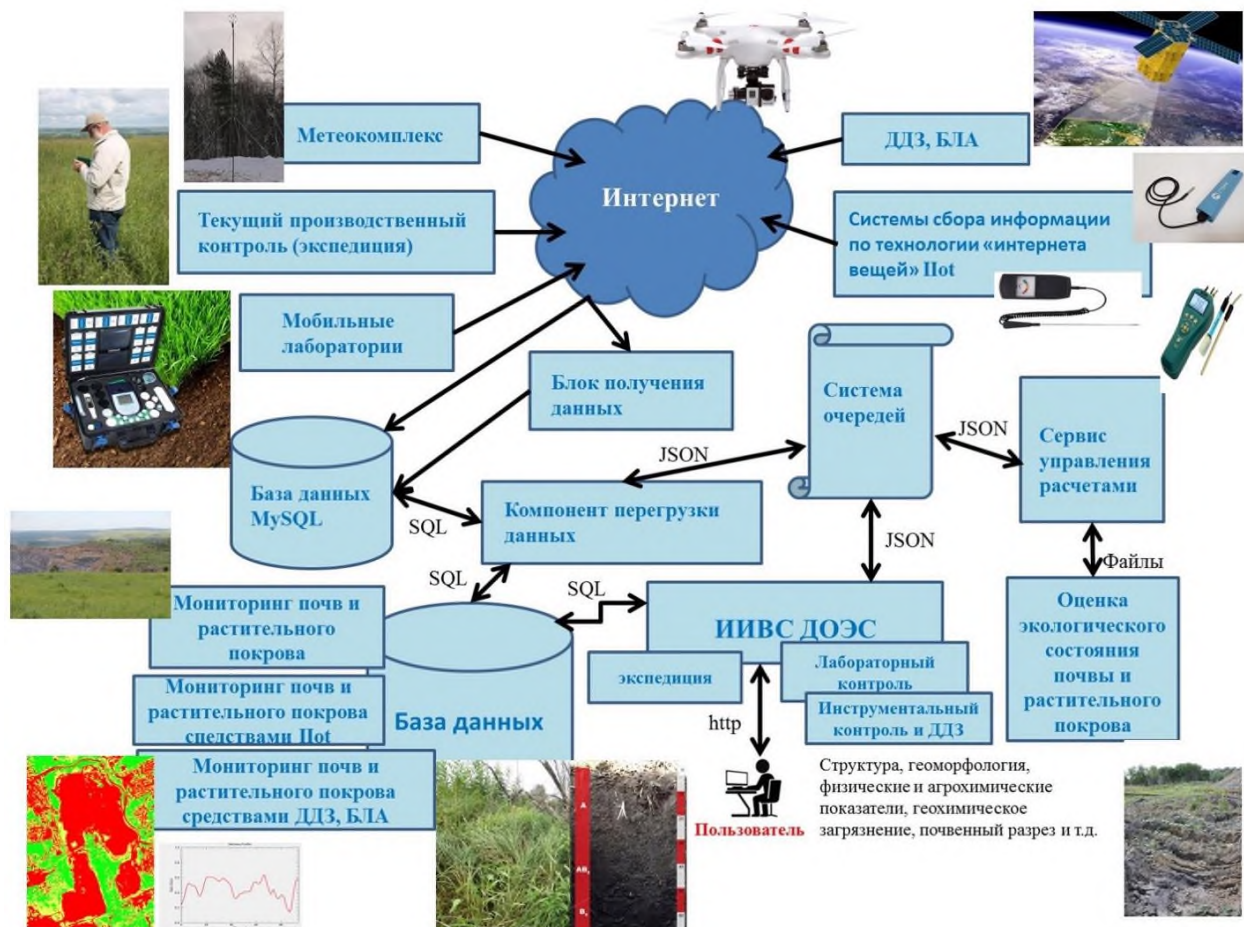


Рисунок 1. Структура цифровой системы геоэкологического мониторинга.

Для лучшего понимания структуры нарушенных горными работами земель в регионе Кемеровской области – Кузбасса, представлены данные дистанционного зондирования в таблице 1. Эта информация позволяет оценить масштабы воздействия различных видов горных работ на окружающую среду, как в целом в регионе, так и на отдельные объекты (например, на территорию бассейна реки Кондома) и служит основой для разработки эффективных стратегий рекультивации и управления природными ресурсами.

Таблица 1. Структура нарушенных горными работами земель Кемеровской области – Кузбасса

| Наименование | 2019 год | 2020 год | 2021 год | 2022 год | 2023 год |
|--------------------------------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| | тыс. га | тыс. га | тыс. га | тыс. га | тыс. га |
| Нарушенные земли разрезами | 73,57 | 76,385 | 74,659 | 75,999 | 79,464 |
| Нарушенные земли шахтами | 6,172 | 6,566 | 6,703 | 7,267 | 7,702 |
| Нарушенные земли горнорудными разработками | 1,152 | 1,171 | 1,162 | 1,134 | 1,133 |
| Нарушенные земли добычей строительных материалов | 0,729 | 0,729 | 0,747 | 1,042 | 1,029 |
| Итого нарушенных | 81,623 | 84,851 | 83,271 | 85,442 | 89,328 |
| Рекультивация и самозарастание | 14,88 | 14,903 | 20,303 | 21,634 | 21,017 |
| ВСЕГО | 96,503 | 99,754 | 103,574 | 107,076 | 110,345 |

Изменение природной среды в результате промышленной деятельности является одной из основных экологических проблем, которой посвящены многие работы [1–4]. Горнодобывающая промышленность, в частности, оказывает значительное воздействие на окружающую среду, приводя к формированию техногенных ландшафтов, которые несут угрозу биоразнообразию и качеству жизни людей в регионе. В этой связи, мониторинг изменения техногенных ландшафтов и проведение мероприятий по их рекультивации становятся необходимыми задачами для обеспечения устойчивого развития территорий.

В таблице 2 приведены данные дистанционного зондирования нарушенных различными видами горных работ земель на территории бассейна реки Кондома за период с 2017 по 2022 годы. Также получены площади участков, подвергшихся рекультивации и самозарастанию за тот же временной промежуток. На рисунке 2 представлена динамика изменения площадей нарушенных земель и участков рекультивации на территории бассейна реки Кондома.

Площади участков, подвергшихся рекультивации и самозарастанию значительно увеличилась в 2021 и 2022 годах по сравнению с предыдущими годами, что указывает на активизацию мер по рекультивации нарушенных земель.

Таблица 2. Структура нарушенных горными работами земель на территории бассейна реки Кондома

| Наименование | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|--------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | тыс. га | тыс. га | тыс. га | тыс. га | тыс. га | тыс. га |
| Нарушенные земли горнорудными разработками | 0,39 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,39 | 0,39 |
| Нарушенные земли шахтами | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| Нарушенные земли разрезами | 4,52 | 4,53 | 4,90 | 5,19 | 4,87 | 4,88 |
| Участки рекультивации и самозарастания | 0,33 | 0,43 | 0,39 | 0,39 | 1,18 | 1,18 |

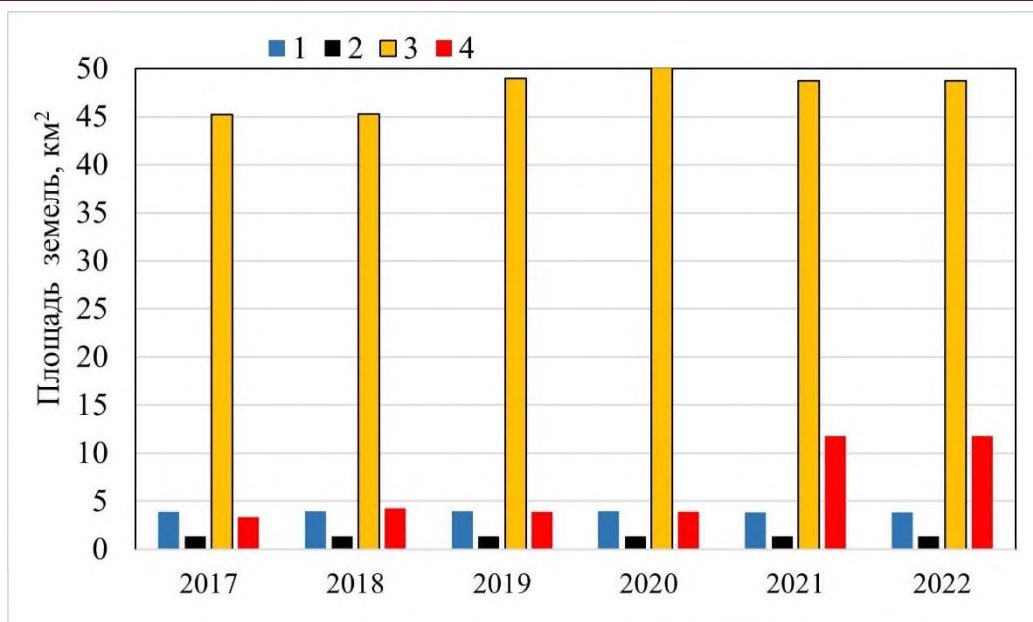


Рисунок 2. Динамика изменения площади нарушенных (1 – горнорудными выработками; 2 – шахтами; 3 – разрезами) земель и участков рекультивации (4) на территории бассейна реки Кондома.

Анализ динамики изменения техногенных ландшафтов позволяет сделать ряд выводов. Во-первых, несмотря на увеличение площадей нарушенных земель в начале рассматриваемого периода, последующее снижение показателей свидетельствует о реализации эффективных мер по ограничению воздействия горнодобывающей промышленности на окружающую среду. Во-вторых, увеличение площадей рекультивированных участков указывает на потенциальное улучшение экологической ситуации в регионе и эффективность программ по восстановлению техногенных ландшафтов.

Выводы. Развитие цифровых систем мониторинга обеспечивает высокую эффективность сбора и анализа мультимодальных данных о состоянии окружающей природной среды.

Комплексный анализ динамики изменения техногенных ландшафтов с применением дистанционных методов мониторинга обеспечивает эффективную оценку их состояния.

Цифровые системы мониторинга обеспечивают эффективное управление углеродным следом от промышленных источников выбросов и обеспечивают инновационный подход к разработке современных технологий, способствующих активному поглощению и уменьшению уровня парниковых газов в атмосфере.

DIGITAL MONITORING SYSTEM AND ANALYSIS OF CHANGES IN TECHNOGENIC LANDSCAPES

E.L. Schastlivtsev ^{1,2}, N.I. Yukina ¹

¹ Federal Research Center for Information and Computational Technologies, Kemerovo, yukina@ict.sbras.ru

² Institute of Water and Environmental Problems, SB RAS, Kemerovo, schastlivtsev@ict.sbras.ru

Summary: The paper presents a digital monitoring system, which is a set of technologies and tools allowing for the collection and processing of data on the state of the environment. It includes a monitoring system for soil and vegetation cover, including the analysis of changes in technogenic landscapes caused by industrial activities. The analysis of the dynamics of changes in technogenic

landscapes emphasizes the success of measures taken to reduce the negative impact of industry on the environment and the potential improvement of the ecological situation in the region. An important step towards reducing the negative impact on the environment is the integration of the digital monitoring system with the creation of carbon polygons, which contribute to the absorption and reduction of greenhouse gas levels in the atmosphere. This opens up new prospects for managing the carbon footprint from emissions of industrial sources, which is of great importance for combating climate change.

Keywords: *monitoring, technogenic landscapes, mining industry, reclamation, disturbed lands, greenhouse gases, carbon polygons.*

Литература

1. Асякина Л.К., Дышлюк Л.С., Просеков А.Ю. Мировой опыт в области рекультивации посттехногенных ландшафтов // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т.51 № 4. С. 805–818.
2. Khobragad K. Impact of Mining Activity on environment: An Overview // International Journal of Scientific and Research Publications. 2020. Vol. 10. Issue 5. P. 784–791.
3. Миронова С.И., Петров А.А., Николаев А.Н. Биологическая рекультивация посттехногенных ландшафтов Якутии: проблемы и перспективы // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023. 28(4). С. 606–611.
4. Antoninova N.Yu., Shubina L.A. On Preserving the Technogenic Formations of Mining and Smelting Enterprises by Ecologically safe Conservation and Restoration of Landscapes / TECHNOGEN-2019. IV Congress «Fundamental research and applied developing of recycling and utilization processes of technogenic formations». 2020. P. 572–579.

УДК 631.427

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ БИОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Ш. Сюй

Институт наук о земле СПбГУ, Санкт-Петербург, st059107@student.spbu.ru

Аннотация. Работа посвящена изучению эколого-биологического состояния насыпных урбанизированных почв Василеостровского района Санкт-Петербурга, относящихся к трем урбоэкосистемам – селитебной, рекреационной и магистральной. Экологическое состояние изучалось по следующим параметрам: фитотестирование (дыхание семян, всхожесть семян, длина корня, длина побега), актуальное и потенциальное дыхание почв, средорегулирующая активность почвы. Показано, что в магистральной и селитебной урбоэкосистемах наблюдается угнетение биологической активности и ухудшение биологического состояния почв.

Ключевые слова: биотестирование, урбоэкосистема, экологическое состояние почв, биологическая активность, деградация почвы.

Урбанизация – это глобальный процесс повышения роли городов в развитии общества. По прогнозу экспертов ООН, к 2050 г. в городах будет проживать около 70% населения нашей планеты [1]. Усиление урбанизации вызывает ряд неблагоприятных последствий: изменение социального и экологического ландшафта, интенсивное землепользование, проявляющееся в негативном влиянии на гидросферу, атмосферу, почву, и климат, так и на биосферу, в целом [3].

Изучение экологического состояния почв урбанизированных территорий актуально для мегаполисов, в том числе, и для г. Санкт-Петербурга. В крупных городах наблюдаются повышение потенциального экологического риска загрязнения городской среды промышленными и бытовыми отходами, сокращение площади озелененных территорий общего пользования и деградация почв [2].

В настоящее время биотестирование (БТ) является одним из основных методов оценки экологического состояния и качества окружающей среды. БТ широко применяется в современной прикладной экологии для определения степени нагрузки загрязняющих веществ на окружающую среду [6].

Цель данной работы – оценка эколого-биологического состояния почв на территории Василеостровского района СПб биологическими методами.

Объекты и методы исследования. Почвы на территории Василеостровского района г. Санкт-Петербурга представлены в основном насыпными антропогенными вариантами, частично сохранившими черты зональных дерново-подзолистых почв с нарушением профиля и включением строительного материала [5]. На территории Василеостровского района в начале вегетационного периода были обследованы 20 площадок в трех основных типах урбоэкосистем: селитебной, магистральной и рекреационной. Почвенные образцы магистральной урбоэкосистемы были отобраны с газонов вдоль Большого проспекта В.О. и прилегающих к нему линий, рекреационной урбоэкосистемы – в парке Василеостровец, селитебной – в двух закрытых дворах. Почвенные образцы отбирались агрохимическим буром на глубину до 20 см. Объединенная проба почвы составлялась из 10–15 точечных проб (рис. 1).

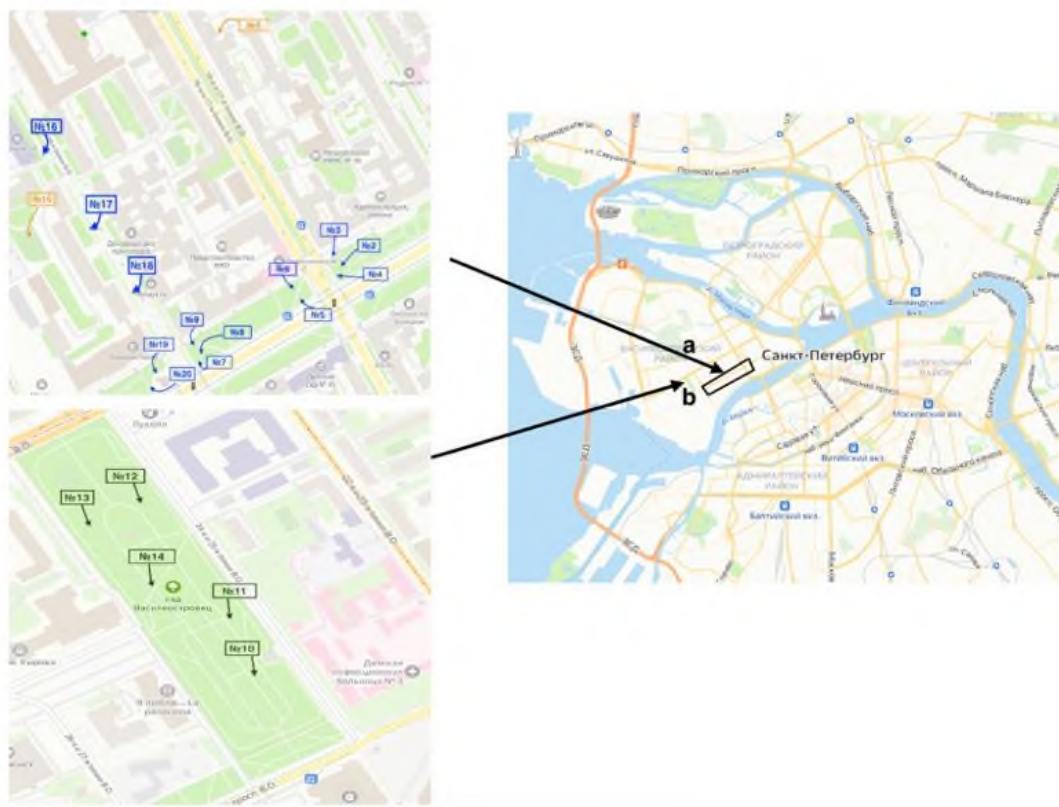


Рисунок 1. Схема отбора образцов: магистральная урбоэкосистема (№№2–9 и 15–20), рекреационная урбоэкосистема (№№ 10–14) и селитебная урбоэкосистема (№№1, 15).

Экологическое состояние городских почв оценивалось с использованием трех различных биотестов: 1) фитотестирование (ФТ) водных вытяжки из почвенных образцов [4]; 2) интенсивность дыхания семян; 3) дыхание почвы (базальное, субстрат-индуцированное дыхание и средорегулирующая активность [4, 7–10, 12].

В качестве тест-объекта при ФТ использовали семена овса обыкновенного (*Avena sativa*). Соотношение почва: вода было 1:10, в качестве контроля использовалась дистиллированная вода. Проращивание семян осуществляли в течение 7 суток при комнатной температуре ($22\pm 2^\circ\text{C}$). Аналитическая повторяемость 3-кратная.

Тест-объектом для определения интенсивности дыхания семян были семена горчицы белой (*Sinapis alba*). Тестировалась водная вытяжка из почвы соотношение 1:10, в качестве контроля использовалась дистиллированная вода. Инкубировали семена 1 сутки при комнатной температуре ($22\pm 2^\circ\text{C}$). Повторность опыта 3-кратная.

Для определения дыхания почвы был использован метод Головки – по продуцированию углекислоты почвой в лабораторных условиях. Определяли субстрат-индуцированное дыхания почвы и средорегулирующую активность почвы. Показателем средорегулирующей активности является максимальный уровень продуцирования CO_2 почвой. Измерения дыхания почвы проводили в течение 24 и 96 ч. при комнатной температуре ($22\pm 2^\circ\text{C}$). Повторность опыта 3-кратная.

Результаты и обсуждение. Проведенное ФТ показало, что всхожесть семян на 7 сутки варьировала от 73 до 100%. Высокие показатели всхожести были отмечены в контрольной пробе, точке №8, 14, 17, 19. Всхожесть семян овса в контроле был 93%. По сравнению с контролем, было отмечено снижение всхожести, наиболее значительно (более 20%) выраженное в точках № 3, 4, 5 и 16, относящихся к магистральной урбоэкосистеме (табл.1). Ингибирование развития вегетативных органов варьировало весьма значительно: длина корня в пределах от 75% до 118%, длина побегов в пределах от 76% до 123%. По сравнению с контролем, наблюдалось уменьшение длины корня в 10 точках (50% проб) и уменьшение

побегов в 11 точках (55% проб). Среди обследованных почв, самый сильный ингибирующий эффект был отмечен в точке №7, которая была отобрана с газонов вдоль Большого проспекта (длина корня к контролю была 75%). Это свидетельствует о том, что, вероятно, присутствие водорастворимых форм загрязнителей в исследованных пробах оказывает существенного влияния на развитие вегетативных органов данного тест-объекта.

Определение интенсивности дыхания семян показало, что семена горчицы белой (*Sinapis alba*) дышат с разной интенсивностью (рис. 2). Среднее значение эмиссии CO₂ из семян варьирует от 109 до 190 мг на 100 г семян, причем более интенсивное продуцирование CO₂ наблюдалось в пробах № 5 (магистральная урбоэкосистема), № 13 и 14 (рекреационная урбоэкосистема).

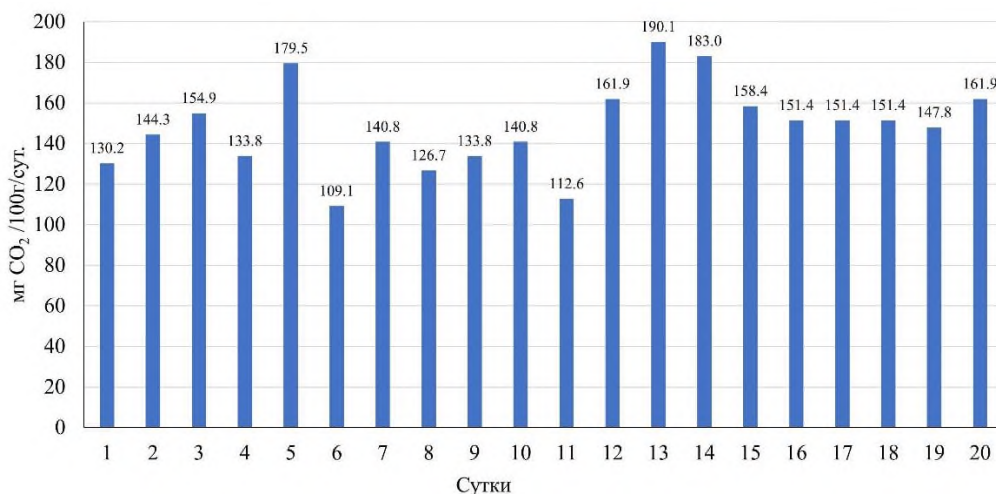


Рисунок 2. Динамика продуцирования CO₂ семенами горчицы белой (*Sinapis alba*).

Базальное дыхание почвы, определяющее скорость эмиссии углекислого газа, является одним из популярных и важнейших показателей состояния почвенных микроорганизмов. Интенсивность продуцирования CO₂ позволяет получить информацию о напряженности биохимических процессов, трансформации органического вещества и самоочищающей способности почвы [11]. Продуцирование CO₂ опытных образцов почвы варьируется от 3 до 41 мг CO₂ на 100 г почвы в сутки (рис. 3). Наибольшая эмиссия углекислого газа наблюдается в точке №11, отобранной в рекреационной урбоэкосистеме. А наименьше эмиссия CO₂ зафиксирована в пробах №15 и 17, которые относятся к селитебной и магистральной урбоэкосистемам.

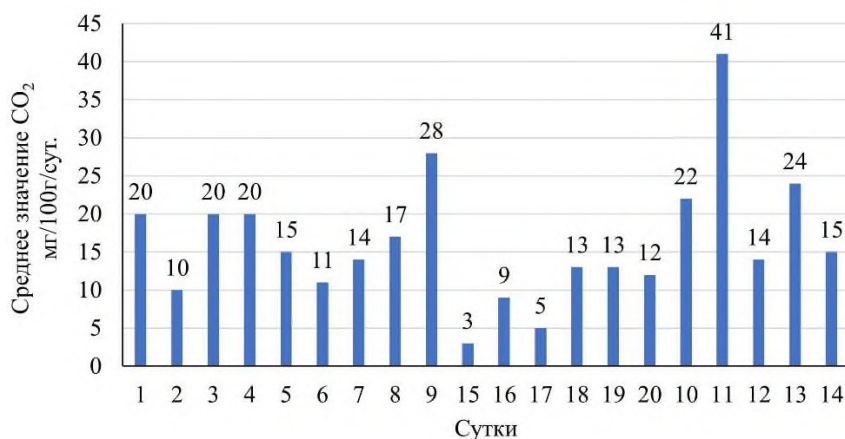


Рисунок 3. Базальное дыхание опытных образцов почвы.

Чтобы определить средорегулирующую активность почв, наблюдения за дыханием почвы проводили в течение 4 суток (рис. 4). Максимальный уровень дыхания всех опытных образцов почвы (исключая №15, относящейся к селитебной урбоэкосистеме) был зафиксирован на вторых сутках. В почве точки №15 максимум потенциального дыхания наблюдался на третьи сутки. Замедление ответной биологической активности в № 15, возможно, было связано с неблагоприятным почвенным режимом и загрязнением почвы. Для более точного определения причин наблюдаемого ингибирования, требуется проведение дополнительных исследований, таких как анализ почв на содержание тяжелых металлов, нефтепродуктов и др.

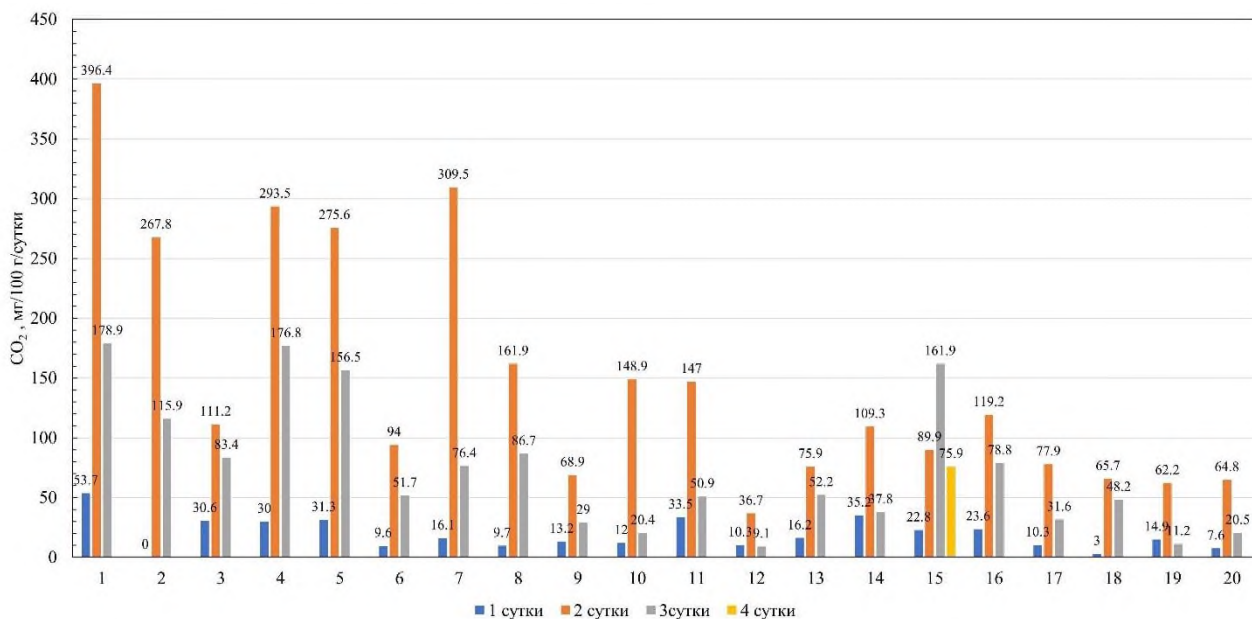


Рисунок 4. Динамика продуцирования CO_2 опытных образцов почвы.

Заключение. Таким образом, все исследованные тест-функции позволили оценить качество и состояние почв Василеостровского района Санкт-Петербурга. В целом, можно оценить состояние обследованных городских почв как относительно благополучное, однако в ряде точек было выявлено снижение числа проростков, уменьшение длины корней и проростков, ингибирование продуцирования CO_2 семенами и почвенными пробами. Это свидетельствует о наличии деградации почв, снижении их продуктивности и потере способности к самоочищению. А также это может указывать на нарушение функционирования почвенного микробоценоза. Полученные результаты позволяют рекомендовать городским службам по озеленению проведение мероприятий по реабилитации или полной замене верхних слоев данных почв.

ASSESSMENT OF SOIL CONDITIONS IN URBANIZED AREAS BY BIOLOGICAL METHODS

Sh. Xu

Institute of Earth Sciences, Saint Petersburg State University, Saint-Petersburg,
st059107@student.spbu.ru

Summary: The work is devoted to the study of ecological and biological state of bulk urbanized soils of Vasileostrovsky district of St. Petersburg belonging to three urban ecosystems – residential, recreational and mainline. The ecological state was studied by the following parameters: phytotesting

(seed respiration, seed germination, root length, shoot length), actual and potential soil respiration, medium-regulating activity of soil. It is shown that in the main and residential urban ecosystems there is an oppression of biological activity and deterioration of the biological state of soils.

Keywords: *biotesting, urban ecosystem, ecological state of soils, biological activity, soil degradation.*

Литература

1. Щербаков А.И., Мдинарадзе М.Г., Назаров А.Д., Назарова Е.А. Демография: учеб. пособие / под общ. ред. д-ра экон. наук, профессора А.И. Щербакова. М.: ИНФРА-М, 2017. 216 с.
2. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2019 году / под редакцией Д.С. Беляева, И.А. Серебрицкого. СПб.: ООО «Типография Глори», 2020. 179 с. URL: https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2020/08/07/57/doklad_2019.pdf
3. Куджева Е.К. Экологические проблемы урбанизации // Аграрное и земельное право. 2019. № 2. С. 111–114.
4. Лисовицкая О.В., Терехова В.А. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения // Доклады по экологическому почвоведению. 2010. № 1. Вып. 13. С. 1–18.
5. Мощеникова Б.Н. Оценка экологического состояния зеленых насаждений Санкт-Петербурга: дисс. кандидат. биол. наук. 2011. 20 с.
6. Орлова Е.Е., Бакина Т.А., Орлова Н.Е., Лабутова Н.М., Банкин М.П., Якконен Л.К. Практикум по агроэкологии: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во С.-петерб. Ун-та, 2011. 148с.
7. Туманов В.Н., Чирук С.Л. Малый практикум по физиологии растений. Гродно: ГрГУ, 2012. 133 с.
8. Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно-загрязненных почв. ФР.1.39.2006.02264. СПб. 2009. 19 с.
9. Головкин Э.А. О методах изучения биологической активности торфяных почв / Микробиологические и биохимические исследования почв: Мат. науч. конф. по методам микробиол. и биохим. исследований почв. Киев, 28-31 октября 1971. Киев: Урожай, 1971. С. 68–76.
10. Чугунова М.В. Оценка биологического состояния дерново-подзолистой почвы, загрязненной различными дозами нефти / Сб.науч.тр. Гумус и почвообразование. СПб, 2005. С. 191–196.
11. Федоренко Н.Г., Медведева М.В. Методика исследования почв урбанизированных территорий. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 84 с.
12. Федотов Г.Н., Шоба С.А., Федотова М.Ф., Демин В.В. О возможной природе биологической активности гуминовых веществ // Почвоведение. 2018. № 9. С. 1099–1107.
13. Щербаков А.И., Мдинарадзе М.Г., Назаров А.Д., Назарова Е.А. Демография. М.: ИНФРА-М, 2017. 216 с.

ИНТЕГРАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В СИСТЕМУ ОЗЕЛЕНЕНИЯ

Е.Н. Тихонова, Д.А. Бархударян, Э.И. Трещевская, И.В. Голядкина, Т.А. Малинина

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», tichonova-9@mail.ru

***Аннотация.** Рекреационное направление рекультивации дает возможность использовать нарушенные земли, близко расположенные к городам, в качестве парковых озелененных территорий. Экономический эффект экосистемных услуг, рассчитанный для нарушенных территорий отработанного карьера «Белый колодец» вблизи г. Воронежа, может быть использован для оценки рекреационного потенциала рекультивируемых ландшафтов.*

***Ключевые слова:** отвалы, терриконы, экологическая реконструкция, функциональные ландшафты, рекультивация, рекреационные зоны, «пляжно-купальные» ресурсы.*

Интеграция терриконов и отвалов в систему озеленения с учетом их структурных элементов основывается на нескольких принципах, которые учитывают экологические, эстетические и функциональные аспекты данного процесса.

Экологическая устойчивость и биоразнообразие предполагает создание экологически благоприятных условий, способствующих сохранению и наращиванию разнообразия биоты на восстанавливаемых территориях. Этот принцип предполагает комплексный подход, включающий выбор растительных видов, типичных для местных экосистем, которые не только способствуют стабилизации почвы и предотвращению эрозии, но и играют ключевую роль в поддержании биологического баланса региона. При реализации этого принципа учитывается не только функциональная значимость растений в контексте их корневой системы и способности к адаптации в климатических условиях, но и их влияние на местные экосистемы, включая обеспечение убежищ и пищевых ресурсов для фауны.

Ландшафтная гармония и эстетическая ценность ориентируется на создание ландшафтных композиций, которые гармонично вписываются в окружающую природную среду и улучшают её визуальное восприятие. Основой этого принципа является выбор оптимальных форм и конфигураций терриконов, способствующих формированию естественного микрорельефа и созданию приятной эстетической среды для различных видов рекреационной деятельности. Это включает не только адаптацию структур к местным климатическим и географическим условиям, но и учет их воздействия на визуальный ландшафт, с учетом желаемого эстетического воздействия на пользователей территории.

Функциональное многообразие и универсальность использования направлено на создание разнообразных функциональных зон, способных удовлетворять различные потребности и интересы пользователей. Основной целью этого принципа является планирование и организация территории с учетом возможности её использования для разнообразных видов деятельности, таких как отдых, спорт, образование и культурные мероприятия. Это включает создание структурных элементов и инфраструктуры, способных обеспечить удобство и безопасность пользователей, а также предусмотреть необходимые условия для функциональной адаптации терриконов в зависимости от меняющихся потребностей общества и экологических условий.

Экологическая безопасность и устойчивое управление предполагает внедрение мер по устойчивому управлению терриконами и отвалами с целью минимизации отрицательного воздействия на природные ресурсы и максимизации их положительного влияния на окружающую среду. Этот принцип предполагает активное использование экологически

безопасных материалов и технологий, а также строгий контроль за качеством водных и почвенных ресурсов. Особое внимание уделяется регулярному мониторингу состояния растительного покрова, биоты и биоразнообразия, что позволяет оперативно реагировать на изменения в экологической динамике и своевременно корректировать стратегии управления для достижения долгосрочной устойчивости и экологической целостности рекультивированных территорий.

Устойчивое развитие подразумевает использование инновационных технологий и методов в области ландшафтного дизайна и экологической реконструкции с целью улучшения эффективности мероприятий по восстановлению и повышению устойчивости создаваемых экосистем. Он включает разработку и внедрение новейших методов моделирования рельефа, использование современных геоматериалов, способствующих формированию устойчивых и функциональных ландшафтов, а также разработку адаптивных стратегий управления, учитывающих изменчивость экологических условий и потребностей региональной биоты. Принцип направлен на обеспечение долгосрочной устойчивости некультивированных территорий и создание моделей экологически устойчивого развития, способных эффективно интегрироваться в современную антропогенную среду.

Ю.А. Бондарь [1], И.В. Лазарева [2] отмечают, что разница между биологическим и рекреационным направлениями рекультивации земель заключается в том, что рекреационное направление предполагает приведение нарушенных земель в норму по биологическим и физико-химическим параметрам. Они превратятся в качественно новое состояние, ранее не характерное для данной природной субстанции.

На месте карьеров создают зоны отдыха в виде водоемов с пляжами, аттракционами, парками, санными и лыжными трассами и так далее. Это могут быть различные музеи под открытым небом, с разнообразной тематикой, присущей для местонахождения. К примеру, музей горного дела. Во многих странах запада большое количество таких музеев, их экспозиции расположены на местах закрытых шахт, цехов они позволяют ощутить обстановку давно не работающих предприятий.

Создание рекреационной зоны на месте отработанных карьеров позволит:

- эффективно использовать имеющиеся туристические и рекреационные ресурсы;
- стимулировать развитие современной туристической инфраструктуры;
- значительно увеличить объем туристических услуг и товаров, повысить их качество;
- создать благоприятные условия для удовлетворения потребностей населения в активном отдыхе, укреплении здоровья, для приобщения к культурным ценностям;
- повысить уровень транспортной инфраструктуры и инвестиционной привлекательности региона;
- создать значительное количество рабочих мест в непромышленной сфере, которая будет способствовать положительным изменениям в структуре занятости населения;
- создать условия для восстановления природной среды и объектов культурного наследия и повышения заинтересованности местного населения в их сохранении.

Ландшафтное проектирование на нарушенных территориях много веков применялось в городском строительстве Европы, где 1/3 всей ландшафтной архитектуры базировалось на создании парков и скверов на нарушенных территориях.

В качестве объекта исследования нами был выбран отработанный меловой карьер «Белый колодец», который располагается на территории Латненского месторождения огнеупорных глин. Территория карьера находится в 15 км от г. Воронеж, в Семилукском районе, к западу от междуречья Дон – Ведуга – Девица и занимает площадь около 30 км². Основным полезным ископаемым являются огнеупорные и керамические глины каолинового состава (рис.1).



Рисунок 1. Вид на меловой карьер «Белый колодец».

Рекреационное направление рекультивации нарушенных земель предусматривает:

- вертикальную планировку территории с минимальным объемом земляных работ, сохранение существующих или создание пригодных в результате производства работ форм рельефа на стадии технического этапа;
- обеспечение стабильности грунтов при строительстве сооружений для отдыха и занятий спортом;
- проектирование, строительство и эксплуатация зон рекреации водных объектов для организованного массового отдыха и купания должны проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51232-98 [3].

На территории Воронежской области существует потребность в рекреационных лесистых территориях. В степной и лесостепной зонах целесообразна ландшафтно-рекреационная рекультивация, обеспечивающая формирование озерно-лесного комплекса с высокой экологической и рекреационной емкостью, ландшафтное разнообразие которого не требует больших материальных затрат.

На местах добычи полезных ископаемых после рекультивации возможно развитие различных видов рекреационной деятельности. На отвалах осуществить лесопосадки, карьеры обустроить для любых видов отдыха на воде. Превращенный ландшафт в рекреационном направлении имеет оздоровительное воздействие на среду. Рекреационное использование территорий, нарушенных горной промышленностью, признано самым эффективным с экономической и экологической точки зрения. Кроме того, оно целесообразно, поскольку эти земли, как правило, расположены в урбанизированных и промышленных областях.

Преловский В.И. [4] разработал и апробировал: методы качественной оценки привлекательности различных природных объектов экскурсионного показа и методы количественной оценки рекреационных ресурсов. В качестве примера предлагается метод количественной оценки пляжно-купальных ресурсов.

Понятие ресурсы (R, чел. дней) рассматривается как произведение площади территории (S, га), его экологической и психофизиологической нагрузки (N, чел./га) и длительности (T, дней) нахождения на территории или длительности сезона, то есть в виде формулы:

$$R = S \times N \times T = 2,4 \text{ га} \times 100 \text{ чел./га} \times 120 \text{ дней} = 28800 \text{ чел. дней}$$

Далее, зная величину ресурсов (R , чел. дней) и определив стоимость одного посещения (C , руб./чел. дней), мы можем рассчитать экономический эффект использования данного вида ресурса ($Ээ$, руб.) по формуле:

$$Ээ = R \times C = 28800 \text{ чел. дней} \times 250 \text{ руб./чел.} = 7\,200\,000 \text{ рублей}$$

Таким образом, мы рассчитали предположительное количество людей, которые посетят пляж за данный период. Так же рассчитана предполагаемая прибыль за весь пляжно-купальный сезон. Данный метод прост в употреблении, так как при минимуме данных можно решить необходимые рекреационно-экономические расчеты.

INTEGRATION OF DISTURBED AREAS INTO THE LANDSCAPING SYSTEM

E.N. Tikhonova, D.A. Barkhudaryan, E.I. Treshchevskaya, I.V. Golyadkina, T.A. Malinina

Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F.Morozov, tichonova-9@mail.ru

Summary: *The recreational direction of reclamation makes it possible to use disturbed lands close to cities as park green areas. The economic effect of ecosystem services calculated for the disturbed territories of the waste quarry "White Well" near Voronezh can be used to assess the recreational potential of reclaimed landscapes.*

Keywords: *dumps, landfills, ecological reconstruction, functional landscapes, reclamation, recreational areas, "beach and bathing" resources.*

Литература

1. Бондарь Ю.А. Благоустройство нарушенных территорий. К.: Будів, 1984. 72 с.
2. Лазарева И.В. Восстановление нарушенных территорий для градостроительства. М.: Стройиздат, 1972. 133 с.
3. ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества». URL: <https://rosstandart.info/gost/001.013.060.020/gost-r-51232-98>
4. Кусков А.С. Голубева В.Л., Одинцова Т.Н. Рекреационная география. Учебно-метод.комплекс. Саратов, 2019. 503 с.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА УРУПСКОГО ГОК ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПОЧВОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

Е.С. Храпай, С.И. Колесников, А.А. Кузина, К.Ш. Казеев, А.В. Кучерова

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, katerinap1996@mail.ru

Аннотация. Данное исследование посвящено оценке качества рекультивации хвостохранилища Урупского ГОК по выполнению почвой экологических функций. Объектом является почва, отобранная на рекультивированном хвостохранилище. Нарушение экологических функций рассчитывали с помощью интегрального показателя состояния почвы.

Ключевые слова: интегральный показатель состояния почвы, ферментативная активность, микробиологические показатели, фитотоксичность почвы, экосистемные функции почвы.

Урупский горно-обогатительный комбинат (ГОК) – крупнейшее предприятие добычи меди, золота и серебра на Юге России. Урупское месторождение введено эксплуатацию в 1968 [1]. Процессы добычи и обогащения, проходящие на предприятии, связаны с образованием большого объема отходов (хвостов). Хвосты содержат в себе огромное количество тяжелых металлов, в следствии миграции происходит загрязнение прилежащих к хвостохранилищу территорий [2]. Для уменьшения загрязняющего воздействия и восстановления экосистемы проводят рекультивацию [3, 4].

Объектом исследования являются почвы, отобранные на рекультивированном хвостохранилище Урупского ГОК. Данное хвостохранилище действовало с 1968 года по 1997. Рекультивацию производили с 2019 по 2021 год при реализации федерального проекта «Чистая страна» и национального проекта «Экология»¹. Отобранная почва характеризуется высоким содержанием гумуса от 4,5 до 11,5%, плотным сложением и крупнокомковатой структурой [5]. Фоновыми почвами этой территории являются горно-луговые черноземовидные почвы. Образцы почв отбирали в 1 км от рекультивированного хвостохранилища [5].

Биологические показатели почв в каждой точке оценивали согласно общепринятым методам [6]. Активность почвенной каталазы определяли газометрическим методом по А.Ш. Галстяну (1978), активность дегидрогеназ оценивали методом восстановления индикаторов с низким редокс-потенциалом (А.Ш. Галстян, 1962). Обилие бактерий рода *Azotobacter* учитывали методом обрастания почвенных комочков на неподкисленной среде Эшби. Общую численность бактерий в почве учитывали методом прямой люминесцентной микроскопии по методике Д.Г. Звягинцева и П.А. Кожевина (1982). Фитотоксические показатели определяли с помощью растительного тест-объекта по всхожести и интенсивности начального роста (длина корней) проростков редиса (*Raphanus sativus* L.). На основе полученных результатов оценки микробиологических, биохимических и фитотоксических свойств почвы рассчитывали интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы [7].

В результате исследования установлено, что биологические показатели почвы рекультивированного хвостохранилища не имеют статистически достоверных различий по сравнению с фоновыми для этой территории [5]. ИПБС почвы рекультивированного хвостохранилища различается от фонового показателя меньше, чем на 5% ($4,3\% < 5\%$), что говорит об отсутствии нарушения экологических функций. Это связано с отсутствием загрязнения тяжелыми металлами в почве рекультивированного хвостохранилища [8].

¹ Национальный проект «Экология» https://www.mnr.gov.ru/activity/np_ecology/fp-chistaya-strana/

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда No 23-74-01071, <https://rscf.ru/project/23-74-01071/> в Южном федеральном университете.

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE RECLAMATION OF THE URUPSKY GOK TAILINGS DAM FOR THE PERFORMANCE OF ENVIRONMENTAL FUNCTIONS BY THE SOIL

E.S. Khrapai, S.I. Kolesnikov, A.A. Kuzina, K.Sh. Kazeev, A.V. Kucherova

Southern Federal University, Rostov-on-Don, katerinap1996@mail.ru

Summary: *This study is devoted to assessing the quality of remediation of the Urupsky MPP tailing dump for the performance of environmental functions by the soil. The object is the soil selected from a reclaimed tailings dump. The violation of ecological functions was calculated using an integral indicator of soil condition.*

Keywords: *integral indicator of soil condition, enzymatic activity, microbiological indicators, phytotoxicity of soil, ecosystem functions of soil.*

Литература

1. Богуш И.А., Бурцев А.А., Разоренов Ю.И., Ураскулов М.Р. Проблемы и перспективы освоения медно-колчеданных месторождений Карачаево-Черкесской Республики // Устойчивое развитие горных территорий. 2014. Т. 6. № 2. С. 7–11
2. Крупская Л.Т., Мелконян Р.Г., Зверева В.П., Раганина Н.К., Голубев Д.А., Филатова М. Ю. Опасность отходов, накопленных горными предприятиями в Дальневосточном федеральном округе, для окружающей среды и рекомендации по снижению риска экологических катастроф // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. №. 12. С. 102–112.
3. Андроханов В.А. Опыт комплексной рекультивации техногенных ландшафтов в лесостепной зоне Сибири // Мониторинг, охрана и восстановление почвенных экосистем в условиях антропогенной нагрузки. 2022. С. 303–308.
4. Андроханов В.А., Госсен И.Н., Соколов Д.А. Опыт проведения рекультивационных работ по различным направлениям в Кузбассе / Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: материалы V международной научной конференции (Иркутск, 23–29 августа 2021). Иркутск: ФГБОУ ВО «ИГУ», 2021. С. 12–17.
5. Храпай Е.С., Кузина А.А., Колесников С.И., Минникова Т.В., Казеев К.Ш. Оценка здоровья почвы рекультивированного хвостохранилища по показателям фитотоксичности // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2024. № 1. С. 162–168.
6. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. 356 с.
7. Kolesnikov S.I., Kazeev K.S., Akimenko Y.V. Development of regional standards for pollutants in the soil using biological parameters // Environmental Monitoring and Assessment. 2019. Т. 191. С. 1–10. DOI: [10.1007/s10661-019-7718-3](https://doi.org/10.1007/s10661-019-7718-3)
8. Храпай Е.С., Кузина А.А., Колесников С.И., Минникова Т.В., Казеев К.Ш. Оценка здоровья почвы рекультивированного хвостохранилища по показателям фитотоксичности // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2024. № 1. С. 162–168.

КЛАССИФИКАЦИЯ РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ

А.С. Шишкин

Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН, Красноярск, shishikin@ksc.krasn.ru

***Аннотация.** Представлена классификация техногенных разрезов и пути их рекультивации (горной и биологической). Рассмотрены проблемы рекультивации в зависимости от целей, возраста и прогноза состояния нарушенных земель. Проведен анализ различия карьерных разработок месторождений бурых углей и золота, находящихся в разных географических зонах.*

***Ключевые слова:** классификация, рекультивация, проблемы, продуктивность.*

Актуальность. Классификация какого-либо объекта дело не благодарное и всегда найдутся оппоненты, которых не устроит тот или иной тезис или уровень генерализации. В то же время локальные результаты исследования необходимо как-то экстраполировать, а как это сделать? Без систематизации, порождающей классификацию, обойтись невозможно. Следовательно, следует классифицировать только одно явление (технологический процесс) и не замахиваться на всеобщие ландшафтные обобщения, которые заведомо будут ущербными.

Существуют общие требования технологической и биологической рекультиваций (ФЗ-172 от 01.03.2022 г). Однако требовать от недропользователей рекультивацию нарушенных земель по единым правилам не верно. Рекультивация более индивидуальна, даже чем разработка месторождения. Существуют объективные (природные, социальные, экономические и пр.) причины корректировать процесс прохождения этапов рекультивации. Отвалы добычи полезных ископаемых можно трактовать как результат применения современной технологии, эффективность которой повышается через 30–50 лет и если раньше они классифицировались как отвала (т.е. не нужные грунты), то затем их ценность как содержащих полезный компонент возрастает. Более того, отвалы грунтов доступны для переработки и не надо тратить на их добычу.

Для примера сравним два типа отвалов: с бурогоугольного разреза и добычи россыпного золота. В обоих случаях имеются отвалы вскрышных и вмещающих пород. В первом случае преобладают разрушающиеся при атмосферном воздействии и почвообразующие песчаники, во втором – вулканические породы, обычно обкатанные, русловые и выдерживающие атмосферное воздействие. Далее, в первом изымается почти половина полезного объема грунта, во втором не более 5%. Если первые расположены на суходолах (как правило), то вторые – в поймах водотоков. Соответственно, даже не вникая в мощность и возможность снятия почвенного горизонта, а также состав и вторичное использование отвалов, они разные и технологии, их рекультивации должны отличаться. Почему при каком-либо производстве товаров учитывается их утилизация (утилизационный сбор при покупке машины), а при недродобыче нет? Проект рекультивации разрабатывается после отработки месторождения, поэтому часто, аренда после освоения месторождения расторгается, и нарушенные земли бросаются. Не понятно, почему проект рекультивации (хотя бы размещение отвалов и используемая технология) не должен сопровождать проект освоения месторождения? Такой параллелизм сокращает затраты на горный этап, дает прогноз состояния нарушаемой территории, гарантирует выращивание нужного объема и породного сорта посадочного материала для биологического этапа. К сожалению, подобная ситуация не только в недродобывающей отрасли. В ВУЗе преподают более 10 способов создания лесных культур, а от Камчатки до Калининграда используется один – механическая посадка саженцев сосны в

борозду. Действующие лесопитомники ориентированы на выращивание саженцев при лесовосстановлении вырубок и гарей, а не рекультивации. Почему везде при рекультивации и даже озеленении городов высаживается сосна? Ответ прост – ее посадочный материал есть на всех лесных питомниках. Возможно, она хорошо растет на отвалах, но это не повод для ее использования на биологическом этапе. Хотя эта порода перспективна для плантационного разведения. Требуется зонирование нарушенных земель по приоритетному использованию, разработки индивидуальной технологии лесозаращивания отвалов и гарантированного сбыта посадочного материала, предназначенного только для их биологической рекультивации.

Следует иметь в виду, что, как правило, недروпользователями нарушаются типичные элементы ландшафта и заменяются на техногенные, уникальные. Например, разработка россыпного золота сопровождается созданием русло- и горноотводных канав, водоемов различной глубины старичного типа, каменистых и песчаных отвалов, естественного лесовозобновления породами, которые ранее не встречались на нарушенных участках. При этом следует учитывать формируемые условия обитания для растений и животных. Резко возрастает видовое и биотопическое разнообразие. Ресурсный потенциал возрастает в несколько раз, он имеет сукцессионную основу (прогнозируем) и ситуационно кратковременен. Необходимо учитывать, что есть прямое и техногенное воздействие (технологическое) и косвенное (антропогенное). По нашим данным (комической съемки) пожары около нефтепромыслов обусловлены присутствием человека. В Норильском промрайоне резко сократилась продуктивность охотничьих и рыболовных угодий и это не связано с загрязнением среды, а наблюдается обычный перепромысел или проявление фактора беспокойства.

Таким образом, рекультивация техногенных объектов должна включать не только скорейший возврат земель с прежней продуктивностью, но и учитывать рекреационные потребности населения, которое привлечено к этим объектам. Цель данного сообщения в привлечении внимания к проблеме дифференцированного подхода к рекультивации.

Объекты и методы исследования. Проводится длительный мониторинг (с 2007 г. на 8 ПП) отвалов Бородинского разреза бурых углей, обследован Чаданский разрез каменных углей, ведется мониторинг Полюс-Красноярск с 2020 года на 6 ПП (рудное золото), разработка разделов ОВОС проектов по карьерной добыче бурых углей в Хакасии, обследованы действующие и отработанные (часть прошла горный этап) месторождения россыпного золота на рр. Солбия, Ко, Сисим, Мана, Б. Кузеева, Панимба.

Обсуждение результатов. Предлагается следующая классификационная схема отвалов по рекультивации в зависимости от ее потребности и финансовой состоятельности разработчика недр:

| Без рекультивации | | | Горнотехническая: выравнивание отвалов, склонов | | |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Трава (выпас, медоносы) | Кустарники (ягодники, биотопы) | Деревья (р/у, грибы, биотопы) | Без ПСП | | С ПСП |
| ООПТ: мониторинг, НИР, сукцессионные изменения | | | Л/к: породы, способ, плантации, р/у | Рекреация, строитель- ство | С/х: пашня, выпас, медоносы |

При этом следует определить финансовые затраты на все этапы рекультивации. Возможно, добыча полезных ископаемых не компенсирует затрат на восстановление или значительно удорожат продукт добычи. Возможно, с помощью техногенного воздействия значительно улучшается биотопическая и ландшафтная структура, увеличивается видовое

разнообразие, создаются сукцессионные условия для распространения редких видов. Поэтому затраты на рекультивацию должны отражаться в проектах освоения месторождений.

При рекультивации следует обращать внимание на формирование экологической емкости нарушенных участков до и после рекультивации. Например, выравнивание грунтов увеличивает просматриваемость угодий, а отсыпка ПСП приводит к однородному агрофону и делает невозможным формировать разнообразие травянистых растений, руслоотводные каналы должны иметь ямы для отдыха рыбы, а глубокие отстойники надежные, не размываемые плотины и т.д. Таким образом, рекультивация должна иметь цель и направлена на ее реализацию.

Рекультивация отвалов зависит от их возраста. Мы сталкивались с ситуацией, когда старые отвалы с естественным лесовозобновлением и собственным фаунистическим населением выравнивались и превращались на долгое время в «лунный» ландшафт. В итоге основная цель рекультивации не достигалась и затраты на горный этап не компенсировались биотопическим повышением продуктивности и пригодности для биологического освоения. Выровненные грунты приходили в движение (поверхностная эрозия), естественное возобновление выжималось, прирост не превышал 1–3 см, когда рядом без горной рекультивации сосна развивалась по I бонитету.

Для мониторинга нами использовались отвалы разного возраста, имеющие разный рекультивационный потенциал и диагностику. Свежие отвалы при отсыпке ПСП характеризовались буйным разрастанием сорной растительности, без ПСП наблюдалось зарастание нарушенных участков техногенными «пионерами» (донником), провальным увлажнением, усадкой грунтов (выжиманием на гальке) и их «распыхивание» (втягиванием саженцев на песчанниках). Формируется разнообразное население животных из случайно кочующих видов («варягов»). Продолжительность состояния отвалов не превышает 3–5 лет. Не рекомендуется создавать долговременные лесные насаждения, поскольку грунт находится в движении, а растительность обеспечивается только снеговой и конденсационной влагой. Средневозрастные отвалы наиболее пригодны для биологического этапа рекультивации. Они имеют сукцессионный ресурс (ягодный, грибной, пастбищный), пирогенное ситуационное состояние (кипрей). Население животных соответствует сукцессионным сменам растительности, но формируется путем перераспределения аборигенов. Продолжительность этой возрастной стадии не превышает 20 лет, т.е. до формирования зональных биотопов. Старые отвалы, обычно не рекультивированы с устоявшимся уровнем грунтовых вод и структурой водоемов озерного или старичного типов. Корневая система деревьев поверхностная и ориентирована на перехват атмосферных осадков, преобладает мертвопокровная (жердняковая) древесная растительность и характерно стабильное население животных. Биологическая рекультивация таких отвалов не требуется, поскольку они уже соответствуют зональной норме и функционально вошли в ландшафтную структуру окружающей территории. Таким образом, возраст и состояние техногена ограничивает целесообразность проведения биологического этапа рекультивации.

Очевидно, что снятие, хранение и нанесение ПСП очередная проблема недропользователей и ее уместно обсуждать для территорий, где формируется гумусовый горизонт. Однако требование природоохранные службы общие и снятие ПСП во всех природных зонах обязательно. При этом не учитывается потребность в элементах ландшафта с ПСП, лимитирующих факторах нарушаемых ландшафтов, технологической возможности снятия и селектирования ПСП и т.д. В результате рекультивация переходит из технологической в социальную сферы.

Существует проблема утилизации бытовых отходов, которые формируются при длительном (более 10 лет) использовании месторождений. С одной стороны, почему-то их нельзя размещать в горных выработках и место под свалки размещается на возвышенных местах, что приводит к разному полиэтилена и бытового загрязнения отвалов, которое более губительно для местной флоры и фауны нарушаемых территорий. Привлечение синантропных

видов позвоночных, конечно, способствует распространению зоохорных растений, но при этом численность аборигенных видов снижается. Биологический этап снижает отрицательное воздействие синантропов. Следует иметь в виду, что полигоны бытовых отходов имеют постоянный режим эксплуатации, а рекультивация выполняется периодически и не согласована с горными работами.

Выводы. Проект по рекультивации должен быть индивидуален, согласовываться с местными органами, прежними пользователями, контролирующими природоохранными организациями и сопровождать основной проект по освоению месторождения. Рекультивация должна учитывать возраст техногенных нарушений и экологические последствия рекультивационных работ. Технология (проект) рекультивации (горная и биологическая) должна разрабатываться или проходить экспертизу компетентными специалистами (как научная статья в ВАКовском издании).

CLASSIFICATION OF RECLAMATION FACILITIES

A.S. Shishikin

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, shishikin@ksc.krasn.ru

***Summary:** Classification of technogenic sections and ways of their reclamation (mining and biological). Problems of reclamation depending on the goals, age and forecast of the state of disturbed lands. Analysis of quarrying of brown coal and gold deposits located in different geographical zones of their differences.*

***Keywords:** classification, reclamation, problems, productivity.*

СЕКЦИЯ «МОНИТОРИНГ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ, ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В КЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЕКТАХ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»

УДК 504.47

ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КАК МЕТОД ОЦЕНКИ ТЕКУЩЕЙ ДИНАМИКИ ГЕОСИСТЕМ ГОР КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ

М.М. Адаменко¹, М.Д. Ананничева², А.А. Абрамов³, И.П. Треньков⁴

¹ Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, adamenko.marina@gmail.com

² Институт географии РАН, Москва, maranan@gmail.com

³ Институт географии РАН, Москва, forestpro@gmail.com

⁴ Государственный природный заповедник «Кузнецкий Алатау», trenkoff@rambler.ru

***Аннотация** Данная статья содержит данные об изменении ледников Июско-Терсинской группы оледенения с 1980-х по 2024 гг., современных тенденциях изменения климата района, наблюдаемых изменений геосистем. Дается оценка динамики верхней границы леса. Также в статье отражаются отдельные возможности использования данных БПЛА при изучении природных объектов и территорий.*

***Ключевые слова:** гляциологический мониторинг, изменение климата, горы Кузнецкий Алатау.*

Малые ледники и многолетние снежники являются важной составляющей ландшафтов гор Кузнецкого Алатау и оказывают значительное влияние на природные особенности этого региона. Оледенение здесь относится к малым формам, ледники имеют малые размеры и залегают на низких абсолютных высотах (значительно ниже расчетной климатической снеговой границы). Располагаясь полностью в поясе положительных летних температур зависимые от количества накопленных твердых осадков данные объекты криосферы выступают индикатором таких параметров, как суммы летних температур и количество осадков холодного периода года. В связи с тем, что ледники Кузнецкого Алатау быстро реагируют на изменения климата, они являются также индикаторами как общего тренда изменения климата в регионе, так и отражают его высокочастотные колебания.

Горы Кузнецкого Алатау из-за их барьерной роли по отношению к влагонесущим воздушным потокам, способствуют накоплению аномально большого количества осадков. При этом район слабо охвачен сетью станций Государственной метеорологической службы (ГМС станций). Расположенные в предгорьях метеостанции не позволяют оценить текущие изменения водозапаса в горных геосистемах в пределах западного макросклона и

приводораздельных областях Учитывая, что здесь расположены бассейны крупных притоков реки Томь, главной водной артерии Кузбасса, изучение особенностей текущего изменения климата и горных геосистем в Кузнецком Алатау является крайне актуальным. Поскольку площадь нарушенных земель в пределах территории неуклонно возрастает, при дальнейшей их рекультивации необходимо учитывать существующие тенденции изменения регионального климата, который здесь отличается высокой степенью мозаичности, ввиду влияния рельефа [1].

Приведенные в статье данные были получены в результате длительных исследований ледников, снегозапаса и текущей динамики горных геосистем Кузнецкого Алатау, которые проводятся авторами с 2002 года (Адаменко, Треньков, а с 2023 года – Ананичева и Абрамов). В ходе исследований использовались методы прямых полевых наблюдений и измерений, анализ архивных фотографий, данных ГМС, спутниковых снимков Sentinel-2, датированных концом августа 2021 и 2023 гг., съемка ледников с БПЛА и построение 3D моделей.

В ходе летней экспедиции 2024 года были повторно сняты с БПЛА четыре ледника Июско-Терсинской группы оледенения: Черно-Июсский (№ 83), Чуракова (№ 85), Толмачева (№86), Центральный (№ 87). Также были впервые получены высокоточные снимки ледников Верхнетерсинского (№ 8) и № 84. Номера криосферных объектов даны по каталогу ледников СССР [2]. Для четырех наиболее изученных ледников систематизированы все данные полевых измерений их площади с 1975 года (табл. 1).

Таблица 1. Изменение площадей некоторых ледников Июско-Терсинской группы с 1980-х по 2024 года

| Год наблюдений/ источник данных | Площадь ледников, в км ² | | | | % от суммарной площади четырех ледников по данным Каталога ледников СССР 1980 г. |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Черно- Июсский, № 83 | Чуракова, № 85 | Толмачева, № 86 | Центральный, № 87 | |
| 1980-е / [2] | 0,19 | 0,24 | 0,21 | 0,20 | 100 |
| 2000 / [3] | 0,10 | – | – | – | |
| 2005 / [4] | 0,06 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 57,14 |
| 2006 / [5, 6] | 0,08 | – | – | 0,10 | |
| 2011 / [7] | 0,04 | – | – | – | |
| 2018 / [8] | 0,01 | 0,116 | 0,103 | 0,114 | 40,83 |
| 2018 / [9] | 0,03+0,01 (распался на фрагменты) | 0,12 | 0,11 | 0,11 | |
| 2021 / [10] | 0,04 | 0,12 | 0,10 | 0,12 | 45,23 |
| 2023 / [11] | 0,03+0,01 (распался на фрагменты) | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 40,47 |
| 2024 / данные августовских съемок с БПЛА | 0,0135+ 0,011+ 0,004 (распался на фрагменты) | 0,086 | 0,0801 | 0,101 | 35,19 |

Площади ледников, представленные в таблице 1 были получены разными исследователями в разные годы на основе различных методик: прямых измерений, GPS-

измерений, фотограмметрии, анализа снимков Sentinel-2 (разрешение от 10 до 30 м/пиксель), съемок БПЛА (среднее разрешение 15 см/пиксель). Естественно, точность измерений повышается с развитием технологий и вопрос сопоставимости ранних данных с современными методами остается открытым. Следует отметить, что, при каталогизации ледников в 1980-е годы, их площадь была оценена с точностью до сотых долей квадратного километра, поэтому использование методов невысокого пространственного разрешения для решения поставленной задачи долгое время считалось допустимым.

Нами также была определена погрешность при измерении площадей ледников по данным снимков Sentinel-2 путем сравнения с данными съемки БПЛА. Площади ледников, определенные по снимкам Sentinel-2, совпадают с ортофотопланами по БПЛА в пределах погрешности в 10%. Съемка с БПЛА, доступная в настоящее время, отличается высоким пространственным разрешением. С ее помощью можно создавать высокоточные ортофотопланы (рис. 1-I, 1-II), и 3D модели местности (рис. 1-III), которые позволяют отслеживать малейшие изменения компонентов геосистем и оценивать природные риски, вызванные изменением климата.

В экспедиции 2024 года впервые были проведены повторные съемки ледников: в середине и в конце сезона абляции. Рисунки 1-I и 1-II наглядно иллюстрируют тот факт, что в середине сезона абляции ледники могут быть полностью скрыты под сезонным снегом. В зависимости от даты съемки площадь ледников Кузнецкого Алатау в один и тот же год может сильно отличаться. В связи с этим здесь особенно важен гляциологический мониторинг в конце сезона абляции в фиксированные даты.

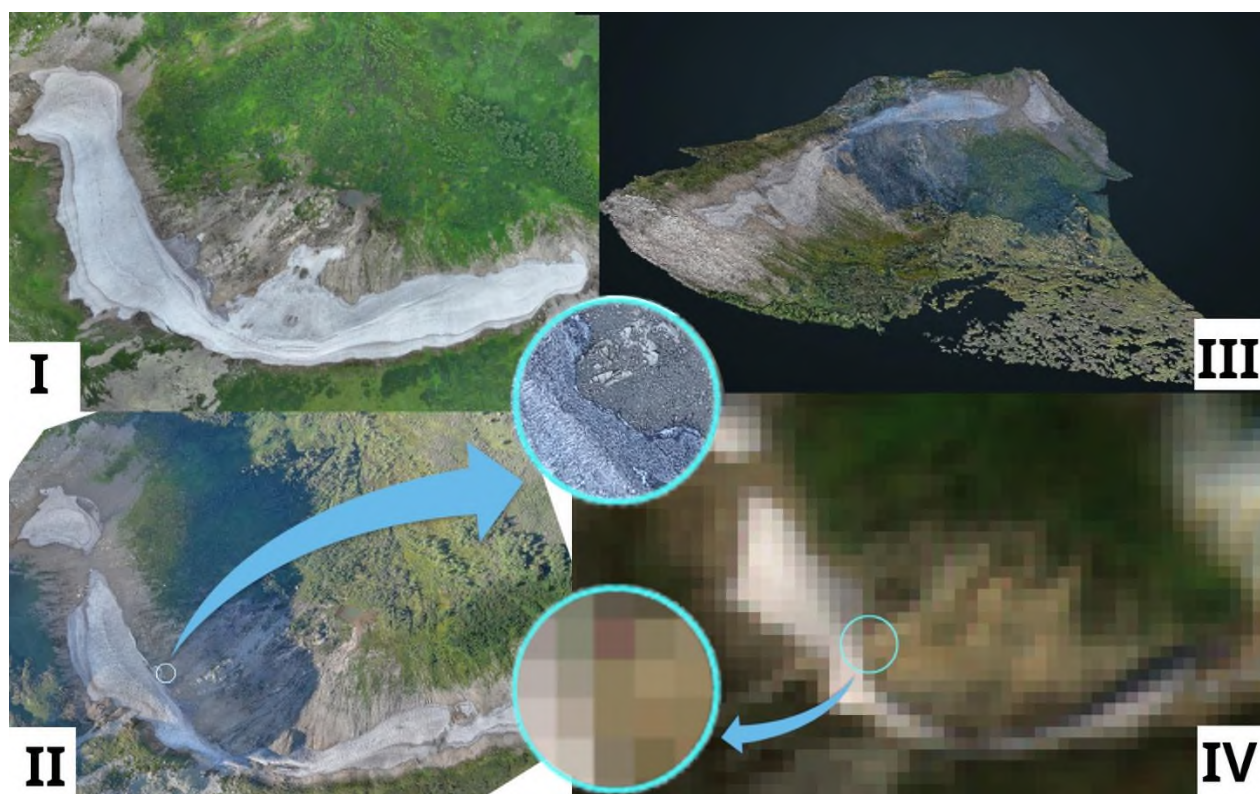


Рисунок 1. Ледник Черно-Июсский (№ 83).

Примечание: I – ортофотоплан по данным съемки БПЛА на 21 июля 2024 года; II – ортофотоплан по данным съемки БПЛА на 15 августа 2024 года (врезкой дано пространственное разрешение снимка); III – 3D модель на 15 августа 2024 года; IV – космоснимок Sentinel-2 на вторую декаду августа 2021 года в диапазоне Natural Color года (врезкой дано пространственное разрешение снимка).

Оценка климатических изменений в регионе была произведена по данным ближайших шести ГМС станций. В целом тенденции изменения климата в регионе связаны с ростом средних летних температур и увеличением количества осадков. Небольшой положительный тренд средних летних температур (порядка 1 °С) наблюдается в направлении с ЮЗ на СВ региона. Твердые осадки с 1960-го года выросли на 100–200 мм.

Климатические изменения в сторону потепления вызвали ответную реакцию ледников. После каталогизации в 1980-х года ледники Кузнецкого Алатау, в целом, показали тенденцию отступления. Наибольшее сокращение площади ледников наблюдалось в 2002–2004 гг. С 2004 по 2018 гг. происходило некоторое заметное замедление отступления ледников и даже увеличение их площади, контролируемое климатом. В последние годы наблюдается возобновление тренда на сокращение площади ледников, который сильно отличается у ледников разных морфологических типов. Ледники присклонового типа (например, Черно-Июсский № 83) значительно деградировали. С 1980-х годов они потеряли 60–90% их площади. Крупные каровые и близкие к ним по типу ледники (например: Чуракова № 85, Толмачева № 86, Центральный № 87) сокращаются более медленными темпами и в отдельные годы имели тенденцию приращения площади.

Освобожденные от снега и льда склоны в перигляциальной зоне ледников активно занимают растительность. В частности, интересной представляется оценка изменений верхней границы леса, которая выполнена нами по дендрохронологическим и фотоархивным данным и проиллюстрирована рисунком 2.



Рисунок 2. Долина ручья Ханьгой.

Примечание: А – фото И.П. Толмачева (Шукин, Т.2, 1964, с. 539); Б – фото авторов, август 2012 года. Красным показаны границы леса: линией – граница сомкнутого древостоя начала XX века, штрихпунктирном – граница сомкнутого древостоя в 2012 году.

На рисунке 2-А представлена фотография географа И. П. Толмачева, сделанная в 1898–1899 или 1902 годах. На ней изображена долина руч. Ханыгой (правый приток реки Большой Казыр). В августе 2012 года нами сделана фотография примерно с той же точки (рис. 2-Б). Как видно при сравнении фотографий за 110 лет граница леса существенно поднялась, как сомкнутого древостоя, так и редколесья. На данном склоне граница леса вероятно снегов-ветровая. Главное влияние на нее оказывают сезонные снежники. Как видно размеры сезонных снежников существенно сократились, в результате граница редколесья поднялась и достигла, по всей видимости, термического предела распространения. Можно предположить, что термическая граница маркируется полоской леса по гребню морены одиночного кара. Крупный снежник-перелеток, отображенный на фото И.П. Толмачева в настоящее время, как правило, полностью исчезает к середине–концу августа. Редкостойный кедровый лес отдельными рощицами практически оконтуривает его. Граница сомкнутого древостоя за 110 лет поднялась примерно на 50 м. Граница леса начала XX столетия читается на местности: выше нее хвойные деревья меньшей высоты и в древостое резко увеличивается процент березы. Современная граница сомкнутого леса находится на абсолютных отметках 1220–1200 м н.у.м. По фото рубежа XX в. она достигала высота не более 1150 м н.у.м.

GLACIOLOGICAL MONITORING AS A METHOD OF ASSESSING CURRENT DYNAMICS OF GEOSYSTEMS OF THE KUZNETSK ALATAU MOUNTAINS

M.M. Adamenko¹, M.D. Anannicheva², A.A. Abramov³, I.P. Trenkov⁴

¹ Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, adamenko.marina@gmail.com

² Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, maranan@gmail.com

³ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, forestpro@gmail.com

⁴ State Kuznetskiy Alatau Nature Reserve, trenkoff@rambler.ru

Summary: This article contains data on changes in glaciers of the Ijusko-Tersin glaciation group from the 1980s to 2024, current trends in climate change in the area and observed changes in geosystems. An assessment of the dynamics of the upper forest boundary is given. The article also reflects some possibilities of using UAV data in the study of natural objects and territories.

Keywords: glaciological monitoring, climate change, Kuznetsky Alatau mountains.

Литература

1. Шереметова С.А., Шереметов Р.Т. Бассейн реки Томь (флористические и физико-географические особенности). Новосибирск: изд-во «Гео», 2020. 323 с.
2. Каталог ледников СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. Т. 15. 44 с.
3. Сьюбаев А.А., Ковалев Е.А. Современное состояние оледенения Кузнецкого Алатау и его динамика во второй половине XX века // Природа и экономика Кузбасса. 2004. Вып. 9. Т. 2. С. 41–49.
4. Adamenko M.M., Gutak Y.M., Solomina O.N. Glacial history of the Kuznetsky Alatau mountains // Environmental Earth Sciences, 2015 (74/3). pp. 2065–2082. DOI 10.1007/s12665-015-4621-2
5. Коваленко Н.В. Современное состояние малых ледников Кузнецкого Алатау и Плато Путорана // Вестник Московского Университета, 2008. № 3. Сер. 5. С. 67–71.
6. Коваленко Н.В. Режим и эволюция малых форм оледенения. Москва: Изд-во МАКС Пресс, 2011. 240 с.
7. Адаменко М.М., Гутак Я.М., Антонова В.А. Изменение климата и размеров ледников в горах Кузнецкого Алатау в 1975–2015 гг // Лед и Снег, 2017. Т 57. № 3. С. 334–342. DOI. 10.15356/2076-6734-2017-3-334-342

8. Махрова М.Л., Ермаков В. М. О состоянии малых форм современного оледенения на восточном макросклоне Кузнецкого Алатау (на примере Июско-Терсинской группы) // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий, 2019. Вып. 23, Т. 1. С. 82–85.
9. Khromova, T. E., Nosenko, G. A., Glazovsky, A. F., Muraviev, A. Y., Nikitin, S. A., & Lavrentiev, I. I. New Inventory of Russian Glaciers Based on Satellite Data (2016–2019). *Water Resources*, (022. 49(Suppl 1), pp. 55-S68. DOI. [10.1134/S0097807822070065](https://doi.org/10.1134/S0097807822070065)
10. Адаменко М.М., Гутак Я.М., Треньков И.П. Современные тенденции развития малого оледенения гор Кузнецкого Алатау на примере ледников Июско-терсинской группы // Региональные геосистемы, 2022. Т. 46. № 1. С. 40-52. DOI: [10.52575/2712-7443-2022-46-1-40-52](https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-1-40-52)
11. Спутниковые снимки Sentinel-2 [Электронный ресурс] URL: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/home> 23335 (дата обращения: 10.09.2024).

УДК 502.37:622

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ В РАЙОНАХ ОТКРЫТОЙ ДОБЫЧИ УГЛЯ: ОПЫТ КИТАЯ

И.В. Баклушина

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк,
baklushina@rambler.ru

***Аннотация.** Проведен обзор некоторых исследований, направленных на изучение проектов по рекультивации и мелиорации земель, проводимых в Китае. Описаны способы восстановления земель и методы мониторинга эффективности мероприятий.*

***Ключевые слова:** рекультивация, мелиорация, запасы углерода, структура почвы.*

Угольные ресурсы являются вторым по величине источником энергии в мире и, вероятнее всего, останутся таковым в долгосрочной перспективе. Открытая добыча является важным способом добычи угольных ресурсов и обеспечивает огромную материальную основу для экономического развития. Однако добыча угля открытым способом является одним из основных факторов глобальной деградации почв и наносит серьезный ущерб экологической среде и земельным ресурсам районов добычи. Добыча угля открытым способом приводит к разрушению структуры почвы, повреждению корней растений, потере почвенной влаги, питательных веществ и микробных популяций в районах угольных шахт. Проекты рекультивации земель и восстановления экологического строительства являются основным средством решения проблемы деградации почв на участках открытых горных работ, что имеет решающее значение для улучшения стабильности экосистем и состояния почвы в таких местах. Рекультивация земель является наиболее прямым и эффективным методом улучшения почвенной среды в горнодобывающих районах [1].

В Китае уголь является основным источником энергии [2], на его долю приходится примерно 70% общего потребления энергии. Провинция Шаньси является одним из крупнейших районов добычи угля в Китае. Из-за горнодобывающей деятельности первоначальная растительность (широколиственные леса) была полностью уничтожена на шахтных территориях в провинции Шаньси. Существует два основных подхода к экологическому восстановлению этих территорий. Процесс естественного восстановления может занять несколько десятилетий или даже столетий, тогда как искусственное восстановление путем посадки засухоустойчивых и быстрорастущих видов обычно ускоряет экологическое восстановление.

Янь и др. [2] провели обширное исследование по рекультивации земель и экологическому восстановлению на участках открытых горных работ. В этом исследовании секвестрация почвенного углерода и свойства почв различных типов растительности были изучены в ходе восстановительных работ в районе после добычи полезных ископаемых на восточной части Лёссового плато. Практика восстановления угольной шахты Малань была признана примером экологического восстановления в провинции Шаньси, известной богатыми запасами угля. На исследуемом участке экологическое восстановление проводилось на заброшенных землях, заваленных шахтными отходами, и состояло из двух ключевых этапов. Сначала поверх отходов наносили первоначальный верхний слой почвы и выравнивали его, толщина которого обычно достигала 30–50 см. Тогда на центральной площади заброшенных земель искусственно высаживались засухоустойчивые или быстрорастущие виды, тогда как на прилегающих территориях обычно развивались стихийные травы. Вновь построенные почвы характеризовались высоким рН (8,61–8,89),

высокой объемной плотностью (1,47–1,62 г/см³) и низким содержанием N (0,11–0,34 г/кг), поэтому здесь присутствовали только редкие и низкие травы, которые существовали на этих естественно восстановленных территориях. Исследовались участки в течение почти 12 лет: с 2008 по 2019

Результаты показали, что свойства почвы существенно улучшились за счет искусственного восстановления путем посадки *Rhus typhina* (Сумах оленерогий, или Сумах пушистый, Укусное дерево, сумах коротковолосый, большой виргинский сумах (лат. *Rhus typhina*) – растение семейства Сумаховые, экзотический вид для данной местности) и *Platycladus orientalis* (Плосковéточник, или Плати́кладус, или Биóта (лат. *Platýcladus*) – монотипный род вечнозелёных однодомных хвойных деревьев семейства Кипарисовые, местный вид), а также за счет естественного восстановления. Запас почвенного углерода (глубина 0–20 см) значительно увеличивался с продолжительностью восстановления во всех типах растительности и положительно коррелировал с разнообразием растений, за исключением *R. typhina*. В исследовании содержание азота в почве увеличивалось с продолжительностью восстановления во всех типах восстановления, что, в свою очередь, приводило к увеличению биомассы тонких корней. Улучшение доступности почвенного азота могло способствовать поступлению углерода в почву.

Юань и др. [3] проводили исследование рекультивации земель угольного разреза Пиншо. Это крупнейший угольный разрез в Китае, находится в городе Шуочжоу, провинция Шаньси, на востоке Лёссового плато. Процесс добычи угля на карьере Пиншо включает расчистку надземной растительности, удаление верхнего слоя почвы и вскрышных пород для доступа к угольным пластам. Вскрышные породы, состоящие из грунтов и горных пород большого диаметра, транспортируются и складываются в крупные отвалы на руднике Пиншо с применением верхнего слоя почвы, характеризующегося супесями и состоящего из иллита, вермикулита и каолинита. Распределение фаз уклона отвалов представляет собой ступенчатую местность с относительной высотой около 100–150 м и высотой ступеньки от 20 до 40 м. При рекультивации верхний слой почвы наносится на поверхность отвалов и выравнивается. Рекультивация началась с 1988 года, и рекультивированные территории преимущественно использовались в лесных и сельскохозяйственных целях.

Исследование обнаружило, что запасы углерода в почве существенно восстановились после восстановления путем посадки местных видов, таких как *Robinia pseudoacacia* (Робиния ложноакациевая – быстрорастущее лесообразующее засухоустойчивое дерево, вид рода Робиния (*Robinia*) семейства Бобовые) и *Pinus tabulaeformis* (сосна красная китайская – вид хвойных растений рода сосна семейства сосновых. За пределами Китая это редкий вид, растущий только в ботанических садах. в провинции Шаньси).

Йонг и др. [1] провели метаанализ результатов исследований, опубликованных за последние 30 лет для районов открытых горных работ на Лёссовом плато в Китае. Результаты показывают, что реабилитация земель значительно улучшила качество почвы в районах открытых горных работ на Лёссовом плато. Различные экологические мероприятия выявили значительную вариабельность восстановления качества почв. В частности, рекультивация лесных угодий больше всего повлияла на органическое вещество почвы и микробный углерод. Рекультивация пастбищ существенно повлияла на общее содержание калия, органического углерода в почве, активность ферментов и численность микроорганизмов. Пашня вызвала наиболее эффективное улучшение общего азота и физических свойств почвы. Однако на общий фосфор и рН восстановительные мероприятия не повлияли. Кроме того, период мелиорации и питательность почвы показали высокую корреляцию на раннем этапе рекультивации. После длительной рекультивации снижение темпов улучшения качества почвы за счет восстановительных мероприятий произошло после того, как качество почвы вернулось к уровню до начала добычи.

Хунью и др. [4] провели мониторинг эффекта экологического восстановления от мелиорации земель в районах открытой добычи угля. Для исследования был выбран

горнодобывающий район Пиншо, расположенный в городе Шуочжоу на севере провинции Шаньси, в восточной части Лёссового плато. Угольный разрез Пиншо является крупнейшим угольным районом открытой добычи угля в Китае, занимающим площадь около 400 км² и включающим разрезы Антайбао, Аньцзялин и Восточный, с геологическими запасами около 12,75 миллиардов тонн. На территории исследования типичный засушливый и полусухой континентально-муссонный климат со среднегодовой суммой осадков около 450 мм, большая часть которых выпадает с июня по сентябрь, среднегодовой температурой 4,8–7,8 °С, жарким и дождливым летом, холодная и сухая зима. Начало рекультивации на исследуемой территории приходится на период с 1991 по 2006 год, мелиоративные мероприятия продолжались 16 лет, при этом самый короткий срок рекультивации составил 16 лет. Данная территория исследования пригодна для мониторинга эффекта экологического восстановления восстановленной растительности на участках рекультивации угольных шахт после периода относительной стабилизации. Всего для анализа соответствующих экологических показателей и объединенных экологических показателей дистанционного зондирования было выбрано восемь временных точек в 1992, 1994, 1996, 1998, 2000, 2002, 2004 и 2006 годах. Основной почвой рекультивированного участка на территории исследований являются кастаноземы, а почвообразующим материалом в основном являются лёссовые аллювиальные отложения и склоновые отложения. До добычи угля тип землепользования на территории представлял собой пустырь, на котором росла такая растительность, как облепиха, акация и аир. После проведения рекультивации платформа мелиоративной территории в основном засаживается кустарниками, такими как облепиха и лимонная трава, и травами, такими как люцерна, с вкраплениями таких деревьев, как синьцзянский тополь и акация; Типы растительности боковых склонов представлены преимущественно деревьями, такими как акация и олеандр

Для исследования использовались объединенные данные дистанционного зондирования со спутников Landsat (совместная миссия НАСА и Геологической службы США (USGS), которая является старейшим предприятием по получению спутниковых изображений Земли) и Zhuhai-1 (Микронаноспутник дистанционного зондирования – это коммерческий микронаноспутник дистанционного зондирования, запущенный и эксплуатируемый компанией ZhuHai Orbit Aerospace Technology Company Limited). В результате исследования с использованием обработки спектральных данных показали, что экологическая ситуация на рекультивированных территориях была лучше, чем на прилегающих территориях, где эти территории пострадали от добычи полезных ископаемых. Экологическое качество было лучшим на территориях с 20–22-летней рекультивацией, а территории с 25-летней и более рекультивацией оказались пригодными для целенаправленного искусственного вмешательства с целью обеспечения хорошего экологического развития.

Таким образом, мелиорация земель – это долгосрочный динамичный процесс; постмелиоративный мониторинг и управление особенно важны, а использование технологии дистанционного зондирования является хорошим способом проведения мониторинга и оценки экологического качества. Использование технологий дистанционного зондирования для мониторинга последствий экологического восстановления может стать эталонной основой для целенаправленного и точного осуществления мелиоративных мероприятий. Также необходимо усилить мониторинг и надзор, а также изучить многомерную оценку качества среды обитания и проектирование строительства, чтобы обеспечить единообразие типов растительности до и после ущерба, причиненного горными работами. В целом, запасы углерода и азота улучшить в долгосрочной перспективе за счет хорошо управляемого восстановления растительности.

RECLAMATION AND LAND RECLAMATION IN AREAS OF OPEN COAL MINING: THE EXPERIENCE OF CHINA

I.V. Baklushina

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, baklushina@rambler.ru

Summary: *A review of some studies aimed at studying land reclamation and reclamation projects carried out in China was carried out. Methods for land restoration and methods for monitoring the effectiveness of measures are described.*

Keywords: *reclamation, reclamation, carbon reserves, soil structure.*

Литература

1. Yong Cao et al., Effects of different reclamation measures on soil quality restoration in open-pit mines: A meta-analysis based on the Chinese Loess Plateau / Yong Cao, Zemin Ai, Xiaohu Dang, Mengjia Hou, Huan Liu, Qingqing Li, Yuyan Yao, Yi Deng, Shuaimeng Zhu, Lie Xiao // Ecological Engineering. 2024. Vol. 203. P. 107257. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107257>
2. Yan M. et al. Vegetation type and plant diversity affected soil carbon accumulation in a postmining area in Shanxi Province, China // Land degradation & development. 2020. T. 31. №. 2. С. 181–189.
3. Yuan Ye., Zhongqiu Zhao, Pengfei Zhang, Luming Chen, Ting Hu, Shuye Niu, Zhongke Bai. Soil organic carbon and nitrogen pools in reclaimed mine soils under forest and cropland ecosystems in the Loess Plateau, China // Ecological Engineering. 2017. Vol. 102. P. 137–144.
4. Hongyu Wang, Wei Zhou, Yanjun Guan, Juan Wang, Rongrong Ma. Monitoring the ecological restoration effect of land reclamation in open-pit coal mining areas: An exploration of a fusion method based on ZhuHai-1 and Landsat 8 data // Science of The Total Environment. 2023. Vol. 904. P. 166324. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166324>

УДК 631.4:528.88

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОЧВЕННО- ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

А. Баранов

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк,
abaranov199@mail.ru

***Аннотация.** В данной статье осуществлён обзор использования данных дистанционного зондирования Земли для оценки почвенно-экологического состояния нарушенных территорий, рассмотрены возможности и принципы методов оценки с использованием данных ДЗЗ, их эффективность, частные случаи и зависимости на основании отечественных и зарубежных исследований.*

***Ключевые слова:** данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), почвенно-экологическое состояние, вегетационные индексы, нарушенные территории.*

Промышленная деятельность человека ежегодно образует большие площади нарушенных территорий, возвращение данных территорий в хозяйственно-промышленный оборот имеет важное экологическое и экономическое значение. Возвращение молодых почв в оборот осуществляется путем проведения рекультивации нарушенных территорий, которая состоит из технического и биологического этапов, при этом оценить эффективность проведенной рекультивации можно путем проведения мониторинга, по оценке почвенно-экологического состояния техногенных территорий. С целью оценки почвенно-экологического состояния больших площадей техногенных территорий и получения большего количества данных целесообразно использовать данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Инструментальные методы оценки почвенно-экологического состояния очень важны, так как позволяют верифицировать полученные данные ДЗЗ с результатами наземных исследований и в последствии использовать данные ДЗЗ на значительные площади техногенных территорий.

На данный момент существует множество отечественных, зарубежных исследований и методик по использованию данных в разных областях, в том числе в экологии.

Данные ДЗЗ представляют собой многоспектральные снимки земной поверхности, несущие информацию об интенсивности отражения излучения в разном диапазоне длин волн объектами земной поверхности, от ультрафиолетового до теплового инфракрасного и микроволнового диапазонов [1].

В качестве источника данных ДЗЗ применяются спутниковые и другие снимки дистанционного зондирования, например, серии спутников Landsat и Sentinel с пространственным разрешением снимков от десятков до нескольких метров на пиксель.

Почвенно-экологическое состояние нарушенных территорий, зависящее от таких физико-химических свойств как, плотность, гранулометрический состав, содержание физической глины, органического углерода, химического состава и других параметров, отражается также и в наличии и состоянии растительного покрова. Развитие растительного покрова наиболее точно отражает состояние нарушенных территорий, за счет высокой чувствительности к изменениям в окружающей среде [2, 3].

Для мониторинга растительного покрова с использованием данных ДЗЗ применяют так называемые вегетационные индексы, принцип действия которых основывается на характерных спектрах поглощения и отражения для разных объектов земной поверхности в

определенном состоянии, так вегетирующая растительность интенсивно отражает излучение ближнего инфракрасного диапазона, в отличие от не вегетирующей растительности, а водные объекты активно поглощают данное излучение, подобные зависимости наблюдаются и в других диапазонах. Самыми популярными вегетационными индексами являются NDVI и SAVI.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) - нормализованный относительный индекс растительности – количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы (вегетационный индекс). Один из самых распространенных и используемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова, рассчитывается из соотношения значений в красном и ближнем инфракрасном диапазонах. SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) – вегетационный индекс с коррекцией на влияние отражения почвы, так называемый почвенный шум, применяемый на территориях с разреженной растительностью [4].

Помимо вегетационных индексов существуют методы по расчёту содержания хлорофилла и влаги в листьях, которые также отражают состояние растительного покрова.

Исследования по применению вегетационных индексов для оценки нарушенных территорий угольной промышленности демонстрируют соответствие индексов с полевыми исследованиями на соответствующих участках. В рассмотренных исследованиях на разных объектах, за более соответствующие значения устанавливаются разные вегетационные индексы. NDVI показывает достоверные результаты при наличии густой растительности, в то время как индекс SAVI применим на начальных этапах рекультивации при разреженной растительности, где отражение почвы искажает состояние растительности. Отмечается, что при использовании вегетационных индексов необходимо учитывать сильную зависимость от климатических условий и соответствующие сезонные колебания, которые заметны в значениях вегетационных индексов [2, 5, 6, 7, 8, 9].

Также определяется связь между индексом NDVI и изменениями мощности плодородного слоя почвы, что дает возможность осуществлять оценку пространственной неоднородности мощности данного слоя [10].

Основываясь на сильной зависимости отражательной способности почв от влажности, комковатости, содержанию красящих элементов и т.д. возможно дешифрование данных ДЗЗ с целью определения состава почв. Устанавливается корреляционная связь между содержанием гумуса в верхнем слое почвы по данным ДЗЗ с применением парных и множественных, линейных и нелинейных регрессий и результатам лабораторных исследований соответствующих образцов, отклонение от лабораторных исследований составляет менее одного процента. При этом содержания гумуса является показателем потенциального плодородия почвы и активности всех биологических процессов [11].

Исследования по определению средней влажности почвы с помощью радарного вегетационного индекса (RVI), проводимые на разных глубинах, до 1 метра, показывают наиболее достоверные данные достигаются для глубины 20–50 см с точностью определения на классы влажности более 90 %, отчетливо отражаются аномальные состояния. Данные о влажности могут давать представление о дальнейшем развитии территории и выявлении аномалий [12].

Доступность данных ДЗЗ на необходимые периоды, в том числе большой давности, значительно облегчает реконструкцию процессов развития территорий и ключевых изменений, а также являются единственными источниками информации о состоянии территорий, на которых в прошлом исследования не проводились. В актуальных исследованиях при необходимости могут быть использованы данные более чем 40-летней давности. Кроме того, данные ДЗЗ дают четкое пространственное расположение и развитие исследуемых объектов [13, 14].

Важно учитывать факторы искажающие данные ДЗЗ и их значение в определенном контексте, связанные с восприимчивостью к климату.

Рассмотренные исследования показывают, что данные ДЗЗ позволяют вычислить такие значения, как состояние растительного покрова, его изменения, значение влажности, количество гумуса, пространственное расположение и развитие нарушенных территорий, с положительной корреляцией с данными полевых исследований, что значительно облегчает и расширяет возможности процесса оценки почвенно-экологического состояния нарушенных территорий.

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств ФГБОУ ВО «СибГИУ», договор № 199/2024/НиИД от «17.06.2024г.»

ANALYTICAL REVIEW OF THE USE OF EARTH REMOTE SENSING DATA TO ASSESS THE SOIL AND ECOLOGICAL CONDITION OF DISTURBED AREAS

A. Baranov

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

***Summary:** This article provides an overview of the use of earth remote sensing data to assess the soil and ecological state of disturbed territories, examines the possibilities and principles of assessment methods using remote sensing data, their effectiveness, special cases and dependencies based on domestic and foreign studies.*

***Keywords:** Earth remote sensing data, soil and ecological condition, vegetation indexes, disturbed territories.*

Литература

1. Чандра А.М., Гош Г.С. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Москва.: Техносфера, 2008. 312 с.
2. Соколова Н.А., Госсен И.Н., Соколов Д.А. Оценка пригодности вегетационных индексов для выявления почвенно-экологического состояния поверхности отвалов антрацитовых месторождений // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 1. С. 62–68.
3. Мищенко Н.В. Почвенно-продукционный потенциал экосистем речных бассейнов на основе наземных и дистанционных данных. Владимир, 2011. 51 с.
4. GIS-Lab: NDVI – теория и практика. ГИС Лаборатория [Электронный ресурс]. URL: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.htm> (дата обращения: 01.07.2024)
5. Миков Л.С., Счастливец Е.Л., Андроханов В.А. Оценка эффективности рекультивации на участках разреза «Назаровский» с помощью данных дистанционного зондирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 1. С. 70–83.
6. Juanda, E.T. Analysis vegetation change on coal mine reclamation using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) // IOP Conference Series. Earth and Environmental Science. 2021. 716(1). Article 012035. С. 9
7. Опарин В.Н., Потапов В.П., Гиниятуллина О.Л., Счастливец Е.Л. Исследование процесса зарастания отвалов предприятий горного производства по данным дистанционного зондирования // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2013. № 6. С. 133–141.
8. Гиниятуллина О.Л., Счастливец Е.Л., Ковалев В.А., Опыт применения дистанционного зондирования Земли в задачах геоэкологического мониторинга угледобывающего района // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли. 2018. С. 283–287.
9. Karan S.K., Samadder S.R., Maiti S.K. Assessment of the capability of remote sensing and GIS techniques for monitoring reclamation success in coal mine degraded lands // J. Environ. Manage. 2016. С. 72–283.

10. Чащин А.Н., Гилёв В.Ю. Оценка мощности плодородного слоя техногенно-нарушенных почв с применением вегетационного индекса NDVI // Социально-экологические технологии. 2020. Т. 10. № 3. С. 290–305.
11. Емельянов Д.В. Применение методов лабораторной спектрометрии и данных дистанционного зондирования для определения содержания гумуса в почвах // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли. 2018. С. 116–119.
12. Волчек А.А., Петров Д.О., Источники данных глобального мониторинга влажности почвы средствами дистанционного зондирования поверхности Земли // Гидрометеорология и экология. 2021. № 1. С. 38–43.
13. Lyon, J.G., Yuan, D., Lunetta, R., Elvidge, C.D. A change detection experiment using vegetation indices // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1998. С.143–150.
14. Корчагина Т.В., Потапов В.П., Счастливец Е.Л. Цифровой мониторинг природно-техногенной среды для обеспечения экологической безопасности предприятий горнодобывающей отрасли // Уголь. 2022. № 6. С. 59–67.

УДК: 631.6.02

МОНИТОРИНГ ПРОВЕДЕННОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТВАЛОВ

С.Н. Витязь, М.С. Ракина, М.А. Яковченко

ФГБОУ ВО Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкого,
Кемерово, svetlana_vityaz@mail.ru

***Аннотация.** В работе представлены результаты двухлетнего мониторинга и определения качества проведенной рекультивации золошлакоотвала №1 АО «Ново-Кемеровская ТЭЦ» по показателям видового разнообразия, структуры фитоценоза и состояния растительности. Проведено натурное обследование участка рекультивации, в ходе которого установлено, что растительный покров изучаемой территории носит островной характер, присутствует сорная растительность. Выявлены нарушения поверхности ландшафта, подвергшиеся корректировке в процессе выполнения технического этапа рекультивации. В заключении работы даны рекомендации для устранения выявленных нарушений.*

Ключевые слова: рекультивация, золошлаковый отвал, видовое разнообразие, фитоценоз.

Актуальность. В настоящее время в условиях сложившейся напряженной экологической обстановки вопросам охраны окружающей среды и рационального природопользования уделяется повышенное внимание. Особую значимость приобретают вопросы восстановления территорий, подвергшихся антропогенным воздействиям, сопровождающихся значительными трансформациями земной поверхности. Одной из форм антропогенного нарушения целостности ландшафтов и их биогеоценозов являются золошлакоотвалы тепловых электростанций, которые занимая огромные площади, являются постоянным источником загрязнения компонентов окружающей среды [1–3], приводят к деградации почвенного плодородия [4–6], утрате биологического разнообразия [7–8].

Наиболее актуальным и перспективным способом устранения отрицательных экологических последствий влияния отходов теплоэнергетики на природную среду и восстановления нарушенных площадей по мнению современных исследователей является рекультивация золошлакоотвалов, которая проводится поэтапно (техническая и биологическая рекультивация) и способствует ускоренному формированию растительного покрова и созданию на поверхности отвалов устойчивых, продуктивных и хозяйственно ценных биогеоценозов [9–11].

Большую роль в определении качества проведенной рекультивации играет мониторинг, который позволяет не только оценить результат проведенных работ по восстановлению нарушенных территорий по показателям видового разнообразия, структуры фитоценоза и состояния растительности, но и своевременно определить отклонения в протекании сукцессии восстанавливаемой территории, но и внести соответствующие своевременные коррективы в этот процесс.

Целью исследования стало проведение мониторингового исследования и определение качества проведенного биологического этапа рекультивации на территории золошлакоотвала №1 АО «Ново-Кемеровская ТЭЦ» по показателям видового разнообразия, структуры фитоценоза и состояния растительности.

Объекты и методы исследования. В сентябре 2022 и июле 2023 годов проводилось натурное обследование территории изучался видовой состав, проводилось геоботаническое описание пробных площадок, определялась площадь проективного покрытия, обилие и жизненность растений.

Земельный участок расположен на территории Кемеровского городского округа и находится в аренде у АО «Ново-Кемеровская ТЭЦ» (золошлакоотвал №1). Располагается на расстоянии 100–200 м от меженного уровня реки Томь. Территория исследования представлена одним блоком. Северная часть блока №1 частично попадает в водоохранную зону р. Томь. Территория блока выровнена после проведения технического этапа рекультивации. Проведено выравнивание (вертикальная планировка) участка и нанесен потенциально плодородный слой почвы (ППСП) – суглинок (в соответствии с проектом рекультивации).

Согласно ГОСТ 17.5.3.04-83 «Охрана природы (ССОП). Земли. Общие требования к рекультивации земель», а также РД 34.02.202-95 «Рекомендации по рекультивации оработанных золошлакоотвалов тепловых электростанций» проведение рекультивации нарушенных земель предусматривается последовательным выполнением комплекса мероприятий в два этапа: технический и биологический этапы.

Технический этап рекультивации предусматривает планировку нарушенного земельного участка с использованием ЗШС и выколаживание склона рекультивируемого участка в соотношении 1:3 с формированием берм шириной 5 м через каждые 4 метра по высоте для повышения устойчивости склона на территории золошлакоотвала №1 после окончания рекультивационных работ; покрытие поверхности ЗШС слоем потенциально-плодородного грунта.

Биологический этап рекультивации заключается в проведении комплекса агротехнических мероприятий, направленных на возобновление растительного покрова нарушенной территории, включая такие мероприятия как внесение минеральных удобрений, ручной или механизированный посев семян многолетних трав, а также последующий уход за посевами.

Согласно «Техническим условиям на разработку проектной документации по рекультивации земельного участка, расположенного на территории Кемеровского городского округа и находящегося в аренде у АО «Ново-Кемеровская ТЭЦ» (золошлакоотвал №1), выданным Администрацией города Кемерово рекультивацию земельного участка золошлакоотвала №1 необходимо выполнить: в соответствии с действующими государственными нормами, правилами и стандартами в два этапа: технический и биологический. Направление рекультивации - санитарно-гигиеническое (согласно РД 34.02.202-95 «Рекомендации по рекультивации оработанных золоотвалов тепловых электростанций»); на техническом этапе рекультивации: планировку поверхности золошлакоотвала с последующим покрытием плодородным грунтом (толщиной слоя 15 см) или потенциально-плодородным грунтом (толщиной слоя 25 см); выравнивание рельефа спланированной поверхности с уклоном 2–3 градуса для стока атмосферных осадков; на биологическом этапе рекультивации: внесение минеральных удобрений (при необходимости) и посев многолетних трав. Согласно проекту рекультивации золошлакоотвала №1 АО «Ново-Кемеровская ТЭЦ» при выполнении его биологического этапа, в состав травосмеси должны входить: овсяница луговая – 50%; донник белый – 30%; пырей бескорневищный – 20%.

Обсуждение результатов. Рекультивация территории золошлакоотвала №1 АО «Ново-Кемеровская ТЭЦ» согласно Проекту рекультивации была проведена в мае-июне 2022 года. В ходе проведенного исследования территории в сентябре 2022 года было установлено, что на территории золошлакоотвала №1 (блок №1) технический этап рекультивации сопровождался планировкой поверхности золошлакоотвала с последующим покрытием потенциально-плодородным грунтом (толщиной слоя 25 см) и выравниванием рельефа спланированной поверхности с уклоном 2–3 градуса в соответствии с проектом рекультивации. Биологический этап рекультивации на территории золошлакоотвала №1 (блок №1) был проведен согласно проекту рекультивации в несколько этапов.

В сентябре 2022 года 75% территории была покрыта растительностью, как культурной (предусмотренной проектом), так и сорной, находящейся на разных фазах онтогенеза. В

травостое преобладали бобовые травы (донник белый). Злаки находились в фазе всходы – начало кущения, бобовые – в фазе цветения. Распределение бобовых и злаковых культур было неравномерным, что вероятно являлось последствием неравномерного перемешивания семян при механизированном посеве. Площадь проективного покрытия бобовых составляла не более 40%, злаковых трав – не более 10%. Распределение растительности по участку было неравномерным, имело островной характер. Присутствовали участки с полным отсутствием растительности. На 25% оставшейся территории обнаружены следы техники, предположительно сеялки, но всходов не обнаружено.

Установлено, что процент всхожести культурных растений на территории золошлакоотвала №1 (блок №1) был неоднороден по всему участку. Соотношение всходов донника белого : пырея бескорневищного : овсяницы луговой составляла на 60% : 20% : 20% (пробная площадка №1); соотношение всходов донника белого : пырея бескорневищного : овсяницы луговой составляет 10% : 20% : 50% (пробная площадка №2); донник 100% (пробная площадка №3). Присутствовала сорная растительность (виды, не предусмотренные проектом рекультивации). В травостое доминировала бассия веничная (*Bassia scorparia*). При этом сорные растения закончили вегетацию, т.е. отплодоносили.

Для повышения качества проведенного биологического этапа рекультивации было рекомендовано проведение дополнительных ремонтных посевов (локальный ручной посев) на территории блоков №1 золошлакоотвала №1 АО «Ново-Кемеровская ТЭЦ».

В ходе визуального осмотра территории, подвергшейся корректировке ландшафта на техническом этапе рекультивации в июне 2023 г. обнаружены участки с деформированной поверхностью. Деформация поверхности была обнаружена как на склонах, так и на плато. На плато это были провалы и оседания, на склонах в результате поверхностного стока атмосферных осадков образовались линейные размывы грунта. Было обнаружено более 10 провалов и промоин.

В июне 2023 года растительный покров территории исследования продолжал носить островной характер. Площадь проективного покрытия по всей территории варьировала от 0% до 50%. Видовое разнообразие растений по сравнению с 2022 годом увеличилось. Были зафиксированы следующие виды: бассия веничная (*Bassia scorparia*), бодяк полевой (*Cirsium arvense*), вейник остроцветковый (*Calamagrostis acutiflora*), вьюнок полевой (*Convōlvulus arvensis*), горец развесистый (*Persicária lapathifolia*), горчица полевая (*Sinapis arvensis* L.), иван-чай узколистный (*Chamaenérion angustifolium*), клен ясенелистный (*Ácer negúndo*), клоповник мусорный (*Lepídium ruderále*), латук компасный, дикий (*Lactuca serriola* L.), лебеда простертая (*Atriplex prostrata*), липучка оттопыренная (*Láppula squarrósa*), мать белая, или обыкновенная (*Chenopodium album*), мать-и-мачеха (*Tussilágo*), овсяница луговая (*Festuca pratensis*), осот полевой (*Sónchus arvensis*), полынь обыкновенная (*Artemísia vulgáris*), пырей бескорневищный (*Agropyrum tenerum* Vaseg.), пырей ползучий (*Elytrigia répens*), смолёвка обыкновенная (*Siléne vulgáris*), торица обыкновенная (*Spérgula arvensis*), чертополох колючий (*Cárduus acanthoídes*), ярутка полевая (*Thláspi arvense*). Обнаруженные растения находились на разной стадии фенологического развития.

Среди растений, предусмотренных проектом рекультивации, на территории золошлакоотвала №1 АО «Ново-Кемеровская ТЭЦ» были обнаружены овсяница полевая (*Festuca pratensis*) и пырей бескорневищный (*Agropyrum tenerum* Vaseg.). Данные виды произрастали локально. Площадь проективного покрытия варьировала в очагах произрастания злаковых культур от 15% до 75%. Донник белый (*Melilótus álbis*) в структуре формирующегося фитоценоза в июне 2023 года не был обнаружен, что указывает на нецелесообразность дальнейшего его использования для проведения ремонтных посевов.

Заключение. На основании проведенного обследования текущего состояния территории золошлакоотвала, были выявлены нарушения поверхности ландшафта, подвергшегося корректировке в процессе выполнения технического этапа рекультивации. Для устранения выявленных нарушений было предложено проведение дополнительных

ремонтных работ по ликвидации участков с провалами, оседанием и линейным размывом грунта. Для повышения качества проведенного биологического этапа рекультивации было рекомендовано проведение корректировки видового состава травосмеси при осуществлении дополнительных ремонтных посевов.

MONITORING OF THE RECLAMATION OF ASH AND SLAG DUMPS

S.N. Vityaz, M.S. Rakina, M.A. Yakovchenko

Kuzbass State Agrarian University named after V.N. Poletskov, Kemerovo, vetlana_vityaz@mail.ru

Summary: The paper presents the results of two years of monitoring and determining the quality of the reclamation of ash and slag dump No. 1 of JSC Novo-Kemerovo CHPP in terms of species diversity, phytocenosis structure and vegetation condition. A field survey of the reclamation site was carried out, during which it was established that the vegetation cover of the study area is of an island nature and weeds are present. Disturbances in the surface of the landscape, which were subject to adjustment during the technical stage of reclamation, were identified. At the conclusion of the work, recommendations are given to eliminate the identified violations.

Key words: reclamation, ash and slag dump, species diversity, phytocenosis.

Литература

1. Крамарев П.Н. Геоэкологическая оценка воздействия на окружающую среду полигонов захоронения золошлаковых отходов теплоэлектростанций / Геологи XXI века: матер. IV Всеросс. научн. конф. Саратов: Изд-во СО ЕАГО, 2005. С.117–119.
2. Андреева С.Г. Гигиеническая оценка золошлаковых отходов, образующихся при сжигании углей Канско-Ачинского бассейна: автореф. дисс. ... канд. мед. наук : 14.00.07. Кемерово, 2006. 21 с.
3. Черенцова А.А., Олесик С.М. Оценка золошлаковых отходов как источник загрязнения окружающей среды и как источник вторичного сырья // ГИАБ. 2013. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-zoloshlakovyh-othodov-kak-istochnik-zagryazneniya-okruzhayushey-sredy-i-kak-istochnik-vtorichnogo-syrya> (дата обращения: 24.03.2024).
4. Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск, изд-во СОРАН, 2004. 149 с.
5. Просяникова О.И. Антропогенная трансформация почв Кемеровской области: монография. Кемерово: ИИО Кемеровский ГСХИ, 2005. 300 с.
6. Исхаков Х.А., Колосова М.М., Батурина В.Б., Яковченко М.А. Угольные ресурсы Кузбасса и проблемы рекультивации // Вестник Кемеровского государственного сельскохозяйственного института / ред.кол.: В.И. Мясенко (гл.ред.) и др.; ФГОУ ВПО «КемГСХИ» №2. Кемерово: Кузбассвузиздат, 2006. 292 с.
7. Пугачев А.А., Техменев Е.А. Состояние, антропогенная трансформация и восстановление нарушенных почвенно-растительных комплексов Крайнего Северо-Востока России / Магадан: СВГУ, 2008. 183 с.
8. Куприянов А.Н., Манакон Ю.А., Баранник Л.П. Восстановление экосистем на отвалах горнодобывающей промышленности Кузбасса. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. 160 с.
9. Дремова М.С., Яковченко М.А. Мониторинг фитоценозов рекультивированных земель Кемеровской области / Методы и методики мониторинга окружающей природной среды техногенных ландшафтов: Сборник материалов научно-практического семинара. 2012. С. 18–21.

10. Витязь С.Н., Ракина М.С. Видовое разнообразие фитоценоза на рекультивированных территориях / Инновационные тенденции развития российской науки: Сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции молодых ученых. Красноярск, 2023. С. 16–19.
11. Лукина Н.В., Филимонова Е.И., Глазырина М.А. Оценка опыта биологической рекультивации золоотвалов // Известия ОГАУ. 2012. №6 (38). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-opyta-biologicheskoy-rekultivatsii-zolootvalov> (дата обращения: 24.03.2024).

УДК 581.5:504.06

МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ПРОИЗРАСТАНИЯ РАСТЕНИЙ НА ТЕХНОЗЕМАХ ХВОСТОХРАНИЛИЩА АБАГУРСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ, Г. НОВОКУЗНЕЦК

А.С. Водолеев¹, О.С. Андреева², К.И. Домнин¹

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный индустриальный университет", Новокузнецк, botanik-egf@yandex.ru

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кемеровский государственный университет", Кемерово

Аннотация. Материалы работы включают полученные экспериментальные данные о температурном, водном и световом режимах хвостохранилища Абагурской обогатительной фабрики и рекультивированных его участков – техноземов, куда были внесены осадки сточных вод (ОСВ) в качестве почвоулучшителей. Особый интерес представляют экологические группы растений на изучаемом объекте, которые являются основными участниками для создания устойчивого растительного покрова, способного предотвратить загрязнение пригородной зоны г. Новокузнецка.

Ключевые слова: хвостохранилище, осадки сточных вод, почвоулучшители, рекультивация, субстрат, техноземы, освещенность, влажность почвы, температура воздуха.

Многолетними наблюдениями установлено [1, 2], что наиболее важным фактором формирования климата юго-востока Западной Сибири, характеризующегося большой изменчивостью погоды, наряду с влиянием рельефа является циркуляция атмосферы, в частности западный перенос. Для зимних условий характерно развитие западного отрога азиатского антициклона. Зимний характер циркуляции атмосферы устанавливается с ноября и сохраняется до марта, но перелом от лета к зиме заметен уже в сентябре. По характеру циркулирующих процессов сентябрь и октябрь являются переходными. В эти месяцы наибольшим постоянством отмечается зональный перенос в атмосфере. Первые два месяца зимы характеризуются значительно большей циклоничностью по сравнению со второй ее половиной, которая отличается большей повторяемостью холодной и ясной антициклональной погоды, прерываемой лишь кратковременными потеплениями при прохождении циклонов.

В апреле западный отрог Сибирского антициклона под влиянием учащающегося выноса теплых воздушных масс с юга начинает интенсивно разрушаться. В мае циркуляционные процессы, свойственные зиме, начинают сменяться летними, но они еще перемежаются, вследствие чего погода в мае особенно неустойчива, хотя на юге Западной Сибири уже тепло и начинается процесс трансформации воздушных масс. Таким образом, весенние месяцы отличаются быстрой сменой синоптических процессов и резким изменением погоды.

Летом циклоническая деятельность развивается на арктическом фронте или реже на полярном фронте. В тылу циклонов арктические воздушные массы проникают на юг и быстро прогреваются над континентом. Циклоническая деятельность летом обуславливает максимум осадков за год, причем они часто выпадают в виде ливней.

Осенью, как и весной, характерно усиление интенсивности циркуляции атмосферы. Циклоны, продвигающиеся с Запада, вызывают усиление ветра и пасмурную погоду с

дождями, а с середины ноября и со снегом. Усиленная циклоничность постепенно сменяется преобразованием антициклональной погоды в оформившемся отроге азиатского максимума.

Температурный режим и влагообеспеченность – важные метеорологических элементы, обеспечивают жизнедеятельность любых растительных организмов, а в условиях техногенного загрязнения играют первостепенную роль [3]. Влажность воздуха тесно связана с влажностью почвы и интенсивностью испарения с подстилающей поверхности (воды, почвы и растений). В свою очередь интенсивность испарения зависит от температуры воздуха, количества выпадающих осадков и характера испаряющей поверхности. Указанные выше климатические особенности находят отражение в годовой динамике относительной влажности по югу Кузбасса (табл.1), предоставленной нам метеослужбой г. Новокузнецка. Наиболее высокая относительная влажность воздуха наблюдается с ноября по февраль (70–80%), а наименьшая – в мае (35–60 %).

Таблица 1. Среднемесячная и среднегодовая относительная влажность воздуха (по данным метеослужбы г. Новокузнецка)

| Месяцы | I | II | III | IV | V | VI | VI | VIII | IX | X | XI | XI | Сред- няя |
|--------------|----|----|-----|----|----|----|----|------|----|----|----|----|--------------|
| Влажность, % | 81 | 79 | 76 | 69 | 62 | 68 | 74 | 76 | 76 | 76 | 77 | 82 | 75 |

Ниже представлены результаты наблюдений влажности воздуха, температурных показателей и интенсивности освещенности в июне, июле и августе на следующих участках:

- 1 – техногенный контроль – субстрат хвостохранилища;
- 2 – рекультивированный участок – субстрат + ОСВ;
- 3 – природный контроль – 150 м к юго-востоку от хвостохранилища.

Исследуемые микроклиматические показатели сопоставлялись с таковыми лесомелиоративной территории, рекультивированной 45 лет назад и метеорологической лаборатории г. Новокузнецка (табл. 2).

Таблица 2. Влажность и температура воздуха (по данным метеолаборатории г. Новокузнецка)

| Дата | 8 часов | | 11 часов | |
|------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| | Температура, °С | Влажность, % | Температура, °С | Влажность, % |
| 27 июня | 12,0 | 72 | 16,5 | 55 |
| 21 июля | 16,4 | 96 | 22,0 | 72 |
| 15 августа | 10,7 | 93 | 14,4 | 68 |

Влажность воздуха. Как показывают замеры (проведены с использованием гигрометра в пятикратной повторности) июньские показатели относительной влажности воздуха на протяжении трех утренних часов имеют тенденцию к понижению. Причем техногенный контроль (1) в сравнении с природным (3) имеет более низкие показатели влажности (за исключением 10-часового промера). Присутствие растений на рекультивированном участке (2) дает увеличение относительной влажности на несколько процентов. Динамика изменения относительной влажности воздуха в июле во многом повторяет ее июньский профиль.

Динамика графиков относительной влажности в июле во всех трех измерениях полностью совпадает. Верхний предел июльских утренних измерений содержания влаги в атмосфере значительно выше по сравнению с таковыми в июне, нижняя граница отличается незначительно. Присутствие растений на рекультивированных участках приводит к повышению влажности воздуха в среднем на 4–5%, что в июльскую жару имеет существенное значение для их выживания. Для поддержания оптимальных показателей влажности воздуха не

последнее место занимает интенсивность водного обмена у высаженных растений. Динамика транспирационных проявлений у многолетних трав в течение вегетационного периода находит отражение в изучаемых микроклиматических условиях.

В августе наблюдается сравнительно быстрое снижение этого показателя отмечено с 9 до 10 часов. Последующее измерение не ведет к таким большим скачкам, но наблюдается заметное сглаживание уровня влажности на всех замеряемых площадках. Повышенная относительно техногенного контроля влажность атмосферы на рекультивированных участках особенно заметна при первых замерах.

Таким образом, относительная влажность воздуха как микроклиматический фактор, влияющий на жизнедеятельность экспериментальных растений, во многом зависит от погодных-климатических условий и рельефа местности. В свою очередь, ее значение определяется также физиологическими показателями (интенсивностью транспирации, состоянием устьичного аппарата), биометрическими и морфологическими характеристиками испытуемых растений.

Температурный режим. Поверхностная температура в июне в 9 часов утра самая низкая на техногенном контроле (14,5 °С) и самая высокая на рекультивированном участке, заложенной в 1996 г. (18 °С). Затем температурный режим на субстрате хвостохранилища значительно возрастает: до 23 °С в 10 часов и 32 °С в 11 часов. В природных условиях температура не превысила 24 °С. Суммарное повышение температуры на поверхности травостоя рекультивированного участка в исследуемый период составило 12 °С, что намного выше, чем на лесомелиоративной территории (6,5 °С) и природном контроле (9 °С), однако ниже, чем на техногенном контроле, где повышение температуры составило 17,5 °С. Промеры температуры на глубине 5, 10 и 20 см в течение 2-х часов дают сходный профиль на всех измеряемых участках: самый высокий ее уровень на техногенном контроле. Обращает на себя внимание сближенность промеров температуры в 9 и 10 часов в природном контроле: разница между ними составила 0,3 °С на глубине 5 см и 0,2 °С и 0,1 °С соответственно на глубине 10 и 20 см. Сходная разница промеров обнаружена только на лесомелиоративной территории – 0,2 °С на глубине 20 см. Следует отметить, что при данной глубине рекультивированный участок и природный контроль почти не различаются и по абсолютному значению температуры и характеризуются температурой 16–17 °С.

Июльский показатель поверхностной температуры на техногенном контроле в 9 часов выше июньского на 7,5 °С, в то же время во всех остальных пунктах эта разница не превысила 3,4 °С. Результаты промеров по глубине 5, 10, 20 и 30 см имеют тенденцию к сближению показателей температуры по всем трем промерам. Признаки температурной стабилизации характерны для природного контроля уже на глубине 5 см, для рекультивированных участков – на глубине 20 см, для техногенного ландшафта только на глубине 30 см. Более низкий температурный режим у природного показателя по сравнению с таковым техногенным сохраняется.

Поверхностная температура в августе ниже июльской и июньской. Наиболее стабильный ее показатель отмечен на лесомелиоративной территории, перепад температур по результатам трех измерений не превышает двух градусов, тогда как на техногенном контроле он составил 10,6 °С, в природном – 5 °С. Выявленная тенденция сохраняется во всех результатах по глубине. Все остальные пункты, включая природный контроль характеризуются повышением температуры по трем промерам даже на глубине 30 см. Разница температур у техногенного и природного контролей в августе относительно невелика – в пределах 3,6 градусов. С увеличением глубины наблюдается тенденция некоторого повышения температуры по всем измеряемым пунктам, что вполне согласуется с сезонными колебаниями температурного режима в почве.

Наши собственные данные по температуре воздуха, полученные в июне, отличаются от результатов, зафиксированных городской метеослужбой, на 15,5 °С – на техногенном контроле, на 13,5 °С – на рекультивированном участке, на 7,5 °С – на природном контроле и

на 5,5 °С на лесомелиоративной территории. В июле и августе эта разница несколько ниже, однако тенденция повышенного температурного режима на поверхности хвостохранилища сохраняется.

Сопоставление динамики микроклиматических показателей исследуемых участков показало, что техногенный контроль хвостохранилища в наибольшей степени отличается температурными изменениями, стабилизирующимися по мере углубления в субстрат (30 см). На лесомелиоративной территории температурные показатели наиболее приближены к природному контролю. Основополагающую роль в зафиксированном сходстве по температурному режиму, особенно хорошо проявленном в августе, играют древесные и кустарниковые формы растений обоих изучаемых вариантов. Благодаря их присутствию создается своеобразный температурный режим, влияющий также на влажность воздуха и интенсивность освещенности.

Освещенность. Уровень интенсивности освещенности, определяемый в люксах, в зависимости от погодных условий имел некоторые различия на измеряемых участках в незначительных пределах, за исключением лесомелиоративной территории, где отмечена освещенность 32000–50000 лк, что в среднем на 12000 лк ниже по сравнению с техногенным контролем (53000–65000 лк). Однако следует учесть, что с точки зрения фотосинтетически активной радиации (ФАР) рассеянный свет (лучи с длиной волны 380–710 нм) оказывает большее физиологическое воздействие на ход фотохимических процессов, чем прямые солнечные лучи.

Влажность почв. В таблице 3 приведены данные о влажности почвы на техногенном контроле и рекультивированном участке, представленном двумя типами субстратов – (ОСВ + хвосты) и (ОСВ + СаО + хвосты).

В апреле – мае влагозапасы на рекультивированных участках были достаточными за счет снегонакопления, уровень которого составлял на травостое около 80 см, а на открытой поверхности хвостохранилища – не более 30 см. На всех участках в течение всего вегетационного периода наблюдалась почвенная засуха. В июне – близко к влажности завядания (ВЗ) в корнеобитаемом слое. Максимальная влажность 26,1–38,4% отмечена на следующий день после обильных дождей на участке (ОСВ + хвосты) в начале августа.

Глубокое бурение в различных частях хвостохранилища показало, что в раннелетний период в толще пород наблюдается наличие горизонта с повышенным увлажнением. При этом в ядерной зоне этот горизонт фиксируется на глубине 0,8–1,2 метра, в приядерной – 1,5–1,7 метра. В устьевой зоне, в связи с песчаным гранулометрическим составом ее пород, и более высоким положением над уровнем остальной территории гидроотвала – до глубины 5 метров и более, такой горизонт отсутствовал и влажность пород не превышала уровня наименьшей влагоемкости. Наличие горизонта с повышенной влажностью в ядерной и приядерной зонах свидетельствует о том, что в теле гидроотвала находится водная линза и процессы его дренажа еще продолжаются.

В то же время посредством выпадающих осадков происходит вымывание солей из поверхностных горизонтов рекультивируемых участков. Перемещающиеся вглубь толщи пород соли формируют иллювиальный солевой горизонт с повышенным содержанием фитотоксичных солей. Расположен он под сформированным корнеобитаемым горизонтом с относительно повышенной влажностью. Необходимо отметить, что сброс солей имеет необратимый характер. Это объясняется легким гранулометрическим составом материала хвостохранилища, который не способствует капиллярному подтягиванию влаги из нижележащих горизонтов. Существенное проникновение корней растений ниже слоя с ОСВ – от 5,7 до 10 см, обусловлено, вероятно, наличием влаги в толще пород под слоем ОСВ.

В этом же году подтверждено предположение о влиянии рекультивированного участка на зарастание хвостохранилища. Появившаяся растительность закрепилась на склоне, прилегающем к участку, несмотря на значительный перенос песка. На остальной части

склона растительность отсутствует и эрозионные процессы имеют большое развитие по сравнению с покрытыми травой участками.

Таблица 3. Влажность, средняя толщина слоя с ОСВ и корнеобитаемый слой на рекультивированных участках и на контроле

| Критические фазы (даты отбора) | Показатели | Контроль (хвосты) | ОСВ+СаО +хвосты | ОСВ +хвосты |
|-------------------------------------------|--------------------------------|-------------------|-----------------|-------------|
| Массовое цветение злаковых трав (14 июня) | Влажность, %: | | | |
| | Слой 0–5 см | Н/д* | 7,8 | 19,1 |
| | Слой 5–10 см | Н/д | 19,8 | 13,8 |
| | Слой 10–15 см | Н/д | 7,0 | 5,2 |
| | Средняя толщина слоя с ОСВ, см | Н/д | 12 | 10,8 |
| | Корнеобитаемый слой, см | Н/д | 0** | 19,0 |
| Налив и созревание семян (27 июня) | Влажность, %: | | | |
| | Слой 0–5 см | Н/д | 3,5 | 8,6 |
| | Слой 5–10 см | Н/д | 2,5 | 10,8 |
| | Слой 10–15 см | Н/д | 2,8 | 11 |
| | Средняя толщина слоя с ОСВ, см | Н/д | 10 | 16 (7)*** |
| | Корнеобитаемый слой, см | Н/д | 0 | 22(16,5) |
| Созревание семян (11 июля) | Влажность, %: | | | |
| | Слой 0–5 см | 0,6 | 2,1 | 7,3 |
| | Слой 5–10 см | 2,5 | 3,9 | 11,8 |
| | Слой 10–15 см | 3,8 | 1,4 | 4,9 |
| | Средняя толщина слоя с ОСВ, см | 0 | 5 | 15 (8,3) |
| | Корнеобитаемый слой, см | 0 | 15 | 20,7 (15,0) |
| После обильных дождей (8 августа) | Влажность, %: | | | |
| | Слой 0–5 см | 4,1 | 8,4 | 26,1 |
| | Слой 5–10 см | 9,2 | 9,4 | 27,0 |
| | Слой 10–15 см | 6,4 | 6,9 | 32,4 |
| | Средняя толщина слоя с ОСВ, см | 0 | 0 | 0 |
| | Корнеобитаемый слой, см | 0 | 0 | 0 |
| Начало листопада (23 сентября) | Влажность, %: | | | |
| | Слой 0–5 см | 4,9 | 12,5 | 20,8 |
| | Слой 5–10 см | 7,7 | 5,7 | 13,8 |
| | Слой 10–15 см | 4,6 | 2,4 | 8,1 |
| | Средняя толщина слоя с ОСВ | 0 | 16 | 15 (10) |
| | Корнеобитаемый слой | 0 | 17 | 24 (20) |

Примечание: * – не определяли; ** – на исследуемом участке растительность отсутствовала; *** – в скобках указаны данные для минимальной толщины слоя с ОСВ, зафиксированной на исследуемом участке.

Исследование микроклиматических условий местообитаний показало, что перепады поверхностных и глубинных температур наиболее ярко выражены в техногенном контроле. Присутствие растительности сглаживает температурную динамику летом и обеспечивает снегонакопление зимой на всех рекультивированных участках, что создает более благоприятные экологические условия (абиотический фактор) для произрастания растений и формирования устойчивого фитоценоза. С точки зрения протекания фотохимических реакций в листьях растений рассеянный свет на рекультивированном участке вследствие наличия

древесно-кустарниковых пород, более предпочтителен для ассимиляционных процессов, чем прямые солнечные лучи. Установлено положительное влияние основного массива рекультивированного участка на самозаращение прилегающего к нему склона хвостохранилища, что способствует расширению зоны растительного покрова с благоприятными микроклиматическими условиями.

MICROCLIMATIC CONDITIONS FOR GROWING PLANTS ON TECHNOSOILS OF THE TAILING DOMAIN OF ABAGUR PROCESSING PLANT, NOVOKUZNETSK

A.S. Vodoleev¹, O.S. Andreeva², K.I. Dominin¹

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State Industrial University", Novokuznetsk, botanik-egf@yandex.ru

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kemerovo State University", Kemerovo

Summary: *The materials of the work include the obtained experimental data on the temperature, water and light regimes of the tailings pond of the Abagurskaya processing plant and its reclaimed areas - technozems, where sewage sludge (SS) was added as soil improvers. Of particular interest are the ecological groups of plants at the studied object, which are the main participants in the creation of a stable vegetation cover capable of preventing pollution of the suburban area of Novokuznetsk.*

Keywords: *tailings storage, sewage sludge, soil improvers, reclamation, substrate, technosols, illumination, soil moisture, air temperature.*

Литература

1. Справочник по климату СССР. Вып. 20. Температура воздуха и почвы. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 396 с.
2. Справочник по климату СССР. Вып. 20. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 332 с.
3. Гуральник И.И., Дубинский Г.П., Мамиконова С.В. Метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 416 с.

УДК 504.73; 502.131.1; 631.618

МОНИТОРИНГ ПОСТТЕХНОГЕННОГО РАЗВИТИЯ ЭКОСИСТЕМ СРЕДНЕГО УРАЛА

В.Г. Двуреченский^{1,2}

¹Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет

²Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск,
dvu-vadim@mail.ru

***Аннотация.** Представлен результат 26-летнего эколого-почвенного мониторинга отвалов Елизаветинского железорудного месторождения, расположенного в черте г. Екатеринбурга, в п. Рудном. Проведен сравнительно-генетический анализ формирующегося почвенного покрова. Установлен удовлетворительный почвенно-экологический статус территорий, имеющий тенденцию приближения к фоновым характеристикам южной подзоны северной тайги.*

***Ключевые слова:** эколого-почвенный статус, почвенный покров, эмбриоземы; группы и фракции железа.*

Актуальность. Проведение мониторинга с определенной периодичностью дает представление о скорости восстановления экосистем, подвергающихся либо коренному преобразованию, либо урбанистическому натиску. Данная оценка служит для корректировки выбранного направления использования исследуемых территорий, необходима для принятия мер по сохранению и восстановлению биоразнообразия.

Цель работы – установить почвенно-экологический статус отвалов Елизаветинского железорудного месторождения.

Задачи исследования:

1. Установить почвенно-экологический статус техногенного ландшафта.
2. Используя данные группового и фракционного состава железа в фоновых почвах и почвах техногенных ландшафтов, определить направление почвообразования.
3. Дать прогноз развития формирующейся экосистемы.

Объекты и методы исследования. Экосистема Уктусских гор в пределах п. Рудного во время Великой отечественной войны была уничтожена в связи с добычей вольфрама, молибдена и других металлов на открытом тогда Елизаветинском железорудном месторождении. Создавались отвалы горной породы, являющейся мезозойской корой выветривания, свойственной, скорее всего, Африканскому континенту, а не Среднему Уралу. Таким образом, в отвалы попадало много железа (валового до 43%). То есть добывались лишь металлы – элементы для создания высоколегированной стали, бронезащиты, а железо отправлялось в отвал. Но, даже на таких ожелезненных субстратах происходило в дальнейшем самовосстановление экосистемы и вполне успешное. На момент начала исследования в 1998г. (дипломный проект автора), древостой и поверхность почвы практически не отличались от естественных параметров – корабельные сосны и многолетний опад из иголок, шишек. Лишь мезорельеф в виде небольших горок и впадин, не свойственный естественному рельефу, а также россыпи охры выдавали нарушения в ходе естественного развития экосистемы.

Установление почвенно-экологического статуса связано с определением группового и фракционного состава железа в почве. Соотношение различных форм железа между собой выявляет ведущие процессы в почвах – образование и накопление органического вещества, его минерализация и гумификация, буроземообразование, оподзоливание и др. Подобные изменения, при сравнении с ненарушенными, фоновыми экосистемами, указывают на особенности когда-то нарушенных экосистем.

В первую очередь почва, а затем и растительность урбанизированных территорий нуждается в постоянном мониторинге, непрерывной деятельности, направленной на поддержание и улучшение почвенного покрова, его продуктивного функционирования [1–4].

Объекты исследования – почвы отвалов железорудного месторождения – формируются в южной подзоне зоны северной тайги, где железо является элементом типоморфным.

В 2015 и 2023 годах проводился отбор образцов эмбриоземов [5], формирующихся на внешних транспортных отвалах, отсыпанных в окрестностях поселка Рудного. В тех же годах проводились аналитические исследования и обработка результатов.

Субстрат отвалов состоит из пород мезозойской коры выветривания, не свойственных для Урала. В субстрате отвалов, соответственно, нет змеевиков, дунитов, серпентинитов из которых сложены Уктусские горы. Возраст отвалов – около 80 лет.

Железо подразделялось на формы и фракции, согласно классификации С. В. Зонна [6]. Определялось силикатное и несиликатное железо, а также его аморфные формы. Общее (валовое) содержание железа ($Fe_{вал}$), несиликатное или свободное железо ($Fe_{д}$), извлекаемое из почвы методом Мера и Джексона в модификации по Коффину, аморфные формы железа по Тамму, железо по Баскомбу определялись общепринятыми методами [7], что позволило выделить аморфные органоминеральные и минеральные фракции железа. При описании количества, распределения и соотношения форм и фракций железа использовался подход С. В. Зонна, который изучал данные параметры по абсолютному содержанию их в почве.

Зональными почвами, формирующимися в пределах Уктусского горного массива, считаются дерново-подзолистые почвы. В окрестностях п. Рудного, под вторичными лесными хвойными массивами диагностируются бурые лесные почвы, которые определяются, как фоновые.

Обсуждение результатов. Почвообразовательный процесс – есть совокупность явлений превращения и передвижения веществ и энергии, протекающих в почвенной толще. Из этого следует, что важнейшим компонентом почвообразовательного процесса является превращение минералов почвообразующих пород, составляющих субстрат отвалов, а впоследствии и самих эмбриоземов посредством биологического, геологического и биохимического круговорота энергии и вещества. Скорость преобразования минералов определяется основными факторами почвообразования – это биота, климат, рельеф, материнские породы, умноженные на функцию времени. В техногенных ландшафтах прибавляется антропогенный фактор почвообразования.

Почвообразовательные процессы делятся на 3 основные группы. Микропроцессы – в результате которых осуществляется элементарное преобразование вещества на самой ранней стадии развития экосистемы. Мезопрцессы проявляются при сочетании и взаимодействии между собой микропроцессов, при этом обеспечивая специфические признаки эмбриоземов. Макропроцессы – это собственно почвообразовательные процессы или процессы, формирующие определенные типы эмбриоземов техногенных ландшафтов со свойственной им системой генетических горизонтов.

Согласно классификации почв техногенных ландшафтов почвенный покров в нарушенных экосистемах формируется сингенетично стадиям развития растительных сукцессий. Типы эмбриоземов характеризуются определенным строением слабовыраженного почвенного профиля и различаются по степени развитости биологических и почвообразовательных процессов. В инициальных эмбриоземах органогенных горизонтов нет; в органо-аккумулятивных обязательно есть горизонт подстилки древесного и травяного опада; в дерновых – подстилки может не быть, но обязательно есть дернина; в гумусово-аккумулятивных – всегда присутствует гумусово-аккумулятивный горизонт.

Изучение процессов почвообразования и прогноз развития почв, формирующихся на отвалах техногенных ландшафтов во всех биоклиматических зонах мира, представляет научный интерес, являясь частью проблемы восстановления почвенного покрова в целом. При этом возникает необходимость выявления различных индикаторов, характеризующих

почвенно-экологический статус техногенных ландшафтов. С помощью индикаторов существует возможность проследить скорость и направленность почвообразовательных процессов. Такие параметры, как количество, соотношение различных форм и фракций железа и распределение их в почвенном профиле обладают индикаторной способностью.

Железо, являясь одним из основных элементов земной коры, находясь в составе различных химических соединений, содержащихся в почве, обладая при этом способностью менять валентность и свойства, способно диагностировать направление почвообразования, а также типовые и подтиповые особенности практически всех почв.

Фоновыми почвами, формирующимися в пределах железорудного месторождения под вторичными лесами, являются бурые лесные почвы, в которых характерно преобладание и повышение с глубиной слабоокристаллизованных и снижение аморфных и сильноокристаллизованных форм железа. Бурая лесная почва характеризуется высоким содержанием и равномерным распределением по профилю валового железа, в составе которого силикатное железо преобладает над несиликатным. Аморфное железо накапливается в верхних горизонтах и уменьшается вниз по профилю, по мере ослабления интенсивности выветривания и почвообразования (табл.), то есть имеет аккумулятивный характер, что свойственно буроземообразованию.

Проведенные ранее исследования показали, что развитие эмбриоземов в горно-таежной зоне имеет 2 направления: 1) инициальные ↔ органо-аккумулятивные; 2) инициальные → органо-аккумулятивные → дерновые → гумусово-аккумулятивные [8].

Таблица. Групповой и фракционный состав железа

| Горизонт | Глубина, см | Валовое, % | Силикатное, % | Несиликатное, % | Окристаллизованное, % | | | Аморфное, % | | |
|-----------------------------------------------------|-------------|------------|---------------|-----------------|-----------------------|---------|--------|-------------|-------------|--------------|
| | | | | | Общее | Сильно- | Слабо- | Общее | Минеральное | Органическое |
| Бурая лесная почва | | | | | | | | | | |
| A ₁ | 6–16 | 6,14 | 4,35 | 1,79 | 0,29 | 0,02 | 0,27 | 1,50 | 1,28 | 0,22 |
| B ₁ | 16–27 | 7,66 | 6,04 | 1,62 | 0,34 | 0,10 | 0,24 | 1,28 | 1,22 | 0,04 |
| B ₂ | 27–50 | 8,89 | 6,63 | 2,26 | 0,99 | 0,81 | 0,18 | 1,27 | 0,87 | 0,40 |
| BC | > 50 | 9,33 | 6,76 | 2,57 | 1,10 | 1,00 | 0,10 | 1,47 | 1,22 | 0,25 |
| Эмбриозем органо-аккумулятивный (буроземоподобный) | | | | | | | | | | |
| A ₀₁ | 0–3 | 12,24 | 7,97 | 4,27 | 2,05 | 0,11 | 1,94 | 2,22 | 1,16 | 1,06 |
| A ₀₂ | 3–7 | 34,34 | 19,24 | 15,10 | 13,76 | 3,55 | 10,21 | 1,34 | 0,13 | 1,21 |
| C ₁ | 7–20 | 43,12 | 27,22 | 15,90 | 14,46 | 8,73 | 5,73 | 1,44 | 0,29 | 1,15 |
| C ₂ | > 20 | 47,54 | 33,24 | 14,30 | 12,57 | 10,52 | 2,05 | 1,73 | 0,88 | 0,85 |
| Эмбриозем органо-аккумулятивный (типичный) | | | | | | | | | | |
| A ₀ | 0–4 | 11,92 | 8,75 | 3,19 | 1,04 | 0,09 | 0,95 | 2,15 | 1,50 | 0,65 |
| C ₁ | 4–20 | 3,32 | 8,84 | 3,57 | 2,13 | 1,76 | 0,37 | 1,44 | 0,02 | 1,42 |
| C ₂ | > 20 | 3,75 | 11,12 | 3,06 | 1,32 | 1,22 | 0,10 | 1,74 | 0,29 | 1,45 |
| Эмбриозем органо-аккумулятивный (псевдоподзоленный) | | | | | | | | | | |
| A _д | 0–5 | 9,53 | 3,23 | 6,30 | 4,91 | 0,81 | 4,10 | 1,39 | 0,33 | 1,06 |
| C ₁ | 5–10 | 10,18 | 4,10 | 6,08 | 3,78 | 1,85 | 1,93 | 2,30 | 0,88 | 1,42 |
| C ₂ | > 20 | 11,18 | 7,10 | 4,08 | 2,26 | 2,11 | 0,15 | 1,82 | 0,76 | 1,06 |

Исследование группового состава железа позволило определить подтиповые особенности эмбриоземов органо-аккумулятивных: подтип буроземоподобные [9]; подтип псевдоподзоленные (скрытоподзоленные) [10]; подтип типичные. Отмечается

преобладание силикатного железа над несиликатным во всех почвах (табл.). В верхней части профиля эмбриоземов органо-аккумулятивных типичных и буроземоподобных, как и в фоновой почве, аморфное железо аккумулируется в верхней части профиля; снижается в средней и немного увеличивается в нижней. В эмбриоземе органо-аккумулятивном псевдоподзоленном аморфная форма аккумулируется в нижней части профиля.

Аморфное железо общее, а также его органическая фракция накапливается в верхних горизонтах и уменьшается вниз по профилю, по мере ослабления интенсивности выветривания и почвообразования, то есть имеет аккумулятивный характер, что свойственно буроземообразованию. Содержание минеральной фракции аморфного железа снижается с глубиной. В эмбриоземе органо-аккумулятивном псевдоподзоленном аморфное железо и его органическая фракция выносятся из средней части профиля и накапливаются в нижней, что свойственно подзолообразованию.

Групповой состав железа эмбриоземов и фоновых бурых лесных имеет некоторое генетическое сходство. Это проявляется в следующем: а) преобладание силикатного железа над несиликатным свидетельствует о слабой степени выветрелости пород, зависящей от свойств субстрата, времени почвообразования; б) аморфное железо накапливается в органогенных горизонтах, где представлено, в основном, органической фракцией, так как в горной тайге происходит биогенное накопление железа в результате преобразования растительного опада путем интенсивной аккумуляции, минерализации и гумификации органического вещества вследствие большого количества опада и благоприятными для этих процессов климатическими условиями. Вниз по профилю содержание аморфного железа снижается, т.е. подвижность железа падает; в) процесс перехода аморфных фракций в окристаллизованные имеет обратимый характер: аморфные ↔ окристаллизованные. При избыточном увлажнении из окристаллизованных фракций могут образовываться аморфные подвижные фракции железа, в основном, литогенного происхождения. При осушении и аэрации они вновь кристаллизуются.

Выводы

1. В связи с тем, что за 80 лет развития техногенного ландшафта, в составе его почвенного покрова преобладают эмбриоземы органо-аккумулятивные, и с учетом специфического набора почвообразующих факторов в условиях урбанизированной части южной подзоны северной тайги Урала, почвенно-экологический статус техногенного ландшафта считается удовлетворительным.

2. Соотношение и распределение групп и фракций железа отражают специфические признаки эмбриоземов в бореальных экосистемах Урала, начиная с почвообразовательных процессов 2 порядка или мезопроцессов. В почвах, формирующихся на отвалах железорудных месторождений, направление почвообразования под лесной, в основном, хвойной растительностью происходит по типу буроземообразования. На открытых участках, в зависимости от растительных ассоциаций, почвообразование происходит по типу подзолообразования и псевдоподзоливания. На некоторых участках диагностируются эмбриоземы органо-аккумулятивные типичные, которые при дальнейшем развитии могут перейти в следующую эволюционную фазу – дерновую.

3. В почвенном покрове в будущем предполагается формирование, как бурых лесных ожелезненных почв, так и дерново-подзолистых. Площадь бурых лесных ожелезненных почв будет значительно превышать площадь дерново-подзолистых. Если учесть, что бурые лесные ожелезненные почвы обладают меньшими почвенно-экологическими функциями, по сравнению с дерново-подзолистыми, то техногенная экосистема, по своим биолого-экологическим характеристикам, будет уступать фоновым естественным экосистемам.

POST-TECHNOGENIC DEVELOPMENT OF ECOSYSTEMS IN THE MIDDLE URALS

V.G. Dvurechenskiy ^{1,2}

¹Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering,

²Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, dvu-vadim@mail.ru

Summary: *The result of a 26-year environmental and soil monitoring of dumps of the Elizavetinskoye iron ore deposit, located within the city of Yekaterinburg, in the village of Rudny, is presented. A comparative genetic analysis of the emerging soil cover was carried out. A satisfactory soil-ecological status of the territories has been established, which tends to approach the background characteristics of the southern subzone of the northern taiga.*

Keywords: *ecological-soil status, soil cover, embryozems; iron groups and fractions.*

Литература

1. Благодатнова А.Г. Экологическая оценка почвенного покрова вдоль автомагистралей (город Новосибирск) // Безопасность в техносфере. 2015. Т.4. № 6. С. 3–11.
2. Румянцев И.В., Дунаев А.М., Сивухин А.Н. и др. Эколого-гигиеническая оценка качества почв Ивановской области // Безопасность в техносфере. 2017. Т. 6. № 1. С. 31–37.
3. Яковлева Е.В., Степанова Л.П., Писарева А.В. Физико-химическая оценка восстановления плодородия нарушенных серых лесных почв при их рекультивации // Безопасность в техносфере. 2015. Т. 4. № 2. С. 27–32.
4. Двуреченский В.Г. Почвенно-экологический статус лесных массивов города Новосибирска // Безопасность жизнедеятельности. 2023. № 5. С. 49–53.
5. Курачев В.М., Андроханов В.А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сиб. экол. журн. 2002. № 3. С. 255–261.
6. Зонн С.В. Железо в почвах. М.: Наука, 1982. 208 с.
7. Зонн С.В., Рукака А.Н. Методы определения несиликатных форм железа в почвах // Почвоведение. 1978. №2. С. 89–101.
8. Двуреченский В.Г. Географо-генетическая характеристика форм железа в эмбриоземах Кузбасса: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2011. 19 с.
9. Двуреченский В.Г. Середина В.П. Характеристика почвенного покрова техногенных ландшафтов Красногорского каменноугольного разреза // Вестник Томского государственного университета. 2014. № 387. С. 257–265.
10. Двуреченский В.Г. Динамика группового состава железа в почвах техногенных ландшафтов лесостепных участков Кузнецкой котловины // Сиб. экол. журн. 2015. № 1. С. 136–144.

УДК: 528

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ХАКАСИИ

Е.Ю. Жукова, А.А. Жуков

ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Абакан,
biosara@mail.ru

***Аннотация.** В статье приведен анализ данных спутникового мониторинга для 16 типичных фитоценозов на техногенно нарушенных территориях Хакасии, преимущественно отвалов угольных разрезов. К наиболее продуктивным сообществам можно отнести насаждения вяза, тополя, сосны, а также заросли тростника. Наибольшей фитомассы большинство сообществ достигали в середине июля, наибольшее количество воды в почве и растительности содержится в мае.*

***Ключевые слова:** спутниковый мониторинг, NDVI, NDWI, техногенно нарушенная территория, Хакасия, растительность.*

Одной из ведущих отраслей России, обеспечивающей экспорт, является горнодобывающая промышленность, особенно для регионов, в которых сконцентрирована добыча угля открытым способом – Кузбасс, Хакасия. Особенностью открытой добычи является формирование обширных нарушенных территорий, площади которых составляют десятки тысяч гектаров.

С учетом размеров территорий техноотвалов, а также требований к регулярности мониторинга, для достижения оптимального результата нужно использовать сочетание наземных и спутниковых методов мониторинга.

Вследствие этого была поставлена цель исследования – проанализировать данные спутникового мониторинга на примере типичных фитоценозов на техногенно нарушенных участках Хакасии.

Исследования фитоценозов техногенно нарушенных территорий проводили в конце июля – начале августа 2023 г. Геоботанические исследования проводили на стационарных площадях – для древесно-кустарниковой растительности на площадках 40×40 м, с травянистыми фитоценозами – 10×10 м [1]. Для каждой площади описывали дату, название, географические координаты (GPS), рельеф, увлажнение, аспект, влияние человека и животных, основные характеристики фитоценозов [2, 3]. Всего обследовано 16 фитоценозов.

В работе использовали данные спутника Sentinel-2 [4].

Обработка и расчет показателей выполнены в программе SNAP. Проведено маскирование облачности и вычисление вегетационного и водного индексов. Выравнивание вегетационных кривых проводили по среднему арифметическому, а также заменой значений. Площадь вегетационной кривой для интегрального индекса подчитывали путем ее интегрирования. Расчет статистических характеристик (максимум, среднее арифметическое значение) вегетационных индексов проводили в Microsoft Excel.

Исследования проведены на семи участках (рис. 1). Таким образом, на территории каждого региона интереса заложено по два модельных участка – один представлен древесно-кустарниковыми насаждениями, а второй – травянистыми, преимущественно луговыми, сообществами.

Ниже представлены основные характеристики исследованных сообществ (табл. 1). Как видно из таблицы 1, изученные сообщества отличает значительное проективное покрытие – от 65% до 100%.

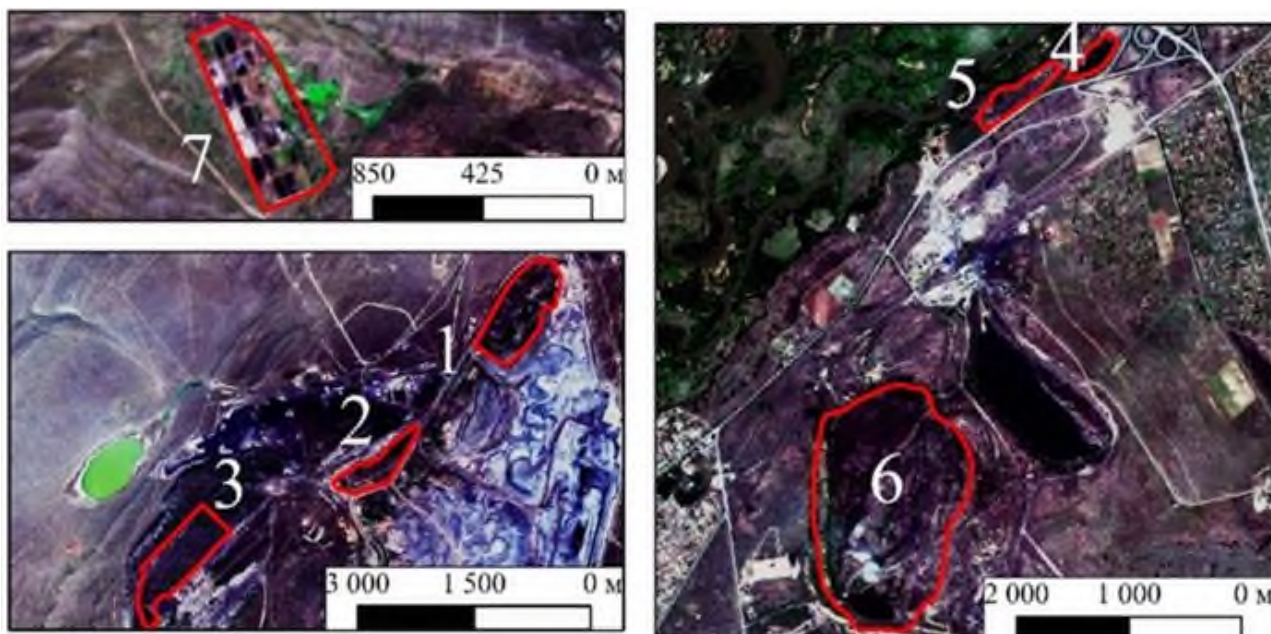


Рисунок 1. Расположение участков (1–3 – разрез «Черногорский», 4–6 – разрез «Изыхский», 7 – лигниновые поля гидролизного завода).

Высокие значения проективного покрытия отмечены как среди травянистых (007_Gydro_2 и 006_IZ_2), так и среди древесно-кустарниковых сообществ – 004_IZ_old_1, 005_IZ_old_1, 002Cher_3, 006_IZ_1.

Среди древесных пород обследованы насаждения вяза приземистого (*Ulmus pumila*), березы повислой (*Betula pendula*), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и тополя черного (*Populus nigra*). Доля древесного покрова среди исследованных сообществ находилась в пределах 0,5-0,7. Большинство древесно-кустарниковых насаждений являлись монодоминантными – с формулами древостоя 10В, 10Б, 10С, за исключением 004_IZ_old_3, 005_IZ_old_1 с более сложной структурой древостоя.

Среди травянистых сообществ выраженными доминантами являлись – ломкоколосник ситниковый (*Psathyrostachys juncea*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), солодка уральская (*Glyzirrhis uralensis*), ковыль волосатик (*Stipa capillata*), вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*). Это высокопродуктивные и засухоустойчивые растения, часто встречаются и в естественных фитоценозах, успешно адаптировались к условиям техногенно нарушенных земель.

Как видно из таблицы 2, интегральные показатели вегетационного индекса наиболее высокие на лигниновых полях со 100 процентным покрытием из *Phragmites australis* и *Solanum nigra*, для вязовых насаждений 006_IZ_1, и сосновых (004_IZ_old_1) и тополевых (005_IZ_old_1) насаждений. Интересно, что достаточно продуктивные березовые насаждения (002Cher_3) не имели высоких показателей интегрального вегетационного индекса, отметим, что данное сообщество подвергается запылению и грунт здесь темного цвета. Практически во всех случаях травянистые сообщества имели меньшие показатели интегральных индексов в сравнение с древесными насаждениями, что соответствует наземным данным. Таким образом, интегральный показатель вегетационного индекса в целом не противоречит наземным данным за исключением отдельных участков. Обнаружена значительная корреляция между интегральными показателями вегетационного индекса и индекса влагосодержания (корреляция носит обратный характер, значение 0,85), что свидетельствуют о том, что количество фотосинтезирующей фитомассы влияет на накопление влаги в фитоценозах.

Таблица 1. Характеристики исследованных фитоценозов

| Код региона интереса | Дата | Название фитоценоза | Формула древостоя | Полнота древесного покрова (доли от единицы) | Общее проективное покрытие, % | Число видов, шт. |
|------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Отвалы угольного разреза «Черногорский» | | | | | | |
| 001Cher_1 | 02.08.2023 | <i>Ulmus pumila</i> - <i>Isatis costata</i> + <i>Artemisia vulgaris</i> | 10В | 0,5 | 75 | 6 |
| 001Cher_2 | 02.08.2023 | <i>Artemisia annua</i> + <i>Artemisia vulgaris</i> + <i>Calamagrostis epigeios</i> + <i>Poa pratensis</i> | нет | нет | 65 | 10 |
| 002Cher_1 | 29.07.2023 | <i>Ulmus pumila</i> - <i>Psathyrostachys juncea</i> + <i>Galatella dahurica</i> | 10В | 0,6 | 75 | 7 |
| 002Cher_2 | 29.07.2023 | <i>Psathyrostachys juncea</i> | нет | нет | 80 | 6 |
| 002Cher_3 | 29.07.2023 | <i>Betula pendula</i> | 10Б | 0,7 | 80 | 26 |
| 003Cher_1 | 16.08.2023 | <i>Ulmus pumila</i> - <i>Salsola collina</i> + <i>Artemisia scoparia</i> + <i>Artemisia absinthium</i> | 10В | 0,5 | 75 | 19 |
| 003Cher_2 | 16.08.2023 | <i>Salsola collina</i> - <i>Ulmus pumila</i> | нет | нет | 65 | 16 |
| Отвалы угольного разреза «Изыхский» | | | | | | |
| 004_IZ_old_1 | 12.07.2023 | <i>Pinus sylvestris</i> | 10С | 0,9 | 90 | 11 |
| 004_IZ_old_2 | 12.07.2023 | <i>Stipa capillata</i> + <i>Poa pratensis</i> + <i>Glycyrrhiza uralensis</i> | нет | нет | 90 | 29 |
| 004_IZ_old_3 | 31.10.2023 | <i>Acer negundo</i> + <i>Ulmus pumila</i> - <i>Poa pratensis</i> + <i>Vicia amoena</i> + <i>Glycyrrhiza uralensis</i> | 7Кл3В | 0,5 | 95 | 45 |
| 005_IZ_old_1 | 15.08.2023 | <i>Populus nigra</i> - <i>Caragana arborescens</i> + <i>Ulmus pumila</i> - <i>Betula pendula</i> - <i>Glycyrrhiza uralensis</i> + <i>Bromopsis inermis</i> | 6Тч3К1В1 Б | 0,5 | 90 | 37 |
| 005_IZ_old_2 | 15.08.2023 | <i>Artemisia frigida</i> + <i>Stipa capillata</i> + <i>Ulmus pumila</i> | нет | нет | 60 | 26 |
| 006_IZ_1 | 15.08.2023 | <i>Ulmus pumila</i> - <i>Poa pratensis</i> + <i>Melilotus officinalis</i> | 10В | 0,6 | 85 | 21 |
| 006_IZ_2 | 15.08.2023 | <i>Calamagrostis epigeios</i> | нет | нет | 90 | 16 |
| Лигниновые поля гидролизного завода | | | | | | |
| 007_Gydro_1 | 25.07.2023 | <i>Cerasus fruticosa</i> + <i>Urtica cannabina</i> + <i>Phragmites australis</i> | нет | нет | 85 | 6 |
| 007_Gydro_2 | 25.07.2023 | <i>Solanum nigra</i> | нет | нет | 100 | 8 |

Таблица 2. Данные спутникового мониторинга за 01.05.23–30.09.23 г.

| Код сообщества | Вегетационный индекс NDVI | | | | Индекс влагосодержания NDWI | | | |
|----------------|---------------------------|------------------------|----------|----------------|-----------------------------|------------------------|----------|----------------|
| | интегральный | среднее арифметическое | максимум | дата максимума | интегральный | среднее арифметическое | максимум | дата максимума |
| 001Cher_1 | 39,87 | 0,23 | 0,43 | 22.07.2023 | -35,91 | -0,22 | -0,06 | 01.05.2023 |
| 001Cher_2 | 30,13 | 0,17 | 0,35 | 22.07.2023 | -27,45 | -0,17 | -0,07 | 13.05.2023 |
| 002Cher_1 | 26,34 | 0,15 | 0,33 | 22.07.2023 | -27,29 | -0,17 | -0,06 | 01.05.2023 |
| 002Cher_2 | 18,72 | 0,11 | 0,23 | 10.09.2023 | -19,71 | -0,12 | -0,05 | 01.05.2023 |
| 002Cher_3 | 24,13 | 0,14 | 0,38 | 22.07.2023 | -25,46 | -0,15 | -0,05 | 23.05.2023 |
| 003Cher_1 | 25,65 | 0,15 | 0,28 | 22.06.2023 | -19,90 | -0,12 | -0,07 | 23.05.2023 |
| 003Cher_2 | 21,64 | 0,11 | 0,28 | 22.06.2023 | -22,53 | -0,14 | -0,06 | 23.05.2023 |
| 004_IZ_old_1 | 35,89 | 0,21 | 0,37 | 22.07.2023 | -30,43 | -0,19 | -0,12 | 13.05.2023 |
| 004_IZ_old_2 | 32,17 | 0,19 | 0,33 | 22.07.2023 | -28,65 | -0,18 | -0,11 | 30.09.2023 |
| 004_IZ_old_3 | 37,53 | 0,23 | 0,34 | 22.07.2023 | -31,38 | -0,20 | -0,15 | 20.05.2023 |
| 005_IZ_old_1 | 33,69 | 0,19 | 0,35 | 22.07.2023 | -28,28 | -0,18 | -0,09 | 13.05.2023 |
| 005_IZ_old_2 | 27,90 | 0,17 | 0,28 | 07.09.2023 | -24,04 | -0,15 | -0,10 | 13.05.2023 |
| 006_IZ_1 | 43,05 | 0,25 | 0,40 | 22.07.2023 | -36,31 | -0,22 | -0,10 | 13.05.2023 |
| 006_IZ_2 | 37,98 | 0,22 | 0,35 | 07.09.2023 | -34,26 | -0,22 | -0,11 | 13.05.2023 |
| 007_Gydro_1 | 47,51 | 0,27 | 0,46 | 10.09.2023 | -52,34 | -0,35 | -0,13 | 23.05.2023 |
| 007_Gydro_2 | 46,75 | 0,28 | 0,49 | 10.09.2023 | -42,69 | -0,27 | -0,08 | 01.05.2023 |

Средние значения вегетационного индекса для древесных сообществ лежит в пределах 0,14–0,27, травянистых – 0,11–0,28. Максимальные значения индексов превышают средние практически в два раза.

Таким образом, проведено сравнение наиболее типичных фитоценозов отвалов угольных разрезов по спутниковым данным. К наиболее продуктивным сообществам можно отнести насаждения вяза, тополя, сосны, а также заросли тростника. Наибольшей фитомассы большинство сообществ достигали в середине июля, наибольшее количество воды в почве и растительности содержится в мае.

Полученные результаты получены с использованием реляционной базы наземных и спутниковых данных по секвестрации углерода растительностью техногенно нарушенных территорий Хакасии.

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Министерства образования и науки Республики Хакасия (Соглашение № 94 от 13.12.2022 г.) в рамках программы деятельности научно-образовательного центра мирового уровня «Енисейская Сибирь».

SATELLITE MONITORING OF VEGETATION OF TECHNOGENICALLY DISTURBED TERRITORIES OF KHAKASSIA

Е.У. Zhukova, А. А. Zhukov

Katanov State University, Abakan, biosara@mail.ru

Summary: *The article presents an analysis of satellite monitoring data for 16 typical phytocenoses in technogenically disturbed territories of Khakassia, mainly coal mine dumps. The most productive communities include stands of elm, poplar, pine, and reed beds. Most communities reached the highest phytomass in mid-July, and the largest amount of water in the soil and vegetation is contained in May.*

Keywords: *satellite monitoring, NDVI, NDWI, technogenically disturbed territory, Khakassia, vegetation.*

Литература

1. Воронов А.Г. Геоботаника. Москва: Государственное изд-во «Высшая школа», 1963. 372 с.
2. Лавренко Е.М., Корчагин А.А. Полевая геоботаника. Москва, Ленинград: Наука, 1964. 531 с.
3. Ярошенко П.Д. Геоботаника. Москва: Просвещение, 1969. 200 с.
4. Сайт Коперникус [Электронный ресурс]. URL: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2/overview> (дата обращения 10.05.2024).

УДК: 662.613.1:543.4

МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗОЛОШЛАКОВ И ЗОЛ УНОСА, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ОТ СЖИГАНИЯ УГЛЕЙ КУЗБАССА

Н.В. Журавлева

Акционерное общество «Западно-Сибирский испытательный центр», Новокузнецк,
zhuravleva_nv@zsic.ru

***Аннотация.** В работе показано, что при оценке экологической безопасности материалов для рекультивации нарушенных земель на основе золошлаков необходимо учитывать, что такие материалы могут содержать углефильные элементы и их подвижные и водорастворимые формы, которые могут поступать в объекты окружающей среды. При комплексной оценке технологических параметров золошлаков и зол уноса с целью их применения для производства бетонов, строительных растворов и сухих строительных смесей важное значение имеет гранулометрический состав этих материалов.*

***Ключевые слова:** золошлаки, золы уноса, тяжелые металлы, подвижные формы, валовые содержания, гранулометрический состав, технологические параметры.*

Угольная генерация играет важную роль в энергосистеме России и, особенно, в энергобалансах Уральского, Сибирского и Дальневосточного федеральных округов. На сегодняшний день около сотни ТЭС работают на угольном топливе и производят около 13% электроэнергии и около 20% тепла в общем объеме энергопроизводства [1]. Сжигание угля сопровождается образованием значительного объема золошлаковых отходов (ЗШО), оказывающих негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду. На сегодняшний день объемы утилизации ЗШО в России не достаточны, основная их часть направляется на золоотвалы, которые уже занимают территории общей площадью свыше 28 тыс. гектаров. В энергетической стратегии России до 2035 года [2] установлен целевой показатель по увеличению доли утилизируемых ЗШО до 50% к 2035 году.

Федеральным законом № 343-ФЗ от 14 июля 2022 года [3] закреплено понятие золошлаковых отходов от сжигания угля, под которыми понимаются продукты термической обработки угля, полученные в результате его сжигания в целях производства электрической и тепловой энергии. Законом дается право использовать для ликвидации горных выработок и иных сооружений, связанных с пользованием недрами, рекультивации земель, в том числе, золошлаковые отходы V класса опасности от сжигания угля. Распоряжением Правительства Российской Федерации № 1557-р от 15 июня 2022 года утвержден Комплексный план по повышению объемов утилизации золошлаковых отходов V класса опасности, направленный на снятие административных барьеров и формирование стимулов сбыта продукции из ЗШО [4].

По данным Росприроднадзора, на территории Кемеровской области – Кузбасса в 2022 г. образовалось 2109,849 тыс. т золошлаковых отходов, из которых утилизировано 347,711 тыс. т (16,5%) [5]. Основными направлениями утилизации золошлаков являются использование их для рекультивации нарушенных земель, а мелкодисперсная часть – зола уноса применяется в качестве добавки при производстве строительных материалов. В течение 2024 года Сибирская генерирующая компания поставляла золошлаки для этих целей в объеме более 2 млн тонн [6].

Развитию вовлечения золошлаковых отходов угольных тепловых электростанций в промышленный оборот должно способствовать и соответствующее развитие нормативно-

технической базы, в том числе, документов по стандартизации. На сегодняшний день Росстандартом России уже разработано 39 стандартов, которые регулируют использование ЗШО в строительстве [1]. Ведомством запланирована разработка перечня 12 дополнительных стандартов, предусматривающих вовлечение золошлаковых отходов во вторичный оборот, по которым ведется работа в рамках Программы национальной стандартизации. Разработка нормативной базы по регулированию использования золошлаков должна обеспечивать экономическую эффективность и экологическую безопасность в областях их применения.

Оценка экологических параметров золошлаковых отходов. Химический состав золошлаковых отходов на 80–90% представлен оксидами SiO₂, Al₂O₃, FeO, Fe₂O₃, CaO, MgO. Кроме того, в состав отходов входят остатки несгоревших частиц углей (0,5–20%) и микропримеси – соединения марганца, ванадия, свинца, хрома и других углефильных элементов. Именно углефильные элементы и их подвижные и водорастворимые формы имеют важное значение при оценке экологической нагрузки на территорию, что необходимо учитывать при использовании материалов на основе золошлаков для рекультивации. Ранее в работах [7, 8] нами была выполнена систематизация данных по 182 пробам для золошлаковых отходов и шлаков котельных; 35 для грунтовых вод; 17 для поверхностных вод и 20 для почв (табл. 1, 2).

Таблица 1. Содержание валовых форм токсичных элементов (мг/кг) в золошлаковых отходах и шлаках котельных Кемеровской области

| Наименование показателя | Золошлаковые отходы | Шлаки котельных | ПДКп для почвы с учетом фона | Кларки элементов в золах каменных углей [9] | Диапазон содержаний для зол энергетических углей Кузбасса |
|-------------------------|---------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Ванадий | 22,4–156,8 | 56,0–145,6 | 150 | 180±20 | 95,2–301,6 |
| Кадмий | < 0,05–0,4 | < 0,05–0,09 | 0,5* | 1,50±0,30 | 1,8–8,8 |
| Кобальт | 7,1–24,7 | 7,35–15,08 | – | 37±2 | 28,2–77,4 |
| Марганец | 239,6–600,0 | 184,6–600,0 | 1500 | 480±30 | 1515–2704 |
| Медь | 14,0–24,0 | 16,7–52,6 | 33,0* | 110±10 | 57,1–114,2 |
| Молибден | 4,0–8,0 | 4,00–40,0 | – | 14±1 | 6,1–13,8 |
| Мышьяк | < 0,1–15,0 | < 0,1–13,0 | 2,0* | Около 50,0 | 157,2–843,9 |
| Никель | 16,2–65,4 | 15,0–84,2 | 20,0* | 96±5 | 36,2–132,6 |
| Олово | < 0,1–60,0 | < 0,1–42,0 | 4,5 | – | 10,7–18,6 |
| Ртуть | < 0,1–5,0 | < 0,1–9,88 | 2,1 | 0,1 | 0,06–12,0 |
| Свинец | 8,8–110,6 | 6,0–236,0 | 32,0* | 56±7 | 126,2–416,6 |
| Сурьма | < 0,1 | < 0,1–15,0 | 4,5 | 4–7 | 8,3–31,7 |
| Хром | 38,4–247,9 | 20,0–958,9 | 90 | 120±5 | 129,7–290,4 |
| Цинк | 16,0–60,2 | 14,0–50,0 | 55,0* | 170±10 | 171,4–454,3 |

Примечание: *ориентировочно допустимая концентрация, прочерк – нет данных.

Было показано, что золошлаковые отходы от сжигания углей Кузбасса при контакте с водой могут быть источником токсичных элементов (ванадия, молибдена, мышьяка, никеля, цинка, марганца и хрома) в грунтовых водах на территории золошлаковых отвалов и вблизи расположенных природных водоисточниках. Содержание этих элементов в наблюдательных скважинах может существенно превышать предельно допустимые концентрации в воде. Кроме того, установлена значительная миграция подвижных форм тяжелых металлов (медь, никель, цинк, свинец) от золошлакоотвалов в почву, несмотря на низкие концентрации никеля и цинка в валовой форме.

Таблица 2. Концентрации токсичных элементов в грунтовых водах на территории золоотвалов и в природных водоисточниках вблизи золоотвалов

| Показатель | Пьезометрические скважины | | Поверхностная вода | |
|------------|------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| | Диапазоны содержания, мг/дм ³ | Соотношение с ПДКв, мг/дм ³ | Диапазоны содержания, мг/дм ³ | Кратность превышения ПДКв, мг/дм ³ |
| Ванадий | < 0,0005–0,08 | 0,5–80,0 | < 0,0005–0,15 | 0,5–150,0 |
| Кадмий | < 0,0005–0,001 | – | < 0,0005–0,0006 | – |
| Кобальт | < 0,0002–0,002 | – | < 0,0002 | – |
| Сурьма | < 0,0002 | – | < 0,0002–0,002 | – |
| Медь | < 0,001 | – | < 0,001 | – |
| Молибден | 0,001–0,16 | 0,8–133,0 | 0,002–0,160 | 2–133,0 |
| Никель | < 0,0002–0,03 | 0,02–2,8 | < 0,0002–0,002 | 0,02–1,8 |
| Мышьяк | < 0,005–0,021 | 0,1–0,42 | 0,007–0,029 | – |
| Свинец | < 0,0002–0,03 | 0,002–0,3 | < 0,0002 | – |
| Ртуть | < 0,0001 | – | < 0,0001 | – |
| Марганец | 0,10–3,80 | 10,0–380,0 | – | – |
| Хром | 0,004–0,008 | 4,0–8,0 | 0,004–0,012 | 4,0–12,0 |
| Цинк | 0,005–0,11 | 0,5–11,0 | < 0,002–0,028 | 0,5–2,8 |

Примечание: прочерк – нет данных.

Для оценки водно-миграционной опасности золошлаковых отходов в НИТУ МИСИС были выполнены обширные исследования [10] и разработан нормативный документ [11], который регламентирует, в том числе, метод определения выхода водорастворимых форм веществ из твердых отходов сжигания углей и материалов на их основе. Концентрацию водорастворимых форм потенциально опасных макро- и микроэлементов в водных экстрактах определяют стандартными методами, установленными для анализа природных, сточных и очищенных сточных вод.

Оценка технологических параметров золошлаков и зол уноса. Золошлаки и золы уноса можно применять для производства бетонов, строительных растворов и сухих строительных смесей с целью снижения себестоимости строительных материалов и для модифицирования их свойств. В аккредитованной лаборатории АО «ЗСИЦентр» (запись в реестре аккредитованных лиц №РА.RU.21АЯ07 от 17.02.2015 г.) выполняются исследования золошлаков и зол уноса по широкому перечню нормативных документов, что позволяет оценить их применимость для производства различных строительных материалов.

По ГОСТ 8269.1-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы химического анализа» выполняются определения химического состава отходов по показателям: содержание СаО, MgO, Na₂O, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, хлоридов, сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO₃; содержание СаО свободной по ГОСТ 23227-78; плотность по ГОСТ 30744-2001; насыпная плотность по ГОСТ 8735-88; начало схватывания по ГОСТ 30744-2001; остаток на сите 45 мкм по ГОСТ 25818-2017; остаток на сите 5 мм, 10 мм, 20 мм, 0315 по ГОСТ 8735-75; остаток на сите 008 по ГОСТ 30744-2001; содержание растворимых фосфатов в пересчете на P₂O₅ по ГОСТ 20851.2-75; потери при прокаливании по ГОСТ 11022-95; стойкость против силикатного и железистого распадов по ГОСТ 9758-2012; морозостойкость по ГОСТ 9758-2012; плотность по ГОСТ 9758-2012 и другие параметры. Для определения фазового состава может быть использован рентгенофазовый анализ. Одним из важных технологических параметров зол уноса является их гранулометрический состав. Применение метода лазерной гранулометрии позволяет точно оценить содержание в золах уноса частиц мелких классов.

На рисунке 1 представлено распределение частиц по размерам пробы золы уноса, которая характеризуется содержанием частиц с размерами до 30,0 мкм, причем половина частиц имеют размер менее 4,0 мкм. Исследование гранулометрического состава таких проб позволяет оптимизировать технологические процессы получения строительных материалов с использованием добавок зол уноса.

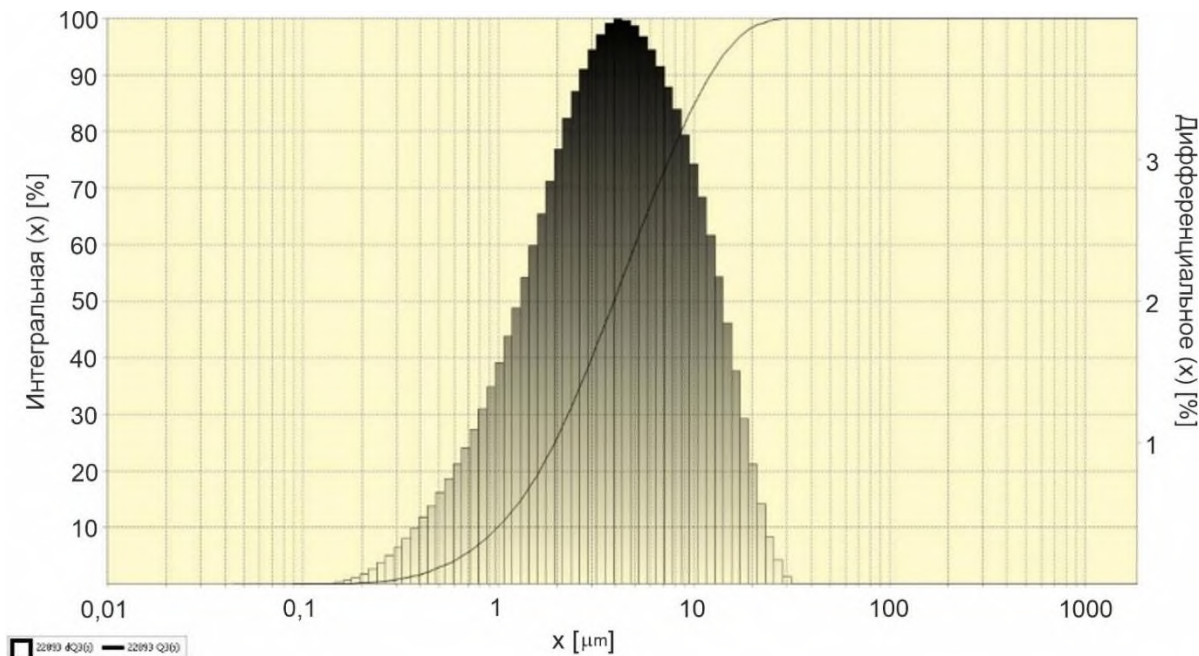


Рисунок 1. Типичное распределение частиц по размерам пробы золы уноса ТЭС. Параметры распределения: D_{10} – 0,99 мкм; D_{50} – 3,89 мкм; D_{90} – 12,14 мкм.

Таким образом, при оценке экологической безопасности материалов для рекультивации нарушенных земель на основе золошлаков необходимо учитывать, что такие материалы могут содержать углефильные элементы и их подвижные и водорастворимые формы, которые могут поступать в объекты окружающей среды. При комплексной оценке технологических параметров золошлаков и зол уноса с целью их применения для производства бетонов, строительных растворов и сухих строительных смесей важное значение имеет гранулометрический состав этих материалов.

STUDY OF ECOLOGICAL AND AGROCHEMICAL STATE OF KUZBASS OVERBURDEN AND HOST ROCK DUMPS

N.V. Zhuravleva

West Siberian Testing Center Joint Stock Company, Novokuznetsk, zhuravleva_nv@zsic.ru

Summary: *The paper shows that when assessing the environmental safety of materials for the reclamation of disturbed lands based on ash and slag, it is necessary to take into account that such materials may contain carbonaceous elements and their mobile and water-soluble forms, which can enter the environment. In a comprehensive assessment of the technological parameters of ash and slag and fly ash for the purpose of their use in the production of concrete, building mortars and dry building mixtures, the granulometric composition of these materials is of great importance.*

Key words: *ash and slag, fly ash, heavy metals, mobile forms, gross contents, granulometric composition, technological parameters.*

Литература

1. Комитет Государственной Думы по энергетике. *Круглый стол на тему: «Законодательное регулирование вовлечения золошлаковых отходов в хозяйственный оборот» 28 марта 2024 г.* URL: <http://komitet-energo.duma.gov.ru/novosti/391c8a7c-2c3e-4037-ae22-a0ac9cae562b> (дата обращения 21.08.2024 г.).
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года». URL: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf> (дата обращения 21.08.2024 г.).
3. Федеральный закон от 14.07.2022 № 343-ФЗ «О внесении изменений в Закон Российской Федерации «О недрах» и отдельные законодательные акты Российской Федерации». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207140118?index=6> (дата обращения 20.08.2024).
4. Распоряжение Правительства РФ от 15 июня 2022 г. N 1557-р «Об утверждении комплексного плана по повышению объемов утилизации золошлаковых отходов V класса опасности». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202206160023> (дата обращения 26.08.2024).
5. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2022 году // Министерство природных ресурсов и экологии Кузбасса. Кемерово, 2023. 475 с. URL: http://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2023/11/Doklad_za_2022_01_07_2023_04.pdf (дата обращения 21.08.2024 г.).
6. Не менее 2 млн тонн золошлаков ТЭЦ и ГРЭС используются в планировании территорий. URL: <https://sibgenco.online/news/element/ne-menee-2-mln-tonn-zoloshlakov-tets-i-gres-sibiri-ispolzuuytsya-v-planirovanii-territoriy> (дата обращения 26.08.2024).
7. Журавлева Н.В., Иваныкина О.В., Исмагилов З.Р. Изучение распределения токсичных элементов в золошлаковых отходах предприятий топливно-энергетического комплекса Кемеровской области // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2013. Т. 21. С. 479–486.
8. Журавлева Н.В., Поточкина Р.Р., Исмагилов З.Р., Нагайцева Н.В. Изучение распределения макро- и микрокомпонентов в золошлаковых отходах от сжигания кузбасских углей // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2016. Т. 24. № 3. С. 347–353. DOI: 10.15372/KhUR20160309.
9. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 656 с.
10. Гущина Т. О. Силютин С. А., Соколовская Е.Е. Эпштейн С. А. Отходы добычи и переработки углей. Методические подходы к оценке их экологической безопасности и направлений использования. Ч. 3. Обоснование и разработка методики определения содержания водорастворимых форм макро- и микроэлементов в отходах добычи, переработки и сжигания углей // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020. № 8. С. 145–162. М.: Издательство «Горная книга».
11. ГОСТ Р 58914-2020 «Топливо твердое минеральное. Определение выхода и состава водорастворимых форм веществ». М.: Стандартинформ. 11 с.

УДК 631.41

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР: ВЛИЯНИЕ БИОЧАРА, КАК УДОБРЕНИЯ, НА ХАРАКТЕРИСТИКИ И СОСТОЯНИЕ ПОЧВ

Д.И. Иванов, М.В. Темлянцев, Л.Ю. Козина, И.С. Семина, Ю.А. Дерябина

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк,
daniil.ivanov0071@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассматривается использование биочара как перспективное углеродо-нейтральное удобрение. Приведен анализ влияния биочара на почву с разным гранулометрическим составом, влияние на структурные характеристики почвы.

Ключевые слова: Биочар, состояние почв, свойства почв, органическое удобрение.

Актуальность работы: Поддержание благоприятного микробиологического и физического состояния почв с помощью новых рациональных мероприятий относится к числу приоритетных направлений устойчивого землепользования. В настоящее время возрастает интерес к биочару как к перспективному и недорогому органическому удобрению. Данный интерес связан с экологическими проблемами: изменением климата, растущим парниковым эффектом, а также снижением почвенного плодородия. Применение биочара в качестве органического удобрения – один из перспективных способов повышения качества и устойчивости почв.

Цель работы: аналитический обзор материалов по использованию биочара, как удобрения для активации роста растений и улучшения качества почв.

Биочар – это уголь растительного происхождения. Для его производства используются такие отходы как: кора, опад листьев, измельченная древесина, щепа, стружка, круглые лесоматериалы, опилки, ореховая скорлупа, тростник, кукурузные кочерыжки и др. Продукт отличается высоким содержанием углерода – 93–99% и отсутствием вредных и токсичных примесей [1].

Биочар создается путем нагревания органического материала, такого как древесина, сельскохозяйственные отходы или животный навоз, в отсутствие кислорода, в процессе, который называется пиролиз. При этом происходит разложение органического материала при высокой температуре (обычно от 400 до 700 градусов Цельсия), что приводит к образованию новых углеродных структур (рис. 1).



Рисунок 1. Возможный вид биочара, получаемый из древесных отходов с помощью пиролиза при 700°C без доступа кислорода.

Характеристики биочара, включая его содержание углерода, азота, калия, кальция и других элементов, сильно варьируются в зависимости от типа первичных материалов, используемых для его создания. К примеру, биочар, сделанный с добавлением экскрементов животных, обладает повышенным уровнем калия по сравнению с тем, что произведен из древесины, обычно отличающейся более высокой концентрацией углерода. Биомасса разнообразного происхождения, включая отходы деревообработки, коммунальные отходы, осадки сточных вод, а также отходы из сельского и животноводческого хозяйства, может служить сырьем для изготовления биочаров, при этом выбор исходного материала определяет конечные свойства продукта [2].

Важно отметить, что выбор исходного материала критичен для конечных характеристик биочара, поскольку именно он влияет на его основные свойства. Содержание золы в биочаре, обогащенное металлами, напрямую воздействует на уровень pH, показывая его щелочную природу. С другой стороны, катионообменная способность биочара напрямую зависит от нескольких факторов: общей площади поверхности, присутствия карбоксильных групп, выбранного для создания биомассы материала и температуры, при которой производился биочар. Таким образом, начальный выбор сырья не только определяет качество биочара, но и его способность к катионообмену и алкальность [3].

В многочисленных исследованиях осуществлен анализ влияния биоугля на почвы с различным размером частиц. Этот материал получен в результате как быстрого, так и медленного процессов пиролиза биомассы, и исследование фокусируется на его воздействии как на водные, так и на физические характеристики почвы, а также на процессы нитрификации и денитрификации [4].

Использование биочара, произведенного методом быстрого пиролиза, значительно улучшило способность супесчаной почвы удерживать воду по сравнению с тяжелосуглинистой, причем это улучшение было заметно на всех уровнях влажности [4].

Для уменьшения выбросов оксида азота (N_2O), образующегося в процессе денитрификации почв, может оказаться более результативным, чем применение почв с легкой текстурой по сравнению с почвами, имеющими тяжелую текстурную структуру [4].

Добавление биочара в почву оказывает значительное влияние на её структурные характеристики. Это воздействие приводит к улучшенной фильтрации и способности удерживать влагу, что важно для обеспечения растений необходимым количеством воды. Кроме того, биочар увеличивает объем воды, доступной для растений, что, в свою очередь, играет роль в микробиологических процессах, связанных с производством парниковых газов. Эти изменения влияют на активность почвенных организмов, доступность питательных элементов и вымывание различных растворенных веществ. Особенно положительное действие биочара заметно на почвах с тяжелым гранулометрическим составом: он способствует уменьшению их плотности и увеличению пористости [5].

Улучшение дренажных систем способствует не только более эффективному удержанию влаги и ее перемещению почвой, но и повышает способность растений к использованию воды, в то же время снижая выбросы метана (CH_4) и оксида азота (N_2O). Это становится возможным благодаря уникальным свойствам пористого пространства биочара, которое предоставляет идеальную среду для жизни микоризных грибов и других микроорганизмов. В результате, биочар способствует наращиванию микробной биомассы и стимулирует ее активность, что, приводит к увеличенному выделению углекислого газа за счет более интенсивного распада органических материалов и освобождению питательных веществ [6, 7].

Производство биочара из древесных отходов. Для проведения опыта были выбраны следующие материалы: ветви карагача, тополя, клёна, ели, сосны.

Для проведения опыта взяли два небольших образца (один запасной) из каждой ветви длиной ± 35 мм и диаметром ± 8 мм (рис. 2).

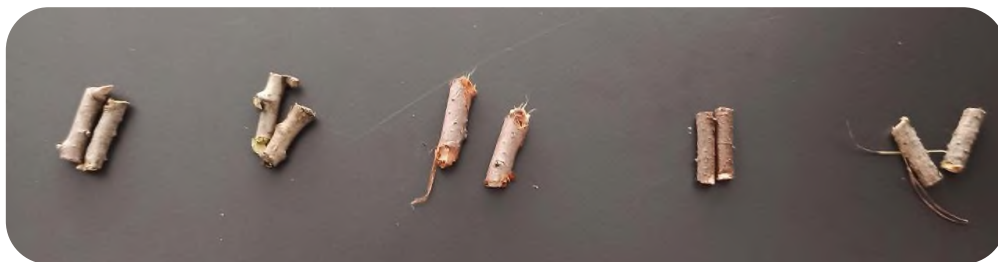


Рисунок 2. Отрезанные образцы ветвей.

Следующим шагом было произведено взвешивание материалов до проведения процесса пиролиза (табл. 1).

Таблица 1. Результаты взвешивания исходного материала

| Вид древесины | мl, г |
|---------------|-------|
| Карагач | 1,94 |
| Тополь | 2,14 |
| Сосна | 1,82 |
| Ель | 1,52 |
| Клён | 2,30 |

После взвешивания образцы были разложены в определённом порядке внутри стеклянных колб, концы которых были изолированы от попадания кислорода внутрь (рис. 3).



Рисунок 3. Разложенные и изолированные образцы внутри колб.

Пиролиз проводился в трубчатой электропечи на карбидкремниевых нагревателях СУОЛ-0,25.1/12,5-И2 (представлена на рисунке 4) при температуре 700°C в течение 3 часов (режим нагрева образцов отражен на рисунке 5).



Рисунок 4. Трубчатая электропечь СУОЛ-0,25.1/12-И1

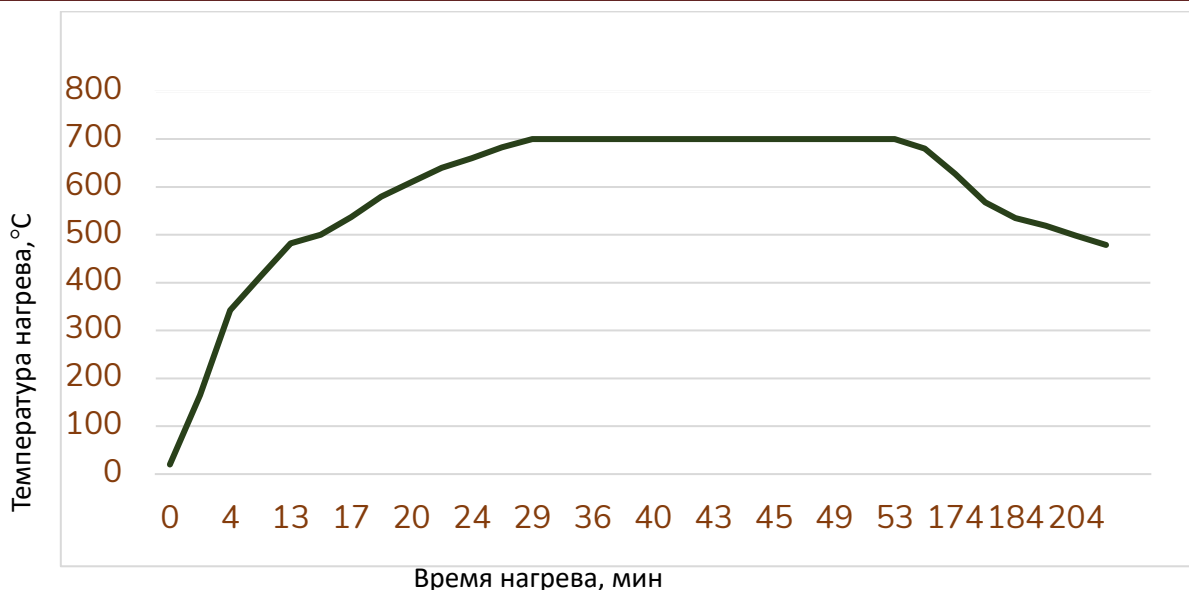


Рисунок 5. Режим нагрева образцов.

Спустя полчаса нахождения в печи при максимальной температуре колбы вынимались, после чего остывали еще час перед дальнейшими исследовательскими манипуляциями. Далее проводилось определение веса исследуемых образцов (табл. 2).

Таблица 2. Результаты взвешивания образцов после проведения пиролиза

| Вид древесины | M ₂ , г |
|---------------|--------------------|
| Карагач | 0,30 |
| Тополь | 0,32 |
| Сосна | 0,20 |
| Ель | 0,18 |
| Клён | 0,52 |

Далее был проведён расчёт процентного выхода биочара, результаты которого представлены в таблице 3.

Таблица 3. Выход готового биочара

| Вид древесины | Выход готового биочара, % |
|---------------|---------------------------|
| Карагач | 15,46 |
| Тополь | 14,95 |
| Сосна | 14,28 |
| Ель | 11,53 |
| Клён | 22,61 |

В результате эксперимента с использованием различных видах древесины, был сделан вывод, о том, что наибольшее количество готового биочара на выходе получается при сжигании клёна (22,61%), наименьшее при сжигании ели (11,53%). При сжигании карагача, тополя и сосны значения итогового выходы биочара отличаются незначительно (15,46%, 14,95% и 14,28% соответственно).

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее релевантным материалом для получения биочара является клён, а наименее – ель.

Следует отметить, что биочар не является универсальным решением сельскохозяйственных и экологических проблем, связанных с удобрением почв, но при рациональном и практичном применении технологий создания, смешивания и внесения биочара в почву, появляется путь к созданию углеродно-нейтральных удобрений, которые способны улучшить свойства почв для выращивания растений в различных условиях.

ANALYTICAL REVIEW THE INFLUENCE OF BIOCHARA AS A FERTILIZER ON THE CHARACTERISTICS AND CONDITION OF SOIL. PRODUCTION OF BIOCHAR FROM WOOD WASTE

D.I. Ivanov, M.V. Temlyantsev, L.Yu. Kozina, I.S. Semina, Yu.A. Deryabina

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, daniil.ivanov0071@gmail.com

Summary: This article discusses the use of biochar as a promising carbon-neutral fertilizer. An analysis of the influence of biochar on soil with different granulometric compositions and the influence of biochar on the structural characteristics of the soil are presented.

Keywords: Biochar, soil condition, soil properties, organic fertilizer.

Литература

1. Рижия Е.Я., Бучкина Н.П., Балашов Е.В., Белинец А.С., Мухина И.М. Влияние биоугля на свойства образцов дерново-подзолистой супесчанной почвы с разной степенью окультуренности (лабораторный эксперимент) // Почвоведение. 2015. Т. 48. № 2. С. 211–220.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
3. Шафигулина Л.Р. Различные аспекты применения биочара // Вестник магистратуры. 2020. № 5-5 (104). С. 7–10.
4. Бучкина Н.П., Балашов Е.В., Шимански В., Игаз Д., Хорак Я. Изменение биологических и физических параметров почв разного гранулометрического состава после внесения биоугля // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 3. С. 471–477.
5. Kinney T.J., Masiello C.A., Dugan B., Hockaday W.C., Dean M.R., Zygourakis K., Barnes R.T. Hydrologic properties of biochars produced at different temperatures // Biomass and Bioenergy. 2012. №41. P. 34–43.
6. Van Gestel M., Ladd J.N., Amato M. Microbial biomass responses to seasonal change and imposed drying regimes at increasing depths of undisturbed topsoil // Soil Biology and Biochemistry. 1992. №24. P. 103–111.
7. Zhang A., Bian R., Pan G. Effects of biochar amendment on soil quality, crop yield and greenhouse gas emission in a Chinese rice paddy: a field study of 2 consecutive rice growing cycles // Field and Crop Research. 2012. №127. P. 153–160.

УДК 504.75

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ, СРЕДЫ ОБИТАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ И ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ И ИНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Н.А. Калиногорский

Региональная общественная организация охраны окружающей среды и исконной среды обитания коренных народов Кемеровской области-Кузбасса «Комитет по экологии»,
Новокузнецк, kalinogorskiy@list.ru

***Аннотация.** Существующая национальная система управления охраной окружающей природной среды, среды обитания населения и здоровья населения от негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности не обеспечивает выполнение конституционного права населения на благоприятную окружающую среду. Показана неэффективность существующей системы управления на примере ухудшения здоровья населения вследствие добычи угля в Кемеровской области-Кузбассе. Рассмотрены направления совершенствования нормативного, материально-технического, кадрового, организационного и финансового обеспечения существующей системы управления на основе принципов современной теории управления в условиях неполноты информации, необходимой для принятия точных управляющих решений.*

***Ключевые слова:** окружающая среда, негативное воздействие, здоровье населения, растительный и животный мир, кризисная экологическая ситуация, теория управления, критерий качества управления.*

Безусловным приоритетом в решении проблемы повышения качества жизни населения Российской Федерации является обеспечение государством конституционного права населения на благоприятную окружающую среду, которое достигается поддержанием допустимых параметров биологического, химического и физического воздействий от хозяйственной и иной деятельности [1].

Существующая национальная система управления охраной окружающей природной среды, среды обитания населения и здоровья населения от негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности (далее – Система управления) недостаточно эффективна.

Например, по данным наших исследований [2, стр.17–21] в Кемеровской области-Кузбассе 79,04% колебаний количества человек за год, с впервые выявленными злокачественными новообразованиями на 100 тыс. человек, объясняется колебаниями объёмов добычи угля в год и только 20,96% зависит от изменения других факторов.

Во многом это объясняется несовершенством законов, а также качеством их исполнения, и обусловлено стремлением бизнеса снизить затраты на экологические мероприятия и выплаты за загрязнение окружающей среды и заинтересованностью представителей власти в увеличении бюджетных доходов и сохранении рабочих мест. Однако в общегосударственном масштабе такая стратегия приводит к потерям, обусловленным загрязнением окружающей среды и ухудшением качества природных ресурсов, до 4–6% ВВП ежегодно, а с учетом последствий для здоровья людей – 10–15% ВВП [3, стр. 9].

В работе на основе накопленного опыта предлагается усовершенствовать нормативное, материально-техническое, кадровое, организационное и финансовое обеспечение Системы управления на основе принципов современной теории управления в условиях отсутствия полной информации, необходимой для выработки точных управленческих решений [4].

На рисунке 1 показана схема предлагаемой Системы управления с учетом выделения следующих объектов управления: «Источники негативного воздействия», «Воздух, вода, почва, геологическая среда окружающей природной среды», «Животные и растения окружающей природной среды», «Среда обитания населения» и «Здоровье населения», а также схемы информационных связей между объектами управления и блоком выработки управляющих решений.

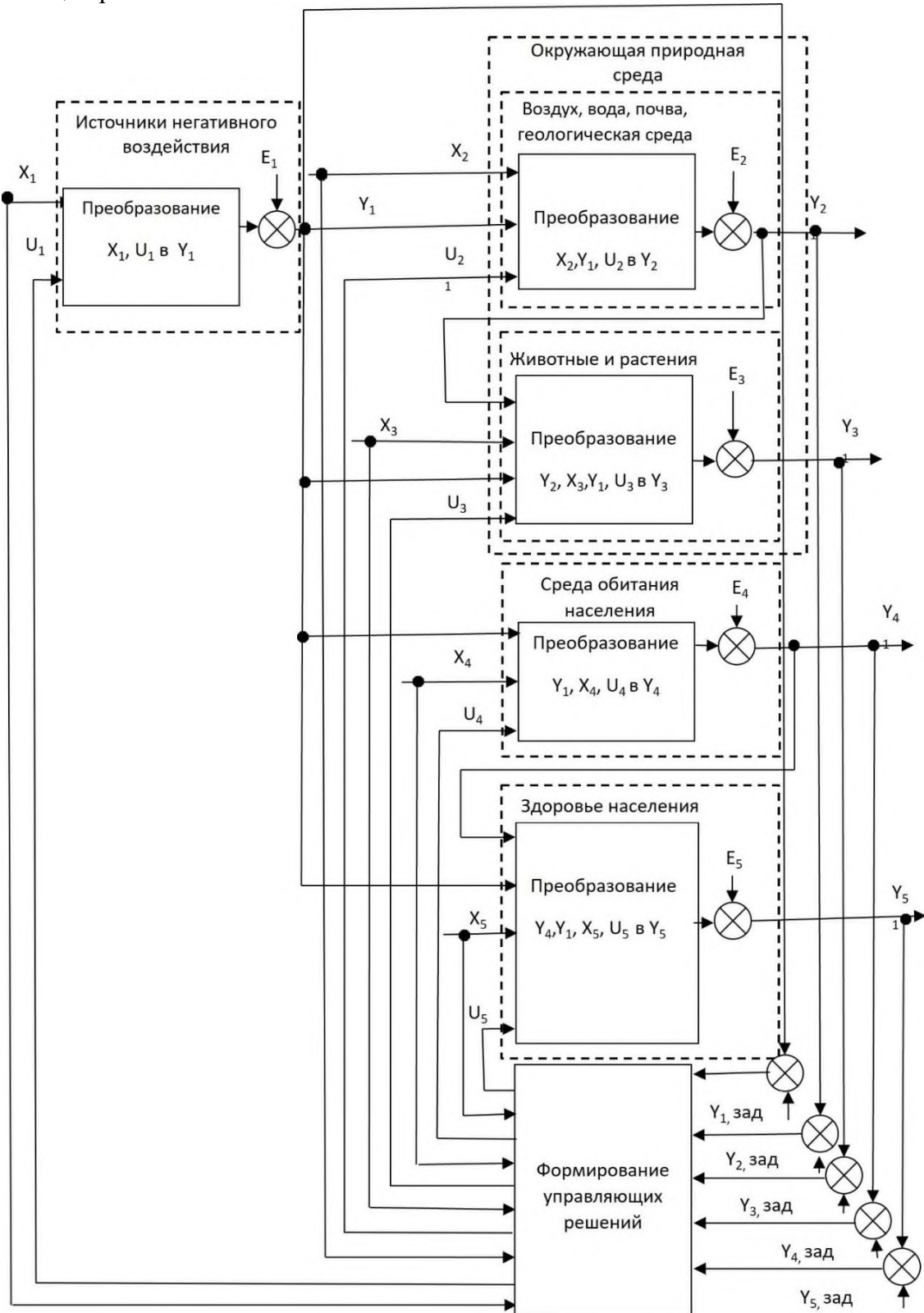


Рисунок 1. Схема предлагаемой Системы управления.

Входы объектов управления подразделяются на контролируемые входы (X), неконтролируемые входы (Z) и управляющие решения (воздействия) (U).

Фактические значения выходов объектов управления (Y) являются результатом воздействия на объекты управления контролируемых входов (X), управляющих воздействий (U) и неконтролируемых входов (Z), учитываемых в виде эффектов влияния неконтролируемых входов (E).

Цель управления – поиск с помощью вход-выходных математических моделей объектов управления значений управляющих решений, минимизирующих значение критерия качества управления, учитывающего отклонения выходов объектов управления (Y) от их заданных значений ($Y_{\text{зад}}$).

Вход-выходные математические модели объектов управления (далее – вход-выходные модели) – алгоритмы расчета, позволяющие по значениям контролируемых входов (X) и управляющих воздействий (U) рассчитать значения выходов объектов управления (Y).

Оценка точности достижения цели управления на стадии проектирования осуществляется путём имитационного моделирования работы Системы управления с использованием фактических данных о работе объектов управления или аналогов объектов управления [4, стр. 80–96].

На стадии проектирования и эксплуатации Системы управления необходима адаптация всех параметров, используемых при расчете управляющих решений.

Существующая Система управления не отвечает указанным выше принципам работы и имеет, например, следующие недостатки:

1. Управляющие решения не направлены на устранение отклонения фактических значений рисков здоровью населения от их допустимых значений. При проектировании, реконструкции и эксплуатации объектов негативного воздействия на окружающую среду (далее – объекты НВОС), формировании мероприятий по уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в периоды неблагоприятных метеорологических условий, при рассмотрении заявок на получение комплексных экологических разрешений, исчисления и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду, установлении санитарно-защитных зон учитываются только задания на выходы объектов управления «Источники негативного воздействия» и «Среда обитания населения» и не учитываются риски здоровью населения от антропогенной нагрузки, а также отклонение фактических значений риска от допустимых значений.

Аналогичная ситуация наблюдается при формировании и реализации экологических программ, включая национальный проект «Экология».

Не эффективен социально-гигиенический мониторинг в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 2.02.2006 г. № 60 «Об утверждении положения о проведении социально-гигиенического мониторинга», предусматривающий реагирование органами власти на отклонение фактических значений риска здоровью населения от допустимых значений. Во многом это объясняется тем, что не учитываются фактические значения рисков здоровью населения от антропогенной нагрузки при оценке эффективности деятельности высших должностных лиц и органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации [5].

2. Отсутствуют нормативные алгоритмы построения вход-выходных моделей, например для кризисных экологических ситуаций. Это не позволяет даже в судебном порядке доказать наличие причинно-следственной связи, например, между ростом заболеваний населения и функционированием на определенной территории ряда промышленных предприятий [6, 7].

3. Выбор управляющих решений на основе вход-выходных моделей без учета показателей их точности.

Как известно, расчет выходов объектов управления «Воздух, вода, почва, геологическая среда окружающей природной среды» и «Среда обитания населения» по приземным концентрациям загрязняющих веществ, например, в атмосферном воздухе складывается из

двух составляющих: вклада загрязняющих веществ проектируемого предприятия, рассчитанного по установленной методике [8], и фоновой концентрации загрязняющего вещества [9], создаваемой выбросами других хозяйствующих объектов, определяемой на основании данных государственного мониторинга или расчетов сводных концентраций загрязняющих веществ от всех объектов НВОС.

В условиях недостаточного количества стационарных постов контроля качества воздуха Росгидромета и отсутствия расчетов сводных концентраций загрязняющих веществ проектировщики объектов НВОС, например угольных разрезов в Кемеровской области-Кузбассе, используют одни и те же справочные данные об оценках фоновых концентраций загрязняющих веществ, например [10], в которых эти концентрации приведены в зависимости от численности населения населённых пунктов [11].

Такой подход на практике приводит к тому, что в Кемеровской области-Кузбассе постоянно происходит наращивание количества угольных разрезов, проекты которых успешно проходят проверку контролирующих органов. В конечном счете, это приводит к увеличению заболеваемости населения. Например, открытие угольного разреза «Кийзасский» в 2014 году в Мысковском городском округе привело к увеличению на 44% впервые выявленных злокачественных новообразований среди населения г. Мыски [6, 12].

Отсутствуют требования о необходимости прогноза рисков здоровью населения и проверки точности таких прогнозов путем сравнения с фактическими показателями для проектируемых и действующих объектов НВОС.

Положение усугубляется тем, что нормативные документы по расчетной оценке риска здоровью населения на основе сводных расчетов концентраций загрязняющих веществ от всех объектов НВОС Роспотребнадзора [13] не содержат требований о проверке точности прогноза рисков здоровью населения путём сравнения с фактическими показателями.

При этом существует большое количество источников погрешности таких расчетов:

- неполный контроль всех факторов негативного воздействия загрязнения окружающей среды на здоровье населения, влияние которых на здоровье населения известно, но не может быть учтено при прогнозе;
- погрешности расчета, связанные с появлением большого количества новых факторов (веществ, физических воздействий) негативного воздействия загрязнения окружающей среды на здоровье населения, влияние которых на здоровье населения не изучено;
- погрешности расчета, связанные с отсутствием оценок взаимосвязи здоровья населения и негативного воздействия сочетаний факторов загрязнения окружающей среды и других факторов (физическая нагрузка, климатических факторов и т.д.);
- погрешности прогноза, связанные с переносом на человека результатов исследования негативного воздействия загрязнения окружающей среды на животных;
- погрешности прогноза, связанные с отсутствием оценок взаимосвязи здоровья населения и негативного воздействия факторов загрязнения окружающей среды, учитывающих состояние здоровья населения конкретного региона, т.к., например, здоровье населения промышленных центров страны ослаблено многолетним негативным воздействием факторов загрязнения окружающей среды и подвержено заболеваемости при меньших значениях вредных биологических, химических и физических воздействий.

Полностью отсутствуют приёмы повышения точности вход-выходных моделей за счет комплексного учета информации со всех объектов управления. Например, с использованием информации о состоянии растительного и животного мира между источниками негативного воздействия и средой обитания населения можно повышать качество прогноза изменений здоровья населения [4, стр. 68–78].

В ежегодных отчетах, например, Роспотребнадзора и Росприроднадзора вход-выходные модели вообще отсутствуют.

Выводы. Необходимо совершенствование нормативного, материально-технического, кадрового, организационного и финансового обеспечения существующей Системы

управления на основе следующего:

1. Проекта закона Кемеровской области-Кузбасса «Об охране окружающей природной среды, среды обитания населения и здоровья населения от негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности» [14, 15], который ориентирован на комплексный учет отмеченных выше недостатков нормативной базы существующей Системы управления.

2. Применения систем искусственного интеллекта, основанных на методах современной теории управления, в законотворческой и судебной деятельности [16] для исключения субъективизма при выработке судебных решений.

3. Применения критерия качества материально – технического обеспечения Системы управления в части контроля параметров биологического, химического и физического воздействий от хозяйственной и иной деятельности на здоровье населения в виде достижения заданной точности расчета рисков здоровью населения.

4. Повышения квалификации персонала федеральных и региональных органов законодательной и исполнительной власти, а также хозяйствующих субъектов в области теории управления в условиях неполноты информации на основе соответствующих образовательных программ [17] и создание вертикальной системы стимулирования указанного персонала на достижение допустимых значений рисков здоровью населения от негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, в том числе путем включения указанных показателей в Указ Президента Российской Федерации [5].

5. Организационного объединения всех специализированных федеральных и региональных и местных структур на основе предлагаемых принципов построения и работы Системы управления.

6. Финансового обеспечения Системы управления, в том числе за счет государственной поддержки, позволяющего достигнуть допустимых значений рисков здоровью населения от негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности.

IMPROVING THE NATIONAL ENVIRONMENTAL PROTECTION MANAGEMENT SYSTEM, HABITAT AND POPULATION HEALTH FROM THE NEGATIVE IMPACT OF ECONOMIC AND OTHER ACTIVITIES

N.A. Kalinogorsky

Regional public organization for the protection of the environment and the ancestral habitat of indigenous peoples Kemerovo Region-Kuzbass “Ecology Committee”, Novokuznetsk, kalinogorskiy@list.ru

***Summary:** The existing national system for managing the protection of the natural environment, the population's habitat and public health from the negative impact of economic and other activities does not ensure the fulfillment of the constitutional right of the population to a favorable environment. The ineffectiveness of the existing management system is shown using the example of deteriorating public health due to coal mining in the Kemerovo region-Kuzbass. The directions for improving the regulatory, logistical, personnel, organizational and financial support of the existing management system are considered based on the principles of modern management theory in conditions of incomplete information necessary for making accurate management decisions.*

***Keywords:** environment, negative impact, public health, flora and fauna, ecological crisis, management theory, management quality criterion.*

Литература

1. Калиногорский Н.А. Принципы работы системы управления качеством жизни населения

- [Электронный ресурс] / Н.А. Калиногорский. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 57 с. URL: <https://cloud.mail.ru/public/8CEL/iDbUiBtdK> (дата обращения 30.08.2024).
2. Калиногорский Н.А. Совершенствование национальной системы управления охраной окружающей природной среды, среды обитания населения и здоровья населения от негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности: национальная экологическая инициатива, 2023 г. [Электронный ресурс] URL: <https://cloud.mail.ru/public/YR6w/zTKKq86tr> (дата обращения 30.08.2024).
 3. Об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений: доклад Государственного совета Российской Федерации, 2016 г. [Электронный ресурс] URL: <https://cloud.mail.ru/public/rKAT/H2LFytTSg> (дата обращения 30.08.2024).
 4. Калиногорский Н.А. Системы искусственного интеллекта [Электронный ресурс] / Н.А. Калиногорский. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 229 с. – URL: <https://cloud.mail.ru/public/pi4T/gKPFTyq2N> (дата обращения 30.08.2024).
 5. Указ Президента РФ от 4.02.2021 г. «Об оценке эффективности деятельности высших должностных лиц и органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ от 08.02.2021. № 6. ст. 966.
 6. Административный иск Калиногорского Н.А. от 6.09.2022 г., исх. № 199 в Кузнецкий районный суд г. Новокузнецка, дело 2а-779/2022. URL: <https://cloud.mail.ru/public/8VpR/Cia7EAdv> (дата обращения 30.08.2024).
 7. Определение Конституционного Суда РФ от 27.12.2023 г. № 3542-О [Электронный ресурс] URL: <https://cloud.mail.ru/public/aEVd/iv94mmW4A> (дата обращения 30.08.2024).
 8. Об утверждении правил проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха, включая их актуализацию : приказ Минприроды РФ от 29 ноября 2019 г. № 813 // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_341489/ (дата обращения 30.08.2024).
 9. ГОСТ 17.2.3.02-14 Правила установления допустимых выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями : утверждён и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 марта 2014 г. № 208-ст. Москва : Стандартинформ, 2018.
 10. Письмо Кемеровского ЦГМС – филиала ФГБУ «Западно-Сибирский УГМС» о фоновых концентрациях [Электронный ресурс] URL: // <https://cloud.mail.ru/public/tpWG/Jycd5o8T5> (дата обращения 30.08.2024).
 11. Фоновые концентрации вредных (загрязняющих) веществ для городских и сельских поселений, где отсутствуют регулярные наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха на период 2019–2023 гг.: временные рекомендации, утверждены Росгидрометом 15.08.2018 г. : письмо Росгидромета от 16.08.2018 г. № 20-44/282 [Электронный ресурс] URL: <https://cloud.mail.ru/public/sfNj/43mncdTyB> (дата обращения 30.08.2024).
 12. Борьба с онкологическими заболеваниями в 2019–2024 годы: региональная программа, утверждённая постановлением правительства Кемеровской области-Кузбасса № 385 от 27 июня 2019 г. [Электронный ресурс] URL: <https://cloud.mail.ru/public/e8LQ/AfmERAkpb> (дата обращения 30.08.2024).
 13. Р 2.1.10.3968-23. 2.1.10. Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей среды и условиями проживания населения. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания. Москва: Роспотребнадзор, 2023. 304 с.
 14. Калиногорский Н.А. Об охране окружающей природной среды, среды обитания населения и здоровья населения от негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности: проект закона Кемеровской области-Кузбасса [Электронный ресурс]. 2023. 118 с. URL: <https://cloud.mail.ru/public/n63d/7wwr5uq4x> (дата обращения 30.08.2024).
 15. Калиногорский Н.А. Об охране окружающей природной среды, среды обитания населения
-

и здоровья населения от негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности : пояснительная записка к проекту закона Кемеровской области-Кузбасса [Электронный ресурс]. 2023. 72 с. URL: <https://cloud.mail.ru/public/zB2M/qmdr4HFqC> (дата обращения 30.08.2024).

16. Калиногорский Н.А. Применение систем искусственного интеллекта в законотворческой и судебной деятельности [Электронный ресурс] / Н.А. Калиногорский // Калиногорский Н.А. Управление качеством жизни населения на основе автоматизации управления: сб. статей. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. С. 23–33. URL: <https://cloud.mail.ru/public/AqsL/sVemvTyaZ> (дата обращения 30.08.2024).
17. Калиногорский Н.А. Формирование учебно-методического обеспечения образовательных программ на основе методов теории управления [Электронный ресурс] / Н.А. Калиногорский // Калиногорский Н.А. Управление качеством жизни населения на основе автоматизации управления: сб. статей . Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing , 2015. С. 35–47. <https://cloud.mail.ru/public/P6fd/zZ3uA7A9q> (дата обращения 30.08.2024).

УДК: 630.58.02:528.8:634.9:504.03

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА БИОРАЗНООБРАЗИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО И ЖИВОТНОГО МИРА В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АО «ПОЛЮС АЛДАН»

М.А. Корец¹, О.В. Трефилова², Ж.Р. Сулейманова¹

¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, mik@ksc.krasn.ru

² Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, ovtrefilova_ilsoran@mail.ru

***Аннотация.** Цели работ коллектива авторов по договору с АО «Полюс Алдан» включали формирование банка данных ГИС, на основе открытых данных спутниковой съемки, топографических карт, цифровой модели рельефа местности, фондовых данных заказчика и материалов экспедиционных исследований 2020–2024 годов. Тематические блоки разработанной ГИС содержат результаты дистанционных и наземных исследований на ключевых участках, архивные и литературные картографические материалы для территории района исследований, информацию об особенностях состава, структуры, состояния, растительных и животных сообществ на фоновых и загрязненных территориях, влиянии предприятия на растительные экосистемы и животный мир. Интерфейс пользователя ГИС включает функции интерактивного отображения, поиска и экспорта картографической и текстовой информации по всем блокам ГИС.*

***Ключевые слова:** информационная система, ГИС, космическая съемка, ЦМР, зоны техногенного воздействия, оценка биоразнообразия, полевые экологические описания.*

Существующая система режимных наблюдений золотодобывающих предприятий РФ позволяет контролировать содержание лишь прямых загрязнителей (поллютантов) в экосистемах районов воздействия. Поэтому необходимы систематические специальные наблюдения с соответствующим пространственно-временным и компонентным разрешением, позволяющие получать реальную оценку состояния объекта природной среды в районах развития добывающего производства, выявлять зоны интенсивного техногенного воздействия, определять статус их экологического неблагополучия (зоны экологического бедствия, экологического кризиса, экологического риска) с целью принятия целенаправленных мер по реабилитации территорий. Для каждого региона следует четко представлять значимость в формировании экосистемы ее компонентов (атмосфера, вода, растительность, животные), видового разнообразия и их структурно-функциональных связей. Наиболее сложная задача – разделение естественных и антропогенных причин изменения биоценозов, без чего невозможно создание и управление процессами реабилитации нарушенных территорий [1–7].

Исключительно суровые природно-климатические условия, длительность и масштабность техногенного воздействия на наземные и водные экосистемы в результате деятельности добывающих предприятий ПАО «Полюс» предопределили необходимость применения комплексной методологии исследований, ориентированной на сопряженный сравнительно-географический анализ состояния природной среды по градиенту комплексного воздействия, а, следовательно, по степени нарушенности экосистем и слагающих их компонентов на разном удалении от источников воздействия.

В цели работ коллектива авторов по договору с АО «Полюс Алдан» входило формирование банка данных ГИС совместно с основными элементами интерфейса

пользователя, на основе материалов экспедиционных исследований 2020-2023 годов. При этом предполагалось сформировать банк данных ГИС, включающий картографические и описательные данные, полученные в ходе выполнения вышеперечисленных задач и серию тематических карт, включающих карты зон воздействия на растительность и животный мир [4].

Исследования выполнялись на мониторинговых пунктах (МП), расположенных на разном расстоянии от источников загрязнения. Сбор фактического материала и аналитические работы осуществлялись на основе стандартизированных методик и общепринятых методов с использованием пакетов прикладных программ статистической обработки данных. Исследования выполнялись в соответствии с действующими нормативно-методическими документами по определению экологического состояния отдельных компонентов природной среды.

Камеральные исследования были сосредоточены на обработке и анализе полученных экспериментальных данных, пополнении формируемых тематических баз данных, выполнении сопряженного анализа наземной и дистанционной (спутниковой и БПЛА) информации для оценки состояния наземных экосистем и оценке тенденций их трансформации под воздействием предприятия [5].

Составными частями банка данных являются тематические базы данных, в которые включены данные наземных измерений на пунктах мониторинга, результаты камеральной обработки данных, их анализа и обобщения, а также литературные и фондовые материалы, полученные из различных источников, данные космической спутниковой съемки, элементы топографической основы и цифровая модель рельефа местности (ЦМР).

Картографические фондовые и литературные материалы на территорию района исследований включены в банк данных ГИС в виде векторных и растровых картографических слоев, связанных с описательными данными (напрямую и при помощи гиперссылок), включая карты таблицы и рисунки в форматах «SHP, DBF, TIF и PDF».

Составными частями банка данных являются блоки тематических баз данных, которые объединяются в следующие тематические блоки:

1. Описание мониторинговых пунктов (МП).

Данные включают векторный точечный слой МП, связанный гиперссылками с таблицами их экологического и таксационного описания, а также PDF-файлами документов (тексты и иллюстрации), включающих следующие пункты: экологическая значимость МП, фотографии размещения, описание мира растений и животных.

2. Обобщение результатов и оценка воздействия.

Данные включают векторные полигональные слои зон (санитарно-защитную и четыре уровня воздействия на животный мир) связанные гиперссылками с таблицами их описания, а также PDF-файлами (тексты и иллюстрации). Данные включают: описание современного состояния биоразнообразия (перечень видов растений, флористический состав, перечень видов животных, параметры сохранения биоразнообразия мира растений и животных, пространственно-временное распределение величин биоразнообразия – индексы Шеннона и Симпсона, виды Красной книги); карты зон воздействия на животный мир (санитарно-защитная зона, зона необратимой трансформации, зона сильного воздействия, зона среднего воздействия и зона слабого воздействия).

3. Элементы топографической основы.

Данные включают векторные точечные и линейные слои, связанные с таблицами их характеристик (идентификатор, название, высота н.у.м., м): населенные пункты, реки, изолинии рельефа, граница смежного влияния населенных пунктов.

4. Космическая съемка.

Данные включают растровые трехканальные (RGB) слои мультиспектральных спутниковых снимков Sentinel-2 с открытого сайта Европейского космического агентства (ESA) - Copernicus (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/sentinel-data-access>) - разрешение 10м,

каналы: красный – R, зеленый – G, синий – B и ближний-инфракрасный - IR: съемка Sentinel-2 [R-IR-G] (2020–2023 гг.); съемка Sentinel-2 [R-G-B] (2020–2023 гг.).

5. Цифровая модель рельефа местности (ЦМР).

Данные включают растровые изображения высоты над уровнем моря (пространственное разрешение 20м), полученные с открытого сайта Американского космического агентства (NASA) – ASTER Global Digital Elevation Model V003 (<https://cmr.earthdata.nasa.gov/search/concepts/C1711961296-LPCLOUD.html>): высота над уровнем моря (м); отмывка (3D-визуализация высоты).

Графическая информация в банке данных ГИС представлена в формате векторных шейп-фалов (ESRI *.SHP), растровых грид-тем (ESRI Spatial Analyst Grid) или многослойных (многоканальных) дистанционных изображений (GeoTIFF *.TIF). Описательная (атрибутивная) информация для картографических объектов организована в виде иерархически связанных таблиц (упакованной файловой базы геоданных ESRI ArcGIS 10) и файлов Acrobat (*.PDF). Для хранения и работы с интерфейсом банка данных используется формат ESRI ArcReader 10.1 (*.PMF).

Интерфейс пользователя для оперативного доступа к данным ГИС реализован на основе средств визуализации картографической и описательной информации ESRI ArcReader 10.1. (рис. 1). В картографический блок входят тематические карты исследуемой территории, созданные в ходе выполнения программы работ для территории промышленного района.

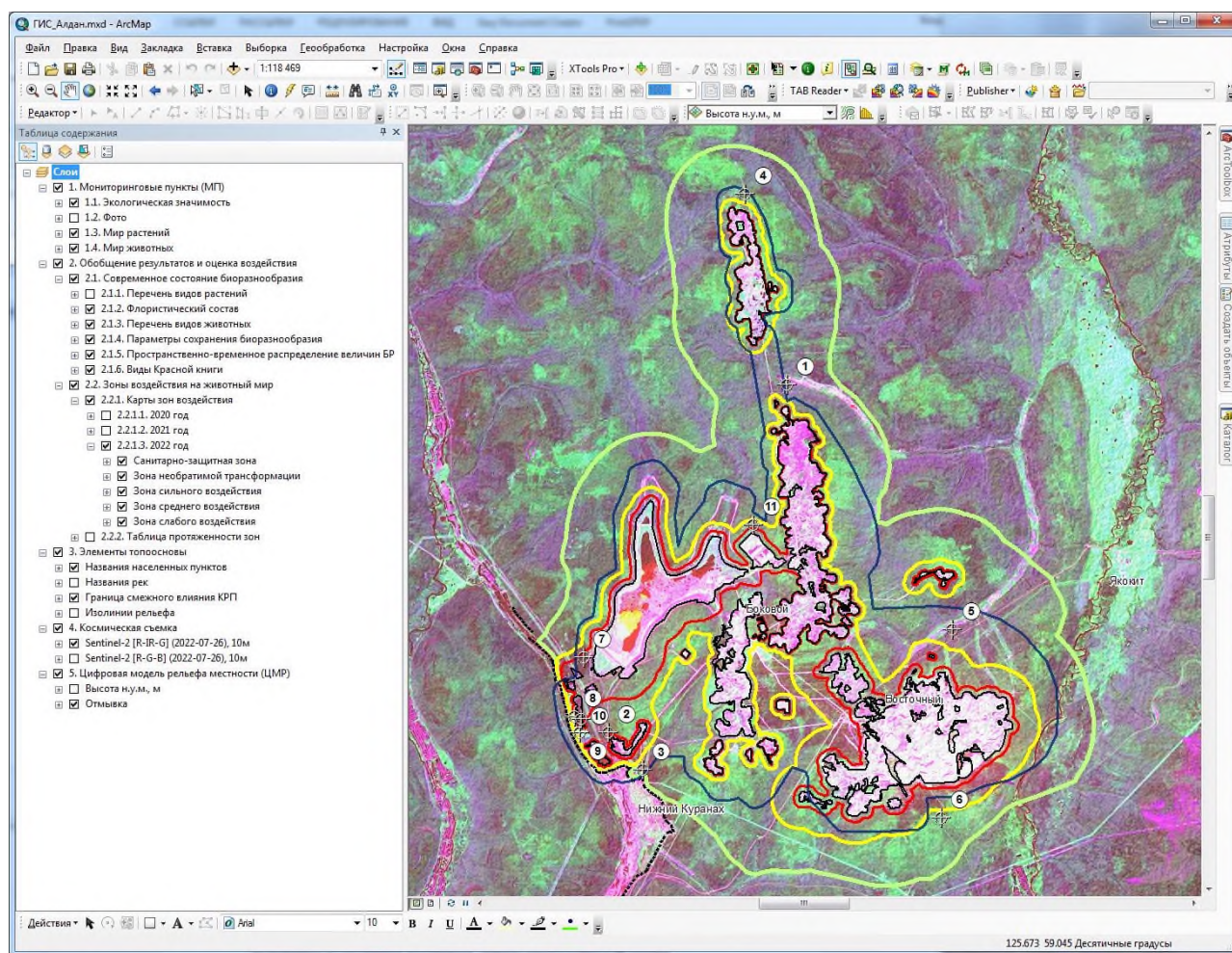


Рисунок 1. Основное окно интерфейса пользователя банка данных «ГИС Алдан».

Функционал интерфейса пользователя включает возможности послойного отображения космических снимков, элементов топоосновы, ЦМР и тематических карт. Доступны функции интерактивного поиска графической и текстовой информации по всем блокам ГИС. Реализована подсистема экспорта и распечатки результатов запросов к ГИС.

В настоящее время описанная реализация банка данных «ГИС Алдан» используется в предприятии АО «Полюс Алдан» и ежегодно пополняется актуальной информацией.

Результаты мониторинга территории, интегрированные в ГИС, должны стать основой для разработки региональных экологических нормативов, технологических регламентов системы мониторинга природной среды и реабилитации трансформированных экосистем, а также проведения экспериментальных работ по биологической рекультивации нарушенных территорий.

Финансирование. Работа выполнена в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» СибГУ им. М.Ф. Решетнева и при поддержке проекта «Природная и антропогенная динамика таежных лесов Средней Сибири в условиях меняющегося климата» (FWES-2024-0023) ИЛ СО РАН.

GEOINFORMATION SYSTEM FOR RESULTES OF MONITORING PLANTS AND ANIMALS BIODIVERSITY IN THE INFLUENCE AREA OF ENTERPRISES "POLYUS ALDAN"

M.A. Korets¹, O.V. Trefilova², J.R. Suleimanova¹

¹ Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, mik@ksc.krasn.ru

² Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, ovtrefilova_ilsoran@mail.ru

Summary: *The goals of the presented work included the development of the GIS data bank based on open satellite imagery data, topographic maps, digital elevation model, customer achieved data and materials from expeditionary research of 2020-2024. Thematic blocks of the developed GIS contain the results of remote and ground-based research in key areas, archival and literary cartographic materials for the territory of the study area, information about the characteristics of the composition, structure, condition, plant and animal communities in background and contaminated areas, the impact of the enterprise on plant ecosystems and fauna. The user interface of the GIS includes functions for interactive display, search and export of cartographic and text information for all GIS blocks.*

Keywords: *information system, GIS, satellite imagery, DEM, zones of technogenic impact, biodiversity assessment, field environmental descriptions.*

Литература

1. Корец М.А., Рыжкова В.А., Барталев С.А. Оценка состояния растительного покрова в зоне воздействия промышленных предприятий с использованием данных ENVISAT MERIS и SPOT Vegetation / Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: сборник статей. 2006. Выпуск 3. Т. 2. С. 330–334.
2. Корец М.А., Рыжкова В.А., Данилова И.В. Использование ГИС для оценки состояния наземных экосистем Норильского промышленного района // Сибирский экологический журнал. 2014. № 6. С. 887–902.
3. Корец М.А., Данилова И.В., Шишкин А.С. Использование данных дистанционного зондирования для оценки состояния растительности в зоне воздействия предприятий Норильского промышленного района / Региональные проблемы дистанционного

- зондирования Земли: сборник материалов III Международной научной конференции. 2016. С. 262–266.
4. Корец М.А., Рыжкова В.А., Данилова И.В., Сулейманова Ж.Р. Опыт и методы картографирования состояния растительности в зонах воздействия промышленных предприятий / Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2021: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции (20–23 сентября 2021 г.) / под ред. Г.В. Кучерик, Ю.А. Омельчук. Севастополь: СевГУ, 2021. С. 333–337.
 5. Корец М.А., Трефилова О.В., Сулейманова Ж.Р. Информационная поддержка мониторинга состояния окружающей среды в зонах воздействия промышленных предприятий // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2023: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, Севастополь, 18–21 сентября 2023 г. / под ред. Д.М. Сытникова, Г.В. Кучерик, Ю.А. Омельчук. Севастополь: СевГУ, 2023. С. 51–55.
 6. Korets M.A., Ryzhkova V.A., Danilova I.V. GIS-Based Approaches to the Assessment of the State of Terrestrial Ecosystems in the Norilsk Industrial Region // Contemporary Problems of Ecology. 2014. Vol. 7. No. 6. P. 643–653. DOI: [10.1134/S1995425514060067](https://doi.org/10.1134/S1995425514060067)
 7. Kirdeyanov A.V. et al. Ecological and conceptual consequences of Arctic pollution // Ecology Letters. 2020. № 23. P. 1827–1837. DOI: [10.1111/ele.13611](https://doi.org/10.1111/ele.13611).

УДК 631.42:574.1:591.52

БИОРАЗНООБРАЗИЕ И ОСОБЕННОСТИ СУКЦЕССИИ ФАУНЫ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ НА ОТВАЛАХ БОРОДИНСКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА

А.А. Люто, А.С. Шишкин, Р.Т. Мурзакматов

Институт леса имени В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, luto_a_a@rambler.ru

***Аннотация.** Состав фауны мелких млекопитающих на отвалах Бородинского угольного разреза изменяется по мере формирования сначала растительной среды, миграционной подвижности видов, в значительной мере зависит от прилегающих естественных участков и условий обитания. Мозаичность отвалов формирует специфические популяционные условия, а периодически действующие естественные и антропогенные факторы могут изменять естественный ход сукцессионных изменений и соответственно влиять на биоразнообразие.*

***Ключевые слова:** сукцессия, фауна, биоразнообразие, мелкие млекопитающие, отвалы, техногенная трансформация, биотоп.*

Введение. Биоразнообразие как подход в исследовании и оценки статуса экосистем на естественных и нарушенных территориях с 90 годов постепенно начал обретать законодательную базу и к настоящему времени закреплен во множестве нормативных актов [1]. К сожалению, от этого не стало яснее, что такое биоразнообразие. Для биологов оно очевидно зависит от уровня организации биосистем (организменном, популяционном, видовом, сезонном, сукцессионном и т.п.). Мониторинг биоразнообразия стал неотъемлемой частью работ связанных с рекультивацией отвалов разного возраста и затрагивает самые различные уровни экосистем, содержит в себе множество подходов и критериев в оценке почв, микромира, флоры и фауны.

Традиционно сукцессию рассматривают как процесс наиболее применимый к флоре и древесной растительности, однако и для фаунистического компонента экосистем понятие сукцессии применимо и корректно. Собственно показателем сукцессии с точки зрения фауны будет динамическое изменение состава биоразнообразия фауны, и достаточно простым и наглядным будет модель на основе мелких млекопитающих (ММ). Они отражают фаунистический компонент экосистем. Ввиду того, что угольная промышленность несмотря на современные тренды по снижению углеродного следа и декарбонизации остается важнейшей и достаточно современной отраслью, анализ биоразнообразия техногенных территорий угольнодобывающих предприятий остается актуальным.

Бородинский буроголовый разрез является одним из крупнейших в Красноярском крае и несмотря на обилие проведенных научных исследований на его территории ранее, территория продолжает подвергаться трансформации и особенности этой трансформации представляют большой научный интерес [2, 3].

Объекты и методы исследования. Объектом исследования послужили мелкие млекопитающие, анализ динамики и пространственную структуру популяции которых проводили по общепринятым методикам [4] на Бородинском разрезе добычи бурого угля на семи постоянных пробных площадях с 2017 года. Кроме того, для расширения данных об экологических взаимосвязях и понимания сути сукцессионных процессов были использованы наблюдения и данные комплексных исследований лаборатории связанных с лесовосстановлением [5], а также результаты предыдущих исследователей [6].

Ранние наблюдения 2004–2016 Угловой, Екимовым, а также продолженные с 2017 по настоящее время собственные исследования показывают, что изначально фаунистический состав мелких млекопитающих на свежих отвалах формируется случайным образом. Состав ММ изменяется по мере формирования сначала растительной среды, миграционной подвижности видов, в значительной мере зависит от прилегающих естественных участков и условий обитания. В ряде случаев на ранних этапах сукцессии можно встретить синантропные виды не характерные для данных биотопов. В дальнейшем биоразнообразие снижается по мере стабилизации условий обитания и формируется фаунистический состав, соответствующий этим условиям. При рекультивации с нанесением почвы (ПСП) формируются луговые сообщества мелких млекопитающих, в лесопосадках формируются классические лесные сообщества, но очень большое значение имеет опушечный эффект. На стыке лесного и лугового биотопов на расстоянии до 100 метров (в стандартных случаях принимается расстояние в 50 метров, однако в наших исследованиях мы встречали нехарактерные виды и на большем расстоянии) вглубь каждого местообитания можно встретить виды характерные для соседнего биотопа.

В течение 5–10 лет сукцессионные изменения выравниваются, но увеличивается пространственная дифференциация травяного покрова, связанная с высокой мозаикой почвогрунтов на отвалах [7]. Такая мозаика формирует специфические популяционные условия, при которых на некоторых участках отвала формируются доминирующие виды, в прочих местах биоразнообразие формируется случайными посещаемыми или же евритопными видами, для этого на исследуемых участках специально закладывался профиль для анализа фаунистического состава.

Фауна сукцессионных площадей заполняется за счет примыкающих биотопов и формируется путем заселения евритопными и стенотопными видами при целевой рекультивации. Так, например, рекультивированные под лесные культуры площадки заселяются красными лесными полевками, и бурозубками, которые встречаются как на лесных, так и на луговых площадях. Заселение рекультивированных площадок существенно ускоряется при примыкании площадки к естественным биотопам. В зависимости от размеров (чем меньше площадка, тем больше биоразнообразие, до определенного уровня) и времени колебания биоразнообразия существенно варьируют по различным причинам. Обычно это внутренние естественные (циклическая сезонная динамика численности) так и другие внешние причины (повторные или повторяющиеся пирогенные, агро и техногенные факторы трансформации). Стоит отметить, что сукцессионная трансформация стартует фактически сразу по прекращению горных работ на площадях как в случае рекультивированных, так и не рекультивированных отвалов. Замедленное формирование внешней среды как кормовой базы, отсутствие естественных укрытий снижают активность мелких млекопитающих на таких участках. После зарастания отвалов сорной растительностью, также как и на рекультивированных отвалах можно наблюдать всплеск биоразнообразия как видовом, так и в количественном составе популяции. Окончанием сукцессии условно можно считать формирование устойчивого-климаксного биотопа по растительными или древесным видам, которые в свою очередь определяют фаунистический состав. Постоянные повторяющиеся факторы антропогенных и природных воздействий в виде пожаров, климатических аномалий, повторных техногенных воздействий, на уже сданные многолетние рекультивированные территории и длительный процесс формирования почвенных структур вносит новые условия – влияющие на биоразнообразие и не позволяющие ему упрощаться до естественных циклов, наблюдаемых на фоновых биотопах. Таким образом, биоразнообразие фауны мелких млекопитающих на отвалах формируется неравномерно как в пространственно-временном (в количественном) так и в качественном составе и первоначально зависит от естественных условий, а в дальнейшем образует сложные взаимосвязи, в том числе влияющие и на дальнейшее формирование сукцессии техногенно-трансформированного участка. Влияние внешних или внутренних факторов способно многократно перезапускать или же

останавливать на определенной стадии сукцессии, а соответственно и существенно изменять биоразнообразие.

BIODIVERSITY AND FEATURES OF THE SUCCESSION OF SMALL MAMMAL FAUNA IN THE DUMPS OF THE BORODINO COAL MINE

A.A. Lyuto, R.T. Murzakmatov, A.S. Shishikin

V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science, Siberian Branch

Summary: *The composition of the fauna of small mammals on the dumps of the Borodino coal mine changes as the vegetation environment and the migratory mobility of species first form, and largely depends on the adjacent natural areas and habitat conditions. The mosaic nature of dumps forms specific population conditions, and periodically acting natural and anthropogenic factors can change the natural course of successional changes and, accordingly, affect biodiversity.*

Keywords: *succession, fauna, biodiversity, small mammals, dumps, man-made transformation, biotope.*

Литература

1. N 35-р, Распоряжение Минприроды России от 25.11.2019 «Об утверждении Методических рекомендаций по структуре и содержанию программ сохранения биологического разнообразия коммерческих организаций» [Электронный ресурс] // URL : <http://sudact.ru/law/rasporiazhenie-minprirody-rossii-ot-25112019-n-35-r/prilozhenie/prilozhenie-n-1/2/> (дата обращения: 20.06.2024).
2. Новицкий А.А Андроханов В.А. Лавриненко А.Т. Гнитецкий В.А. Рекультивация техногенных ландшафтов на угольных разрезах Красноярского края // Вестник Омского государственного аграрного университета 2012, №8. С. 15–20
3. Соколов Д.А., Кулижский С.П., Доможакова Е.А., Госсен И.Н. Особенности формирования почв техногенных ландшафтов в различных природно-климатических зонах юга Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2012. № 364. С. 225–229.
4. Карасева Е. В. Телицына А. Ю. Жигальский О. А. Методы изучения грызунов в полевых условиях. М.: ЛКИ, 2008. 412 с.
5. Мурзакматов Р.Т., Шишикин А.С., Борисов А.Н. Особенности формирования насаждений на отвалах угольных разрезов в лесостепной зоне // Сибирский лесной журнал. 2018. № 1. С. 37–49.
6. Углова Е.С., Борисов А.Н., Екимов Е.В, Шишикин А.С Влияние погодных условий на динамику численности мелких млекопитающих отвалов угольных разрезов // Сибирский лесной журнал. 2016. №2. С. 85–91.
7. Мурзакматов Р.Т., Шишикин А.С. Лесообразовательный процесс на отвалах Бородинского бурогоугольного разреза // Лесная таксация и лесоустройство. 2009. №1(41) 2009, С. 29–32.

УДК 504.062.4:581.3

КАЧЕСТВО ПЫЛЬЦЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ЗЕМЛЯХ

С.Г. Махнева

ФГБУН Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, ФГАОУ ВО РГППУ, Екатеринбург, makhniovasg@mail.ru

***Аннотация.** Изучено качество зрелой пыльцы сосны обыкновенной, произрастающей в условиях загрязнения среды выбросами комбината «Магнезит». Уровень техногенного загрязнения насаждений определяли по накоплению пылевого компонента техногенных эмиссий в снеговом покрове. В условиях техногенного загрязнения выявлено снижение функциональной полноценности пыльцы, которое проявляется снижением значений показателей прорастания пыльцы и длины пыльцевых трубок пыльцы. В условиях высокого уровня техногенного загрязнения установлено значительное снижение числа деревьев, формирующих мужскую генеративную систему. Полученные данные свидетельствуют о негативном влиянии выбросов магнезитового производства на репродукцию сосны.*

***Ключевые слова:** сосна обыкновенная, пыльцевое зерно, репродукция, техногенное загрязнение, магнезит.*

Исследование состояния мужской генеративной системы сосны обыкновенной проводили на пробных площадях (ПП) в культурах, созданных в 1980-х гг. сотрудниками Уральской лесной опытной станции ВНИИЛМ при рекультивации территорий, расположенных на разном удалении от основного источника АП – комбината «Магнезит» (г. Сатка Челябинской области).

«Магнезит» начал свою деятельность в 1901 г. с добычи сырого магнезита, производства магнезитового порошка и кирпича и в настоящий момент является лидером по производству огнеупоров в России. Предприятие является значимым загрязнителем среды в регионе; основными компонентами эмиссий являются магнезитовая пыль, диоксид серы, формальдегид, оксид углерода, оксид азота, фенолы, углеводороды, фторид водорода, аммиак, соединения металлов.

Текущий уровень техногенного загрязнения ПП определяли по накоплению загрязняющих веществ в снеговом покрове. Было установлено возрастание содержания аэрополлютантов в снеговом покрове с приближением к источнику эмиссий, на основании чего были выделены зоны сильного, среднего, слабого уровней техногенного загрязнения и фоновые условия.

Состояние мужской генеративной системы сосны оценивали по комплексу количественных и качественных показателей модельных деревьев исследуемых древостоев. Выявлены тенденции снижения значений показателей прорастания, длины пыльцевой трубки пыльцы деревьев в зонах техногенного загрязнения и возрастание накопления запасных веществ в зрелой пыльце сосны, по сравнению с фоновыми условиями, а также высокая вариабельность значений многих показателей качества пыльцы в пределах каждого древостоя.

В условиях сильного уровня техногенного загрязнения было установлено значительное снижение числа деревьев, формирующих мужские шишки. Относительно более низкое качество пыльцы данного древостоя и малое число деревьев могут создавать дефицит пыльцы и препятствовать опылению, оплодотворению семян и развитию семян, что, в свою очередь, может ограничить возможности естественного возобновления сосны.

POLLEN QUALITY OF SCOTS PINE ON RECULTIVATED LANDS

S.G. Makhniova

Institute Botanic Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences Russian State Vocational Pedagogical University, Yekaterinburg, makhniovasg@mail.ru

***Summary:** The quality of mature pollen of Scots pine growing in conditions of environmental pollution by emissions from the Magnezit plant was studied. The level of technogenic pollution of plantings was determined by the accumulation of the dust component of technogenic emissions in the snow cover. A decrease in the functional usefulness of pollen was revealed in conditions of technogenic pollution. It is manifested by a decrease in the values of pollen germination indicators and the length of pollen tubes. Under conditions of a high level of technogenic pollution, a significant decrease in the number of trees forming a male generative system was established. The data obtained indicate a negative impact of emissions from magnesite production on the reproduction of pine.*

***Keywords:** Scots pine, pollen grain, reproduction, technogenic pollution, magnesite.*

УДК 332.37

ПЕРСПЕКТИВЫ РЕАЛИЗАЦИИ ЛЕСОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВЫБРОСАМИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В РОССИИ

И.А. Нагайцев

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», Новокузнецк,
ia.nagaitzev@yandex.ru

Аннотация. В работе показана динамика выбросов парниковых газов от сектора «землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство» в мире и России. Приведена законодательная база в отношении реализации лесоклиматических проектов в России. Рассмотрен актуальный перечень реализующихся в РФ проектов с указанием количества поглощаемого углерода. В заключении сделаны выводы о перспективах реализации лесоклиматических проектов в стране.

Ключевые слова: климатические изменения, лесоклиматический проект, парниковые газы, ЗИЗЛХ.

Введение. Тенденция изменения климата на планете, в основном, за счет большого скопления парниковых газов (далее ПГ) в атмосфере, влечет за собой в перспективе необратимые экологические проблемы. Для недопущения экологических катастроф мировым сообществом достигнута договорённость по снижению антропогенного воздействия на атмосферу Земли и достижению углеродной нейтральности. В настоящее время существует множество инструментов и технологий по снижению выбросов парниковых газов и увеличению их поглощения, на основе которых планируются и реализуются климатические проекты.

В настоящее время с России уже сформирована законодательная база в области климатического регулирования, которая включает обязательную отчетность о выбросах парниковых газов, проводится эксперимент по квотированию выбросов парниковых газов на Сахалине. Компании могут реализовывать климатические проекты и выпускать углеродные единицы, которые являются результатом деятельности этих проектов, в том числе в секторе ЗИЗЛХ (землепользования, изменения в землепользовании и лесного хозяйства).

Предпосылки реализации лесоклиматических проектов. Мировой опыт в секторе ЗИЗЛХ, включает в себя выбросы и поглощения от деятельности, связанной с лесными угодьями, обезлесение, лесные пожары и пахотные земли. На рисунке 1 приведена динамика глобальных выбросов и поглощений ЗИЗЛХ в мире в 1990–2022 гг. [1]

Согласно оценкам, в 2022 году в секторе ЗИЗЛХ снижены выбросы CO_{2 экв.} примерно на 0,18 Гт, что соответствует уровню 1990 года и на 90% меньше, чем в 2010 году. С учетом выбросов при пожарах, это снижение эквивалентно 1,85% глобальных выбросов CO_{2 экв.} от ископаемого топлива без учета ЗИЗЛХ в 2022 году. Как видно на графике рисунка 1, управляемые леса на сегодняшний день являются самыми крупными поглотителями CO₂, с объемом поглощения 5,2 Гт в 2022 году, что эквивалентно 13,9% общемировых выбросов ПГ от ископаемого топлива. Выбросы ПГ в РФ, связанные с лесным хозяйством и землепользованием приведены в таблице 1.

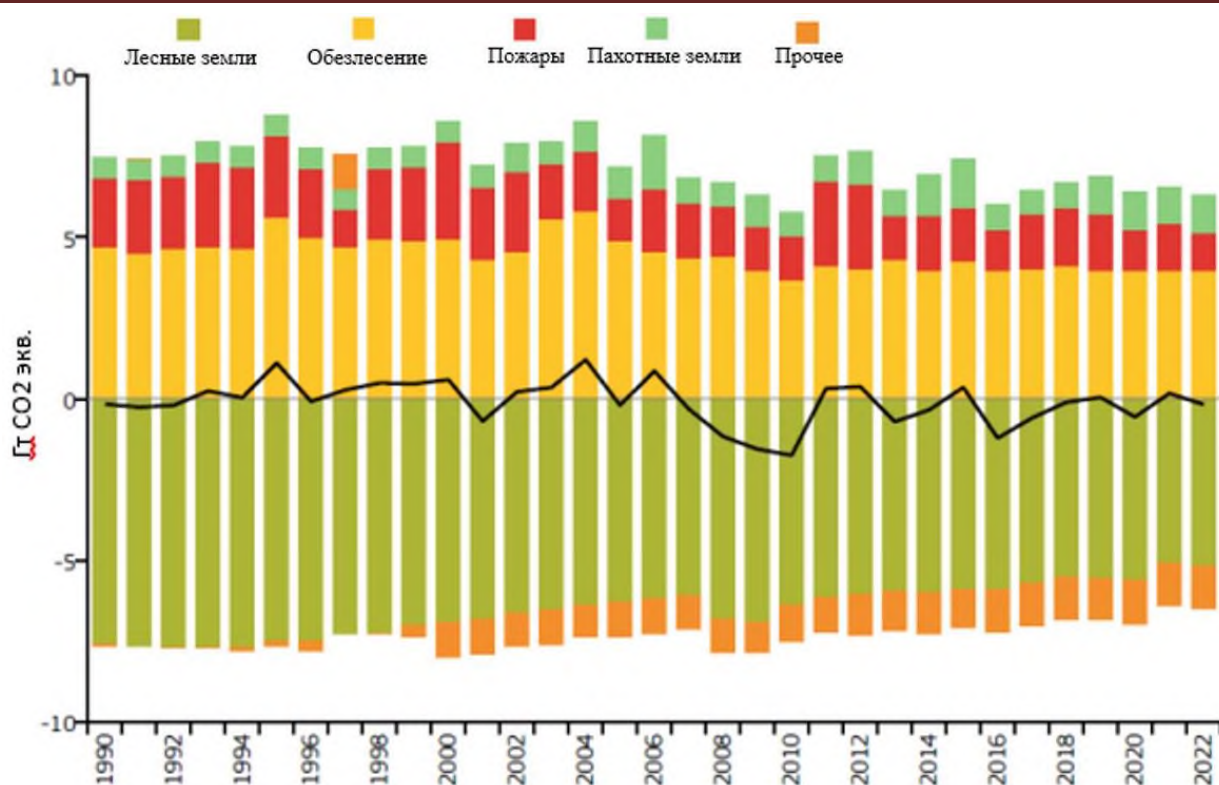


Рисунок 1. Глобальные выбросы парниковых газов от ЗИЗЛХ 1990–2022 гг. [1].

Таблица 1. Выбросы и абсорбция ПГ РФ, связанные с лесным хозяйством и землепользованием, млн т CO₂ экв. [2]

| | 2005 | 2010 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Всего | -539,7 | -698,1 | -661,5 | -612,6 | -657,4 | -583,3 | -615,3 | -602,9 | -577,3 | -550,5 | -557,6 | -506,6 |
| в том числе: | | | | | | | | | | | | |
| лесные земли | -615,9 | -736,8 | -708,4 | -694,9 | -684,3 | -677,9 | -664,4 | -649,8 | -624,3 | -618,2 | -616,2 | -614,4 |
| пахотные земли | 64,0 | 58,1 | 60,3 | 70,5 | 60,1 | 70,0 | 90,2 | 82,7 | 69,6 | 69,4 | 77,1 | 74,4 |
| луговые угодья | -59,1 | -39,5 | -49,8 | -28,1 | -82,2 | -42,7 | -66,9 | -56,0 | -42,8 | -25,3 | -31,8 | 38,0 |
| водно-болотные угодья | 4,0 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 4,6 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 4,5 |
| земли поселений | 23,7 | -1,3 | 14,8 | 15,3 | 4,7 | 48,7 | 9,0 | 8,8 | 10,1 | 13,1 | 4,9 | 18,4 |
| другие земли | 22,8 | 0,3 | 0,4 | 4,4 | 25,0 | 1,7 | 2,3 | 2,6 | 2,2 | 2,4 | 2,5 | 4,3 |
| заготовленные лесоматериалы | 20,3 | 16,9 | 16,8 | 15,7 | 14,6 | 12,0 | 10,0 | 4,3 | 3,4 | 3,6 | 1,5 | 2,4 |
| Косвенные выбросы N ₂ O при изменении землепользования управляемых почв | 0,6 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |

Примечание. Значения со знаком «-» в таблице обозначают поглощение парниковых газов, природный (естественный) процесс или вид хозяйственной и иной деятельности, в результате которых происходят извлечение из атмосферного воздуха парниковых газов и их накопление в других компонентах природной среды, природных, природно-антропогенных и антропогенных объектах.

Анализируя данные таблицы, можно сделать вывод, что наибольшим поглотителем выбросов ПГ в РФ также как и в мире являются лесные земли, которые абсорбируют объем ПГ, превышающий объем эмиссии от использования пахотных земель, водно-болотных угодий, земель поселений и от сектора заготовления лесоматериалов. При этом выбросы парниковых газов, связанные с лесным хозяйством и землепользованием, находятся на стабильном уровне с учетом поглощения в среднем до 600 млн т CO₂ экв. в год с 2005 по 2021 гг. и имеют отрицательные значения [2], что может быть использовано для компенсации выбросов ПГ в других отраслях.

Нормативно-правовая база реализации лесоклиматических проектов в России. Для России сектор ЗИЗЛХ это один из ключевых в Климатической доктрине РФ – основном документе, в котором формулируется единая государственная политика Российской Федерации в отношении глобального изменения климата и его последствий. Ключевой долгосрочной целью климатической политики является достижение с учетом национальных интересов и приоритетов социально-экономического развития не позднее 2060 года баланса между антропогенными выбросами парниковых газов и их поглощением [3].

Одним из инструментов для выполнения целей Климатической доктрины является реализация лесоклиматических проектов. Лесоклиматические проекты – ряд мероприятий, направленных на то, чтобы увеличить поглощение или предотвратить выбросы парниковых газов лесами. Подобные проекты относятся к категории природных решений (nature-based solutions (NBS)) [4]. NBS включают действия по защите, сохранению, восстановлению, устойчивому использованию и управлению природными и измененными в следствие антропогенной деятельности наземными, пресноводными, прибрежными и морскими экосистемами. Эти действия эффективно и адаптивно решают социальные, экономические и экологические задачи, одновременно обеспечивая благосостояние людей, экосистемные услуги, устойчивость и выгоды для биоразнообразия [5].

Для реализации лесоклиматических проектов в РФ еще формируется нормативная база, в проекте Федерального Закона «О внесении изменений в Лесной кодекс РФ» вводится понятие лесоклиматический проект, условия его реализации, а также перечень дополнительных мероприятий [6]. Согласно проекту закона, лесоклиматические проекты – это проекты, реализуемые в соответствии с Федеральным законом от 2 июля 2021 года № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов» и Лесным Кодексом РФ в лесах, расположенных на землях лесного фонда и землях, не относящихся к землям лесного фонда. При реализации лесоклиматических проектов предусматривается осуществление мероприятий, направленных на сокращение выбросов и увеличение поглощения парниковых газов в соответствии с ФЗ № 296-ФЗ. В том числе могут предусматриваться мероприятия по:

- охране лесов от пожаров;
- защите лесов от вредителей и болезней;
- воспроизводству лесов;
- лесоразведению.

Опыт реализации лесоклиматических проектов в России. Несмотря на то, что в РФ только формируется законодательная база, в Реестре углеродных единиц [7] РФ уже есть три методологии реализации лесоклиматических проектов, разработанные Институтом глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля. Методологии приведены в таблице 2.

Таблица 2. Методологии лесоклиматических проектов, разработанные Институтом глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля

| № п/п | Название | Описание |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Методология реализации климатического проекта № 0010 «Лесовосстановление» [8] | Данная методология применима к деятельности на лесных землях, не покрытых лесной растительностью (гари, вырубки, прогалины, пустыри, погибшие насаждения), на сельскохозяйственных землях с деградированными лесозащитными полосами. Реализация мероприятий должна соответствовать нормативно-правовым документам, в том числе Приказу Минприроды России от 29 декабря 2021 г. № 1024 «Об утверждении правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления», законодательству субъектов, где реализуется проект. Территория, на которой осуществляется проектная деятельность, не относится к категории водно-болотных угодий, в том числе осушенных, поэтому методология содержит дополнительные требования, которым должен отвечать лесоклиматический проект. |
| 2 | Методология реализации климатического проекта № 0011 «Улучшенное управление лесным хозяйством, в том числе охрана лесов от пожаров» [9] | Охрана лесов от пожаров – комплекс мероприятий, направленных на предупреждение возникновения лесных пожаров, ограничение их распространения, снижение пожарной опасности, повышение пожарной устойчивости лесов, своевременное обнаружение и тушение лесных пожаров. Охрана лесов от пожаров включает в себя выполнение мер пожарной безопасности в лесах и тушение пожаров в лесах. Методология содержит дополнительные требования, которым должен отвечать лесоклиматический проект. |
| 3 | Методология реализации климатического проекта № 0012 «Улучшенное управление лесным хозяйством, в том числе снижение воздействия лесозаготовок» [10] | В методологии изложены процедуры для оценки сокращения чистых выбросов парниковых газов в результате деятельности по проекту, в рамках которой применяются методы лесозаготовок с уменьшенным воздействием на земли, относящиеся к категории лесных земель. Эта методология применима к проектам по сокращению (предотвращению) выбросов парниковых газов (ПГ) в одной или нескольких из трех категорий источников выбросов ПГ: рубка древесины, трелевка и транспортировка. Методология содержит дополнительные требования, которым должен отвечать лесоклиматический проект. |

Зарегистрированные лесоклиматические проекты по вышеприведенным методологиям в Реестре углеродных единиц [11]:

1. Проект: «Увеличение поглощения парниковых газов за счет реализации климатического проекта на территории Поронайского лесничества Сахалинской области». Компания: ООО "ВЦЛ". Сведения о количестве планируемых к выпуску в обращение углеродных единиц при регистрации климатического проекта: 1515282. Описание проекта:

увеличение поглощения парниковых газов путем создания на болотистых нелесных землях лиственничного леса и защиты его от пожаров. Эффект: при стоимости 1 тыс. руб. за одну углеродную единицу капитализация проекта составит 1,05 млрд руб. к 2062 году, и 3,1 млрд руб. к 2102 году.

2. Проект: «Лесоклиматический проект АО «РУСАЛ КРАСНОЯРСК», «Авиационная охрана от пожаров лесного участка на территории Нижне-Енисейского лесничества, Сымского участкового лесничества, поселок Ярцево, Красноярский край, Россия». Компания: АО "РУСАЛ КРАСНОЯРСК". Сведения об общем количестве углеродных единиц, находящихся в обращении в рамках климатического проекта: 1351054. Сведения о количестве планируемых к выпуску в обращение углеродных единиц при регистрации климатического проекта: 5152843. Описание проекта: авиационная охрана лесов от пожаров. Проект включает в себя подготовку персонала (найм, обучение, медицинское сопровождение), мониторинг силами малой авиации, предотвращение и тушение лесных пожаров. Он реализуется на площади более 500 тысяч гектаров Нижне-Енисейского лесничества. Сроки реализации проекта – 2019–2033 гг.

Основные выводы и перспективы реализации лесоклиматических проектов в РФ.

Лесоклиматические проекты в большинстве своем являются долгосрочными, и затраты на их реализацию, особенно на начальной стадии, существенны, ввиду необходимости получения прав на участок, закупки, доставки и хранения посадочного материала, а также выполнения лесохозяйственных работ.

Формирование нормативно-правовой базы для реализации лесоклиматических проектов даст возможность компаниям оценить все затраты и возможности, связанные с реализацией подобных проектов.

Увеличение поглощающей способности лесов заложено в план реализации Стратегии социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов [12]. Предполагается, что нетто-поглощение парниковых газов лесными землями должно вырасти с 646,4 млн т CO₂ экв. в 2023 году до 788,7 млн т к 2030 году. Площадь лесных территорий, на которых ежегодно осуществляются мероприятия по лесовосстановлению и лесоразведению, должна увеличиться с 1506 тыс. до 7000 тыс. Га. Данный объем обусловит снижение выбросов парниковых газов и увеличение поглощения в секторе ЗИЗЛХ и в стране в целом.

PROSPECTS FOR THE IMPLEMENTATION OF FOREST-CLIMATIC PROJECTS FOR THE MANAGEMENT OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN RUSSIA

I. Nagaitsev

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, ia.nagaitzev@yandex.ru

***Summary:** The paper shows the dynamics of greenhouse gas emissions from the "land use, land-use change and forestry" sector in the world and in Russia. The legislative framework for the implementation of forest-climate projects in Russia is presented. An up-to-date list of projects implemented in the Russian Federation with an indication of the amount of carbon absorbed is considered. Finally, conclusions are drawn on the prospects for the implementation of forest-climate projects in the country.*

***Keywords:** climate change, forest climatic project, greenhouse gases, LULUCF.*

Литература

1. GHG emissions of all world countries. JRC science for policy report. 2023. URL: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/booklet/GHG_emissions_of_all_world_countries_booklet_2023report.pdf

2. Выбросы парниковых газов, связанные с лесным хозяйством и землепользованием. Федеральная служба государственной статистики. 2024. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194>
3. Указ Президента РФ от 26 октября 2023 г. № 812 «Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации». С. 21.
4. Коротков В. Н. Лесные климатические проекты в России: ограничения и возможности // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2022. Vol. 7(4). URL: <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2022-4-3>
5. Resolution adopted by the United Nations Environment Assembly on 2 March 2022. United Nations Environment Assembly of the United Nations Environment Programme. URL: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/39864/NATURE-BASED%20SOLUTIONS%20FOR%20SUPPORTING%20SUSTAINABLE%20DEVELOPMENT.%20English.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
6. Проект Федерального Закона О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации URL: <https://sozd.duma.gov.ru/bill/566540-8>
7. Распоряжение Правительства РФ от 1 марта 2022 г. №367-р.
8. Методология реализации климатического проекта № 0010 «Лесовосстановление» Разработчик: Институт глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля. 2023. URL: https://carbonreg.ru/pdf/methodology/accepted/CPM%20№0010_rus.pdf
9. Методология реализации климатического проекта № 0011 «Улучшенное управления лесным хозяйством, в том числе охрана лесов от пожаров» Разработчик: Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля. 2023. https://carbonreg.ru/pdf/methodology/accepted/CPM%20№0011_rus.pdf
10. Методология реализации климатического проекта № 0012 «Улучшенное управление лесным хозяйством, в том числе снижение воздействия лесозаготовок» Разработчик: Институт глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля. 2023. https://carbonreg.ru/pdf/methodology/accepted/CPM%20№0012_rus.pdf
11. Реестр углеродных единиц. Публикации реестра на дату 17.07.2024. URL: <https://carbonreg.ru/ru/projects/>
12. Распоряжение Правительства РФ от 29 октября 2021 г. №3052-р. Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года.

УДК 622.882.2

ОСОБЕННОСТИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ПРИ ОТРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

Н.А. Немова, В.Л. Гаврилов, Т.А. Платонов

Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, nemova-nataly@mail.ru, gvlugorsk@mail.ru

***Аннотация.** Рассмотрен вопрос рекультивации земель, нарушенных при ведении открытых горных работ на угольных месторождениях Южной Якутии. Подчеркнута значимость учета региональных особенностей для их технического и биологического восстановления. Описаны этапы рекультивации. Рассмотрены задачи, с которыми сталкиваются специалисты в области экологии угольных месторождений данного района. Представлена информация для разработки программ восстановления окружающей среды.*

***Ключевые слова:** Южная Якутия, месторождение, уголь, разработка, особенности, рекультивация, нарушенные земли.*

Введение. В Республике Саха (Якутия), где добывается широкий спектр минерального сырья, недропользование имеет региональные и характерные для её отдельных районов особенности. Это обусловлено огромными территориями, расположенными в различных природно-климатических зонах, экстремальным резко континентальным климатом с продолжительными и очень холодными зимами и коротким жарким летом, сплошным или очаговым развитием многолетнемерзлых пород, разнообразием ландшафтов, медленными темпами естественного восстановления биосреды [1–3].

Приоритетное развитие открытой добычи твёрдых полезных ископаемых в нашей стране привело к нарушению естественного состояния и трансформации природной и геологической среды на больших территориях. Создаваемые техногенные ландшафты (карьеры, разрезы, прииски, отвалы вскрышных пород, хранилища хвостов обогащения, дороги, объекты инфраструктуры) требуют разработки и реализации комплекса технологических и организационных мероприятий по их рекультивации и восстановлению. Успешному проведению таких работ нередко мешает отсутствие системного подхода к восстанавливаемым территориям, учитывающего их основные особенности, недостаточный уровень необходимых исходных данных для предварительного и текущего экологического изучения изменяемых участков недропользования [2–4]. В такой ситуации изучение природной и техногенной специфики объектов освоения и последствий их воздействия на окружающую среду является актуальным с научных и практических позиций.

Объекты и методы исследования. Объекты изучения – угольные месторождения Южной Якутии, действующие и создаваемые на их основе горнотехнические системы, ориентированные на ресурсосберегающее экологически сбалансированное недропользование. Для проведения аналитической работы использовались материалы Росприроднадзора, Государственного баланса запасов полезных ископаемых РФ, Росреестра, авторские материалы. Применялись системный, сравнительный и структурный анализ, методы объектного и выборочного исследования, комплексного ландшафтно-географического изучения.

Обсуждение результатов. В Южной Якутии Государственным балансом запасов полезных ископаемых России учитываются залежи коксующихся и энергетических углей с запасами по категориям А+В+С₁ более 46,3 млрд т и прогнозными ресурсами в 25,8 млрд т. В числе приоритетных для освоения находится ряд востребованных рынком месторождений. В Алдано-Чульманском угленосном районе наибольший интерес представляют Нерюнгринское (остаточные запасы для открытой добычи 87 млн. т), Чульмаканское (510 млн. т), Денисовское (204 млн. т), Кабактинское, представленные углями марок Ж, КЖ, К, ОС. В Токинском

наиболее изученным является Эльгинское с балансовыми запасами 1,6 млрд т дефицитных марок Ж и КЖ, отрабатываемое открытым способом. В Усмунском районе наиболее изучено Сыллахское месторождение (угли марки ГЖ с балансовыми запасами 135,6 млн т). Нерюнгринское месторождение («Мечел») находится в завершающей стадии открытой разработки. Расширяются мощности по открытой и подземной добыче и обогащению угля на Инаглинском и Денисовском горно-обогадительных комплексах («Колмар»). Активно развивается Эльгинский ГОК («Эльгауголь»). Начато освоение Кабактинского месторождения (СУЭК, малые разрезы). Ведется разведка ряда новых объектов бассейна. Объем открытой добычи в Южной Якутии на 1 января 2022 г. составил 15,67 млн. т при общей добыче угля в Республике Саха – более 26,3 млн. т.

По данным Росприроднадзора в РС (Я) учитывается всего 79,2 тыс. га нарушенных земель, в том числе в 2023 г. 16,2 тыс. га, а рекультивировано всего 12,9 тыс. га (табл. 1). Анализ показал, что за четыре года произошло увеличение площади нарушения более чем на 67%. Одновременно увеличились на 72% и объемы рекультивации. Но это все равно составило около 16% от всей площади произведенных нарушений. Такие соотношения в целом можно применить и для угольной отрасли региона. Мониторинг состояния земель свидетельствует о проявлении следующих негативных процессов: переувлажнения, заболачивания, водной эрозии, затопления.

Таблица 1. Нарушенные и рекультивированные земли в РС (Я) за 2020–2023 гг., тыс. га

| Наименование показателя | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---------------------------|------|------|------|------|
| Наличие нарушенных земель | 47,3 | 61,9 | 70,1 | 79,2 |
| Нарушено земель | 12 | 12,6 | 12,4 | 16,2 |
| Рекультивировано земель | 7,5 | 7,0 | 7,9 | 12,9 |

Проведение процесса рекультивации нарушенных земель при освоении месторождений открытым способом в Южной Якутии имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать в работе. В их числе: суровые природно-климатические условия с коротким летним периодом, недостаточным по длительности вегетационным периодом для полноценного самовосстановления растительности; наличие криолитозоны со сплошным или очаговым развитием многолетнемерзлых пород; гористая сильно расчлененная местность с большим количеством постоянных и временных водотоков; прочные вскрышные и вмещающие угольные пласты породы; маломощный плодородный и условно плодородный слой, недостаточный по объемам для отсыпки нарушенных земель; высокие с очень крутыми углами отвалы, иногда переуплотненные, занимающие значительные площади и др. Все это является ограничивающим фактором для применения части традиционных для других регионов существующих методов технической и биологической рекультивации [5, 6].

При ведении открытых горных работ в регионе изменяется почвенно-растительный покров, мерзлотные и гидрологические условия, приводящие к развитию термокарста, солифлюксии, эрозии, оврагов. Это повышает риски нарушения экосистемы с увеличением зоны негативного воздействия на неё, вторичным загрязнением наземных и водных экосистем. Отсутствие или нехватка плодородных грунтов для отсыпки, недостаток мощностей по выращиванию и сбору семян отрицательно влияет на восстановления нарушенного естественного растительного покрова. По ряду оценок рекультивационные и природовосстановительные работы в Якутии не проводились до 2005 г. Такую ситуацию можно проиллюстрировать текущим состоянием техногенно нарушенных земель, например, на доработанных открытым способом уже после этого срока участках Чульманского и Денисовского месторождений (рисунок: а) на 26.09.2019 г., б) на 21.06.2021 г.).



Рисунок. Не восстановленные отработанные участки Чульманского (а) и Денисовского (б) месторождений.

Ужесточение природоохранного законодательства способствовало увеличению темпов восстановительных работ, но до настоящего времени их объем находится на уровне 10–15% от всей площади нарушенных земель. При этом выполняется, традиционно не в полном мере, только технический этап с долговременным самовосстановлением среды без эффективной биологической рекультивации. Проектные организации для подготовки качественной технической документации часто не имели и не имеют всех необходимых сведений об химических и физических свойствах вскрышных пород, слагающих отвалы, а также свойствах других отходов горного производства в соответствие с действующей классификацией (ГОСТ 17.5.1.03–86) горных пород по пригодности для проведения биологической рекультивации земель.

С учётом требований ГОСТов Р 59070-2020, Р 57446-2017 и особенностей отработки месторождений в Южной Якутии при определении условий и направлений восстановления нарушенных земель следует рассматривать такие траектории рекультивации техногенно измененных участков, как: природоохранную; консервационную, лесохозяйственную; санитарно–гигиеническую; строительную. Биологический этап рекультивации предполагает деление на собственно биологический и реставрационно–ландшафтный с полным или частичным восстановлением компонентов ландшафта (рельефа, почвенного покрова, литологии, гидрологического режима) и биологического разнообразия до исходного состояния или приближенного к нему. Для каждого направления требуется разработка максимально адаптированных под конкретный объект технических, технологических, экологических и иных приемов. Их утверждение на уровне проектов и реализация на практике не означает, что далее принятые решения не будут корректироваться по мере уточнения условий отработки того или иного месторождения или его участка.

Анализ проектов освоения основных угольных месторождений Южной Якутии показал, что ряд заложенных в них решений не в полной мере учитывает специфику региона и возможности применения наилучших доступных технологий в рассматриваемой области. В ряде случаев при оценке воздействия на окружающую среду отвалов вскрышных пород игнорируется то, что вместе с пустыми породами в тело отвалов попадает уголь из некондиционных по мощности пластов, углепородная смесь из зон зачистки почвы и кровли рабочих пластов. При длительном хранении органическое вещество окисляется, выделяя опасные или потенциально опасные вещества. Нет карт мощностей плодородного и условно-плодородного слоя, учитывающие особенности их формирования в расчлененной по вертикали местности. В отдельных случаях не предусмотрен геологический и геокриологический мониторинг участков недр, отсутствуют данные о плотности создаваемой для этого сети наблюдений. При расчете норматива внесения минеральных удобрений принимается минимально допустимый уровень, занижающий его реальные потребности при биологической рекультивации.

Минералогический и химический состав вмещающих пород, угля и золы, склонность их к окислению при длительном хранении, наличие в них вредных и опасных компонентов представлен слабо.

Выполненная с применением космоснимков за 2008–2022 гг. количественно-качественная оценка территорий, нарушенных при освоении угольных месторождений Южной Якутии, показала, что в указанный период уровень техногенного вмешательства в природную и геологическую среду постоянно возрастал. Предпринятые усилия не привели к опережающему восстановлению сделанных или дополнительно создаваемых нарушений земель. Это подтверждается, например, исследованиями [1], которыми установлено, что из-за спонтанного и длительного по времени зарастания отвалов и их заселения живыми организмами необходимо искусственное восстановление растительного покрова.

Нормативными документами регламентируются только направления и правила проведения рекультивации без учёта специфики территорий, где необходимо проводить восстановление техногенно нарушенных земель. В такой ситуации целесообразно разработка комплексных программ их восстановления с выполнением следующих этапов: классификацией измененных земель; уточнением или определением свойств горных пород и полезного ископаемого на предмет пригодности их использования при проведении технической и биологической рекультивации; изучением возможности восстановления растительности на основе полученных данных о потенциале нарушенных земель; определения с учетом особенностей конкретных участков недропользования наиболее эффективных способов восстановления нарушенных земель до появления устойчивых признаков адаптации. В числе технологических решений могут быть разработанные с участием авторов (патенты РФ №№ 2806406, 2794705, 2514252, 2514248, 2455488).

Выводы. В Южной Якутии, несмотря на совершенствование экологического законодательства на федеральном и региональном уровнях, а также предпринимаемые усилия заинтересованными сторонами, разрыв между размерами техногенно нарушаемых из-за добычи угля участков и восстанавливаемыми землями не сокращается, а темпы биологической рекультивации с устойчивыми признаками адаптации находятся на низком уровне.

Не все природно-климатические и горно-геологические районные особенности угольных месторождений учитываются при разработке мероприятий по рекультивации нарушенных земель, что снижает их эффективность и не позволяет минимизировать негативное воздействие горнопромышленного комплекса на окружающую среду.

Учитывая специфические условия Южной Якутии и особенности земельного фонда, ценность и дефицитность тех марок угля, которые добываются или будут добываться здесь, их роль в социально-экономическом развитии региона, необходима разработка комплексных программ, реализация которых позволит не только снизить негативное влияние на окружающую среду, но и в идеале привести к её поэтапному восстановлению.

FEATURES OF RECLAMATION OF DISTURBED LAND DURING MINING OF COAL DEPOSITS IN SOUTH YAKUTIA

N.A. Nemova, V.L. Gavrilov, T.A. Platonov

Chinakal Institute of Mining SB RAS, Novosibirsk, nemova-nataly@mail.ru, gvlugorsk@mail.ru

Summary: The issue of reclamation of lands disturbed during open-pit mining in the coal fields of South Yakutia is considered. The importance of taking into account regional peculiarities for their technical and biological restoration is emphasized. The stages of reclamation are described. The tasks faced by specialists in the field of ecology of coal deposits in this area are considered. Information is provided for the development of environmental restoration programs.

Keywords: South Yakutia, deposit, coal, minig, features, reclamation, disturbed lands.

Литература

1. Миронова С.И., Иванов В.В. Добыча угля в Южной Якутии и ее воздействие на растительность (на примере разреза «Нерюнгринский»). М.: Евроазиатская научно-промышленная палата, 2019. 102 с.
2. Батугин С.А., Батугина Н.С., Бураков А.М. и др. Геотехнологии открытой добычи минерального сырья на месторождениях со сложными горно- геологическими условиями / отв. ред., д-р техн. наук С.М. Ткач. Новосибирск: Гео, 2013. 304 с.
3. Никифоров А.А. Техногенные ландшафты месторождения «Айхал» // Проблемы региональной экологии. 2021. № 5. С.55–58.
4. Гаврилов В.Л., Немова Н.А., Резник А.В., Косарев Н.С., Колесников А.А. О необходимости комплексной геоэкологической оценки техногенно нарушенных горными работами земель // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334. № 10. С. 76–87.
5. Егоров В.В., Егорова З.Н. Биологическая рекультивация нарушенных земель на угледобывающих предприятиях Центральной Якутии / Студенческий научный форум: материалы XI Международной студенческой научной конференции. URL: <https://scienceforum.ru/2019/article/2018016175> (дата обращения: 07.06.2024)
6. Лавриненко А.Т., Остапова Н.А., Сафронова О.С., Килин А.Б., Евсеева И.Н., Моршнева Е.А. Биологическая рекультивация переуплотненных автомобильных отвалов угледобывающих предприятий // Уголь. 2020. № 7. С. 92–95.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПРИРОДНЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА ПРИКОНТУРНЫХ ЗОН УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ

А.М. Никитина, В.Н. Фрянов

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», Новокузнецк, nik.am_78@mail.ru

Аннотация. В данной статье предложена методика расчета устойчивости отвалов вскрышных пород и бортов угольных разрезов, расположенных на подрабатываемых подземными горными работами территориях.

Ключевые слова: доработка запасов, оседания земной поверхности, камерно-столбовая система разработки, короткий забой, устойчивость отвалов вскрышных пород, коэффициент извлечения угля.

Развитие угольной отрасли в Кузбассе на протяжении последних десятилетий привело к серьезным изменениям природных ландшафтов. Производство угля постоянно растет, главным образом за счет открытой добычи – до 79 % к 2023 году.

Учитывая сложную геометрическую форму участков пластов вблизи контура открытых горных работ, в работе предлагается инновационная технология доработки запасов угольного месторождения с целью повышения экологической безопасности. На рисунке 1 представлена классическая схема проведения камер и извлечения междуканнерных целиков при камерно-столбовой системе разработки.



Рисунок 1. Классическая схема проведения камер и извлечения междуканнерных целиков при камерно-столбовой системе разработки.

Горные работы ведутся в каждом блоке. В одновременной работе находятся несколько проходческих комбайнов. Плановая добыча до 1000 т/сут. Транспорт горной массы от комбайнов до конвейера на транспортном штреке осуществляется самоходными вагонами.

Это альтернативный вариант, возможно другое расположение камер и целиков в зависимости от гипсометрии и мощности пласта.

Возможен вариант отработки трудноизвлекаемых запасов угля в приконтурной зоне угольных разрезов короткими забоями с применением высоконапорной гидроотбойки при

минимальных размерах угольных целиков с использованием роботизированных гидрофицированных модулей (рис. 2).



Рисунок 2. Отработка трудноизвлекаемых запасов угля короткими забоями с применением высоконапорной гидроотбойки.

В настоящее время на кафедре геотехнологии СибГИУ ведется разработка проекта для создания технологической схемы гидрошахты. Разработаны конструктивные решения лабораторного стенда для физического моделирования процессов проходки подготовительной выработки и выемки высокогазоносных угольных пластов дистанционно управляемым роботизированным модулем сохраняя устойчивость подрабатываемых подземными горными выработками отвалов вскрышных пород угольных разрезов.

Экологическая безопасность объектов инфраструктуры на подрабатываемой горными выработками земной поверхности достигается применением системы разработки угольного пласта короткими забоями с регулируемым уровнем потерь угля в целиках.

Согласно «Правилам охраны сооружений...» [2] максимальные оседания земной поверхности η_m , м определяются по формуле:

$$\eta_m = q_0 m N_1 N_2 \cos \alpha, \quad (1)$$

где η_m – максимальные оседания земной поверхности, м;

q_0 – относительные вертикальные оседания, для условий Кузбасса $q_0 = 0,7$ при первичной подработке [2, с. 84];

m – вынимаемая мощность пласта, м;

N_1, N_2 – влияние размеров выработанного пространства;

α – угол падения пласта, градус.

При отработке угольного пласта с закладкой или короткими забоями вынимаемая мощность пласта заменяется эквивалентной $m_э$, то есть формула (1) примет вид формулы (2):

$$\eta_m = q_0 m_э N_1 N_2 \cos \alpha, \quad (2)$$

Величина эквивалентной мощности $m_э$ определяется по формуле:

$$m_3 = m(K_n)^n \quad (3)$$

где K_n – коэффициент извлечения угля;

n – эмпирический коэффициент, определяется по результатам натуральных измерений оседаний земной поверхности.

По результатам исследования автора статьи профессора, д.т.н. Фрянова В.Н. при отработке угольного пласта короткими забоями гидравлическим способом с оставлением угольных целиков эмпирический коэффициент $n=2$ [3].

Таким образом, с использованием формулы (3) можно при изменении площади коэффициента извлечения угольного пласта прогнозировать оседания земной поверхности и определять нарушения инфраструктуры на подрабатываемой территории.

Изменяя коэффициент извлечения можно существенно снизить негативное влияние на объекты инфраструктуры при отработке запасов угля.

В ФГБОУ ВО «СибГИУ» разработана компьютерная программа, с использованием которой осуществляется расчёт сдвижений и деформаций земной поверхности при различных исходных параметрах систем разработки длинными и короткими забоями [4].

Для проведения вычислительных экспериментов построена геометрическая модель в виде вертикального разреза, перпендикулярного бортам разреза и направленная по падению отработываемого пласта. Длина модели по падению пласта принята 1000 м, вертикальная высота модели 300 м. Фрагменты модели представлены на рисунках 3 и 4. Модель включает угленосную толщу в виде 100 породных слоёв и угольных пластов.



Рисунок 3. Графики сдвижения (мм) массива горных пород под влиянием выработанного пространства угольного пласта, отработанного длинным столбом по простиранию с обрушением пород кровли в приконтурной зоне угольного разреза: красный цвет – вертикальные смещения; синий цвет – горизонтальные смещения.

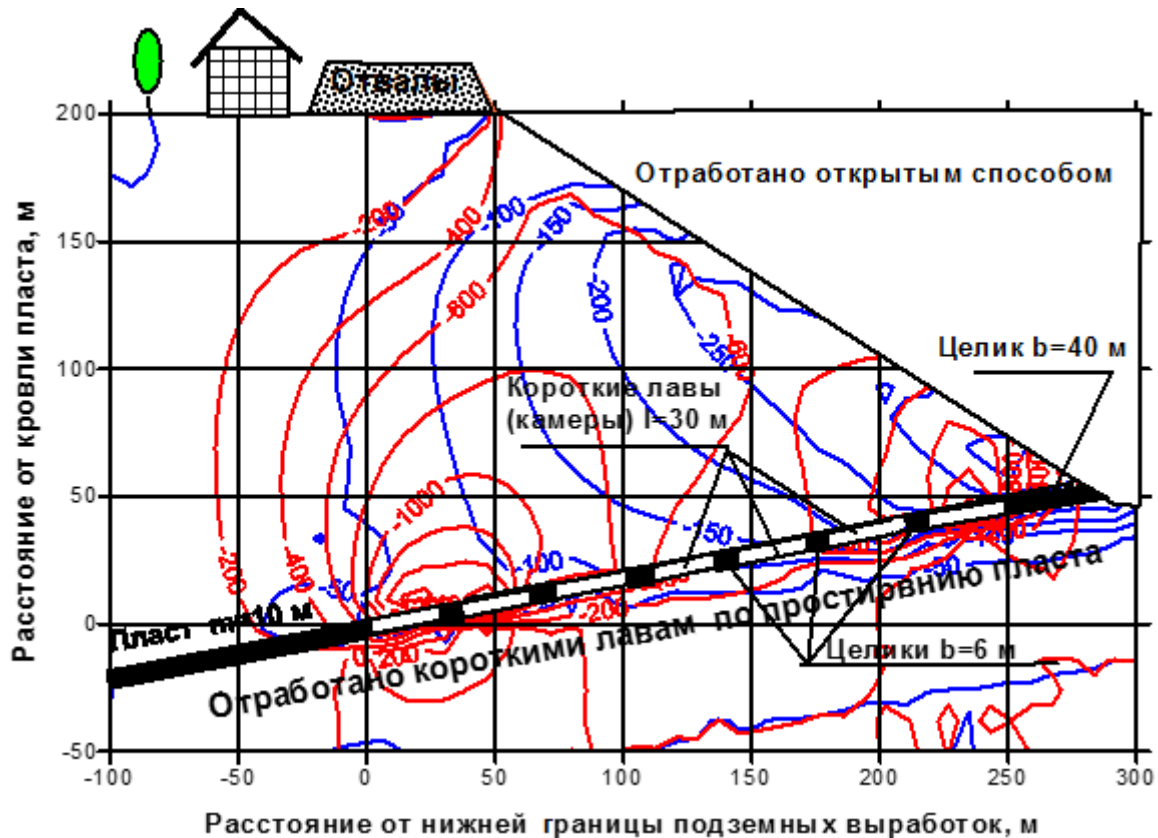


Рисунок 4. Графики сдвижения (мм) массива горных пород под влиянием выработанного пространства угольного пласта, отработанного камерно-столбовой системой с управлением кровлей податливыми целиками в приконтурной зоне угольного разреза: красный цвет – вертикальные смещения; синий цвет – горизонтальные смещения.

Целью вычислительного эксперимента было выявление закономерностей сдвижения горных пород и земной поверхности при отработке угольного пласта в приконтурной зоне карьера длинными и короткими забоями.

Задачи исследований:

- количественная оценка вертикальных и горизонтальных сдвижений пород и земной поверхности при отработке пластов длинными и короткими забоями;
- выявление опасных для зданий, сооружений и природных объектов зон в бортах разреза и на земной поверхности;
- обоснование рекомендаций для применения разработанной методики моделирования сдвижений горных пород при разработке проектной документации по охране зданий, сооружений природных объектов от вредного влияния разработок угольных пластов.

Для решения поставленных задач в настоящей работе рассмотрено влияние подземных разработок угольного пласта в приконтурной зоне угольного разреза. Для исследования приняты следующие исходные данные: мощность пласта 10 м, угол падения 10^0 , глубина нижней границы подземных выработок 200 м. Длина лавы при отработке угольного пласта длинным комплексно-механизированным забоем 250 м (рис. 3). При отработке короткими забоями (рис. 4) изучено влияние камер (коротких лав) шириной 30 м каждая с целиками шириной 6 м между камерами. Коэффициент извлечения при отработке пласта короткими забоями равен $K_d=0,8$.

По результатам анализа графиков распределения сдвижений земной поверхности и горных пород в бортах разреза установлено, что максимальные оседания составляют 7 м при

отработке пласта длинными забоями (рис. 3) и 0,6 м при выемке угля в коротких забоях (рис.4). Следовательно, оставление между камерами податливых целиков приводит к уменьшению оседаний почти в 10 раз.

Горизонтальные смещения уменьшились при отработке угольных пластов короткими забоями почти в 2 раза.

Таким образом, посредством применения разных вариантов ширины камер и угольных междуканальных целиков по разработанной методике можно прогнозировать величины сдвижений и деформаций. Для оценки устойчивости зданий, сооружений и природных объектов по известным величинам сдвижений и деформаций рекомендуется использовать «Правила охраны...» [2].

По результатам анализа графиков сдвижения горных пород и земной поверхности выявлены следующие закономерности:

– горизонтальные смещения горных пород в приконтурной зоне угольного разреза направлены в сторону подземного выработанного пространства;

– под влиянием отвалов горных пород горизонтальные смещения направлены в сторону открытых выработок (рис. 3), что может привести к сдвигению и оползнию пород в верхней части борта.

Выводы:

1. Максимальные величины сдвижений и деформаций земной поверхности при выемке угольных пластов в приконтурной зоне разрезов зависят от коэффициента извлечения угля, величина которого регламентируется применяемой системой разработки: при снижении коэффициента извлечения до 0,8 величины вертикальных смещений уменьшаются почти в 10 раз, а горизонтальные в 2 раза.

2. Для расчета устойчивости отвалов вскрышных пород угольных разрезов, расположенных на подрабатываемых короткими забоями территориях, рекомендуется вместо вынимаемой мощности пласта принимать приведенную.

3. Рекомендуется разработанную методику прогноза сдвижений и деформаций применять при разработке проектной документации, что обеспечит безопасные условия эксплуатации зданий, сооружений и природных объектов на подрабатываемых территориях в пределах приконтурной зоны угольных разрезов.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS TO ENSURE THE NATURAL RELIEF OF THE CONTOUR ZONES OF COAL MINES

A.M. Nikitina, V.N. Fryanov

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, nik.am_78@mail.ru

Summary: *This article proposes a method for calculating the stability of overburden dumps and the sides of coal mines located on territories worked by underground mining operations.*

Keywords: *depletion of reserves, subsidence of Earth's surface, chamber-pillar mining system, a short dead, stability of over-burden dams, coal mining coefficient.*

Литература

1. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2022 году [Электронный ресурс]. URL: http://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2023/11/Doklad_za_2022_01_07_2023_04.pdf
2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. С-Пб.: ВНИМИ, 1998. 291 с.

3. Фрянов В.Н. Управление геомеханическими процессами и обоснование параметров систем разработки гидрошахт Кузбасса. Дисс. д.т.н. Кемерово, 1989. 46 с.
4. Фрянов В.Н., Петрова О.А., Петрова Т.В. Комплекс проблемно-ориентированных программ для моделирования формирования и распределения опасных зон в газоносном геомассиве: свидетельство о регистрации электронного ресурса. № 21123, дата регистрации 03 августа 2015 года // Хроники объединённого фонда электронных ресурсов «Наука и образование». 2015. № 08-09 (75-76).

УДК 631.44

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ТЕХНОЗЕМОВ Г. НОВОКУЗНЕЦКА

О.И. Подурец

Кузбасский гуманитарно-педагогический институт ФГБОУ ВО Кемеровского государственного университета, Новокузнецк, Glebova-Podurets@mail.ru

***Аннотация.** В статье приводятся результаты исследования развития процессов почвообразования техноземов, которые оцениваются по энергетическим характеристикам и запасам гумуса.*

***Ключевые слова:** чернозем выщелоченный, технозем, гумус, запасы энергии.*

В процессе развития антропогенного прессинга естественные природные почвы полностью уничтожаются или трансформируются. Функциональное использование территории и направленность хозяйственного воздействия определяет разнообразные уровни и характер трансформации почвенного покрова [1]. Урбанизированные территории в ходе строительства промышленных объектов, жилищно-бытовой инфраструктуры, садово-парковых комплексов, характеризуются образованием антропогенно-преобразованных, а также природных комплексов со сложной структурой и мозаичность почвенного покрова. На сохранившихся естественных ландшафтах, приуроченных к парковым элементам города, выделены зональные типы почв (черноземно-луговые, серые лесные, различные подтипы пойменных почв), на насыпных грунтах сформированы различные варианты урбаноземов, на техногенно-преобразованных ландшафтах слаборазвитые почвы [2]. Одним из показателей состояния средовоспроизводящих свойств природной среды является биологическая компонента, характеризующая биоэнергетические ресурсы. Актуальным вопросом является возможность использования представлений об энергии, заключенной в гумусе почв и субстратах, для оценки потенциальной способности горных пород к почвообразованию, к возможности принятия мер по стабилизации и усилению процессов формирования молодых почв на техногенных территориях [3].

Методической основой стали работы С.А. Алиева [4], В.А. Ковда, И.В. Якушевской [5], Н.П. Масютенко [6], Е.И. Ергинной [3]. Энергетические характеристики рассчитывались по результатам валовых анализов сформированного гумусового слоя одновозрастных молодых почв на субстрате техногенного происхождения. Почвенный энергетический потенциал рассматривается как запас вещества и энергии, связанный в гумусе. Объектом исследования являются молодые почвенные образования, возрастом 65–70 лет, формирующиеся на техногенно-преобразованном ландшафте в пределах городской черты города Новокузнецка. В результате строительства Центрального района города с исследуемой территории была снята почти вся масса лессовидных суглинков. Объем снятых суглинков составил 7 млн м³ и мощностью от 8–10 метров. Снятие проведено неравномерно, в ряде участков исследуемой территории вплоть до плотных осадочных пород, представленных алевролитами и аргиллитами, в некоторых участках с остаточным суглинистым слоем, мощностью до 1 метра, а также выделены участки на периферийной части карьерной выемки с переслоенным материалом, привнесенным с бортов котлована. В результате на «скальпированной» территории под действием естественных фактор среды и развития почвообразовательных процессов сформировались новые специфические почвенные образования – техноземы [2, 7].

Выявлены следующие типы техноземов: 1) с простым неполноразвитым профилем, формируемые под древесно-кустарниковыми растительными группировками с разреженным травянистым покровом и близким залеганием плотных осадочных пород; 2) с простым

неполноразвитым профилем, формируемые под древесно-кустарниковыми растительными группировками с развитым травянистым покровом на остаточном слое суглинка, мощностью 50–100 см; 3) с простым примитивным профилем, развивающиеся под пологом бурьянистых злаково-разнотравных группировок с остаточным слоем суглинка мощностью 50–100 см; 4) со сложным неполноразвитым профилем, характеризующиеся переслоением горизонтов и наличием суглинка различной мощности [2, 7].

На сохранившихся естественных ландшафтах, приуроченных к границам котлована, выделены зональные почвы, представленные черноземом выщелоченным, которые будут рассматриваться как контроль, для понимания развития почвенного энергетического потенциала молодых формирующих почв техногенно-преобразованного ландшафта.

Почвообразовательные процессы представляют совокупность взаимосвязанных явлений превращения и перемещения вещества и энергии между почвой и смежными компонентами географической среды [1, 4]. Техноземы развиваются под воздействием тех же факторов физико-географической среды, что и естественные почвы, но их ограниченность развития во времени, и сукцессионное развитие растительного покрова, и особенности подстилающей породы определяют их специфичность [2, 7].

Характер и направленность потоков вещества и энергии в биогеоценозе, формирующих плодородие почвы, устойчивость и уровень ее производительности, определяется качественным и количественным составом почвенного органического вещества [6]. Оно является одним из основных естественных аккумуляторов и источников энергии на Земле, поэтому энергетическое состояние почвы в большой степени определяется гумусом и другими веществами органического происхождения, находящимися в почве [3–6]. Анализ энергетического состояния почвы на основе определения энергетических показателей почвенного органического вещества и их динамики в почвах техногенно-преобразованного ландшафта позволил оценить их потенциал, изменения и поток энергии при трансформации органического вещества почвы при сравнении с данными природных зональных почв (табл.).

Таблица. Запас органического вещества и потенциальной энергии в почвах естественного и техногенно-преобразованного ландшафтов

| Тип почвы (мощность горизонта А, см) | Содержание гумуса, % | Запасы гумуса, т/га | Запасы энергии в гумусе, приведенные к площади, 10^4 Дж | Запасы энергии, гДж/га |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|
| Чернозем выщелоченный (0–52) | 11,6 | 663,52 | 1659,68 | 14365,2 |
| Технозем с простым неполноразвитым профилем близким залеганием плотных осадочных пород (0–5) | 3,8 | 17,1 | 19,7 | 370,2 |
| Технозем с простым неполноразвитым профилем на остаточном слое суглинка (0–7) | 5,1 | 32,13 | 100,9 | 695,6 |
| Технозем с простым примитивным профилем на остаточном слое суглинка (0–8) | 5,8 | 41,76 | 66,5 | 904,1 |
| Технозем со сложным неполноразвитым профилем на остаточном слое суглинка (0–6) | 3,2 | 17,28 | 13,1 | 374,1 |

Энергопотенциал органического вещества почвы – это количество энергии, заключенное в инертном гумусе, лабильных гумусовых веществах, микробной биомассе и

негумифицированном органическом веществе на единице площади [6]. При расчетах запасов энергии учитывались только запасы энергии в гумусе, которые выявили наиболее высокие показатели в технозомах, которые формируются под разнотравными растительными группировками, развивающиеся на остаточных суглинках. Но данный показатель изменяется при расчете с учетом занимаемой площади [5]. Наибольшими запасами гумуса характеризуются технозома с простым неполноразвитым профилем, формируемые под древесно-кустарниковыми растительными группировками с хорошо развитым травостоем на остаточном суглинке. Превышение запасов составляет в 1,04 раза технозоев с разнотравными растительными группировками на остаточном суглинке, в 5,12 раз технозоев с простым неполноразвитым профилем на плотных породах и в 7,7 раз технозоев со сложным неполноразвитым профилем.

Почвенный энергетический потенциал, рассматриваемый как запас вещества и энергии, связанный в гумусе технозоев, значительно уступает данному показателю чернозема естественных ландшафтов, что характеризует молодость данных почв и начальные процессы почвообразования. Каждый из технозоев имеет свою специфику развития, что связано с различной биологической продуктивностью формируемых растительных сообществ и особенностью литологических условий, в данном случае наличие или отсутствие остаточного слоя суглинка, как одного из средообразующих факторов.

THE ENERGY POTENTIAL OF THE TECHNOZEMS OF NOVOKUZNETSK

O.I. Podurets

Kuzbass Humanitarian Pedagogical Institute of Kemerovo State University, Novokuznetsk,
Glebova-Podurets@mail.ru

Summary: The article presents the results of a study of the development of soil formation processes in technozems, which are estimated by energy characteristics and humus reserves.

Keywords: leached chernozem, technochemistry, humus, energy reserves.

Литература

1. Подурец О.И. Техногенез и почвообразование в южной лесостепи Кемеровской области // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Биологические, технические науки и науки о Земле. 2018. № 1. С. 68–73.
2. Подурец О.И. Исследование начальных процессов почвообразования в технозомах Кузнецкой экологической тропы // Почвы и окружающая среда : Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием. Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 562–564.
3. Ергина Е.И. Термодинамические свойства и энергетика гумуса разновозрастных почв Крымского полуострова // Живые и биокосные системы. 2013. № 3. С. 3–5.
4. Алиев С.А. Методы определения биоэнергетических балансов органического вещества почв // Почвоведение. 1975. № 4. С. 27–32.
5. Ковда В.А., Якушевская И.В. Биосфера и гумусовая оболочка суши // Биосфера и ее ресурсы. М.: Наука, 1971. С. 5–15.
6. Научные основы и методы оценки энергетического состояния почв в агроландшафтах; под ред. Н.П. Масютенко. Курск: ВНИИЗиЗПЭ. 2004. 65 с.
7. Подурец О.И. Экологические особенности технозоев Кузнецкой крепостной горы // Почвы в Биосфере. Новосибирск, 2018. С. 338–341.

УДК 622.882.2

РАНЖИРОВАНИЕ ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ИХ СОСТОЯНИЯ

А.В. Резник, Д.В. Семьянова, К.Е. Медведева

Институт горного дела СО РАН, Новосибирск, a-reznik@mail.ru

***Аннотация.** Рассмотрен вопрос необходимости ранжирования техногенно нарушенных земель на основе оценки их состояния. Подчеркнута значимость использования геоинформационных систем и методов пространственного анализа для экологического мониторинга и оценки геоэкологической нагрузки на окружающую среду. Предложены критерии ранжирования, включающие вид антропогенного воздействия, уровень нарушенности, содержание опасных элементов и др. Представлены данные исследований по Новосибирской области, подтверждающие необходимость регулярного мониторинга и лабораторных исследований для эффективного восстановления нарушенных территорий.*

***Ключевые слова:** техногенно нарушенные земли, ранжирование, критерии нарушенности, базы данных.*

Введение. Активное освоение месторождений всегда сопровождается антропогенным преобразованием геологической среды, её загрязнением отходами горнодобывающего производства, при ведении открытых горных работ меняется рельеф земной поверхности, появляются глубокие карьерные выемки и высокие отвалы пустых и вскрышных пород, уменьшается биоразнообразие, в результате чего нарушается баланс равновесного состояния недр. Все эти негативные факторы неблагоприятно сказываются на природе и условиях жизни человека. Предотвращение или сокращение негативных последствий антропогенной деятельности горнодобывающей отрасли невозможно без изучения окружающей среды (ОС) и процессов происходящих в ней.

Доля добычи твердых полезных ископаемых открытым способом составляет около 70% по сравнению с другими способами отработки месторождений и обеспечивает более высокие технико-экономические показатели для инвесторов и горных предприятий. При этом, открытые геотехнологии оказывают наибольшее негативное воздействие на компоненты ОС вследствие объёмных техногенных нагрузок в виде земельных участков большой площади, выводящихся из хозяйственного оборота на длительные сроки и имеющих различное назначение, ценность и пригодность к восстановлению. Тенденция вовлечения в оборот территорий со всё более сложными природно-климатическими и горно-геологическими условиями освоения месторождений приводит к удорожанию большинства технологических и бизнес-процессов, снижению эффективности извлечения минерального сырья из недр, появлению дополнительных высоких экологических рисков. На сегодняшний день имеется большое количество способов и методов получения исходных данных для поиска, экологического мониторинга и контроля границ техногенно нарушенных территорий с различным уровнем точности. Их количество, качество, надежность и представительность варьируется от региона к региону [1].

Экологизация и связанные с ней проблемы актуальны не только для слаборазвитых стран, все чаще и чаще возникают ситуации, когда для загрязнений не существует границ [2]. Использование синергетических принципов и подходов цифровой трансформации и экологического мониторинга позволит сгенерировать новые знания на базе поступающих и уже имеющихся данных, а объединение геоинформационных систем (ГИС), методов пространственного анализа и моделирования, а также информационно-аналитических баз

данных (БД) позволит более качественно провести оценку состояния и рационального взаимодействия природной среды и нарушенных участков. Автоматизация процессов создания 3D-карт с зонированием участков и районов позволит ранжировать техногенно нарушенные земли по уровню геоэкологической стабильности и уязвимости. Сегодня получение геопространственных данных возможно различными методами, позволяющими с высокой точностью оценить состояние техногенно нарушенных земель [3].

Учитывая вышесказанное, для ранжирования техногенно нарушенных земель на основе их состояния необходимо иметь горно-геологические и горнотехнические данные, значения лабораторных исследований по наличию и концентрации опасных и особо опасных элементов в компонентах ОС.

Предлагаемый авторами подход для ранжирования техногенно нарушенных территорий по уровню влияния на компоненты ОС основан на методах, которые можно разделить на два направления: первое – оценка степени нарушенности (будет выражаться через количественную оценку техногенного нарушения без учета ландшафтного разнообразия), и второе – характер нарушенности, включающий следующие критерии:

- критерий 1. Вид антропогенного воздействия, приведшего к техногенной нарушенности земли;
- критерий 2. Уровень техногенной нарушенности территории, заключающийся в количественной оценке площади нарушенных территорий;
- критерий 3. Содержание опасных и особо опасных элементов в окружающей среде (определение площади зоны превышения предельно допустимой концентрации (ПДК));
- критерий 4. Содержание радионуклидов в воде (Rn);
- критерий 5. Радиоактивность горных пород (U, Ra, Th, K)
- критерий 6. Степень населенности (плотность населения);
- критерий 7. Категории и угодья земельных ресурсов;
- критерий 8. Фильтрация стоков в близлежащие водоемы;
- критерий 9. Наличие территорий с прошлым экологическим ущербом.

Для примера рассмотрим Новосибирскую область, в которой авторами по данным дистанционного зондирования были определены 114 техногенно нарушенных участков или антропогенных объекта, из которых 87 – это карьеры и разрезы по добыче твердых полезных ископаемых, 8 промышленных предприятий, 3 свалки ТБО, 6 золоотвалов ТЭЦ. При этом минерально-сырьевая база НСО является относительно не богатой по сравнению с рядом других регионов страны [4, 5].

Для ранжирования авторами была создана матрица, состоящая из критериев оценки, уровней ранжирования и, собственно, самих антропогенных объектов в виде техногенно нарушенных земель.

Анализ полученных данных проведенных исследований показал, что по первому критерию, заключающемуся в оценке антропогенного воздействия на рельеф земной поверхности, всего 3 объекта относятся к условно техногенно ненарушенным, т.е. являются затопленными или самозаросшими, это карьеры по добыче песка, территориально находящиеся в г. Новосибирске. К средне нарушенным отнесли 12 карьерных выемок, 10 из которых на данный момент являются действующими карьерами по добыче строительных материалов и 2 – это золоотвалы ТЭЦ. К слабонарушенным была отнесена большая часть карьерных выемок в количестве 95 шт, из которых 3 – это свалки ТБО, 4 – это золоотвалы ТЭЦ, а остальные, основную часть которых представляют малые по размерам, карьеры по добыче строительных материалов. И по 2 объекта были отнесены к сильнонарушенным и чрезвычайно нарушенным, это средние и крупные по размерам угольные разрезы, находящиеся в Искитимском районе.

Согласно информации о содержании загрязняющих веществ в почве в трех объектах по добыче строительных материалов превышено ПДК в г. Искитиме – по стронцию в 10 раз, барью и свинцу – в 3 раза [6, 7] в г. Новосибирске – по содержанию олова и кадмия; в среднем

по городу экологическое состояние почв – умеренно опасное [7]. По данным ФГБУ «Западно–Сибирское УГМС» результаты обследования почв территории города Новосибирск показывали наличие характерных загрязняющих веществ: цинка, меди, свинца, кадмия, никеля, марганца, мышьяка, олова и хрома (по данным государственного доклада о состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области с 2019 по 2022 гг.).

Также периодически проходит экологический мониторинг золоотвалов, результаты анализа почвы (средний показатель по всем станциям – ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, ТЭЦ-4, ТЭЦ-5 и БТЭЦ мг/кг) по содержанию бенз(а)пирена, цинка, меди, свинца не превышает ПДК [8].

Мониторинг атмосферного воздуха исследуется на предмет концентраций опасных и особо опасных элементов, превышающих ПДК, например, на 14 объектах имеются данные мониторинга, на 11 из которых не зафиксированы превышения ПДК по содержанию диоксида, углерода, диоксида серы, озона, углекислого газа, взвешенных частиц по данным сайта [9].

Результаты мониторинга содержания взвешенных частиц (пыли) в атмосферном воздухе золоотвалов новосибирских ТЭЦ использованы с сайта СГК [8].

В работах [10, 11] рассматривалась радиоактивность дренажных вод карьеров Новосибирской области. Авторами проведены исследования химического состава дренажных вод, определено содержание таких анионов и катионов как HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ . Концентрации указанных компонентов не превышают ПДК. Качество поверхностных вод р. Бердь, выше и ниже г. Искитима в 2021 г. оценивалось по 5 компонентам, в створе выше города наблюдалось превышение ПДК по 8 компонентам. В отчете Состояние окружающей среды города Искитима за 2021 г представлены данные, по которым превышены ПДК, но для воды в контрольных створах р. Бердь определен класс качества 3 «Б» – очень загрязненная.

Отдельным критерием была выведена оценка радиоактивного загрязнения, т.к. НСО находится в зоне влияния радоновых, ториевых и урановых элементов. В работе [11], концентрация ^{222}Rn определена для 5 объектов, по 3 из которых установлено превышение.

Количественная оценка степени населенности районов НСО выражается плотностью населения. Техногенно нарушенные земли, которые были отнесены к землям с низкой плотностью насчитывают 84 шт. объекта, со средней – 24 и с высокой – 6.

Выводы. Разработаны критерии оценки, уровни ранжирования, которые используются при создании матрицы антропогенных объектов. Установлено, что для полной оценки состояния техногенно нарушенных земель необходимо дополнительно проводить лабораторные исследования, которые должны быть основаны на программах периодического мониторинга компонентов ОС.

Исследование показало, что согласно данным Государственного (национального) доклада о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2022 году в Новосибирской области площади нарушенных территорий не изменяются, при этом согласно данным статистической отчетности об информации о рекультивации земель за период с 2020 по 2023 гг. наблюдается рост нарушенных земель по России в целом, а также по НСО, что подтверждается ростом годовых объемов добычи твердых полезных ископаемых.

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств гранта РНФ № 23-27-10057 и гранта Новосибирской области р-60 «Разработка методики оценки состояния техногенно-нарушенных земель Новосибирской области и прогнозирование направлений их альтернативного использования».

RANKING OF TECHNOGENICALLY DISTURBED LANDS BASED ON AN ASSESSMENT OF THEIR CONDITION

A.V. Reznik, D.V. Semianova, K.E. Medvedeva

Chinakal Institute of Mining SB RAS, Novosibirsk, a-reznik@mail.ru

Summary: *The issue of the need to rank technogenically disturbed lands based on an assessment of their condition is considered. The importance of using geoinformation systems and spatial analysis methods for environmental monitoring and assessment of geocological load on the environment is emphasized. The ranking criteria are proposed, including the type of anthropogenic impact, the level of disturbance, the content of hazardous elements, etc. Research data on the Novosibirsk region are presented, confirming the need for regular monitoring and laboratory studies for effective restoration of disturbed territories.*

Keywords. *technogenically disturbed lands, ranking, criteria of disturbance, databases.*

Литература

1. Колесников А.А., Косарев Н.С. Мониторинг и анализ изменений техногенно-нарушенных территорий // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов (SDM-2023): сборник трудов всероссийской конференции с международным участием (22–25 августа 2023 г., г. Бердск). Новосибирск: ФИЦ ИВТ, 2023. С. 263–267.
2. Ужинский А. Интеллектуальная платформа экологического мониторинга // Открытые системы. СУБД. 2021. № 2. С.21–23.
3. Косарев Н.С., Колесников А.А., Резник А.В., Немова Н.А., Ожигин Д.С. Использование геопространственных данных для оценки состояния техногенно нарушенных земель // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2023. № 6. С.190–197.
4. Лисина Н.Л. Правовая природа рекультивации земель // Аграрное и земельное право. 2022. № 12 (216). С.84–86.
5. Резник А.В., Немова Н.А. К вопросу возврата техногенно-нарушенных земель на урбанизированных территориях в зоны рекреации // Проблемы горного дела: сборник научных трудов III Международного форума студентов, аспирантов и молодых ученых-горняков. Донецк, 2023. С. 44–50.
6. Острикова Е.Л. Тяжелые металлы в почвенном покрове г. Искитима // Вестник НГАУ. 2008. № 1. С.48–50.
7. Данные по почвам: Ежегодник. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2022 году. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун». 2023. 13 с.
8. Результаты мониторинга взвешенных частиц в атмосферном воздухе [Электронный ресурс] // URL: <https://sibgenco.online/news/element/rezultaty-proverki-vozdukh-i-pochvy-vozle-novosibirskikh-i-barabinskoy-tets/?ysclid=lum4wdaf0e596743533>
9. AccuWeather: Local, National, & Global Daily Weather Forecast [Электронный ресурс] // URL: <https://www.accuweather.com>.
10. Деркачев А.С., Новиков Д.А. Уран в природных водах Горловского угольного бассейна // ИнтерЭкспо ГЕО-Сибирь. 2023. Т. 2. С. 50–57.
11. Деркачев А.С., Максимова А.А., Новиков Д.А., Дульцев Ф.Ф., Сухорукова А.Ф., Черных А.В., Хвощевская А.А. Природа радиоактивности дренажных вод карьеров Новосибирской области // Горные науки и технологии. 2022. № 7(3). С. 216–230.

УДК 574.474:631.427.12

МОНИТОРИНГ БИОГЕОЦЕНОЗОВ НА РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ОТХОДАМИ УГЛЕБОГАЩЕНИЯ

И.С. Семина¹, С.В. Соловьев², В.А. Андроханов², В.Б. Костерев¹

¹ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», Новокузнецк, semina.i@mail.ru

²ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск

***Аннотация.** По результатам многолетних полевых обследований участков рекультивации с использованием отходов углебогащения с формированием верхнего слоя из потенциально плодородной породы и плодородного слоя почвы в сравнении с ненарушенным, фоновым участком, расположенным на близлежащей территории, выявлено, что в настоящее время интенсивно протекающие процессы восстановления растительного покрова на исследованных площадках свидетельствуют об эффективности проведенных рекультивационных работ.*

***Ключевые слова:** технозем, эмбриозем, фитоценоз, рекультивация, геоботаническое описание.*

Введение. Одним из основных стадий рекультивации техногенных ландшафтов является биологический этап, который позволяет в большей степени нивелировать негативное влияние техногенного загрязнения окружающей среды. Исследования по разработке методов восстановления таких территорий ведутся достаточно давно [1–3] и в ходе накопления практического материала значительная часть исследователей склоняется к комплексному подходу, который заключается в разработке индивидуальных проектов рекультивации с учетом множества факторов, в частности климата, рельефа, уровня плодородия, физических и агрохимических свойств пород и других [4]. Именно применение комплексного подхода позволяет сформировать на техногенных ландшафтах растительные сообщества, наиболее близкие по своему составу и свойствам (природоподобные) к естественным растительным сообществам прилегающих территорий. Однако, основополагающим фактором в этом процессе выступают эдафические условия для формирования первичного растительного покрова, в связи с чем изучение восстановления растительного покрова на рекультивированных участках с отходами углебогащения является весьма актуальным.

Целью данной работы является оценка современного уровня восстановления биогеоценозов на рекультивированных территориях с использованием отходов углебогащения.

Участки исследования находятся на территории г. Ленинска-Кузнецкого, в Кемеровской области – Кузбассе. Рекультивированные участки различаются возрастом после выполнения работ по восстановлению нарушенных ландшафтов и технологией формирования верхнего корнеобитаемого слоя.

Участок № 1 (точка 1) – участок сформирован на отходах углебогащения (без отсыпки потенциально плодородной породы (далее – ППП), плодородного слоя почвы (далее – ПСП) и проведения биологической рекультивации). В соответствии с классификацией почв техногенных ландшафтов название почвы – эмбриозем инициальный, возраст участка – 9 лет.

Участок № 2 (точка 2) – участок сформирован посредством нанесения на поверхность ППП, представленной супесями. В соответствии с классификацией почв техногенных ландшафтов название почвы – технозем литогенный, возраст участка более 4 лет.

Участок № 3 (точка 3) – участок сформирован посредством нанесения на поверхность смеси ППП (карбонатных суглинков) и ПСП. В соответствии с классификацией почв

техногенных ландшафтов название почвы – технозем недифференцированный гумусогенный, возраст участка – 9 лет.

Участок № 4 (точка 4) – участок сформирован посредством нанесения на поверхность, представленную техногенным элювием, ПСП с примесью ППП (карбонатных суглинков). В соответствии с классификацией почв техногенных ландшафтов название почвы – технозем недифференцированный гумусогенный, возраст участка – 9 лет.

Участок № 5 (точка 5) – участок сформирован посредством нанесения на поверхность ППП, представленных карбонатными суглинками с последующим перекрытием их ПСП. В соответствии с классификацией почв техногенных ландшафтов название почвы – технозем дифференцированный гумусогенный, возраст участка – более 10 лет.

В качестве контроля был выбран фоновый и ненарушенный участок. Следует отметить, что почвенный и растительный покров на фоновом участке имеет существенные различия от растений и почв на техногенных ландшафтах. Тем не менее, сравнение с почвенным и растительным покровом в естественных условиях показывает эффективность проведенной рекультивации. Все участки сформированы на выровненной, горизонтальной поверхности.

Для изучения свойств техногенных почв (эмбриоземов и техноземов) использовались стандартные лабораторные методы: содержание органического углерода на техногенных почвах определялось методом мокрого сжигания по Тюрину (ГОСТ 26213-91); физические свойства определялись общепринятыми методами (плотность сложения почвы определялась буром Качинского, пикнометрическим методом определялась плотность твердой фазы почвы), влажность почвы определялась термовесовым методом; гранулометрический состав отходов углеобогащения и молодых почв – методом лазерной дифракции на анализаторе размеров Mastersizer 2000; водный режим почв определялся общепринятыми методами, исследования по запасам полевой влажности проводились в течение двух лет (с июня по сентябрь 2020 г. и с мая по август 2021 г.) [5–8]. Обследования растительного покрова проведены путем геоботанических описаний на пяти пробных площадках размером 10×10 м [9], характеризующихся различными условиями. Помимо этого, с целью выявления степени восстановленности растительного покрова и сравнения фиторазнообразия растительности рекультивированных и естественных участков, было проведено обследование на относительно ненарушенном, фоновом участке, расположенном на близлежащей территории с зональными почвами – черноземами выщелоченными.

Результаты и обсуждение. По результатам проведенных исследований установлено, что на участках техноземов гумусогенных недифференцированных с отсыпкой ППП и ПСП, сформированных на отходах углеобогащения, точки 3 и 4, и участке технозема гумусогенного дифференцированного с послойным нанесением на поверхность отвала ППП и ПСП, точка 5, сформировался устойчивый растительный покров. Отмечается, что данные почвы имеют неярко выраженный почвенный профиль, однако постепенное проявление дернового и гумусово-аккумулятивного процессов в техноземах гумусогенных с отсыпкой ППП и ПСП (точки 3, 4 и 5), сформированных на отходах углеобогащения, формирует благоприятные гидротермические условия, приближенные к зональным почвам. Запасы доступной для растительного покрова в 40 см влаги за летний период, в среднем, составляют: технозем гумусогенный недифференцированный (точка 3) – 69 мм; технозем гумусогенный недифференцированный (точка 4) – 68,5 мм; технозем гумусогенный дифференцированный (точка 5) – 59,6 мм; зональная почва (чернозем выщелоченный) – 85 мм. Запасы органического вещества по профилю техноземов (гумусовый горизонт составляет не более 30 см, и фиксируется резкий переход по плотности к горизонту, сложенному отходами углеобогащения) соответствуют аккумулятивному характеру распределения органического вещества и варьируют от 4,51 до 8,41%, плотность сложения изменяется с глубиной по профилю от 1,20 до 2,10 г/см². Благоприятный гранулометрический состав способствует удержанию влаги, что обеспечивает благоприятный гидротермический режим для жизнедеятельности растений.

Установлено, что отличительной особенностью инициального эмбриозема (точка 1), образованного на отходах углеобогащения (без отсыпки потенциально плодородной породы и проведения биологического этапа рекультивации), является полное отсутствие макроморфологических признаков дифференциации почвенного профиля; тенденции к развитию почвообразовательного процесса не наблюдается. Это в первую очередь обусловлено каменистостью субстрата (в верхней части преобладает фракция мелкозема, с глубиной каменистость возрастает; увеличение каменистости, прежде всего, вызвано влиянием физического выветривания субстрата), низким содержанием фракции физической глины (от 16,68 до 20,91%). Содержание органического углерода высокое, как и во всех исследуемых техноземах (в горизонте D, сложенным отходами углеобогащения), и изменяется с глубиной от 16,3 до 26,5% – это обусловлено наличием углистых частиц. Выявлено, что, кроме негативных антропогенных факторов (высокая каменистость субстрата, низкое содержание фракции физической глины, щелочная реакция среды (рН 9,06 – 9,19), значительное содержание углистых частиц (петрографические исследования показали, что обломки чистого угля в инициальном эмбриоземе содержатся в количестве 10 – 15%, размер угольных частичек в породах от 0,01 до 0,3 мм, встречаются линзочки до 0,5 – 0,7 мм), влияющих на развитие растительного покрова и почвообразовательного процесса, дополнительной причиной угнетенного состояния растений является высокий ксероморфизм (тепловой режим и неблагоприятные водно-физические свойства отходов). Запасы доступной для растительного покрова влаги за летний период, в среднем, в слое 40 см, составляет всего 21,8 мм.

В связи с незначительной мощностью корнеобитаемого слоя из благоприятной породы (слой из ППП не более 25 см) в техноземе литогенном (точка 2) и слабым развитием растительного покрова дерновый процесс в настоящее время практически не развит. Содержание органического углерода по профилю изменяется с глубиной от 1,30 до 2,61%, плотность сложения варьирует по профилю от 1,24 до 2,10 г/см² в горизонте, сложенном отходами углеобогащения. В данном техноземе формируется дефицит запасов влаги в летний период из-за легкого гранулометрического состава ППП, в слое 40 см запасы составили всего 34 мм, что на 60% меньше контрольного варианта. Многочисленные исследования подтверждают, что технология отвалообразования с формированием корнеобитаемого слоя из благоприятной породы для биологического освоения (потенциально плодородная порода и плодородный слой почвы) способствует эффективному восстановлению растительного и почвенного покрова [10–15].

При обследовании растительного покрова методом геоботанических описаний участков рекультивации были отмечены следующие особенности.

Рекультивированный участок с отсыпкой легкого суглинка и супеси без посева трав, возрастом более 4 лет (геоботаническое описание № 2), в 2020 году характеризовался большим видовым разнообразием – 34 вида (преобладающая доля рудеральных видов, что характерно для начальных стадий зарастания), но при этом очень малым проективным покрытием – не более 15%. Доминантами выступали *Artemisia absinthium* и *Elytrigia repens*. Древесный ярус представлен одним экземпляром подроста *Ulmus pumila*. Однако при обследовании этого же участка в 2021 и 2022 годах было обнаружено, что видовое разнообразие постепенно снижается и варьирует в пределах от 23 до 27 видов, а по состоянию на 2022 год сократилось до 26 видов, при этом проективное покрытие увеличилось до 35%, и к доминантам прошлого года добавились *Artemisia vulgaris*, *Artemisia glauca* и *Medicago falcata*. Такое изменение в видовом разнообразии свидетельствует об интенсивно протекающих начальных этапах растительной сукцессии

Растительный покров на участке рекультивации (геоботаническое описание № 5) близ газовой станции, проведенной в 2011 году путем посева *Bromopsis inermis*, представлен 26 видами травянистых растений (незначительное увеличение количества видов по сравнению с 2020 годом – 18 видов), с проективным покрытием в 80–85%. Доминантами являются

Calamagrostis epigeios, *Dactylis glomerata*, *Poa stepposa* и *Bromopsis inermis*. Напочвенный ярус также представлен мхами с проективным покрытием не более 10%. На территории обследованного участка отмечается значительное количество нор грызунов.

На двух участках бывшего Грамотеинского разреза в 2013 году биологический этап рекультивации проводился двумя методами. Первый способ – посредством посевов *Bromopsis inermis* и *Medicago sativa* (геоботаническое описание № 4), второй – посадки *Hippophae rhamnoides* и *Pinus sylvestris* (геоботаническое описание № 3). В первом случае проективное покрытие равно 90%, а видовое разнообразие составляет 24 вида, доминантами выступают *Bromopsis inermis*, *Elytrigia repens* и *Poa stepposa*, а *Medicago sativa* не была нами отмечена на участке. Во втором – проективное покрытие равно 90% с видовым разнообразием в 21 вид, среди которого в травянистом ярусе доминирует *Calamagrostis epigeios*, а среди древесного и кустарникового яруса – *Hippophae rhamnoides*. Среди древесного яруса высаженная ранее *Pinus sylvestris* с течением времени сохранила свое присутствие, а также появились *Betula pendula*, *Populus tremula* и *Acer negundo*. Помимо прочего, на этих двух участках отмечается напочвенный ярус, представленный мхами и составляющий до 10% проективного покрытия, также на участках установлена значительная активность животного мира, в частности, в первом случае (преобладание травянистого яруса) обнаруживается значительное количество нор грызунов, во втором (преобладание древесного яруса) – большое количество муравейников.

В том же 2013 году был образован участок (геоботаническое описание № 1), на котором биологический этап рекультивации не проводился, а была произведена только отсыпка породы. В период 2020–2022 гг. на данном участке наблюдается незначительное увеличение видового разнообразия – с 20 до 23 видов с проективным покрытием не более 7%. Древесный и кустарниковый ярусы представлены несколькими экземплярами *Acer negundo*, *Pinus sylvestris*, *Populus nigra* (в 2022 году не был встречен) и *Hippophae rhamnoides*, а в травянистом ярусе – разнотравье рудеральных видов. Необходимо подчеркнуть тот факт, что все представленные на данном участке растения находятся в угнетенном состоянии.

Контрольной площадкой (остепненный луг) был выбран участок близ исследуемой территории (геоботаническое описание № 6), растительный покров которой представлен травянистым ярусом. Проективное покрытие равно 95%, а видовое разнообразие насчитывает 33 вида. Доминантами выступают *Artemisia glauca*, *Phlomoides tuberosa*, *Filipendula vulgaris* и др. На участке также отмечена деятельность животного мира, в частности несколько муравейников.

Таким образом, на исследованных участках в общей сложности, по состоянию на 2022 год, отмечено 77 видов сосудистых растений, значительная часть которых является рудеральными видами.

Для сравнения флористических списков исследованных участков был использован коэффициент сходства Жаккара. После расчета значений коэффициента Жаккара была получена симметричная матрица сходства, в которой отражены коэффициенты сходства для каждой пары сравниваемых участков. На основе полученной матрицы с использованием программы Statistica 6 for Windows был построен дендрит сходства исследованных участков. Расчет коэффициентов сходства Жаккара по видовому составу растительного покрова показал, что исследуемые сообщества разделились на два основных кластера (рис. 1).

Первый кластер объединяет группу участков с №№ 1 и 2 (эмбриозем инициальный и технозем литогенный, соответственно), коэффициент сходства которых равен 0,32. На участке № 1 рекультивационные работы не проводились, а субстрат представлен эмбриозёмом инициальным, а на участке № 2 рекультивационные работы представлены только техническим этапом рекультивации – отсыпка супесей без посева трав или высадки древесных растений (возрастом 4–7 лет).

Таким образом, в данном кластере объединяются участки с начальной стадией сукцессии, то есть наблюдается постепенное увеличение видового разнообразия (с

некоторыми колебаниями год от года) со значительным преобладанием рудеральных видов. Кроме того, данные участки характеризуются наименьшим проективным покрытием – не более 25%, а также по надземной продуктивности травянистого яруса, суммарно, характеризуются наименьшими показателями, что может объясняться недостатком (или недоступностью) элементов питания, как органических, так и неорганических (рисунок 1). Среди наблюдаемых участков, на данных площадках фиксируются высокие значения среднегодовых и максимальных температур, что могло бы способствовать развитию микробиологической активности. Однако, лимитирующим фактором для развития всех этих процессов является недостаточная влагоемкость данных почв. Как показали наблюдения, уровень влагозапасов в вегетационный период, на глубине 0–20 см, находится в нижней части интервала ВРК – ВЗ, а в середине июля опускается ниже уровня ВЗ. В слое 20–30 см влагозапасы еще меньше и за весь вегетационный период находятся в недоступной для растений форме.

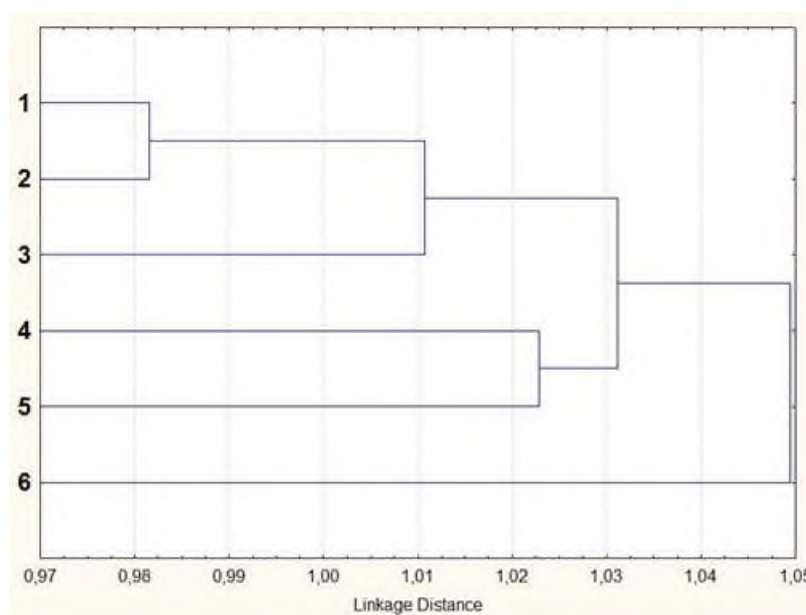


Рисунок 1. Сходство исследованных участков по видовому составу растительности по рассчитанным значениям коэффициента Жаккара (с 1 по 6 – номера площадок, на которых выполнены геоботанические описания).

Второй кластер представлен участками №№ 4 и 5 (технозем гумусогенный недифференцированный и технозем гумусогенный дифференцированный, соответственно), коэффициент сходства которых равен 0,28. Данные участки характеризуются одним типом биологической рекультивации – посев многолетних трав, которая проводилась на площадке № 4 в 2013 году, а на площадке № 5 в 2011 году (рис. 1).

Промежуточное положение между двумя этими кластерами занимает участок № 3 (технозем гумусогенный недифференцированный), характеризующийся биологическим этапом рекультивации в виде посадки древесных и кустарниковых растений. По всей видимости, именно этот фактор сближает данный участок с участком № 1 (эмбриозем инициальный), коэффициент сходства 0,29, так как на нем также широко представлены древесные и кустарниковые растения, однако проективное покрытие и жизненность данных экземпляров очень низкая.

Таким образом, последние три участка характеризуются интенсивно протекающими в них процессами восстановления растительного покрова, то есть наблюдается постепенное увеличение доли аборигенных видов по отношению к рудеральным видам, а также постепенное увеличение видового разнообразия. Кроме того, данные участки по структуре

надземной фитомассы характеризуются преобладанием мортмассы над зелёной фитомассой, что свидетельствует о формировании дернового горизонта.

Помимо прочего, индикаторами постепенного восстановления растительного сообщества служат множественные следы пребывания на этих участках животных – обилие нор грызунов и наличие муравейников, чего не наблюдается на площадках, которые проходят начальные стадии зарастания.

Необходимо отметить, что контрольный участок с естественной растительностью и ненарушенным почвенным покровом (№ 6) тяготеет именно к этой группе (в частности, к участкам № 4 и № 5) с максимальными коэффициентами сходства, равными 0,27 и 0,26.

В заключении можно отметить, что проведенное обследование растительности рекультивированных участков с формированием верхнего слоя из потенциально плодородной породы и плодородного слоя почвы с использованием отходов углеобогащения показало, что в настоящее время интенсивно протекающие процессы восстановления растительного покрова на исследованных площадках свидетельствуют об эффективности проведенных рекультивационных работ.

Отсыпка этих материалов на спланированную поверхность отходов углеобогащения позволяет достаточно быстро сформировать устойчивый растительный покров.

MONITORING OF BIOGEOCENOSES ON TERRITORIES RECLAIMED WITH COAL BENEFICIATION WASTES

I.S. Semina¹, S.V. Solovlev², V.A. Androkhanov², V.B. Kosterev¹

¹Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, semina.i@mail.ru

²Institute of Soil Science and Agrochemistry Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk

Summary: *Based on the results of long-term field surveys of reclamation sites using coal beneficiation waste with the formation of the top layer of potentially fertile rock and a fertile soil layer in comparison with an undisturbed, background site located in the nearby territory, it was revealed that currently intensively running processes of vegetation cover restoration at the sites studied indicate the effectiveness of the reclamation work carried out.*

Keywords: *technosoil, embryozems, phytocenosis, reclamation, geobotanical description.*

Литература

1. Knabe W. Methode and resultat of strip-mine reclamation in Germany // The Ohio Journal of Science. 1964. Vol. 64. № 2. P. 75–82.
2. Андроханов В.А., Курачев В.Н. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск, 2010. 224 с.
3. Васильев С.Б., Родин А.Р. Теоретические и практические аспекты рекультивации техногенных ландшафтов // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2016. Т. 20. № 1. С. 118–122.
4. Soloviev S., Androkhanov V., Semina I., Shipilova A. Restoration of vegetation cover in reclaimed areas with coal preparation waste in Kuzbass // E3S Web of Conferences. 22. "22nd International Scientific Conference on Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies, EMMFT 2020". 2021. DOI: [10.1051/e3sconf/202124401015](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124401015).
5. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: Высшая школа, 1973. 400 с.
6. Агрохимические методы исследования почв. / под ред. А.В. Соколова. М.: Наука, 1975. 656 с.

2. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. Москва: Изд-во АН ССР, 1985. 192 с.
3. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Ленинград: Гидрометеиздат, 1965. Т. 1. 663 с.
4. Худогонова Е.Г. Геоботаника: фитоценология, география растений. Учебное пособие к лекционным, лабораторно-практическим и самостоятельным занятиям для бакалавров. Иркутск : Молодежный, 2020. 123 с.
5. Андроханов В.А. Опыт комплексной рекультивации техногенных ландшафтов в лесостепной зоне Сибири // В сборнике: Мониторинг, охрана и восстановление почвенных экосистем в условиях антропогенной нагрузки. Материалы Международной молодежной научной школы. Ростов-на-Дону; Таганрог, 2022. С. 303–308.
6. Андроханов В.А., Госсен И.Н., Уфимцев В.Н. Итоги рекультивации на Назаровском угольном разрезе // В сборнике: Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель. Материалы XI Всероссийской научной конференции с международным участием. Сатка, Челябинская обл., 2022. С. 16–19.
7. Богуславский А.Е. Андроханов В.А., Колмагорова Ю.О. и др. Геохимический фон тяжелых металлов в почвах и растениях на участках отвалов угольных месторождений // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2021. № 2 (61). С. 40–50.
8. Гаджиев И.М., Курачев В.М. Генетические и экологические аспекты исследования и классификации почв техногенных ландшафтов // Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1992. С. 6–15.
9. Андроханов В.А., Госсен И.Н., Соколов Д.А. Опыт проведения рекультивационных работ по различным направлениям в Кузбассе // В сборнике: Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем. Материалы V Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ и Дню Байкала. Иркутск, 2021. С. 12–17.
10. Андроханов В.А., Соколова Н.А. Почвенно-экологическое состояние поверхности отвалов Антрацитовых месторождений (на примере Горловского антрацитового месторождения, Новосибирская область) // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 5. С. 31–36.

УДК 574.474:631.427.12

УЧЕТ ВИДОВОГО СОСТАВА РАСТЕНИЙ НА МОНИТОРИНГОВЫХ (ПРОБНЫХ) ПЛОЩАДКАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА (ПЕРВЫЙ ГОД СОЗДАНИЯ ПОЛИГОНА)

И.С. Семина¹, С.В. Соловьев², Е.А. Бобренок³

⁵ Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, semina.i@mail.ru

⁶ Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск

⁷ ООО «Распадская угольная компания»

***Аннотация.** Данная статья содержит данные об экологическом полигоне угольного разреза «Распадский». Дается оценка видового состава растений на мониторинговых (пробных) площадках. Приведены результаты мониторинговых исследований в 2024 году. Наблюдаются начальные стадии сукцессии, характеризующиеся увеличением проективного покрытия и видового разнообразия растений.*

***Ключевые слова:** экологический полигон, растения, рекультивация нарушенных земель.*

Актуальность. В результате деятельности горнодобывающих предприятий образуются техногенные объекты из вскрышных и вмещающих пород, которые так или иначе оказывают влияние на состоянии окружающей среды [1–3]. Возвращение техногенных объектов в хозяйственно-промышленный оборот осуществляется путем рекультивации нарушенных земель. С целью выбора наилучшей технологии рекультивации для конкретных природно-климатических условий необходимо проводить мониторинговые исследования по оценке почвенно-экологического состояния растительности и почвенного покрова молодых почв на объектах после проведения рекультивационных работ.

Известно, что перспективы восстановления растительного и почвенного покрова в условиях техногенных объектов определяются их почвенно-экологическим состоянием и напрямую зависит от потенциала исходного субстрата. Все эти факторы оказывают существенное влияние на формирование почвенно-экологических функций, которые ответственные за накопление элементов питания, формирование гидротермического режима молодых почв. Рациональное использование литогенных ресурсов рекультивации (плодородный слой почвы, суглинки и глины) для создания верхнего, корнеобитаемого слоя на отвалах позволит ускоренно восстанавливать естественные лесные экосистемы, увеличивать видовой состав растительности. Поэтому научно-исследовательский проект по созданию экологического полигона на угольном разрезе «Распадский» для отработки технологий рекультивации нарушенных земель и оценке перспектив поглощения углерода молодыми почвами и растениями является актуальной задачей.

Цели проекта:

1. Разработка уникальной, экологически-эффективной технологии восстановления нарушенных земель для природно-климатических условий разреза «Распадский», увеличение видового разнообразия.
2. Получение актуальных данных о поглощении углерода из атмосферы техногенными почвами и растениями.
3. Разработка рекомендаций по комплексному использованию окисленных углей для подготовки почвогрунтов применяемых при рекультивации нарушенных земель.
4. Развитие экокультуры.

Объект и методы исследования: объект исследования – растения на мониторинговых (пробных) площадках экологического полигона. Обследования растительного покрова проведены путем геоботанических описаний.

В 2023 году на внешнем отвале «Южный» создан научно-образовательный экологический полигон (далее – полигон) по отработке технологий рекультивации нарушенных земель и оценке перспектив поглощения углерода из атмосферы техногенными почвами и растениями (рис. 1). На полигоне заложено 10 экспериментальных участков (участки размером 50×50 метров). Корнеобитаемый слой сформирован из суглинков, глин и супесей с дресвой коренных пород и галькой, а также смесь из суглинков и плодородного слоя почвы. Мощность корнеобитаемого слоя варьирует от 1 до 1,5 м. Корнеобитаемый слой участка № 10 представлен техногенным элювием из смеси песчаников, алевролитов и аргиллитов.



Рисунок 1. Фото научно-образовательного экологического полигона.

С целью дальнейшего наблюдения за изменением состояния молодых почв (техноземов) и растительного покрова и учета объемов поглощения углерода из атмосферы молодыми почвами и пулом биомассы, на каждом экспериментальном участке были размещены мониторинговые (пробные) площадки в трехкратной повторности (размером 10×10 метров).

В 2023 году, в летний период на мониторинговых (пробных) площадках проведен учет видового состава лесных насаждений, численности экземпляров и их высота.

Отмечено, что на участке № 1, помимо высаженных растений (лиственница сибирская (*Larix sibirica*) и ель обыкновенная (*Picea abies*)), зафиксировано присутствие единичных или спорадично произрастающих экземпляров таких растений как марь красная (*Chenopodium rubrum*), подорожник большой (*Plantago major*), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*) (рис. 2) [6].



Рисунок 2. Фото участка № 1 с насаждениями лиственницы и ели.

На участке № 2, за исключением высаженных растений (ель обыкновенная (*Picea abies*) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*)), отмечено присутствие единичных или спорадично произрастающих экземпляров таких растений как марь красная (*Chenopodium rubrum*), Melissa лекарственная (*Melissa officinalis*), подорожник большой (*Plantago major*), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*) [6].

На участке № 3 были высажены растения (липа сердцевидная (*Tilia cordata*), пихта сибирская (*Abies sibirica*), сосна сибирская (*Pinus sibirica*)). В июле месяце было зафиксировано присутствие единичных или спорадично произрастающих экземпляров таких растений как марь красная (*Chenopodium rubrum*), Melissa лекарственная (*Melissa officinalis*), подорожник большой (*Plantago major*), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*), яблоня ягодная (*Malus baccata*), крапива жгучая (*Urtica urens*), клевер ползучий (*Trifolium repens*), бодяк обыкновенный (*Cirsium vulgare*), мятлик однолетний (*Poa annua*), тополь черный (*Populus nigrum*), малина обыкновенная (*Rubus idaeus*) [6].

На участках № 4 (липа сердцевидная (*Tilia cordata*), рябина сибирская (*Sorbus sibirica*), осина обыкновенная (*Populus tremula*)), № 5 (липа сердцевидная (*Tilia cordata*), рябина сибирская (*Sorbus sibirica*), спирея средняя (*Spiraea media*) (рис. 3), черемуха обыкновенная (*Radus avium*), калина обыкновенная (*Viburnum opulus*)), также было зафиксировано присутствие единичных или спорадично произрастающих экземпляров, схожих с видами на участке № 3 (рис. 2).



Рисунок 3. Фото участка № 5 с насаждениями липы, рябины, осина, спиреи, черемухи и калины.

На участке № 6 были высажены растениями (ель обыкновенная (*Picea abies*), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), пихта сибирская (*Abies sibirica*)). В результате учета видового состава было отмечено присутствие единичных или спорадично произрастающих экземпляров таких растений как одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), кочедыжник женский (*Athyrium filix-femina*), маршанция многообразная (*Marchantia polymorpha*), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*), мятлик однолетний (*Poa annua*), житняк гребенчатый (*Agropyron cristatum*) (рис. 4) [6].



Рисунок 4. Фото участка № 6 с насаждениями ели, сосны и пихты.

Помимо высаженных растений (сосна сибирская (*Pinus sibirica*), пихта сибирская (*Abies sibirica*), лиственница сибирская (*Larix sibirica*)) на участках № 7 и № 8 (сосна сибирская (*Pinus sibirica*), рябина сибирская (*Sorbus sibirica*), ель обыкновенная (*Picea abies*), карагана древовидная (*Caragana arborescens*), черемуха обыкновенная (*Padus avium*), калина обыкновенная (*Viburnum opulus*)) было зафиксировано присутствие единичных или спорадично произрастающих экземпляров таких растений как маршанция многообразная (*Marchantia polymorpha*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*), бодяк съедобный (*Cirsium esculentum*), марь красная (*Chenopodium rubrum*), мятлик однолетний (*Poa annua*), пастушья сумка обыкновенная (*Capsella bursa-pastoris*), лапчатка распростертая (*Potentilla humifusa*) и житняк гребенчатый (*Agropyron cristatum*). Необходимо отметить, что в лужах, присутствующих на участке, формируются скопления цианобактерий.

На участке № 9 (сосна сибирская (*Pinus sibirica*), рябина сибирская (*Sorbus sibirica*), ель обыкновенная (*Picea abies*), карагана древовидная (*Caragana arborescens*), черемуха обыкновенная (*Padus avium*), калина обыкновенная (*Viburnum opulus*) и осина обыкновенная (*Populus tremula*)) было зафиксировано присутствие единичных или спорадично произрастающих экземпляров таких растений как марь красная (*Chenopodium rubrum*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*). Верхний, корнеобитаемый слой участка сформирован из смеси суглинков и плодородного слоя почвы. Следует отметить, что на данном участке встречаются растения, привнесенные с плодородным слоем почвы, т.е. произрастающие от вегетативных частей (корневища, стволы и пр.) – кочедыжник женский (*Athyrium filix-femina*), вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*), лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria*), черемуха обыкновенная (*Padus avium*) (рис. 5, 6).



Рисунок 5. Фото участка № 9 с насаждениями березы, кедра, рябины, караганы.



Рисунок 6. Кочедыжник женский (*Athyrium filix-femina*) произрастающий от многолетнего корневища, привезенного с грунтом.

На участке № 10 (сосна сибирская (*Pinus sibirica*), ель обыкновенная (*Picea abies*), Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*)) верхний, корнеобитаемый слой представлен техногенным элювием (рис. 7). В июле месяце, за исключением высаженных растений, было зафиксировано присутствие только одного вида растения в единичном экземпляре – одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*) [6].



Рисунок 7. Фото участка № 10 с насаждениями кедра, ели и сосны.

Результаты мониторинговых исследований в 2024 году показали, что помимо высаженных древесных и кустарниковых видов растений, за первый год после проведения рекультивационных работ, на большинстве участков отмечается активная стадия восстановления растительного покрова, исключение составляет участок № 10 (техногенный элювий, проективное покрытие менее 1%). Проективное покрытие травянистыми растениями сменилось с <1% в 2023 году до 10–30% в 2024 году. В видовом разнообразии также отмечаются значительные изменения, в 2023 году видовое разнообразие варьировало от 3 до 11 видов, а в 2024 году от 22 до 38 видов растений. Приживаемость древесных и кустарниковых видов растений на полигоне составила более 90%.

Таким образом, можно сказать, что наблюдаются начальные стадии сукцессии, характеризующиеся увеличением проективного покрытия и видового разнообразия растений, особенно за счёт преобладания рудеральных видов, что в свою очередь является весьма закономерным.

ACCOUNTING FOR THE SPECIES COMPOSITION OF PLANTS ON MONITORING (TRIAL) SITES OF THE ECOLOGICAL LANDFILL (THE FIRST YEAR OF THE LANDFILL'S CREATION)

Semina I.S.¹, Solovyov S.V.², Bobrenok E.A.³

¹Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, semina.i@mail.ru

²Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk

³Raspadskaya Coal Company

Summary: This article contains data on the ecological landfill of the Rospadsky coal mine. The assessment of the species composition of plants at monitoring (trial) sites is given. The results of monitoring studies in 2024 are presented. The initial stages of succession are observed, characterized by an increase in the projective coverage and species diversity of plants.

Keywords: *ecological landfill, plants, reclamation of disturbed lands.*

Литература

1. Assessment, restoration and reclamation of mining influenced soils. London, San Diego, Cambridge, Academic Press – Elsevier, 2017. P. 1–32.

2. Frouz J. Soil recovery and reclamation of mined lands. Soils and landscapes restoration. Cambridge: Academic Press – Elsevier, 2021. P. 161–191. DOI: 10.1016/C2016-0-04571-0
3. Гуркова Е.А., Андроханов В.А., Соколов Д.А. Рекультивационный потенциал ландшафтов республики Тувы, нарушенных добычей полезных ископаемых // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 8. С. 40–47. DOI: 10.18412/1816-0395-2022-8-40-47
4. Knabe W. Methode and resultat of strip-mine reclamation in Germany // The Ohio Journal of Science. 1964. Vol. 64. № 2. P. 75–82.
5. Soloviev S., Androkhanov V., Semina I., Shipilova A. Restoration of vegetation cover in reclaimed areas with coal preparation waste in Kuzbass // E3S Web of Conferences. 22. «22nd International Scientific Conference on Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies, EMMFT 2020». 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202124401015.
6. Худоногова Е.Г. Геоботаника: фитоценология, география растений : учебное пособие к лекционным, лабораторно-практическим и самостоятельным занятиям для бакалавров. Иркутск: Молодежный, 2020. 123 с.

УДК 631.618.

ЗАПАСЫ И СООТНОШЕНИЕ ПУЛОВ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ОТВАЛОВ ОТХОДОВ ДОБЫЧИ АНТРАЦИТОВЫХ УГЛЕЙ

Д.А. Соколов

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, sokolovdenis@issa-siberia.ru

***Аннотация.** Проведена оценка и определено соотношение запасов углерода по пулам в эмбриоземах техногенных ландшафтов отвалов Горловского антрацитового месторождения. Выявлено, что основная часть запасов в углесодержащих почвах приходится на литогенный (Слит) и углерод крупных обломков угля (Суг). В почвах, сформированных на безугольных почвообразующих породах или породах с низким содержанием угля, в структуре запасов преобладает углерод неспецифического органического вещества (Снесп). Максимальная скорость накопления углерода в эмбриоземах отмечается на участках, отсыпанных безугольными рыхлыми осадочными породами. Наличие угля в почвообразующих породах замедляет скорость развития почв и, тем самым, снижает их углероддепонирующую способность.*

***Ключевые слова:** органический углерод почвы, почвенные пулы углерода, техногенные ландшафты, секвестрация углерода, эмбриоземы.*

Отвалы отходов добычи угля в большинстве случаев представляют собой рукотворные невысокие горы, сложенные плотными и рыхлыми осадочными породами [1]. Их состав неоднороден и определяется рядом факторов, зависящих от вида угля, способов его извлечения и последующего размещения отходов добычи, а также особенностей проведения рекультивации. На поверхности извлеченные из иной геохимической обстановки углесодержащие породы претерпевают изменения под влиянием абиотических процессов. Одним из наиболее ярких проявлений таких процессов является горение отвалов. Однако помимо пирогенного преобразования, трансформация пород на поверхности может сопровождаться также высвобождением органических веществ, способных к миграции [2], а также климатически активных газов [3]. Последний аспект в настоящее время особо актуален, поскольку отвалы угольных разрезов могут выступать не только как источники парниковых газов, но и обладают высоким потенциалом к долгосрочному связыванию углерода при реализации высокоэффективных технологий рекультивации [4]. В связи с этим и учитывая то, что площадь нарушенных угледобычей территорий в отдельных регионах составляет сотни тысяч гектар и продолжает увеличиваться, исследования отвалов угольных месторождений необходимы для разработки мер по достижению углеродной нейтральности.

В цели исследований входила оценка содержания углерода, его запасов и структуры запасов по пулам в почвах отвалов отходов добычи антрацитовых углей.

В качестве объектов исследований были выбраны почвы нескольких участков внешних автомобильных отвалов Горловского антрацитового месторождения. Участки были подобраны с тем расчетом, чтобы максимально охватить разнообразие условий аккумуляции и трансформации органического вещества в почвах. Они дифференцированы в зависимости от рельефа и возраста поверхности, состава почвообразующих пород и растительных сообществ. На поверхности исследуемых отвалов присутствуют три типа почв – инициальные, органо-аккумулятивные и дерновые эмбриоземы, для каждого из которых характерен определенный тип аккумуляции и/или трансформации органического вещества. Отбор проб почв проводился из верхних 20-ти сантиметров почв по глубинам 0–5, 5–10 и 10–20 см.

Содержание углерода определялось в мелкоземе и в скелетной части почв. На долю последней приходится до 70% и более от общей массы эмбриоземов. При этом содержание углерода крупнозема устанавливали по массе углистых частиц с использованием коэффициента 0.9. Кроме того, в скелетной части почв по гравиметрическому методу [5] определяли содержание карбонатов. Углерод корней оценивался по их массе с применением коэффициента 0.45 в соответствии с методикой [6]. Содержание общего углерода мелкозема устанавливали при помощи CHN-анализатора Perkin Elmer 2400 Series II.

Вклад каждого пула в общее содержание углерода в мелкоземе оценивали с использованием традиционных для почвоведения методов определения органического вещества. Содержание углерода определяли посредством окисления навески бихроматом калия в 50%-ном растворе серной кислоты при 150 °С [7]. Содержание карбонатов в мелкоземе устанавливали манометрическим методом [5]. Также навески проб мелкозема сжигали в муфельной печи при температуре 525°С согласно [8]. Предварительно все навески растирали до состояния пудры.

Используемый подход позволяет фракционировать органическое вещество почв не только по степени устойчивости к окислению, но и, с определенными допущениями, по происхождению. Так, органическое вещество, не окисляемое при температуре 525°С, содержит литогенный (геогенный) углерод (Слит), представленный включениями антрацита [9, 10]. Органический углерод, определяемый путем окисления навески бихроматом калия (метод Тюрина), с определенными условностями можно отнести к педогенному (Спед).

Еще один пул углерода исследуемых почв включает в себя углерод неспецифического органического вещества (Снесп). Оно представлено как веществами биогенного происхождения – мелкими корнями, почвенными живыми организмами и продуктами их жизнедеятельности, так и соединениями литогенной и хемогенной природы, которые не окисляются в растворе бихромата калия, но сгорают в муфельной печи при температуре 525°С.

Таким образом общее содержание углерода эмбриоземов (Собщ) складывается из углерода следующих пулов:

$$\text{Собщ} = \text{Суг} + \text{Сскор} + \text{Снеорг} + \text{Спед} + \text{Слит} + \text{Снесп};$$

где:

Суг – углерод включений угля крупнозема;

Сскор – углерод крупных корней (> 1 мм);

Снеорг – суммарный углерод карбонатов мелкозема и скелетной части почв;

Спед – углерод, окисляемый в растворе бихромата калия при 150°С (по методу Тюрина);

Слит – углерод литогенного органического вещества, определяемый по разнице значений, полученных на CHN-анализаторе и сжигании при 525°С;

Снесп – углерод неспецифического органического вещества, определяемый по разнице значений, полученных при сжигании при 525°С и окисляемого в растворе бихромата калия при 150°С.

Запасы углерода рассчитывали по формуле:

$$\text{Сзап} = \text{Собщ} \times \text{Н} \times \text{Р}, \text{ где:}$$

Сзап – запасы углерода в т/га;

Собщ – общее содержание углерода в исследуемом слое эмбриоземов, %;

Н – мощность исследуемого слоя, см;

Р – плотность исследуемого слоя, г/см³.

Проведенные исследования показали, что почвы техногенных ландшафтов отвалов угольных месторождений характеризуются повышенным содержанием и запасами углерода (см. рис.). В структуре запасов основная часть углерода приходится на угли крупнообломочной части почв (Суг). По мере выветривания каменистых отдельностей, а также почвообразования доля углерода крупнообломочных фракций уступает пулам

литогенного (Слит) и менее устойчивого к окислению углерода неспецифического (Снесп) педогенного (Спед) органического вещества мелкозема. Более активно этот процесс протекает на горизонтальных спланированных участках и усиливается в эволюционном ряду почв. В эмбриоземах, сформированных в схожих условиях на старых участках, снижение запасов углерода включений угля и повышение запасов углерода неспецифического органического вещества наблюдается в ряду: инициальные (ЭИс) < органо-аккумулятивные (ЭОАт) < дерновые эмбриоземы (ЭДп). При этом общие запасы углерода в эволюционном ряду почв снижаются вдвое. Отмеченное может свидетельствовать о двух явлениях, сказывающихся на балансе углерода в почвах. С одной стороны, о том, что в процессе выветривания угля вместе со снижением его устойчивости к окислению происходит потеря углерода почвами. Потери углерода могут протекать в результате как эмиссии углекислого газа и/или метана, так и миграции органических продуктов деуглефикации [11]. С другой стороны, в результате биологических и почвенных процессов происходит накопление углерода, менее устойчивого к окислению. В результате в дерновых эмбриоземах суммарные запасы Спед и Снесп превосходят Суг и Слит. При этом, поскольку участки ЭИс, ЭОАт и ЭДп представлены спланированными поверхностями с хаотичным составом плотных осадочных пород, можно отметить, что развитие почв и, как следствие, накопление в них Спед и Снесп наиболее активно происходит на субстратах с исходно меньшим содержанием углистых включений. Другим важным фактором, обеспечивающим секвестрацию углерода дерновыми эмбриоземами техногенных ландшафтов, является более высокое содержание физической глины (частиц < 0,01 мм), обеспечивающей стабилизацию органических соединений педогенного происхождения [12], свидетельством чему также служат запасы углерода в дерновых эмбриоземах (ЭДр), сформированных на породах, представленных глинами. Почвы участков, отсыпанных безугольными рыхлыми осадочными породами, характеризуются максимальным потенциалом секвестрации углерода почвами. Запасы углерода здесь в среднем составляют 200 т/га. Учитывая возраст почв, а также то, что в почвообразующих породах запасы общего углерода не превышают 10 т/га, можно отметить, что за первые 20 лет скорость секвестрации углерода отвалами отсыпанными рыхлыми породами в условиях лесостепи составляет от 7 до 11 т/га.

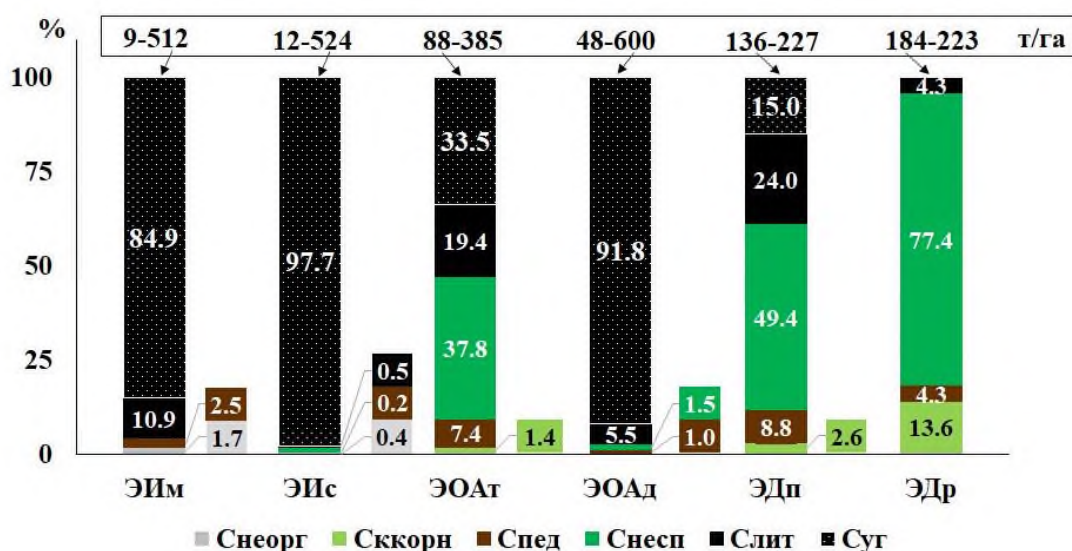


Рисунок. Соотношение запасов углерода по пулам в эмбриоземах отвалов Горловского месторождения антрацитов. Условные обозначения: ЭИм – эмбриозем инициальный молодой (до 10 лет) участок; ЭИс – эмбриозем инициальный старый (более 30 лет) участок; ЭОАт – эмбриозем органо-аккумулятивный под травянистой растительностью; ЭОАд – эмбриозем органо-аккумулятивный под лесной растительностью; ЭДп – эмбриозем дерновый на плотных породах; ЭДр – эмбриозем дерновый на рыхлых породах.

Таким образом, проведенные исследования показали, что запасы в верхнем 20-сантиметровом слое почв отвалов Горловского антрацитового месторождения варьируют в широких пределах (от 9 до 600 т/га) и определяются как наличием угля в почвообразующих породах, так и стадией развития почв. Основная часть запасов углерода в эмбриоземах отвалов приходится на литогенный (Слит) и углерод крупных обломков угля (Суг) на участках отсыпки углесодержащих пород. На участках отсыпки безугольных пород большая часть запасов приходится на углерод биогенного происхождения; при этом неспецифического органического вещества (Снесп) > педогенных веществ (Спед) > крупных корней (Сккорн). В процессе эволюции почв соотношение пулов углерода изменяется и сопровождается снижением доли Суг и Слит и увеличением запасов Снесп, Спед и Сккорн. Наиболее активно изменение соотношения пулов углерода в эмбриоземах происходит на горизонтальных спланированных участках. Максимальная скорость секвестрации углерода почвами происходит на участках, отсыпанных рыхлыми осадочными породами, где она в первые 20 лет достигает 7-11 т/га в год. Полученные данные позволяют сделать вывод, что наличие угля в почвообразующих породах замедляет скорость развития почв и, тем самым, снижает их углероддепонирующую способность.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-24-00116).

CARBON STOCKS AND RATIO OF POOLS IN SOILS OF ANTHRACITE DEPOSIT DUMPS

D.A. Sokolov

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, sokolovdenis@issa-siberia.ru

Summary: *The carbon reserves were estimated and their ratios were determined by pools in Technosols of technogenic landscapes of the Gorlovskoye anthracite deposit dumps. It was found that the bulk of reserves in coal-containing soils are lithogenic (Clit) and carbon of large coal fragments (Ccoal). In soils formed on coal-free parent rocks or rocks with a low coal content, the carbon of non-specific organic matter (Cnonsp) predominates in the structure of reserves. The maximum rate of carbon accumulation in Technosols is noted in areas filled with coal-free loose sedimentary rocks. The presence of coal in parent rocks slows down the rate of soil development and, thus, reduces their carbon-depositing capacity.*

Keywords: *soil organic carbon, soil carbon pools, technogenic landscapes, carbon sequestration, Technosol.*

Литература

1. Андроханов В.А., Курачев В.М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-ния РАН, 2010. 221 с.
2. Соколов Д.А. Окислительно-восстановительные процессы в почвах техногенных ландшафтов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2009. 17 с.
3. Трефилова О.В., Оскорбин П.А. Биологическая активность почвогрунтов отвалов угольных разрезов восточной части Канско-Ачинского бассейна // Почвоведение. 2014. № 2. С. 210–216.
4. Sokolov D.A., Androkhonov V.A., Abakumov E.V. Soil formation in technogenic landscapes: trends, results, and representation in the current classifications (Review) // Tomsk State University Journal of Biology. 2021. № 56. P. 6–32.

5. ГОСТ 34467-2018. Грунты. Методы лабораторного определения содержания карбонатов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200163879>
6. Приказ Минприроды России от 27.05.2022 №371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов». URL: <https://docs.cntd.ru/document/350962750>
7. ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200180714>
8. ГОСТ 11306-2013. Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200107610>
9. Maharaj S., Barton C.D., Karatkanasis T.A.D., Rowe H.D., Rimmer S.M. Distinguishing “new” from “old” organic carbon on reclaimed coal mine sites using thermogravimetry: I. Method development // *Soil Science*. 2007. 172 (4). P. 292–301.
10. Ussiri D.A.N., Jacinthe P-A., and Lal R. Methods for determination of coal carbon in reclaimed minesoils: A review // *Geoderma*. 2014. Vol. 214–215. P. 155–167.
11. Соколов Д.А., Морозов С.В., Абакумов Е.В., Андроханов В.А. Полициклические ароматические углеводороды в почвах отвалов антрацитовых месторождений Сибири // *Почвоведение*. 2021. № 6. С. 701–714.
12. Соколов Д.А., Мерзляков О.Э., Доможакова Е.А. Оценка литогенного потенциала гумусонакопления в почвах отвалов каменноугольных месторождений Сибири // *Вестн. Томск. гос. ун-та*. 2015. № 399. С. 247–253.

УДК 630.161

ЦИФРОВЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НЕЗАКОННОЙ ВЫРУБКИ ЛЕСОВ И СОХРАНЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ

М.А. Спицын, Е.Н. Темлянцева

*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк,
mixanika2017@rambler.ru*

***Аннотация.** В данной статье рассматриваются основные цифровые решения, применяемые для предотвращения незаконной вырубке лесов, а также их влияние на сохранение экосистем и биоразнообразия.*

***Ключевые слова:** нелегальная вырубке лесов, цифровые технологии, спутниковый мониторинг, биоразнообразия, экологический мониторинг, лесные экосистемы, защита дикой природы, защита окружающей среды.*

Незаконная вырубке лесов представляет собой одну из самых серьезных экологических проблем современности, угрожая не только биоразнообразию, но и климатической стабильности планеты. По данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно в результате нелегальной вырубке теряется миллионы гектаров лесных массивов, что приводит к уничтожению естественных экосистем и утрате мест обитания для множества видов флоры и фауны. В условиях глобальных изменений климата и растущего давления на природные ресурсы, необходимость в эффективных мерах по охране лесов становится особенно актуальной. Современные цифровые технологии предлагают новые подходы к решению этой проблемы, позволяя осуществлять мониторинг лесных ресурсов с высокой точностью и в реальном времени.

Спутниковый мониторинг в борьбе с незаконной вырубке лесов представляет собой мощный инструмент для наблюдения за состоянием лесных экосистем:

1. Наблюдение за изменениями в лесном покрове при помощи спутников, таких как Landsat, Sentinel и других, которые предоставляют изображения земли с высоким разрешением, что позволяет отслеживать изменения в лесных массивах, включая вырубку деревьев, пожары и другие экологические изменения (рис. 2) [1, 4].

2. Анализ временного ряда данных со спутников может быть собран на протяжении многих лет, что позволяет исследователям выявлять тренды и паттерны в изменении лесного покрова. Это важно для понимания долгосрочных последствий незаконной вырубке (рис. 1).

Геоинформационные системы (ГИС) играют ключевую роль в анализе и визуализации данных о состоянии лесов. Основные функции использования ГИС:

1. Картографирование позволяет создавать детализированные карты лесных ресурсов, включая информацию о типах лесов, их состоянии и распределении. Это помогает выявить зоны, подверженные риску незаконной вырубке [2].

2. Анализ пространственных данных позволяют анализировать пространственные данные, такие как близость к дорогам или населённым пунктам, что помогает определить наиболее уязвимые участки леса.

3. Моделирование и прогнозирование: позволяет моделировать последствия различных сценариев, таких как увеличение незаконной вырубке или изменение климата, что позволяет разрабатывать стратегии управления лесами.



Рисунок 1. Снимок со спутника Sentinel Explorer.

В последние десятилетия проблема незаконной вырубке лесов стала одной из наиболее острых экологических угроз, способствующих утрате биоразнообразия, изменению климата и разрушению экосистем. Для эффективной борьбы с этой проблемой необходимо внедрение современных технологий, которые позволят не только выявлять факты нарушения, но и разрабатывать стратегии по охране лесных ресурсов. Однако, несмотря на все преимущества, их использование также сопряжено с определёнными вызовами, требующими внимания и решения.

Преимущества внедрения и использования спутниковых технологий для предотвращения незаконной вырубке лесов, а также их влияние на сохранение экосистем и биоразнообразия:

1. Спутниковые технологии позволяют получать данные с высоким пространственным разрешением, что делает возможным детальное наблюдение за изменениями в лесных экосистемах.

2. Оперативность получения данных играет важную роль, так как многие спутники обеспечивают возможность получения обновлённых изображений в режиме реального времени или с минимальными задержками, что позволяет быстро реагировать на случаи незаконной вырубке.

3. Спутниковый мониторинг охватывает огромные площади, что делает его незаменимым инструментом для наблюдения за удалёнными и труднодоступными регионами.

4. Использование спутниковых данных и ГИС позволяет принимать обоснованные решения на основе фактической информации. Это включает в себя как оперативные меры по предотвращению незаконной вырубке, так и долгосрочные стратегии управления лесами.

В отличие от наземных методов, которые могут быть ограничены по времени и пространству, спутники способны обеспечивать постоянный контроль над большими территориями, что особенно важно в условиях растущей глобализации и увеличения масштабов незаконной вырубке (рис. 2) [3].

Данные могут быть использованы для создания моделей, которые прогнозируют последствия различных сценариев, таких как увеличение вырубке или изменение климата, что помогает в разработке эффективных политик охраны окружающей среды.

В условиях глобальных экологических вызовов, связанных с изменением климата и утратой биоразнообразия, цифровые решения становятся ключевыми инструментами в борьбе с незаконной вырубке лесов и сохранением природных экосистем. Применение современных технологий, таких как спутниковый мониторинг, геоинформационные системы (ГИС),

беспилотные летательные аппараты и аналитические платформы, обеспечивает возможность эффективного наблюдения за состоянием лесов, выявления нарушений и быстрого реагирования на них.

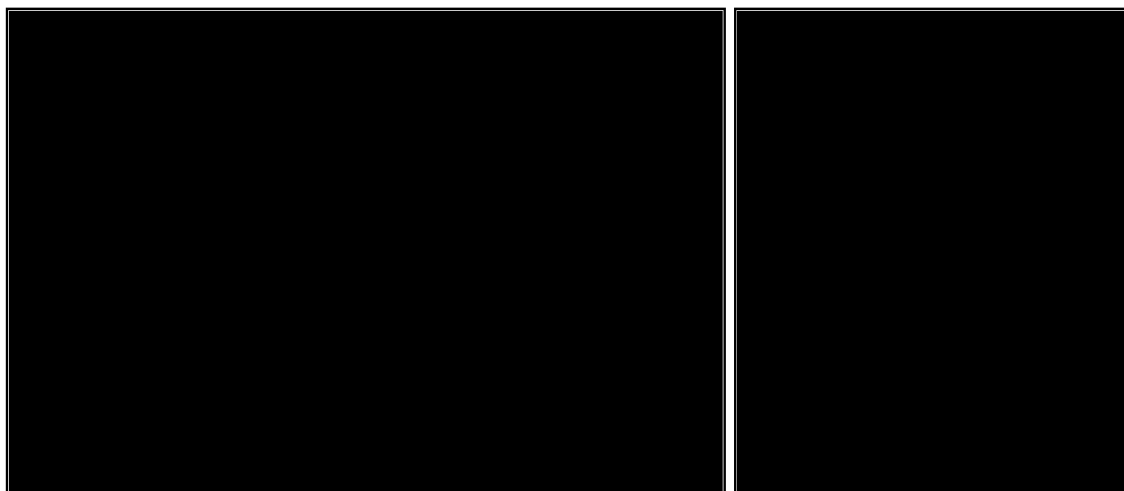


Рисунок 2. Карта действующих пожаров.

Цифровые технологии позволяют собирать и обрабатывать большие объемы данных, что способствует более точному анализу динамики изменения лесных массивов и выявлению закономерностей, которые могут указывать на незаконные действия. Интеграция данных из различных источников, включая экологические, социальные и экономические аспекты, предоставляет возможность комплексного подхода к управлению лесными ресурсами.

В заключение можно отметить, что цифровые решения представляют собой мощный инструмент для предотвращения незаконной вырубке лесов и сохранения биоразнообразия. Однако их успешная реализация требует комплексного подхода, включающего взаимодействие технологий, образования, правовой базы и международного сотрудничества. Только совместными усилиями можно достичь устойчивого управления лесными ресурсами и обеспечить защиту уникальных экосистем нашей планеты для будущих поколений.

Литература

1. NASA Landsat Science [Электронный ресурс] URL:<https://landsat.gsfc.nasa.gov/data/> (дата обращения 05.08.2024)
2. Спутниковые системы Sentinel Explorer [Электронный ресурс] URL: <https://livingatlas2.arcgis.com/sentinel2explorer/> (дата обращения 05.08.2024)
3. КГАУ "Лесопожарный центр" [Электронный ресурс]. URL:[https:// www.lpcentr.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=100&Itemid=84#](https://www.lpcentr.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=100&Itemid=84#) (дата обращения 05.08.2024)
4. Elcomrevue Геоинформационные системы [Электронный ресурс]. URL: <https://elcomrevue.ru/blog/geoinform-system/geoinformatsionnyie-sistemyi-gis-osnovnyie-opredeleniya-dostoinstva-i-nedostatki> (дата обращения 05.08.2024)

DIGITAL SOLUTIONS TO PREVENT ILLEGAL DEFORESTATION AND PRESERVE BIODIVERSITY

M.A. Spitsyn, E.N. Temlyantseva

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, mixanika2017@rambler.ru

Summary: *This article examines the main digital solutions used to prevent illegal deforestation, as well as their impact on the conservation of ecosystems and biodiversity.*

Keywords: *illegal deforestation, digital technologies, satellite monitoring, biodiversity, environmental monitoring, forest ecosystems, wildlife protection, environmental protection*

УДК 551.583

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ПРОЦЕССЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ НА НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ: ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ

М.А. Спицын, Е.Н. Темлянцева

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк,
mixanika2017@rambler.ru

***Аннотация.** В данной статье рассматривается важность восстановления экосистем в контексте климатических изменений, анализ существующих стратегий и подходы для восстановления биоразнообразия на нарушенных территориях.*

***Ключевые слова:** климатические изменения, биоразнообразие, восстановление экосистем, экстремальные погодные явления, деградация среды обитания, устойчивость экосистемы, политика восстановления.*

Биоразнообразие – это разнообразие жизни на Земле, включая разнообразие видов, генетическое разнообразие внутри видов и разнообразие экосистем. Оно играет ключевую роль в поддержании устойчивости экосистем, обеспечивая их функциональность и способность адаптироваться к изменениям. Разнообразие видов и генов позволяет экосистемам лучше справляться с внешними стрессами, такими как болезни, нашествия вредителей и изменения климата. Чем больше видов в экосистеме, тем выше вероятность того, что некоторые из них смогут выжить и адаптироваться к новым условиям.

Несмотря на его важность, биоразнообразие находится под угрозой из-за человеческой деятельности. Основные факторы, способствующие потере биоразнообразия, включают:

1. Изменения температуры и уровня осадков влияют на среду обитания многих видов, вызывая миграцию, изменение поведения и даже вымирание.
2. Урбанизация, сельское хозяйство и вырубка лесов приводят к уничтожению естественных мест обитания, что снижает численность популяций и уменьшает разнообразие видов.
3. Пестициды, пластик и другие загрязнители оказывают негативное воздействие на здоровье экосистем и отдельных видов, приводя к их исчезновению.
4. Введение нехарактерных для региона видов может нарушить баланс экосистемы, вытесняя местные виды и угрожая их выживанию.

Климатические изменения и потеря биоразнообразия являются взаимосвязанными проблемами. Изменения климата могут ухудшать состояние биоразнообразия, а его потеря, в свою очередь, может усугублять последствия климатических изменений.

Например, вырубка лесов не только приводит к потере углерода, но и снижает способность экосистем поглощать углерод, что усиливает парниковый эффект (рис. 1).

Экосистемы с низким уровнем биоразнообразия менее устойчивы к изменениям климата. Они могут быстрее деградировать, что приводит к дальнейшей потере биоразнообразия и ухудшению условий для жизни человека [1].

Потеря биоразнообразия имеет прямые последствия для здоровья и благополучия человека:

1. Разнообразие видов растений и животных обеспечивает доступ к разнообразным продуктам питания, необходимым для полноценного питания. Уменьшение биоразнообразия может привести к дефициту питательных веществ и увеличению рисков заболеваний

2. Множество отраслей экономики, включая сельское хозяйство, рыболовство и туризм, зависят от биоразнообразия. Его потеря может привести к экономическим потерям и ухудшению качества жизни.

3. Местные сообщества часто имеют глубокую связь с природой, и потеря биоразнообразия может угрожать их культурной идентичности и традициям.

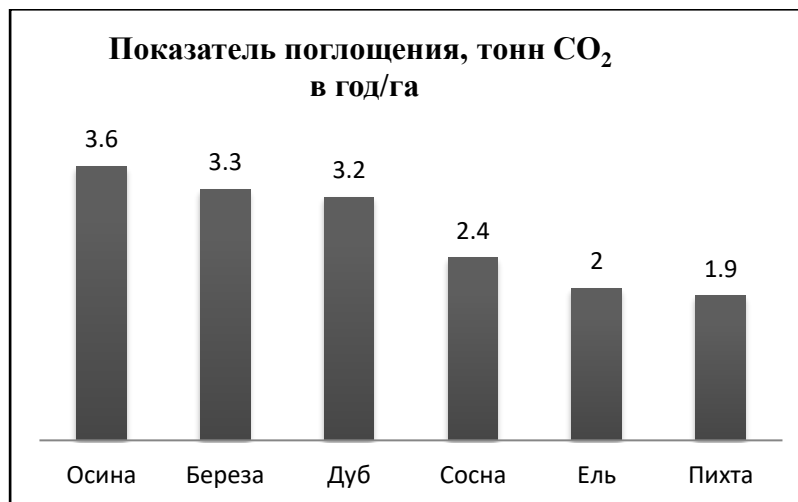


Рисунок 1. Поглощение древесными породами CO₂.

Восстановление биоразнообразия – это сложный и многогранный процесс, требующий применения различных стратегий и подходов. Рассмотрим адаптивные стратегии восстановления и инновационные методы, а также проанализируем успешные кейс-стадии из разных регионов.

Адаптивные стратегии восстановления на примерах регионов:

1. Одним из ключевых аспектов успешного восстановления биоразнообразия является использование местных видов растений и животных (рис. 2). Местные виды лучше адаптированы к условиям данной экосистемы, что увеличивает шансы на их выживание и размножение. Например, в проектах по восстановлению лесов в тропических регионах часто используются семена местных деревьев, что способствует восстановлению естественного баланса экосистемы [2].

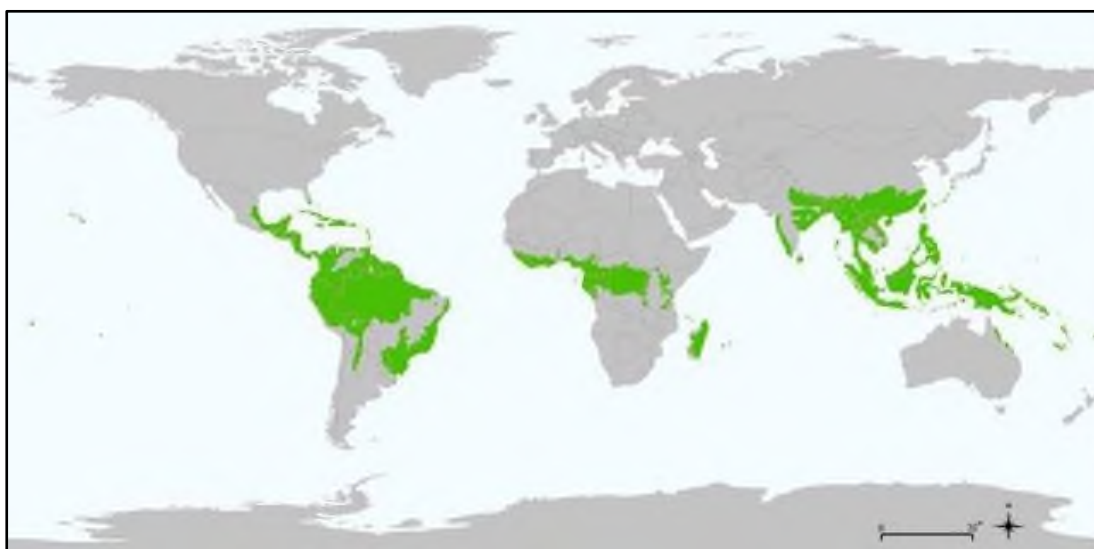


Рисунок 2. Карта влажных тропических лесов

2. Создание экологически устойчивых систем включает в себя внедрение методов управления, которые способствуют поддержанию биоразнообразия. Это может быть достигнуто через:

2.1 Включение различных видов растений в одном участке земли для повышения устойчивости к вредителям и болезням.

2.2 Создание коридоров между фрагментами леса для обеспечения миграции животных и сохранения генетического разнообразия.

2.3 Переход на устойчивые методы ведения сельского хозяйства, такие как агролесоводство, которое сочетает сельское хозяйство с лесоводством.

Современные технологии играют важную роль в восстановлении биоразнообразия. Например, ДНК-баркодирование позволяет идентифицировать виды на основе их генетической информации, что может помочь в мониторинге популяций и выявлении угроз. Это особенно полезно в регионах с высоким уровнем биологического разнообразия, где визуальная идентификация видов может быть затруднена.

Рассмотрим успешные проекты восстановления:

1. В Бангладеш был реализован проект по восстановлению мангровых лесов, который включал высадку местных видов деревьев и создание защитных зон вдоль побережья. Это не только помогло восстановить экосистему мангров, но и снизило воздействие ураганов на прибрежные районы, обеспечив защиту местным сообществам [3].

2. В Соединенных Штатах был запущен проект по восстановлению прерий, который включал использование местных трав и растений для создания устойчивых экосистем. Проект также включал программы по обучению фермеров методам устойчивого землевладения, что привело к увеличению численности видов птиц и других животных [4].

3. В Австралии проводятся успешные проекты по восстановлению коралловых рифов с использованием технологий искусственного размножения кораллов. Эти проекты направлены на восстановление поврежденных участков рифа и поддержание морского биоразнообразия (рис. 3) [5].



Рисунок 3. Результаты успешного восстановления коралловых рифов.

Актуальность проблемы биоразнообразия в контексте климатических изменений не вызывает сомнений. Защита и восстановление биоразнообразия являются необходимыми условиями для обеспечения устойчивости экосистем и благополучия человека. Решение этой проблемы требует комплексного подхода, включающего как экологические меры, так и активное вовлечение местных сообществ в процессы управления природными ресурсами.

Успешное восстановление биоразнообразия требует комплексного подхода, сочетающего адаптивные стратегии и инновационные методы. Примеры из разных регионов показывают, что слаженные усилия местных сообществ, научного сообщества и государственных организаций могут привести к значительным результатам в восстановлении экосистем и сохранении биоразнообразия для будущих поколений.

Литература

1. Рослесинформ по Кемеровской области Кузбассу [Электронный ресурс] URL: <https://roslesinform.ru/> (дата обращения 19.08.2024)
2. Леспромформ [Электронный ресурс] URL: <https://lesprominform.ru/news.html?id=16439> (дата обращения 19.08.2024)
3. Шесть шагов для возвращения мангровых лесов [Электронный ресурс]. URL: <https://www.unep.org/ru/novosti-i-istorii/istoriya/shest-shagov-dlya-vozvrashcheniya-mangrovyykh-lesov> (дата обращения 19.08.2024)
4. Центр охраны дикой природы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.biodiversity.ru/programs/steppe/bulletin/step-2/step2-4.html> (дата обращения 19.08.2024)
5. РБК Тренды – «Как ученые пытаются спасти коралловые рифы: новый проект» [Электронный ресурс]. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/green/664720ab9a7947d8a5d3732> (дата обращения 19.08.2024)

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE RESTORATION OF BIODIVERSITY IN DISTURBED AREAS: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

M.A. Spitsyn, E.N. Temlyantseva

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, e-mail: mixanika2017@rambler.ru

Summary: *This article examines the importance of ecosystem restoration in the context of climate change, analyzes existing strategies and approaches for restoring biodiversity in disturbed areas.*

Keywords: *climate change, biodiversity, ecosystem restoration, extreme weather events, habitat degradation, ecosystem sustainability, restoration policy.*

УДК 911.52

УЧЕНИЕ СТАРОЖИЛОВА О НООЛАНДШАФТОСФЕРЕ -ГЛОБАЛЬНЫЙ, РЕГИОНАЛЬНЫЙ И ЛОКАЛЬНЫЙ ФУНДАМЕНТ ПРАКТИК РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ТРАНСФОРМАЦИИ, МОНИТОРИНГА, ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ, РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕРРИТОРИЙ

В.Т. Старожилов

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Starozhilov.vt@dvfu.ru

***Аннотация.** Разработаны парадигма «ландшафтопользование России», выделена «нооландшафтосфера» и разрабатывается «учение Старожилова о нооландшафтосфере планеты Земля». Ранее в мире и России они не выделялись и не рассматривались. В результате выделена глобальная нооландшафтосфера как категорически важный фундамент практик решения проблем освоения, географии, эволюции и экологии почв, трансформации, мониторинга, почвенно-экологического состояния, рекультивации не только России, но и планеты Земля. Выделенная сфера позволит человечеству обобщить и обобщать накопленный статистический материал по решению проблем не только отдельных стран, например, России, но и цивилизаций в целом и наметить экологически грамотные пути решения проблем освоения и в том числе решение проблем трансформации, мониторинга, почвенно-экологического состояния, рекультивации осваиваемых территорий ООО «Распадская угольная компания».*

***Ключевые слова:** учение Старожилова о нооландшафтосфере, освоение, ландшафт, проблемы, здоровые почвы, цивилизация, экология.*

Введение. Работа это продолжение авторских разработок «Ландшафтопользование России», «Нооландшафтосфера», « Природа без границ: нооландшафтосфера и парадигма ландшафтопользование», «Учение Старожилова о нооландшафтосферы планеты Земля», «Нооландшафтосфера – фундамент практик земледелия планеты Земля», «Нооландшафтосфера приоритетная основа развития почвоведения» и других. Они представляют фундаментальные разработки по-новому в России и мире научноприкладному направлению по моделям природы (ландшафтам) как фундамента практик отраслевого и комплексного освоения, экологии, почвоведения планеты Земля и развития в целом любых инновационных технологий и в том числе почвоведения, сельского хозяйства и решения проблем трансформации, мониторинга, почвенно-экологического состояния, рекультивации техногенных объектов. Все отмеченные выше работы представляют собой разработки ландшафтно-прикладного направления и нацелены на выполнение государственных задач по освоению, развитию любых инновационных технологий освоения и созданию благоприятной экологии для существования цивилизаций планеты Земля. Работа связана с усилением освоения России и особенно с планами развития и освоения Европейско-Азиатских и её восточных регионов. Планы сегодняшнего дня потребовали от науки, практики и образования новых современных подходов, новых технологий и компетенций в решении задач практик освоения. Отмеченное определило разработки Тихоокеанского международного ландшафтного центра и зав. кафедрой почвоведения Дальневосточного федерального университета профессора В. Старожилова. В 2023 году были разработаны парадигма «Ландшафтопользование России», разработаны, сформулированы и выделены новая геологическая оболочка «Нооландшафтосфера», «Нооландшафтосфера – приоритетная основа развития инновационных технологий почвоведения» и решения локальных, региональных и глобальных проблем генезиса, географии, эволюции и экологии почв, решения проблем

трансформации, мониторинга, почвенно-экологического состояния, рекультивации техногенных объектов. Они как фундаментальные направления знаний определили обобщение материалов (не только теоретических но и экспедиционных производственных исследований, более 30 полевых сезонов, и в том числе производственных комплексного направления) и разработку на основе знаний о них учения о нооландшафтосфере как глобального, регионального, локального фундамента практик освоения и в том числе трансформации, мониторинга, почвенно-экологического состояния, рекультивации техногенных объектов планеты Земля. Оно получило название «Учение Старожилова о нооландшафтосфере планеты Земля», а по содержанию представляет учение о фундаменте любых практик освоения и решения локальных, региональных и глобальных проблем генезиса, географии, эволюции и экологии почв России и планеты Земля и в том числе трансформации, мониторинга, почвенно-экологического состояния, рекультивации техногенных объектов. По нашему мнению, в результате исследований сформулирована и выделена глобальная сфера и выделен категорически важный фундамент практик освоения и решения проблем генезиса, географии, эволюции и экологии почв, а также трансформации, мониторинга, почвенно-экологического состояния, рекультивации техногенных объектов не только России, но и планеты Земля. По большому счету выделенная сфера как глобальный фундамент практик комплексного и отраслевого освоения позволит человечеству обобщить и обобщать накопленный статистический материал по освоению сферы не только отдельных стран, например России, но и цивилизаций в целом. Это в свою очередь даст возможность изучать и решать проблемы генезиса, географии, эволюции и экологии почв, трансформации, мониторинга, почвенно-экологического состояния, рекультивации, с учетом изучения природы (ландшафтов) на уровне такого внутреннего их содержания, как вещественные комплексы литосферы, тектоники, рельефа, климата, вод, почв, растительности и биоценозов, на государственных уровнях, наметить экологически достойные пути освоения территорий и уже сегодня принять меры по путям сохранения уже сегодня трансформируемого фундамента практик освоения планеты Земля – нооландшафтосферы.

Цель публикации – обосновать в Российской науке необходимость рассматривать и применять новую научно-прикладную парадигму «ландшафтопользование России», «Нооландшафтосферу» и «Учение Старожилова о нооландшафтосфере планеты Земля» как основу построения моделей трансформации естественных ландшафтных систем территорий. Считать их наиболее эффективной основой совершенствования системы, определяющей базовые ландшафтные модели основ моделей трансформации ландшафтов при освоении территорий.

Материалы и методы. Используется значительный материал по ландшафтам, полученный благодаря работ по Тихоокеанскому ландшафтному поясу, а также при разработке парадигм: общей Дальневосточной ландшафтной парадигмы и Дальневосточной ландшафтной парадигмы индикации и планирования, разработок по картографическому оцифрованному ландшафтному обеспечению индикации, планирования и геоэкологического мониторинга юга Тихоокеанского ландшафтного пояса России, «О необходимости принятия к практической реализации новую ландшафтную стратегию к пространственному развитию геосистемы континент-Мировой океан» и разработок «к пространственному развитию территорий: районирование Тихоокеанского ландшафтного пояса геосистемы Восток России-Мировой океан»; и в целом работ «Ландшафтоведение: стратегия, опыт практик в освоении территорий геосистем континент-мировой океан».

Общей методологической основой исследований является комплексная основа ландшафтного научно-практического направления, разработанная Дальневосточной ландшафтной школой профессора Старожилова.

Применялись результаты моделирования новой научно-прикладной парадигмы «ландшафтопользование России», новой геологической оболочки Земли «Нооландшафтосферы» и «Учения Старожилова о нооландшафтосфере планеты Земля» к

пространственному развитию территорий, результаты стандартизации консервативных характеристик внутреннего содержания каждого ландшафта, составления их паспорта и материалов по опорному ландшафтному «фундаменту» пространственной организации, обеспечивающей достижение заявленных целей пространственного развития с опорными узловыми ландшафтными структурами освоения, выступающих источником изменений и размещения конкурентноспособных технологий, предприятий и компаний.

Значимым является то, что в основу рассмотрения применения рассматриваемых в работе основ к изучению трансформации, положены направленные на практическую реализацию ландшафтного метода многолетние авторские полевые геолого-географические и географические научные и производственные исследования обширной территории окраинной зоны Востока России, которые в свою очередь включают полевые исследования Сихотэ-Алинской, Сахалинской, Камчатской, Анадырской ландшафтных областей. В целом отметим, что получен материал в системе ландшафт, вид, род, подкласс, класс, тип, округ, провинция, область, пояс ландшафтов. При обосновании применения материалов по таксонам при обосновании применения новой парадигмы «ландшафтопользование России», новой геологической оболочки Земли «Нооландшафтосферы» и «Учения Старожилова о нооландшафтосфере планеты Земля» к трансформации ландшафтов использовались материалы практической реализации ландшафтного подхода с применением ландшафтной индикации, а также применения векторно-слоевого ландшафтного картографирования и материалов прикладных исследований в различных направлениях освоения и в том числе исследований по землеустройству, землепользованию, трансформации почв и др. [1–17].

Результаты. Получен фундаментальный результат, заключающийся в том, что для реализации практик рассмотрения возможностей и необходимости проведения изучения трансформации ландшафтов необходимо иметь прежде всего оцифрованную векторно-слоевую морфологическую ландшафтную основу. Такие основы как в целом по поясу, так и по его отдельным регионам получены (Сихотэ-алинской, Сахалинской ландшафтными областями и др.). Для реализации поставленных задач получены, прежде всего, оцифрованные векторно-слоевые морфологические ландшафтные модели (векторно-слоевые ландшафтные карты), которые на цифровом уровне дают знание строения географического пространства рассматриваемого объекта.

Кроме того, получен фундаментальный результат по ландшафтам континентального обрамления Тихого океана в системе ландшафт, вид, род, класс, тип, округ, провинция, область, пояс, который нужно использовать в решении вопросов трансформации геосистемы континент-Мировой океан.

Важно отметить, что именно с появлением отмеченных картографических разномасштабных документов появилась возможность анализировать ландшафтные модели, сравнивать между собой и рассматривать их природным «фундаментом» и основой для построения гармонизированных с природой различных моделей трансформации ландшафтов. Такой подход позволяет учесть природные условия и технически и юридически обосновать целесообразность освоения.

На основе применения отмеченных выше основ обозначена и сформулирована технология создания моделей трансформации ландшафтов на основе моделей опорного ландшафтного «фундамента» геосистемы Восток России-мировой океан.

Установлена, при построении моделей трансформации на основе результатов практического применения парадигмы «ландшафтопользование России», новой геологической оболочки Земли «Нооландшафтосферы» и «Учения Старожилова о нооландшафтосфере планеты Земля» программно-целевая необходимость использования междисциплинарного мышления, междисциплинарного сопряженного анализа и синтеза межкомпонентных и межландшафтных связей с учетом данных по орогеническому, орографическому, климатическому, фиторастительному, биогенному факторам формирования территорий трансформации.

Также подтверждается и отмечается, что трансформация региональных естественных ландшафтных систем в освоении направлено на рациональное освоение и использование территорий, минимизацию глобальных и региональных последствий изменения природы и общества, поиск и внедрение инновационных подходов в устойчивом, экологически сбалансированном и безопасном развитии региона. Основывается на анализе, синтезе и оценке не только теоретических результатов научных исследований, но и практической реализации ландшафтного подхода в различных отраслях науки и производства Тихоокеанского ландшафтного пояса России.

Заключение. Разработано учения о нооландшафтосфере как глобального, регионального, локального фундамента практик освоения и в том числе решения проблем трансформации, мониторинга, почвенно-экологического состояния, рекультивации техногенных объектов планеты Земля. Оно получило название «Учение Старожилова о нооландшафтосфере планеты Земля», а по содержанию представляет учение о фундаменте любых практик освоения и решения локальных, региональных и глобальных проблем генезиса, географии, эволюции и экологии почв России и планеты Земля и в том числе трансформации, мониторинга, почвенно-экологического состояния, рекультивации техногенных объектов. По нашему мнению, в результате исследований сформулирована и выделена глобальная сфера и выделен категорически важный фундамент практик освоения и решения проблем генезиса, географии, эволюции и экологии почв, а также трансформации, мониторинга, почвенно-экологического состояния, рекультивации техногенных объектов не только России, но и планеты Земля. По большому счету выделенная сфера как глобальный фундамент практик комплексного и отраслевого освоения позволит человечеству обобщить и обобщать накопленный статистический материал по освоению сферы не только отдельных стран, например России, но и цивилизаций в целом. Это в свою очередь даст возможность изучать и решать проблемы генезиса, географии, эволюции и экологии почв, трансформации, мониторинга, почвенно-экологического состояния, рекультивации с учетом изучения природы (ландшафтов) на уровне такого внутреннего их содержания, как вещественные комплексы литосферы, тектоники, рельефа, климата, вод, почв, растительности и биоценозов, на государственных уровнях, наметить экологически достойные пути освоения территорий и уже сегодня принять меры по путям сохранения уже сегодня трансформируемого фундамента практик освоения и решения проблем трансформации, мониторинга, почвенно-экологического состояния, рекультивации осваиваемых территорий ООО «Распадская угольная компания». Рекомендуем ООО «Распадская угольная компания» увидеть важность проектируемых бизнес моделей развития в сохранении нооландшафтосферы как дома цивилизаций и применять при определении путей и прогноировании развития знания об впервые разработанных в Дальневосточном федеральном университете «Ландшафтопользование России», «Нооландшафтосфера» и «Учения Старожилова о нооландшафтосфере планеты Земля».

STAROZHILOV'S TEACHING ABOUT NOOLANDSCAPER - A GLOBAL, REGIONAL AND LOCAL FOUNDATION FOR PRACTICES IN SOLVING PROBLEMS OF TRANSFORMATION, MONITORING, SOIL-ECOLOGICAL CONDITION, TERRITORY RECLAMATION

V.T. Starozhilov

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Starozhilov.vt@dvfu.ru

Summary: The paradigm "landscapeuse of Russia" has been developed, the "noolandscape sphere" has been identified, and "Starozhilov's doctrine of the noolandscape sphere of planet Earth" has been developed. Previously, they were not highlighted or considered in the world and in Russia. As a result, the global noolandscape sphere is identified as a categorically important foundation for the

practice of solving problems of development, geography, evolution and ecology of soils, transformation, monitoring, soil-ecological state, reclamation of not only Russia, but also the planet Earth. The highlighted area will allow humanity to summarize and generalize the accumulated statistical material on solving problems not only of individual countries, for example, Russia, but also of civilizations as a whole and to outline ecologically literate ways to solve problems of development, including solving problems of transformation, monitoring, soil-ecological condition, reclamation of developed territories by Raspadskaya Coal Company LLC.

Keywords: *Starozhilov's teaching about the noolandscape sphere, development, landscape, problems, healthy soils, civilization, ecology.*

Литература

1. Старожилов В.Т. Вопросы землеустройства и землеустроительного проектирования: учебное пособие / Гераськин М.М., Троицкий В.П., Нестерова О.В., Старожилов В.Т., Пилипушка В.Н. / Владивосток, 2009.
2. Леонинко А.В., Старожилов В.Т. Человек и природа в социокультурном измерении: актуальные социально-экономические проблемы населения горняцких поселков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 55. С. 353–362.
3. Старожилов В.Т. Уровни фосфоритонакопления Приморья / В сборнике: фосфаты Дальнего Востока. Владивосток, 1980. С. 131–134.
4. Старожилов В.Т. Потенциально фосфоритоносные формации Приморья / В сборнике: Геохимия и петрохимия осадочных комплексов Дальнего Востока. Владивосток, 1980. С. 100–108.
5. Старожилов В.Т. Геохимия и рудоносность базитов и гипербазитов фундамента ландшафтов складчатых областей зоны перехода северо-востока Азии к Тихоокеанской плите. / В сборнике: Дальний Восток России: География. Гидрометеорология. Геоэкология. Материалы шестой научной конференции: к всемирным дням Воды и Метеорологии. 2005. С. 174–179.
6. Старожилов В.Т. Геоэкология ландшафтов зоны влияния теплоэлектростанции: Старожилов В.Т., Матвеев Т. И., Крупская Л. Т., Дербенцева А. М., Коробова И. В. Владивосток. 2009.
7. Старожилов В.Т. Ландшафтное картографирование районов минерально-сырьевого природопользования в Приморье // Изв. Рос. акад. Наук. Сер. геогр. 2013. № 1. С. 99–104
8. Старожилов В.Т., Дербенцева А.М., Нестерова О.В., Ткаченко В.И., Евсеев А.Б. Картографический эколого-ландшафтный подход в оптимизации природопользования // Горн. информ. аналит. бюллет. 2009. № 55. С. 271–277.
9. Солодянкина С.В., Кошкарёв А.В., Ганзей К.С., Исаченко Г.А., Лысенко А.В., Старожилов В.Т., Хорошев А.В., Черных Д.В. Некоторые итоги и перспективы ландшафтного картирования России // География и природные ресурсы. 2021. Т. 42. № 3. С. 23–36.
10. Старожилов В.Т. Структурно-тектоническое районирование Пионерско-Шельтинской зоны восточно-сахалинских гор о. Сахалин. Тихоокеанская геология. 1990. Т. 9. № 3. С. 90–96.
11. Старожилов В.Т., Крупская Л.Т., Дербенцева А.М. Черенцова А.А., Степанова А.И., Ткаченко В.И., Матвеев Т.И. Денудационные процессы в ландшафтах и геоэкологические предпосылки техногенных изменений. Владивосток, 2009.
12. Старожилов В.Т. Региональные особенности компонентов и факторов структуры и организации ландшафтов юга Дальнего Востока (на примере Приморского края). Владивосток, 2007.
13. Старожилов В.Т. Структура и пространственная организация ландшафтов юга Дальнего Востока (на примере Приморского края). Владивосток, 2007.

14. Крупская Л.Т., Грехнев Н.И., Зверева В.П., Новороцкая А.Г., Дербенцева А.М., Старожилов В.Т. Обеспечение экологической безопасности источников экологического риска на оловорудных предприятиях юга Дальнего Востока // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 4. С. 81–88.
15. Вострецов Ю.Е., Кононенко Н.А., Сергеев О.И., Тураев В.А., Галлямова Л.И., Мандрик А.Т., Проскурина Л.И., Ващук А.С., Медведева Л.М. и др. Атлас Приморского края.
16. Старожилов В.Т. Ландшафтная география Приморья. Том. Книга 2. Районирование. Владивосток, 2013.
17. Старожилов В.Т. Ландшафты Приморского края и использование ландшафтного подхода в оценке экологических проблем минерально-сырьевого природопользования. Владивосток. 2011.

УДК 631.42

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО И АГРОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОТВАЛОВ ВСКРЫШНЫХ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД КУЗБАССА

А.Ю. Старыгина, С.Ю. Ефремова, Н.В. Журавлева

Акционерное общество «Западно- Сибирский испытательный центр», Новокузнецк,
main@zsic.ru

***Аннотация.** В работе систематизированы результаты определений валовых и подвижных форм тяжелых металлов и агрохимических показателей во вскрышных и вмещающих породах отвалов и почвах Новокузнецкого, Прокопьевского и Беловского районов Кузбасса. Показано, что содержание тяжелых металлов в валовых и подвижных формах не превышает нормируемых значений, содержание валовых форм мышьяка составляет 1,4–4,0 ПДК и сопоставимо с фоновым значением для Кузнецкой котловины. Содержание подвижных форм ртути составляет менее 0,005 мг/кг, мышьяка – менее 0,5 мг/кг. Агрохимические исследования вскрышных и вмещающих пород отвалов показывают, что содержание в них гумуса и азота значительно меньше по сравнению с фоновыми пробами, обеспеченность доступным калием и доступным фосфором относится к категории «очень низкая».*

***Ключевые слова:** экология, агрохимия, тяжелые металлы, подвижные формы, валовые содержания.*

Загрязнение и деградация почвенно-земельных ресурсов относится к числу основных экологических проблем Кемеровской области – Кузбасса [1]. Большой негативный вклад в процессы деградации и уничтожения почвенного покрова на территории Кузбасса вносят горнодобывающие предприятия, особенно при открытой добыче угля, с образованием в зоне их действия техногенных ландшафтов. Площадь нарушенных земель в Кузбассе составляет 94,3 тыс. га. Это значение в 16,3 раза превышает среднероссийские показатели (0,98% площади против 0,06%). Вместе с тем в некоторых районах Кемеровской области – Кузбасса техногенно нарушено до 20 % площади пашни [2]. Общая площадь земель в административных границах Кемеровской области-Кузбасса по состоянию на 01.01.2024 составила около 9,6 млн. га, в сельскохозяйственном обороте находится 2,6 млн. га земель сельскохозяйственного назначения (27% общей площади земельных ресурсов региона) [3]. По сведениям Росреестра за 2018–2020 гг. на территории Кемеровской области переведено 9,3 тыс. га земель сельскохозяйственного назначения в земли промышленности. Площадь лесных земель, переведенных в земли промышленности, составляет 0,1 тыс. га. [4]. По данным Росприроднадзора в 2023 г. на территории области нарушено земель 5,097 тыс. га, в том числе при разработке месторождений полезных ископаемых – 4,531 тыс. га, при строительных работах – 0,228 тыс. га. В течение года рекультивировано 0,712 тыс. га земель (14% от нарушенных земель).

Таким образом, интенсивная хозяйственная деятельность в Кузбассе при разработке месторождений полезных ископаемых приводит к уничтожению растительности, изменению гидрологического режима и рельефа местности, разрушению и загрязнению почвенного покрова. В результате этих процессов образуются нарушенные земли, которые подлежат рекультивации. Вскрышные и вмещающие породы являются самыми многотоннажными видами отходов, которые образуются при добыче углей и могут быть использованы для целей рекультивации. В связи с этим, аналитическая информация о химическом составе таких отходов имеет важное значение.

Целью работы послужило исследование экологического и агрохимического состояния отвалов Кемеровской области, образующихся после добычи угля и выявление перспектив их рекультивации. В АО «ЗСИЦентр» в результате многолетних исследовательских работ накоплена обширная информация об экологическом и агрохимическом состоянии почв и отходов добычи и переработки углей в регионе.

В качестве объектов исследования были выбраны отвалы, образовавшиеся в результате деятельности угледобывающей промышленности. Отвалы расположены в Новокузнецком, Прокопьевском и Беловском районах области. В качестве фоновых проб были выбраны почвы ненарушенного сложения. Было проанализировано от 8 до 20 образцов для каждого объекта.

Все испытания выполнены в аккредитованной испытательной лаборатории АО «ЗСИЦентр» (запись в реестре аккредитованных лиц №РА.RU.21АЯ07 от 17.02.2015 г.). В отобранных образцах определялось содержание тяжелых металлов и мышьяка в валовых и подвижных формах. Определение содержания валовых и подвижных форм тяжелых металлов и мышьяка проводилось методом атомно-эмиссионной спектromетрии с индуктивно связанной плазмой на приборе серии «iCAP 6300 Duo» («Thermo Scientific», Англия) по утвержденным методикам. Агрохимические показатели определялись в соответствии с нормативной документацией. Калий валовый и подвижный – спектрометрическим методом с использованием атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой «iCAP 6300 Duo». Для анализа валовых и подвижных форм фосфора, гумуса, обменного аммония применялся колориметрический метод с использованием спектрофотометра «UV-1800» («Shimadzu», Япония). Азот нитратов определялся потенциометрическим методом на анализаторе «АНИОН 4100» (ООО НПП «Инфраспак-Аналит», Россия). Для определения азота общего и емкости катионного обмена использовался титриметрический метод анализа. Расчет содержания доступного и легкогидролизуемого азота и степени насыщения основаниями производился по ГОСТ 17.4.2.02-83 «Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей пригодности нарушенного плодородного слоя почв для землеваяния».

Результаты исследования показали, что содержание валовых форм металлов во вскрышных и вмещающих породах ниже ПДК (ОДК*), содержание валовых форм мышьяка составляет 1,4–4,0 ПДК и сопоставимо с фоновым значением для Кузнецкой котловины (табл. 1).

Тяжелые металлы относятся к токсичным и опасным веществам, оказывающим крайне негативное воздействие на здоровье людей и окружающую среду. Анализ почвы на содержание тяжелых металлов позволяет оценить степень ее безопасности, подтвердить соблюдение хозяйствующим субъектом требований экологического законодательства. Лабораторные анализы позволяют оценить состояние почвенного покрова, его экологическую безопасность, уровень загрязнения.

Содержание подвижных форм металлов во вскрышных и вмещающих породах значительно ниже ПДК (табл. 2). Содержание подвижных форм мышьяка и ртути в почвах не нормируется. Анализ почв на содержание подвижных форм ртути и мышьяка показал, что в ненарушенных почвах и почвах отвалов содержание подвижных форм ртути составляет менее 0,005 мг/кг, мышьяка – менее 0,5 мг/кг.

Агрохимический анализ почв характеризует способность почвы обеспечить растения элементами питания. Группу основных агрохимических показателей плодородия составляют реакция почвенной среды, поглотительные свойства почвы, содержание гумуса и питательных веществ. Во всех образцах определялись основные агрохимические показатели: содержание валовых форм азота, гумуса, калия, фосфора, содержание подвижных форм калия, фосфора, аммонийного и нитратного азота, емкость катионного обмена (табл. 3).

Таблица 1. Валовое содержание тяжелых металлов (мг/кг) в отвалах вскрышных и вмещающих пород и почвах юга Западной Сибири

| Наименование показателя | Ново-кузнецкий район | Прокопьевский район | | | Беловский район | | ПДК (ОДК*) СанПин 1.2.3685-21 | Фоновые содержания тяжелых металлов в Кузнецкой котловине [5, 6] |
|-------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| | Отходы обогащения | Ненарушенная почва (фон) | Отвалы вскрышных и вмещающих пород №№ 1, 2 | | Ненарушенная Почва (фон) | Отвал вскрышных и вмещающих пород | | |
| Кадмий | <0,05–0,44 | 0,23 | <0,05–0,27 | 0,22–0,48 | 0,69–0,74 | <0,05–0,46 | 1/2* | – |
| Кобальт | 19–21 | 18 | 20–22 | 17–20 | 19–20 | 18–22 | – | 15 |
| Марганец | 834–1026 | 1227 | 1001–1499 | 907–1058 | 849–953 | 821–911 | 1500 | 835 |
| Медь | 12–17 | 30 | 20–35 | 18–21 | 29–34 | 22–30 | 66/132* | 29 |
| Мышьяк | 14–18 | 13 | 11–19 | 10–12 | 13–14 | 16–19 | 5/10* | 15 |
| Никель | 46–50 | 54 | 53–72 | 39–46 | 42–46 | 46–63 | 40/80* | 41 |
| Ртуть | 0,02–0,08 | 0,02 | <0,02–0,06 | 0,04–0,06 | 0,04–0,05 | <0,02–0,06 | 2,1 | 0,02 |
| Свинец | 16–26 | 29 | 26–31 | 25–28 | 18–19 | 17–20 | 65/130* | 17 |
| Хром | 58–81 | 98 | 88–133 | 47–73 | 71–80 | 78–102 | – | 98 |
| Цинк | 86–102 | 151 | 87–121 | 80–100 | 102–114 | 81–109 | 110/220* | 92 |

Примечание: прочерк – нет данных.

Таблица 2. Содержание подвижных форм тяжелых металлов (мг/кг) в отвалах вскрышных и вмещающих пород и почвах юга Западной Сибири

| Наименование показателя | Новокузнецкий район | Прокопьевский район | | | Беловский район | | ПДК (ОДК) СанПин 1.2.3685-21 | Фоновые содержания по области [7] |
|-------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------------------|---------|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| | Отходы обогащения | Ненарушенная почва (фон) | Отвалы вскрышных и вмещающих пород №№ 1, 2 | | Ненарушенная почва (фон) | Отвал вскрышных и вмещающих пород | | |
| Кадмий | <0,2 | <0,2 | <0,2 | <0,2 | <0,2 | <0,2 | – | – |
| Марганец | 62–75 | 59 | 29–41 | 44–56 | 22–37 | 38–58 | 100 | 34–61 |
| Медь | <0,4–0,67 | <0,4 | <0,4 | 0,52 | 0,43 | 0,46 | 3 | 0,1–0,28 |
| Мышьяк | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | – | – |
| Никель | 0,51–0,95 | 0,4 | <0,4–0,65 | <0,4 | <0,4 | <0,4 | 4 | 0,45–1,72 |
| Ртуть | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | – | – |
| Свинец | 0,81–1,3 | 0,61 | 0,52–0,57 | <0,5 | <0,5 | 0,5–0,77 | 6 | – |
| Хром | 0,37–0,41 | 0,28 | <0,2–0,38 | <0,2 | 0,26–0,41 | 0,42–0,64 | 6 | 0,5–1,2 |
| Цинк | 2,2–3,1 | <1 | 1,0–1,8 | 1,1–2,3 | <1–1,6 | 1,1–1,4 | 23 | 0,4–5,4 |

Примечание: прочерк – нет данных.

Результаты исследования показали, что после нарушения структуры почв в них происходят следующие процессы:

1. уменьшение содержания гумуса на 5–98% по сравнению с фоновыми пробами. Для верхних слоев почв Кузнецкого бассейна характерно содержание гумуса 3–8%. Содержания

гумуса 10–12% в отдельных образцах почв отвалов и техноземов связано с наличием в них следов угля, что приводит к искажению результатов анализа, но на плодородие не влияет;

2. уменьшение содержания общего азота на 10–81% по сравнению с фоновыми пробами. Для верхних слоев почв Кузнецкого бассейна характерно содержание азота 0,2–0,5%. Увеличение содержания общего азота в отдельных образцах почв отвала и техноземов связано с наличием в почвах следов угля. При этом содержание доступного азота в этих образцах по сравнению с фоновыми пробами снижается на 50%. Азот органического вещества почвы непосредственно недоступен для растений, поэтому об обеспеченности растений почвенным азотом судят по содержанию в почве минерального азота. Нитраты и обменный аммоний являются основными источниками, обеспечивающими азотное питание растений. Обеспеченность азотом менее 15 мг/кг для верхних слоев почвы относится к разряду «очень низкая» [8]. Для части техноземов (~70% образцов) обеспеченность азотом составляет менее 15 мг/кг;

3. обеспеченность доступным калием менее 40 мг/кг, доступным фосфором менее 25 мг/кг для верхних слоев почвы относится к разряду «очень низкая» [8]. Для части техноземов (~40% образцов) обеспеченность доступным фосфором составляет менее 12,5 мг/кг;

4. степень насыщенности почв основаниями показывает, какая часть общей ёмкости поглощения приходится на поглощённые основания и какая – на гидролитическую кислотность. Наиболее благоприятным для развития растений является степень насыщенности основаниями от 70 до 80% [8]. Для части техноземов (~30% образцов) степень насыщенности основаниями составляет 100%.

Таблица 3. Агрохимические показатели в отвалах вскрышных и вмещающих пород и почвах юга Западной Сибири

| Наименование показателя | Новокузнецкий район | Прокопьевский район | | | Беловский район | | | |
|----------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|-----------|
| | | Отходы обогащения | Ненарушенная почва (фон) | Отвалы вскрышных и вмещающих пород №№ 1, 2 | Ненарушенная почва (фон) | Отвал вскрышных и вмещающих пород | Техноземы участков №1, 2 (верхние горизонты) | |
| Азот общий, % | 0,05–0,24 | 0,69 | 0,13–0,58 | 0,36–0,62 | 0,54–0,55 | 0,07–0,62 | 0,06–0,62 | 0,1–0,5 |
| Гумус, % | 0,79–5,2 | 8,3 | 0,35–6,7 | 7,9–9,9 | 3,2–5,2 | 0,43–11 | 1,3–12 | 1,4–10 |
| Калий валовый (K ₂ O), % | 1,6–4,6 | 1,7 | 1,8–2,1 | 2,1–2,5 | 1,9–2,2 | 1,9–2,1 | 1,7–3,0 | 1,9–3,9 |
| Фосфор валовый (P ₂ O ₅), % | 0,09–0,18 | 0,35 | 0,11–0,30 | 0,20–0,42 | 0,26–0,36 | 0,12–0,25 | 0,13–0,35 | 0,02–0,24 |
| Азот нитратов (N), мг/кг | <2,8–6,5 | 8,5 | <2,8–20 | 4,2–26 | 16–43 | <2,8–12 | <2,8–17 | <2,8–8,7 |
| Аммоний обменный (N), мг/кг | 1,5–20 | 75 | 2,5–23 | 3,3–9,0 | 5,8–6,6 | <1,0–20 | <2,5–3,9 | 4,5–20 |
| ЕКО, ммоль/100 г | 23–25 | 52 | 15–47 | 29–39 | 55–57 | 25–65 | 19–39 | 15–41 |
| Калий подвижный (K ₂ O), мг/кг | 94–148 | 239 | 65–82 | 125–484 | 75–95 | 57–184 | 78–326 | 67–206 |
| Фосфор подвижный (P ₂ O ₅), мг/кг | 25–120 | 89 | 46–201 | 31–145 | 114–202 | 94–447 | <12,5–384 | <12,5–112 |
| Азот доступный и легкогидролизуемый, мг/кг | 1,3–21 | 67 | 3,0–38 | 12–29 | 31–48 | <0,04–42 | <0,04–18 | 3,2–19 |
| Степень насыщенности основаниями, мг/кг | 63–97 | 83 | 66–72 | 85–90 | 87–90 | 85–91 | 74–100 | 85–100 |

Таким образом, нами показано, что содержание валовых форм металлов во вскрышных и вмещающих породах отвалов и почвах Новокузнецкого, Прокопьевского и Беловского районов Кузбасса ниже нормируемых значений, содержание валовых форм мышьяка составляет 1,4–4,0 ПДК и сопоставимо с фоновым значением для Кузнецкой котловины. Содержание подвижных форм металлов в этих исследованных объектах также значительно ниже ПДК, при этом анализ почв на содержание подвижных форм ртути и мышьяка показал, что в ненарушенных почвах и почвах отвалов содержание подвижных форм ртути составляет менее 0,005 мг/кг, мышьяка – менее 0,5 мг/кг.

Агрохимические исследования вскрышных и вмещающих пород отвалов показывают, что содержание в них гумуса и азота значительно меньше по сравнению с фоновыми пробами, обеспеченность доступным калием (менее 40 мг/кг), доступным фосфором (менее 25 мг/кг) относится к категории «очень низкая». Для части техноземов (~30% образцов) степень насыщенности основаниями составляет 100%.

STUDY OF ECOLOGICAL AND AGROCHEMICAL STATE OF KUZBASS OVERBURDEN AND HOST ROCK DUMPS

A.Yu. Starygina, S.Yu. Efremova, N.V. Zhuravleva

West Siberian Testing Center Joint Stock Company, Novokuznetsk, main@zsic.ru.

Summary: *The paper systematizes the results of determination of gross and mobile forms of heavy metals and agrochemical parameters in overburden and host rocks of dumps and soils of Novokuznetsk, Prokopyevsk and Belovsky districts of Kuzbass. It is shown, that the content of heavy metals in gross and mobile forms does not exceed the standard values, The content of gross forms of arsenic is 1.4-4.0 MAC and is comparable with the background value for the Kuznetsk Basin. The content of mobile forms of mercury is less than 0.005 mg/kg, arsenic - less than 0.5 mg/kg. Agrochemical studies of overburden and host rocks of dumps show that the content of humus and nitrogen in them is significantly lower, compared to background samples, the provision with available potassium and available phosphorus belongs to the category of "very low".*

Key words: *ecology, agrochemistry, heavy metals, mobile forms, gross contents.*

Литература

1. Постановление Правительства Кемеровской области – Кузбасса от 7 ноября 2023 г. № 719 Об утверждении государственной программы Кемеровской области – Кузбасса «Природопользование и охрана окружающей среды» [Электронный ресурс]. URL: <https://bulleten-kuzbass.ru/bulletin/319901> (дата обращения 15.08.2024).
2. О внесении изменений в Закон Кемеровской области № 163-ОЗ «Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Кемеровской области до 2035 года» от 23 декабря 2020 года [Электронный ресурс]. URL: [https://ako.ru/upload/medialibrary/4a4/163-%D0%9E%D0%97%20\(1\).pdf](https://ako.ru/upload/medialibrary/4a4/163-%D0%9E%D0%97%20(1).pdf) (дата обращения 15.08.2024).
3. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2023 году [Электронный ресурс]: Администрация правительства Кузбасса, Министерство природных ресурсов и экологии Кузбасса. Кемерово, 2024. 510 с. URL: http://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2024/07/doklad_2023.pdf (дата обращения 14.08.2024).
4. Рекомендации Общественной палаты Кемеровской области – Кузбасса по итогам заседания комиссии по вопросам безопасности и охраны окружающей среды на тему «Рекультивация нарушенных недропользованием земель на юге Кузбасса» от 1 марта 2022

- года. [Электронный ресурс]. URL: <https://opko42.ru/rekomendaczii/> (дата обращения 14.08.2024).
5. Ильин Б.Б., Сысо А.И. и др. Фоновое количество тяжелых металлов в почвах юга Западной Сибири // Почвоведение. 2003. № 5. С. 550–556.
 6. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири // Автореф...дис. д-ра биол. наук. Новосибирск: 2004. 34 с.
 7. Просянкин В.И. Фоновое содержание химических элементов в пахотных почвах юго-восточной окраины Западной Сибири // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. №5 (91). С. 25-30.
 8. Минеев В.Г., Сычёв В.Г., Гамзиков Г.П. и др. Агрохимия. М.: Издательство сероссийского научно-исследовательского института агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2017. 854 с.
 9. Двуреченский В.Г., Андроханов В.А. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов Новокузнецкого промышленного комплекса [Электронный ресурс] // Живые и биокосные системы. 2017. №20. URL: <https://jbks.ru/archive/issue-20/article-3> (дата обращения 14.08.2024).

УДК 631.41

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПОЧВ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННО ИЗМЕНЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА

М.В. Сушенцова¹, А.В. Шарапова², П.П. Кречетов³

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, vfhbif2001@yandex.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, avsharapova@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, krechetov@mail.ru

***Аннотация.** Почва является депонирующей средой, в которой происходит накопление углерода в составе устойчивых органических соединений. На интенсивность секвестрации CO₂ почвой большое влияние оказывает активность почвенной биоты, в частности процесс биологического разложения органических соединений. Цель работы – оценка интенсивности и выявление факторов, определяющих биологическую деструкцию органических веществ (ОВ) в природных и городских почвах.*

***Ключевые слова:** биологическая деструкция, секвестрация, органические вещества, CO₂, гуминовые кислоты, фульвокислоты, негидролизуемый остаток.*

Почвы обладают наибольшим потенциалом к секвестрации, т.е. удерживанию в устойчивой форме, углерода. Интенсивность этого процесса определяется ролью почвы в глобальном цикле углерода. Процесс, снижающий эффективность секвестрации – эмиссия углекислого газа, вызываемая биологической деструкцией органического вещества (ОВ) почвы. Скорость деструкции ОВ в почвах зависит от вида землепользования, а это значит, что секвестрационный потенциал природных, сельскохозяйственных и городских почв будет отличаться.

Москва – мегаполис с высокой плотностью населения и огромной антропогенной нагрузкой на парковые экосистемы города. Лесопарковый зелёный пояс Москвы играет важную роль в формировании экологической обстановки города. Древесные насаждения особенно в парковой зоне снижают шумовое загрязнение и загазованность, содержание твердых частиц (пыли) в воздухе, очищают воздух, обогащая его кислородом, являются местообитанием многих животных и растений, в том числе и краснокнижных видов, влияют на формирование локального климата города и отдельных районов. Одной из важных экологических функций городских экосистем – секвестрирование атмосферного CO₂ и урбанозёмы могут являться средой депонирования углерода. От устойчивости органических соединений в городских почвах зависит их эффективность в процессе декарбонизации атмосферы.

Объектами исследования были выбраны почвы на территории УОПЭЦ «Чашниково», на базе которого был организован карбоновый полигон МГУ и урбанозёмы г. Москвы. Результаты проведенных исследований позволят лучше понять механизмы секвестрирования углекислого газа городскими почвами и могут помочь при разработке новых методов и технологий для борьбы с изменением климата.

Ключевые участки исследования на карбоновом полигоне Чашниково отбирались на ландшафтах, представленных зональной растительностью, развивающейся на зональных подтипах почв, примерно на одном гипсометрическом уровне (табл. 1).

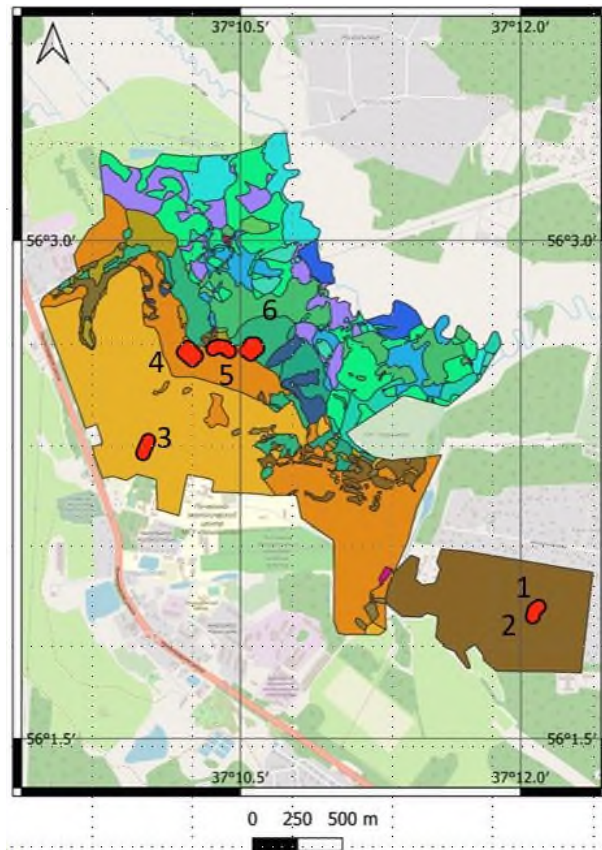


Рисунок 1. Ключевые участки исследования.

Ключевые участки: 1 – Смешанный лес на дерново-подзолистых оглеенных почвах; 2 – Крапивник на дерново-подзолистых почвах; 3 – Луговое разнотравье на освоенных дерново-подзолистых почвах; 4 – Ельник на дерново-подзолистых почвах; 5 – Луговое разнотравье на дерново-подзолистых почвах; 6 – Заболоченный ельник на болотных торфянисто-подзолистых почвах.

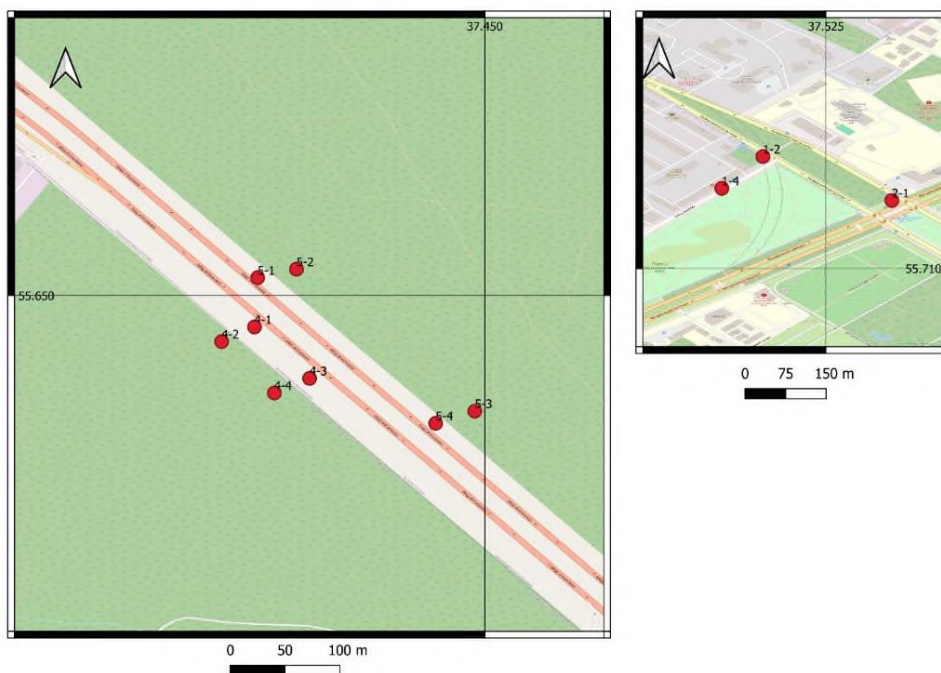


Рисунок 2. Ключевой участок исследования МКАД.

Ключевой участок в Москве представлен участками наблюдения в пределах внешней и внутренней сторон московской автомобильной дороги (МКАД) в районе 46 км.

Урбанозёмы отличаются нейтральной или слабощелочной реакцией среды, в отличие от зональных кислых ненасыщенных основаниями дерново-подзолистых почв. Урбанозёмы более богаты гумусом, содержат больше обменных кальция и магния, и имеют широкое соотношение Ca/Mg в гумусовом слое. Основными источниками ОВ в городских почвах являются: растительный опад, продукты жизнедеятельности биоты, органические удобрения, представленные навозом и торфокомпостными смесями, мусор, содержащих органические остатки (пищевые отходы, трава, древесина и т.д.), продукты разложения техногенных материалов, в том числе и углеводородных, а также аэрогенный привнос углеводородов, сажи, фрагментов резины, асфальта и т.п. [1].

Для оценки способности почв к трансформации растительных остатков и органических веществ были выбраны показатели целлюлозолитической активности и биологического потребления кислорода (БПК).

Целлюлозолитическая активность почвы (ЦА) – способность почвенных микроорганизмов разлагать целлюлозу (полисахарид с большой молекулярной массой, главная составная часть оболочек клеток растений).

В кислых дерново-подзолистых почвах основным агентом разложения льняного полотна (целлюлозы) являются главным образом грибы

и в небольшой степени актиномицеты. Для характеристики ЦА используется аппликационный метод, основанный на определении степени разложения тест-объекта, помещенного в верхний органогенный горизонт [2]. В качестве тест-объекта было выбрано льняное полотно размером 10х20 см с известной массой, измеренной на аналитических весах с точностью до 0,0001 г. и помещенном в сетку из стекловолокна. Тест-объекты закладывались в корнеобитаемый слой почвы (верхний органогенный горизонт) на глубину до 10 см в пятикратной повторности. Тест-объект извлекается из почвы через 1 месяц после заложения в зависимости от ожидаемого уровня биологической активности. После производится отмывка тест-объектов от почвенных частиц, высушивание при температуре 60 °С в течение 4 часов до постоянной массы и повторное взвешивание на аналитических весах.

БПК отражает количество кислорода, затраченного на биологическое окисление органических веществ почвенными микроорганизмами [3]. То есть, БПК дает представление о дыхании почвы и ее способности окислять и разрушать органическое вещество (растительный опад и т.п.). БПК определено в почвенных суспензиях, изготовленных из свежих, не растертых почвенных проб с помощью термооксиметра и кислородного датчика по авторской методике [2]. Расчет БПК основан на определении величины растворенного кислорода в почвенной суспензии после 5-ти суточной инкубации без доступа кислорода в герметичных емкостях при постоянной температуре 20 °С в темных условиях. За этот период почвенная микробиота активизируется, и происходит биологическое окисление, сопровождаемое выделением CO₂ и потреблением растворенного кислорода.

На основе проведенного исследования установлено, что почвы ключевых участков лесных фитоценозов карбонового полигона «Чашниково» обладают более высоким потенциалом к секвестрации углерода, чем урбанозёмы, для которых преобладают процессы биологической деструкции и минерализации органических соединений. Содержание органического углерода выше в урбанозёмах за счёт привнесения органики в виде торфяных смесей, при этом доля малодоступных для окисления форм углерода выше. В дерново-подзолистых почвах «Чашниково» преобладает доля легкодоступных для окисления форм гумуса. Биологическая деструкция растительных остатков (по показателю целлюлозолитической активности (ЦА)) интенсивнее в природных почвах (21,25 мгЛГОВ/сут), чем в урбаноземах (4,54 мгЛГОВ/сут). В дерново-подзолистых почвах природных ландшафтов ЦА под травянистыми экосистемами выше, чем под лесной растительностью. Максимальная интенсивность ЦА, биохимического окисления углерода (по

БПК) и эмиссии углекислого газа в почвах приходится на пик вегетационной активности – июль-август. Корреляционный анализ показал, что из рассмотренных показателей БПК, рН, ЦА, влажность и температура почвы – наиболее значимые факторы вариации эмиссии CO₂. На интенсивность деструкции целлюлозы в значительной степени влияет температура почвы, рН и содержание органических соединений.

Финансирование. Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 19-77-30004-П «Мегаполис».

BIOLOGICAL DESTRUCTION OF ORGANIC SUBSTANCES OF SOILS OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC LANDSCAPES OF THE MOSCOW REGION

M.V. Sushentsova¹, A.V. Sharapova², P.P. Krechetov³

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, vfhbif2001@yandex.ru

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, avsharapova@mail.ru

³Lomonosov Moscow State University, Moscow, krechetov@mail.ru

***Summary:** Soil is a depositing medium in which carbon is accumulated as part of stable organic compounds. The intensity of sequestration of CO₂ by soil is greatly influenced by the activity of soil biota, in particular the process of biological decomposition of organic compounds. The purpose of the work is to assess the intensity and identify the factors determining the biological destruction of organic substances in natural and urban soils.*

***Keywords:** biological destruction, sequestration, organic substances, CO₂, humic acids (HA), fulvic acids (FA), non-hydrolyzable residue (NO).*

Литература

1. Прокофьева Т.В., Розанова М.С., Попутников В.О. Некоторые особенности органического вещества почв на территориях парков и прилегающих жилых кварталов Москвы // Почвоведение. 2013. № 3. С. 302–314.
2. Krechetov P.P., Sharapova A.V., Semenov I.N., Koroleva T.V. Protocol of conjugate evaluation of the biological activity of soils in terms of cellulolytic activity and biological consumption of oxygen // METHODSX. 2022. Vol. 9. 101841.
3. Шаропова А.В. Окислительно-восстановительное состояние почв Среднерусской лесостепи в зоне влияния терриконов угольных шахт: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.23. Москва, 2013. 161 с.

Научное издание

**РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ:
ТЕХНОЛОГИИ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ
И БИОРАЗНООБРАЗИЕ**

**Сборник научных трудов Всероссийской научно-
практической конференции с международным участием
(1–3 октября 2024 года, г. Новокузнецк)**

Ответственный редактор В. А. Андроханов
Компьютерная вёрстка Н. В. Голп

Подписано в печать 23.09.2024 г.

Формат 60×90/8. Бумага писчая. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 18,12. Уч.-изд. л. 19,18. Тираж 25 экз. Заказ 170.

Сибирский государственный индустриальный университет.
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова зд. 42.
Издательский центр СибГИУ

