

XI Всероссийская научная конференция
с международным участием
**«Биологическая рекультивация и
мониторинг нарушенных земель»**

Сатка, 12–16 сентября 2022



XI All-Russian Scientific Conference with International
Participation

**“The Biological Reclamation and
Monitoring of Disturbed Lands”**

Satka, 12–16 September, 2022

Организаторы



**ФГБУН Ботанический сад Уральского
отделения РАН**

620144 Екатеринбург, 8 Марта, 202 а
common@bootguard.uran.ru



**ФГАОУ ВО «Уральский федеральный
университет им. первого Президента
России Б. Н. Ельцина»**

620002 Екатеринбург, Мира, 19
contact@urfu.ru

Спонсоры конференции



**Главное управление лесами
Челябинской области**

ЧОБУ «Саткинское лесничество»



Саткинский муниципальный район



**Министерство экологии
Челябинской области**

**МИНИСТЕРСТВО ЭКОЛОГИИ
ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ**



ООО «Группа «Магnezит»



**ПАО «Среднеуральский
медеплавильный завод»**



Национальный парк «Зюраткуль»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
БОТАНИЧЕСКИЙ САД УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б. Н. ЕЛЬЦИНА»

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И МОНИТОРИНГ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Материалы XI Всероссийской научной конференции
с международным участием
Сатка, 12–16 сентября 2022 г.

Сатка
2022

УДК 502.521
ББК 28.088.1

*Рецензент – доктор биологических наук, профессор,
главный научный сотрудник ин-та Экологии растений
и животных УрО РАН В. А. Мухин*

Редакционная коллегия:

доктор сельскохозяйственных наук С. Л. Менщиков;
кандидат биологических наук М. А. Глазырина (отв. редактор);
доктор географических наук Г. Г. Борисова (отв. за выпуск);
кандидат биологических наук Н. В. Лукина (отв. за выпуск)

Б 63 Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель : материалы
XI Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Сатка, 12–16 сентября 2022 г. –
Сатка: Изд-во «Принтотоника», 2022. – 299 с.

ISBN 978-5-6046776-7-4

Материалы сборника включают доклады, отражающие достижения основные результаты исследований в области изучения экологических основ и разработки методов биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель, выполненных за последние 5–10 лет в России и других странах, в которых уровень добычи и переработки нефти, газа, руды и других ископаемых остается высоким и сопровождается интенсивным приростом загрязненных и нарушенных территорий. Обосновываются принципы рекультивации нарушенных земель, адекватные условиям природной среды в различных природно-климатических зонах. В сборнике статей по материалам конференции отражены результаты исследований последствий негативного влияния на природную среду промышленного производства на всех этапах техногенеза: воздействие разработки полезных ископаемых, угледобычи, рудных месторождений, карьерно-отвалных комплексов, нефтедобычи, отходов цветной и черной металлургии. Кроме того, часть материалов, опубликованных в сборнике посвящена актуальным проблемам озеленения крупных мегаполисов, а также депонированию углерода в техногенных ландшафтах.

Сборник рассчитан на широкий круг специалистов, в том числе в области ботаники, экологии, биоэкологи, охраны окружающей среды, лесоведения и лесоводства, ландшафтной архитектуры; специалистов, занимающихся проблемами антропогенной трансформации наземных экосистем и рекультивации нарушенных земель.

УДК 502.52
ББК 28.088.1

ISBN 978-5-6046776-7-4

© Ботанический сад УрО РАН, 2022
© ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого
Президента России Б. Н. Ельцина», 2022

Содержание

Предисловие.....	10
<i>Алемасова А. С., Сафонов А. И.</i> Экологический мониторинг содержания тяжелых металлов в фитосубстратах индикационной значимости.....	12
<i>Андроханов В. А., Госсен И. Н., Уфимцев В. Н.</i> Итоги рекультивации на Назаровском угольном разрезе.....	16
<i>Банникова Л. А., Хриченков А. В., Бурицев А. Г., Тиганова И. А., Третьякова А. С., Груданов Н. Ю., Владыкина В. Д.</i> Принципы формирования подхода к благоустройству озелененных пространств Екатеринбурга.....	20
<i>Барашкова Н. В., Мартынова Л. В.</i> Восстановление природного разнообразия травостоя и почвенного плодородия остепненных лугов центральной Якутии.....	24
<i>Бухарина И. Л., Исупова А. А., Лямзин В. И.</i> Перспективы использования консорциумов микроорганизмов и высших растений в восстановлении нефтезагрязненных земель.....	28
<i>Бушуева Ю. О., Егошина Т. Л., Гудовских Ю. В., Ярославцев А. В., Лугинина Е. А.</i> Особенности нарушенных растительных сообществ в подзоне северной тайги Республики Коми.....	32
<i>Воробьева И. Б., Власова Н. В.</i> Мониторинг состояния снежного покрова нарушенных земель при открытой разработке угольного месторождения Восточной Сибири.....	36
<i>Глазырина М. А., Лукина Н. В., Филимонова Е. И. Баркова Н. Ю., Коробицина С. Н.</i> Виды трибы Rurgoleae на промышленных отвалах (Средний Урал).....	41
<i>Глухова Е. В., Голубева Е. И.</i> Фиторекультивация нарушенных прибрежных экосистем Терского берега Белого моря.....	48
<i>Глянцева Ю. С., Зуева И. Н., Лифшиц С. Х., Чалая О. Н., Попова Н. И.</i> Углеводородное состояние мерзлотных почв в районе нефтебаз на территории Якутии.....	51
<i>Двуреченский В. Г.</i> Способы реабилитации почв, деградирующих под влиянием предприятий цветной металлургии.....	55
<i>Дорогая Е. С., Абакумов Е. В., Гаршин М. В., Сулейманов Р. Р., Миннегалиев А. О.</i> Исследование микробиома карьера по добыче строительных материалов в Зауралье Республики Башкортостан.....	59
<i>Ермакова М. В.</i> Рост и формирование культур сосны при рекультивации дражных отвалов.....	63
<i>Ермакова М. В.</i> Создание декоративных форм сосны обыкновенной при озеленении урбанизированной среды.....	67
<i>Жуков С. П.</i> Трансформированные биогеоценозы реки Богодухова г. Донецка.....	71
<i>Ильбулова Г. Р., Семенова И. Н., Суюндукова М. Б.</i> Загрязнение почв окрестностей Зилаирского медеплавильного завода Зилаирского района Республики Башкортостан...	75
<i>Калинина А. В. Oenothera salicifolia</i> Desf. ex G. Don в техногенных экотопах г. Макеевки (ДНР).....	79
<i>Кочубей А. А., Петрова И. В.</i> Особенности сфагнового субстрата в постприродных и негорелых сосняках на верховых болотах Западной Сибири.....	83
<i>Крюкова С. А., Катаев Г. Д.</i> Оценка состояния наземных экосистем по данным биологического мониторинга на примере мелких млекопитающих.....	86
<i>Кузьмина Н. А., Менищikov С. Л., Севик Х.</i> Биоаккумуляция металлов в ассимиляционных органах сосны и изменение почв в условиях текущего и накопленного аэротехногенного загрязнения	90
<i>Кулагин А. Ю.</i> Лесная рекультивация нарушенных ландшафтов – экологически корректный ресурсосберегающий способ ликвидации накопленного экологического ущерба и восстановления биологической продуктивности.....	98

Кулагин А. Ю., Тагирова О. В. Региональные особенности лесной рекультивации территорий, нарушенных при разработке месторождений полезных ископаемых: перспективы рекреационного использования карьерно-отвального ландшафтно-природного комплекса Кумертауского бурогольного разреза (Южное Предуралье).....	101
Ламанова Т. Г., Шеремет Н. В., Доронькин В. М. Редкие и исчезающие виды растений Сибирской флоры при восстановлении биоразнообразия на вскрышных породных отвалах в Кузбассе.....	104
Леухин И. В. Анализ загрязненности компонентов природной среды на территории Шорского национального парка за период с 2016 по 2021 гг.	109
Лиханова И. А., Кузнецова Е. Г., Лаптева Е. М. Особенности разработки технологических карт по восстановлению нарушенных земель на севере (Республики Коми).....	114
Лиханова И. А., Кузнецова Е. Г., Холопов Ю. В., Денева С. В., Лаптева Е. М. Специфика формирования почвенного органического вещества и депонирование углерода в процессе первичного почвообразования на Северо-Востоке европейской части России.....	119
Малева М. Г., Чукина Н. В., Борисова Г. Г., Новиков П. Е., Раева Я. Ю., Воропаева О. В., Филимонова Е. И. Влияние рекультивационных мероприятий на содержание биогенных элементов и продукционный процесс у <i>Listera ovata</i> (Orchidaceae) в условиях золоотвала.....	123
Мартынюк А. А., Коженков Л. Л., Жидков А. Н. Использование осадков сточных вод для рекультивации техногенно нарушенных земель.....	128
Машков И. А., Потапенко А. М., Толкачева Н. В., Митин Н. В. Состояние антропогенно нарушенных торфяных участков, переданных в лесной фонд минлесхоза.....	132
Менщиков С. Л., Мухин В. А., Ташев А. Н. Диагностика негативных изменений в лесных экосистемах по выявлению техногенного нарушения и методов рекультивации нарушенных земель.....	137
Миннегалиев А. О., Дорогая Е. С., Сулейманов Р. Р., Асылбаев И. Г. Затопленные почвы ложа водохранилищ: особенности формирования и перспективы восстановления.....	141
Мирненко Н. С. Анализ развития пыльцевых зерен некоторых видов древесных растений Донецкой агломерации.....	144
Михайловская Л. Н., Гусева В. П., Михайловская З. Б. Радиационный мониторинг почвенного покрова в зоне влияния атомных предприятий.....	147
Михаищев Р. В., Валдайских В. В., Симолян Р. С. Особенности роста побегов представителей семейства сосновые (<i>Pinaceae</i> Lindl.) в условиях культуры в ботаническом саду УрФУ.....	152
Мохначев П. Е., Махнева С. Г., Менщиков С. Л., Терехов Г. Г., Потапенко А. М., Клеткин А. А. Изменчивость признаков генеративной системы <i>Pinus sylvestris</i> L. в условиях аэротехногенного загрязнения.....	156
Некрасова О. А., Радченко Т. А., Бетехтина А. А., Учаев А. П., Петрова Т. А. Изменение физико-химических свойств зольного субстрата на начальных этапах почвообразования.....	161
Никитина Е. С., Сродных Т. Б. Предложения по схемам посадки живых изгородей декоративного назначения.....	165
Опекунова М. Г., Опекунов А. Ю., Кукушкин С. Ю. Результаты многолетних мониторинговых исследований на территории лицензионных участков нефтегазодобычи ЯНАО.....	168
Пермитина В. Н. Основы биологической рекультивации нарушенных земель рудных месторождений Северного Казахстана.....	174
Потапенко А. М., Машков И. А., Толкачева Н. В., Митин Н. В., Шабалева М. С. Биологическая устойчивость древостоев <i>Betula pendula</i> Roth в 30-километровой зоне ЧАЭС.....	178

Рафикова О. С., Веселкин Д. В. Проверка гипотезы об аллелопатической активности <i>Acer negundo</i> в экспериментах разного дизайна.....	181
Сафонов А. И., Глухов А. З. Методические аспекты фитомониторинга в техногенно трансформированных регионах.....	184
Старцев В. В., Яковлева Е. В., Кутявин И. Н., Дымов А. А. Подзолистые почвы постпирогенных еловых лесов средней тайги европейского севера и центральной Сибири...	188
Суюндуков Я. Т., Исанбаева Г. Т., Хасанова Р. Ф. Применение аборигенной растительности для биологической рекультивации отвалов медноколчеданного месторождения.....	193
Тихменев Е. А., Тихменев П. Е. Экологические аспекты рекультивации золоторудных месторождений криолитозоны Северо-Востока России.....	198
Трещевская С. В., Трещевская Э. И., Князев В. И., Бобрешова А. О. Лесная рекультивация техногенно нарушенных земель Курской магнитной аномалии: итоги и перспективы.....	203
Филимонова Е. И., Глазырина М. А., Лукина Н. В., Давляев Ф. Д. Восстановление растительности на территории карьерно-отвальных комплексов после добычи карбонатного сырья.....	207
Филимонова Е. И., Лукина Н. В., Давляев Ф. Д., Глазырина М. А. Систематическая и биоэкологическая структуры флоры отвалов Сухореченского месторождения карбонатных пород.....	214
Чибрик Т. С., Лукина Н. В., Глазырина М. А., Филимонова Е. И. Подходы к реабилитации породных отвалов угольных предприятий путем биологической рекультивации (на примере Уральского региона).....	220
Чибрик Т. С., Лукина Н. В., Филимонова Е. И., Глазырина М. А. Формирование флоры и растительности на отвалах Кемпирсайского никелевого месторождения (Северный Казахстан).....	225
Ширяев Г. И., Тептина А. Ю., Малева М. Г., Борисова Г. Г., Собенин А. В. Геохимические особенности субстратов и видовое разнообразие прибрежно-водных растительных сообществ в окрестностях Карабашского медеплавильного комбината.....	230
Шишкин А. С. Карбоновые полигоны и лесная рекультивация.....	236
Юсупов И. А., Голиков Д. Ю. Древесные и кустарниковые растения в озеленении дендропарка в г. Екатеринбурге.....	240
Aricak B., Cetin M., Erdem R., Sevik H. Change of Mg concentrations in some forest soils depending on plant species.....	249
Kalender A., Yavruoğlu S., Oktan E., Yücesan Z. Rehabilitation of burned forest areas in Turkey: natural vegetation dynamics and rehabilitation process.....	254
Oktan E., Atar N. Can clone individuals from monumental trees be used in degraded areas...	261
Sevik H., Erdem R., Cetin M., Aricak B. Change of Zn concentrations in some forest tree species, organs and soils.....	270
Turgut B., Güler S., Ayan S. Monitoring of the natural remediation by NDVI in an abandoned copper mine site; Bakirkoy-Artvin in Turkey	276
Yavruoğlu S., Kalender A., Yücesan Z., Oktan E. Using forest fields for mining activity and biological reclamation in terms of forest sustainability in Turkey.....	285
Zhumagulova M., Turgut B. The effect of landform and climatic factors on changing normalized vegetation index (NDVI) on the west part of Altai mountain.....	290

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сборник материалов XI Всероссийской научной конференции с международным участием «Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель» содержит информацию, отражающую достижения современных исследований в области широкого спектра экологических проблем, связанных с антропогенным воздействием на природную среду. Подавляющее большинство участников конференции – это научные сотрудники Российской академии наук и представители вузовской науки из ведущих университетов нашей страны и зарубежья, что особенно актуально в год фундаментальной науки, объявленный ООН.

Цель проведения конференции – обмен мнениями и координация научных и научно-практических исследований по актуальным проблемам биологической рекультивации и мониторингу нарушенных земель, а также обсуждение методических подходов, ключевых вопросов лесовосстановления нарушенных природных сообществ и приоритетных направлений современных проблем состояния природных и социальных комплексов: «Экотехнологии в озеленении урбанизированной среды» и «Биологическая продуктивность и депонирование углерода в техногенных ландшафтах».

В данном сборнике представлены 60 докладов и сообщений.

Весь научный материал можно разделить на 4 основных направления.

1. Экологические основы биологической рекультивации нарушенных земель, итоги экспериментальных работ.
2. Геохимическая оценка и мониторинг состояния нарушенных, рекультивированных и деградированных территорий.
3. Экотехнологии в озеленении урбанизированной среды.
4. Биологическая продуктивность и депонирование углерода в техногенных ландшафтах.

Данные направления в совокупности представляют исследования, посвященные решению крупной фундаментальной научной проблемы: «Разработка научных основ реабилитации антропогенно нарушенных территорий наземных экосистем на базе научно-исследовательских полигонов», где изучаются показатели состояния биосистем на различных уровнях биологической организации (ландшафтном, биогеоценотическом, популяционном и т. д.). Трансформацию природной среды в условиях антропогенного воздействия и восстановление нарушенных земель более результативно изучать в разных физико-географических условиях. На основе таких исследований можно установить важные закономерности изменения состояния растительных сообществ и возможности биологической рекультивации нарушенных земель. В связи с вышеизложенным, анализ и обсуждение представленных на конференции докладов и сообщений широкого круга участников из различных регионов и природно-климатических зон нашей страны и зарубежья, имеют большую научную и практическую ценность.

Статьи, включенные в сборник, отражают основные результаты исследований в области изучения экологических основ и разработки методов биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель, выполненных за последние 5–10 лет в России и других странах, в которых уровень добычи и переработки нефти, газа, руды и других ископаемых остается высоким и сопровождается интенсивным приростом загрязненных и нарушенных территорий. Обосновываются принципы рекультивации нарушенных земель, адекватные условиям природной среды в различных природно-климатических зонах. В сборнике материалов конференции отражены результаты исследований последствий негативного влияния на природную среду промышленного производства на всех этапах техногенеза: воздействие разработки полезных ископаемых, угледобычи, рудных месторождений, карьерно-отвалных комплексов, нефтедобычи, отходов цветной и черной металлургии. Представлены результаты изучения сукцессионных процессов при естественном восстановлении почвенно-растительных комплексов посттехногенных экосистем. Выполненные эксперименты и опытно-промышленные испытания разработанных технологий биологической рекультивации по-

казали высокую эффективность восстановительных мероприятий. Кроме того, часть материалов, опубликованных в сборнике посвящена актуальным проблемам озеленения крупных мегаполисов, а также депонированию углерода в техногенных ландшафтах.

Инициаторами и организаторами конференции являются лаборатория экологии техногенных растительных сообществ Ботанического сада УрО РАН и лаборатория антропогенной динамики экосистем Института естественных наук и математики Уральского федерального университета им. Первого президента России Б. Н. Ельцина.

Оргкомитет конференции выражает благодарность за спонсорскую помощь по проведению конференции. Конференция, как и прежде, проводится при участии и активной поддержке административных, научных и производственных организаций: Правительства Челябинской области, Министерства экологии Челябинской области, Главное управление лесами Челябинской области, ЧБУ «Саткинское лесничество», Саткинский муниципальный район, ПАО «Комбинат «Магnezит», ПАО «Среднеуральский медеплавильный завод», Национальный парк «Зюраткуль».

Материалы конференции представляют обширную и многоплановую тематику, а публикуемые в сборнике материалы будут, несомненно, полезны широкому кругу специалистов, занимающихся проблемами антропогенной трансформации наземных экосистем и рекультивации нарушенных земель.

*Заведующий лабораторией экологии
техногенных растительных сообществ
Ботанического сада УрО РАН,
д-р. с-х наук С. Л. Менщиков*

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ФИТОСУБСТРАТАХ ИНДИКАЦИОННОЙ ЗНАЧИМОСТИ

Алемасова А. С., Сафонов А. И.

*Донецкий национальный университет, г. Донецк, ДНР
kf.analit.chem.zav@donnu.ru, a.safonov@donnu.ru*

Ключевые слова: *тяжелые металлы, экологический фитомониторинг, техногенное загрязнение.*

Аннотация: *Определена специфика накопления (содержания) тяжелых металлов в фитосубстратах, используемых для проведения экологического мониторинга в регионе с высоким уровнем антропогенной нагрузки на природные среды. Из числа информативных объектов растительного происхождения, позволяющих регистрировать их распространение и наличие в эквивалентной сети наблюдений, выделены две категории биосубстратов: гаметофиты часто встречающихся в Донбассе видов мохообразных (*Bryum caespiticium* Hedw., *Brachythecium campestre* (Müll. Hal.) Bruch et al., *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid, *Bryum argenteum* Hedw.) и выросты зрелых семян в халазной части семязачатка *Populus nigra* L. в период его максимального семеношения. В обоих случаях реализуются элементы программы пассивного экологического мониторинга на больших площадях в рамках наблюдательной сети за состоянием локальных экосистем. Результаты проведенной работы позволили выявить зоны повышенного техногенеза в донецком регионе.*

ECOLOGICAL MONITORING OF THE CONTENT OF HEAVY METALS IN PHYTOSUBSTRATES OF INDICATOR SIGNIFICANCE

Alemasova A. S., Safonov A. I.

Donetsk National University, Donetsk, DPR

Key words: *heavy metals, environmental phytomonitoring, technogenic pollution.*

Abstract: *The specificity of heavy metal accumulation in phytosubstrates used for environmental monitoring in a region with a high anthropogenic pressure on natural environments has been determined. Among the informative objects of plant origin, which allow recording their distribution and presence in the equivalent observation network, two categories of biosubstrates have been distinguished: gametophytes of bryophytes often found in the Donbass (*Bryum caespiticium* Hedw., *Brachythecium campestre* (Müll. Hal.) Bruch et al., *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid, *Bryum argenteum* Hedw.) and capillary bristles of mature seeds in the chalase part of the ovule of *Populus nigra* L. during its maximum seed production. In both cases, elements of a program of passive environmental monitoring over large areas are implemented within the framework of an observational network of the state of local ecosystems. The results of the work carried out made it possible to identify zones of increased technogenesis in the Donetsk region.*

Введение. В экологической оценке больших антропогенно трансформированных территорий существенное значение имеет информация о состоянии живых объектов или специфике ингредиентного состава биосубстратов, склонных к пассивному накоплению приоритетных загрязнителей в конкретном геолокалитете [1–3]. В этой связи актуальными для фитомониторинговых работ являются анализ проб по накоплению токсичных элементов в бриобионтах [4–7] с учетом их таксономического положения [8] и структурно-ботаническая экспертиза ландшафтных систем в геохимически контрастных регионах [9–11].

Цель работы – установить особенности содержания тяжелых металлов (Zn, Cu, Fe, Mn, Ni, Cd, Pb) в фитосубстратах геофиксированных мохообразных и свободно перемещаю-

щихся в пределах одного мониторингового локалитета семян тополя черного в качестве диагностических критериев состояния конкретных экотопов по загрязнению воздушной среды в условиях центрального Донбасса.

Выбор указанных категорий биосубстратов обусловлен проводимой оценкой качества приземного слоя атмосферы в урбанизированных и техногенно напряженных регионах, поскольку образцы мохообразных (виды *Bryum caespiticium* Hedw., *Brachythecium campestre* (Müll. Hal.) Bruch et al., *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid, *Bryum argenteum* Hedw.) имеют конкретный геолокалитет и по своей структурно-функциональной природе накапливают тяжелые металлы из атмосферных осадков, а свободно парящие в воздухе семена тополя черного (*Populus nigra* L.) осаждают на поверхности своих халазных выростов микрочастицы и легкие фракции пыли, таким образом, индицируя уровни загрязнения воздуха в зонах промышленного импакта и городских территориях.

Результаты исследований. В таблице представлены результаты наиболее контрастных значений содержания тяжелых металлов в биосубстратах гаметофитно-мохового и эмбрионально-дендрологического происхождения: три учетные площадки максимального импакта металлургических предприятий в городах Донецке, Макеевке и Енакиево. В качестве условного регионального контроля использовали участок в буферной зоне Республиканского Ландшафтного парка Донецкий Кряж. Для корреляционного анализа и системы мониторинга в Донбассе были обработаны значения по 24-м точкам наблюдения.

Таблица – Содержание тяжелых металлов в индикаторных фитосубстратах

Локалитет сбора	Образец фитосубстрата	Концентрация, мг/кг						
		Zn	Cu	Fe	Mn	Ni	Cd	Pb
47°58'57"N; 37°48'38"E (Донецкий металлургический завод)	<i>Bryum caespiticium</i>	401	108	7069	617	22	1,0	90
	<i>Brachythecium campestre</i>	432	105	4502	403	10	0,3	14
	<i>Ceratodon purpureus</i>	489	130	11532	511	23	1,1	91
	<i>Bryum argenteum</i>	398	105	7055	619	22	0,9	89
	<i>Populus nigra</i>	516	149	9613	490	29	1,6	111
48°03'38"N; 37°56'39"E (Макеевский металлургический завод)	<i>Bryum caespiticium</i>	210	114	9662	415	24	0,3	80
	<i>Brachythecium campestre</i>	216	88	5391	399	6	0,2	16
	<i>Ceratodon purpureus</i>	250	127	9932	482	26	0,4	83
	<i>Bryum argenteum</i>	212	99	9650	418	21	0,3	81
	<i>Populus nigra</i>	290	136	8510	434	31	0,8	97
48°13'21"N; 38°13'32"E (Енакиевский металлургический завод)	<i>Bryum caespiticium</i>	806	95	13209	401	17	1,2	105
	<i>Brachythecium campestre</i>	502	82	5419	379	9	0,3	13
	<i>Ceratodon purpureus</i>	739	165	15154	485	19	1,3	108
	<i>Bryum argenteum</i>	804	91	13205	406	16	1,2	101
	<i>Populus nigra</i>	803	188	12071	473	24	2,1	119
47°56'45"N; 38°38'01"E (Республиканский Ландшафтный парк Донецкий Кряж)	<i>Bryum caespiticium</i>	44	6	5083	378	4	0,1	8
	<i>Brachythecium campestre</i>	40	5	4992	351	4	0,1	8
	<i>Ceratodon purpureus</i>	47	7	5130	389	5	0,2	9
	<i>Bryum argenteum</i>	44	6	5072	375	4	0,1	8
	<i>Populus nigra</i>	51	8	4039	307	6	0,3	10

Определение массовой концентрации тяжелых металлов в образцах фитосубстратов проводили в аттестованной лаборатории кафедры аналитической химии Донецкого национального университета (свидетельство об аттестации № ИЛ-124/2019 выдано 16.12.2019 г. ГП «Донецкстандартметрология»). Пробы фитосубстратов отбирались в третью декаду мая в соответствии с рекомендациями [12]. При подготовке к анализу пробы ссыпались на полиэтиленовую пленку, измельчались, тщательно перемешивались, квартовались. Подготовленную пробу высушивали в сушильном шкафу при температуре 60–65 °С до воздушно-сухого

состояния, истирали в фарфоровой ступке и проводили минерализацию методом сухого озоления при 525 °С в течение трех часов [13, 14]. Тяжелые металлы из золы экстрагировали азотной кислотой (1 : 1) и определяли содержание целевых компонентов в кислотных вытяжках пламенным и электротермическим атомно-абсорбционным методом [15]. Градуирование приборов проводили по стандартным образцам растворов металлов.

По геоботаническим и морфологическим наблюдениям все растительные объекты были в удовлетворительном состоянии: без признаков функционального угнетения на аутиндикационном и ценотическом уровнях с прохождением всех сезонных онтогенетических преобразований, из которых наиболее уязвимыми в промышленной среде являются фенофаза спороношения для бриобионтов и семеношения для особей тополя черного.

По статистической дифференциации адекватным аккумулятором из числа видов мохообразных определен *C. purpureus*, по данным которого установлен ранжированный ряд промышленного воздействия среди предприятий: Енакиевский (I), Донецкий (II) и Макеевский (III) металлургические заводы в градиенте уменьшения токсического эффекта.

Поскольку методы анализа мохообразных и древесных растений рассмотрены как альтернативные друг другу, то был проведен расчет попарной корреляции в содержании тяжелых металлов между *C. purpureus* и *P. nigra*: Zn – коэффициент корреляции (R) +0,94 с большим накоплением на 9–12 % в общих элементах диссеминации тополя черного во всех образцах; Cu – (R +0,94) с эффектом дендрологической гипераккумуляции, тот же эффект отмечен и при анализе концентраций Ni (+0,89), Cd (+0,91) и Pb (+0,95); в отношении специфики содержания Fe (+0,88) и Mn (+0,94) доказана устойчивая тенденция большего содержания именно в образцах индикаторного мохообразного, что, по-видимому, обусловлено спецификой геохимической активности этих элементов в миграционных потоках аэрофитогоризонтов, когда захват содержания техногенной пыли на халазных выростах семян тополя черного происходит в приземном слое атмосферы более активным путем для мелкодисперсных фракций промышленных эмиссий, а в случае с мохообразными фиксируется эффект накопления только после выпадения фрагментарных осадков, в которых, судя по результатам проведенного эксперимента, соединения железа и марганца имеют больший процент по сравнению с их содержанием в приземных слоях воздушных масс городов и отдельно рассматриваемых промышленных территорий. Следовательно, в использовании фитосубстратов индикаторного назначения также можно дифференцировать элементную геохимическую специфику в промышленно развитых регионах.

На примере попарного сравнения по содержанию тяжелых металлов в спорофитах *V. caespiticium* и *V. argenteum* проверена гипотеза о близкородственной фитогеохимической специфике. Установлено, что по содержанию всех исследуемых элементов происходит процесс их накопления в диапазоне варьирования значений не более 7 %, что позволяет рекомендовать сборы одного из видов при наличии обоих на учетной площадке при реализации процедур, например, фоновый мониторинг. Отмечен факт гипераккумуляции Mn на территории Донецкого металлургического завода, причем эффект накопления более 600 мг/кг этого элемента наблюдается только если в других индикаторных фитосубстратах содержание выше 490 мг/кг, что доказывает безбарьерное проникновение элемента в таллом растительного организма при особо токсичных концентрациях. Для соединений цинка эффект сравнительной гипераккумуляции отмечен на территории Енакиевского металлургического завода, что, по-видимому, также подтверждает объяснение при включении механизма безбарьерного проникновения элемента при особо токсичных концентрациях в окружающей среде. Для видов *V. caespiticium* и *V. argenteum* в тех же условиях импакта Енакиевского завода при гипернакоплении цинка отмечен эффект гипоаккумуляции меди, что рассматривается как пример конкурентного ингибирования (межметаллического взаимодействия) в парной группе физиологической конкуренции «Zn–Cu».

Высокие уровни загрязнения установлены для сети промышленных предприятий и городских агломераций, а также в местах размещения бытовых и промышленных отходов,

что на современном этапе является важной информацией для государственных экологических служб.

Заключение. Таким образом, элементный анализ фитосубстратов является приемлемым способом проведения мониторинговых исследований фонового и импактного характера в регионе высоких антропогенных трансформаций, позволяет опосредованно характеризовать уровень загрязнения воздушной среды, специфику пылевого содержания в аэрофитогоризонтах в том числе в связи с локальными воздействиями объектов промышленности.

Список литературы

1. Shekoyan S. V., Yeprintsev S. A., Vinogradov P. M., Lepeshkina L. A. Environmental quality assessment of urban areas using geoinformation technologies (on Example of the cities of Central Russia) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. V. 543: 012025. DOI: 10.1088/1755-1315/543/1/012025
2. Bayouli I. T., Bayouli H. T., Dell'Oca A., Meers E. Ecological indicators and bioindicator plant species for biomonitoring industrial pollution: Eco-based environmental assessment // Ecological Indicators. 2021. V. 125(6): 107508. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107508
3. Zaghoul A., Saber M., Gadow S., Awad F. Biological indicators for pollution detection in terrestrial and aquatic ecosystems // Bulletin of the National Research Centre. 2020. V. 44(1): 127. DOI:10.1186/s42269-020-00385-x
4. Алемасова А. С., Сафонов А. И., Сергеева А. С. Накопление тяжелых металлов мохообразными в различных экотопах Донбасса // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов: Материалы Междунар. научн. конф., г. Киров, 16–18 апреля 2019 г. Киров: ВятГУ, 2019. С. 60–65.
5. Sergeeva A., Zinicovscaia I., Vergel K., Yushin N., Urošević M. The effect of heavy industry on air pollution studied by active moss biomonitoring in Donetsk region // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 2021. V. 80. P. 546–557. DOI: 10.1007/s00244-021-00834-2
6. Sergeeva A., Zinicovscaia I., Grozdov D., Yushin N. Assessment of selected rare earth elements, HF, Th, and U in the Donetsk region using moss bags technique // Atmospheric Pollution Research. 2021. V. 12(1): 101165. DOI: 10.1016/j.apr.2021.101165
7. Kozlova E. A., Orlova E. E., Zubik I. N., Simakhin M. V. Growth and development analysis of silver Brium (*Bryum argentium* Hedw.) depending on illumination level influence // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. V. 981(4): 042012. DOI: 10.1088/1755-1315/981/4/042012
8. Сафонов А. И., Морозова Е. И. Видовое разнообразие бриобионтов мониторинговой сети Центрального Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 1–2. С. 39–43.
9. Safonov A., Glukhov A. Ecological phytomonitoring in Donbass using geoinformational analysis // BIO Web of Conferences. 2021. V. 31: 00020. DOI: 10.1051/bioconf/20213100020
10. Wang S., Huang Ji., Yu H., Ji Ch. Recognition of landscape key areas in a coal mine area of a semi-arid steppe in China: a case study of Yimin open-pit coal mine // Sustainability. 2020. V. 12(6): 2239. DOI: 10.3390/su12062239
11. Опекунова М. Г. Биоиндикация загрязнений. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2016. 300 с.
12. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства / А. В. Кузнецов, А. П. Фесюн, С. Г. Самохвалов [и др.]. М.: Изд-во ЦИНАО, 1992. 61 с.
13. ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения токсичных элементов: Межгосударственный стандарт. Дата введения: 1996-01-01. М.: Стандартинформ, 2010. С. 114–122 с.
14. Хавезов И., Цалев Д. Атомно-абсорбционный анализ. Л.: Химия. 1983. 144 с.
15. Пупышев А. А. Атомно-абсорбционный спектральный анализ. М.: Техносфера, 2009. 784 с.

ИТОГИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НА НАЗАРОВСКОМ УГОЛЬНОМ РАЗРЕЗЕ

¹Андроханов В. А., ¹Госсен И. Н., ²Уфимцев В. Н.

¹Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия
androhanov@issa-siberia.ru

Ключевые слова: рекультивация, почва, лесовосстановление, самозарастание.

Аннотация: Проведено обследование рекультивированной территории Центрального блока Назаровского угольного разреза, расположенного в лесостепной зоне Красноярского края. После окончания отработки в конце восьмидесятых годов XX века, на данной территории выполнена рекультивация по лесному, сельскохозяйственному, санитарному и рекреационному направлению. Установлено, что за 30-летний период на рекультивированных участках сформировался растительный и почвенный покров в соответствии с направлением рекультивации. Состояние и разнообразие растительного покрова определяется технологией рекультивации и зависит от свойств субстратов поверхностных слоев рекультивационных участков. При сельскохозяйственном направлении рекультивации сформированы искусственные почвы – техноземы. На участках с самозарастанием и лесной рекультивацией, на субстрате отвала развиваются молодые почвы – эмбриоземы.

RESULTS OF RECULTIVATION AT NAZAROVSKOYE COAL MINE

¹Androkhonov V. A., ¹Gossen I. N., ²Ufimzev V. N.

¹Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia

²FRC for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo Botanical Garden, Kemerovo, Russia

Key words: reclamation, soil, forest restoration, self-overgrowing.

Abstract: A survey of the reclaimed territory of the Central Block of the Nazarovsky coal mine, located in the forest-steppe zone of the Krasnoyarsk Territory, was carried out. After the completion of mining in the late eighties of the twentieth century, reclamation was carried out in this area in the forestry, agricultural, sanitary and recreational areas. It has been established that over a 30-year period, vegetation and soil cover has formed in the reclaimed areas in accordance with the direction of reclamation. The condition and diversity of the vegetation cover is determined by the reclamation technology and depends on the properties of the substrates of the surface layers of the reclamation plots. In the agricultural direction of reclamation, artificial soils – technozems have been formed. In areas with self-overgrowing and forest reclamation, on the substrate of the dump, young soils develop – embryozems.

Введение. В конце 80-х годов XX века после окончания отработки Центрального блока Назаровского угольного разреза, на нарушенной территории были выполнены рекультивационные мероприятия по различным направлениям. Разработка этого участка проводилась открытым способом более 35 лет. В ходе разработки данного участка месторождения были сформированы отвалы вскрышных пород, которые в основном размещались в отработанной карьерной выемке железнодорожным транспортом и по бестранспортной схеме отвалообразования.

На начальном этапе рекультивации был выполнен технический этап рекультивации. На этом этапе была проведена планировка поверхности, разравнивание бестранспортных и железнодорожных отвалов. В результате образовалось несколько террас и остаточная часть карьерной выемки, в которой в результате поступления грунтовых вод и атмосферных осадков образовались водные объекты и переувлажненные (водно-болотные) участки. На рисунке

показаны рекультивированные по различным направлениям участки, на которых выполнялись исследования.



Рисунок – Центральный участок Назаровского разреза: точка 1 – Естественное зарастание на вскрышных породах; точка 1а – Естественное зарастание на вскрышных породах; точка 2 – Участок с отсыпкой ПСП; точка 3 – Посадки сосны; точка 5 – Переувлажненный участок

Результаты исследований. На участках 1 и 1а не проводились мероприятия по биологической рекультивации. Рельеф участков относительно выровненный, с небольшим уклоном на юго-запад. Общая площадь составляет около 10 га. Растительный покров на этих участках развивался естественным образом через прохождение определенных стадий растительных сукцессий [1, 2]. В настоящее время на этих участках по проективному покрытию преобладают лугово-степные виды – 50 %, что подтверждает установленный факт о ксерофитизации местообитаний участков рекультивации в данной подзоне [3], а отсутствие выраженной двухъярусности, характерной для сложных растительных группировок на естественных ландшафтах и на участках с ПСП, говорит о торможении сукцессионных процессов травянистого покрова на стадии простых фитоценозов. На данных участках основное разнообразие определяют 15 луговых и лугово-степных видов. Сохраняется куртинное расположение популяций *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. и *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth, характерное для ранних стадий сукцессии. Это может быть вызвано неблагоприятными свойствами субстрата отвала, особенно на начальном этапе формирования растительного покрова.

Сингенетично с формированием растительного покрова идет развитие молодых почв – эмбриоземов [4]. В результате функционирования растений, действия климатических факторов и развития процессов почвообразования, субстрат отвала постепенно трансформируется и начинает проявляться профильная дифференциация поверхностных слоев. При этом, чем благоприятнее начальные условия, тем быстрее проходят стадии сукцессии и развитие почв. На данный момент времени в почвенном покрове этих участков преобладают эмбриоземы дерновые и гумусовоаккумулятивные, которые характеризуются наличием дернового и слабо развитого гумусового горизонта, что позволяет считать, что развитие почв идет доста-

точно быстро и общее почвенно-экологическое состояние этих участков можно охарактеризовать как хорошее [5].

На наиболее возвышенной, выровненной части была проведена отсыпка плодородного слоя почвы (ПСП) и сформированы искусственные почвоподобные образования – техноземы гумусогенные [6, 7]. Этот участок (т. 2) планировался активно использоваться для возделывания сельскохозяйственных культур. В настоящее время он используется под пастбище с естественно сформировавшимся растительным покровом. Общая площадь участка составляет около 80 га. Рельеф волнистый с микрозадинами. Этот рекультивированный участок в наибольшей степени соответствует контрольному варианту. Растительный покров в основном представлен 29 видами, из которых преобладают луговые. Широко представлены рудеральные виды – вероятно, вследствие изначального присутствия семян этих видов в субстрате ПСП, а также их привнесения при использовании участка под выпас.

Поверхностные слои техноземов гумусогенных характеризуются высоким содержанием гумуса и основных питательных элементов. Мощность отсыпки ПСП в среднем составляет 30 см. Этой мощности вполне хватает для обеспечения фитоценозов основными элементами питания. Одним из основных негативных последствий использования данной технологии рекультивации, является образование резкой границы раздела ПСП и субстрата отвала. Несмотря на постепенное разрушение подстилающих пород отвала, наличие резкой границы ухудшает гидрологические свойства техноземов, увеличивая непродуктивные потери влаги из почвы. Тем не менее, благодаря благоприятным почвенно-экологическим условиям этот участок характеризуется отличным почвенно-экологическим состоянием.

Обследованный участок с лесной рекультивацией (посадки сосны, т. 3) расположен на второй спланированной террасе. Возраст культур составляет 35 лет. Посадка проводилась с нормой высадки 4 тыс. семян на 1 га, в настоящее время густота древостоя составляет около 1,3 тыс. на 1 га. При сомкнутости крон 70–90 % такая густота обусловила формирование сосняков-мертвопокровников, с мощной хвойной подстилкой и отсутствием травянистого яруса. Травостой формируется только на открытых пространствах между деревьями, его общее проективное покрытие в насаждении не превышает 10 %. В основном его формируют лесные виды *Rubus idaeus* L. (10 %), *Poa nemoralis* L. (2 %) и *Rubus saxatilis* L. (1 %) и др., что свидетельствует о зональной направленности сукцессии с учетом ценотического влияния основных древостоев.

В почвенном покрове преобладают эмбриоземы органо-аккумулятивные, на редких опушках с травянистым покровом сформировались эмбриоземы дерновые. Для органо-аккумулятивных эмбриоземов характерен органогенный горизонт, сформированный преимущественно опадом хвои. Этот горизонт влияет на гидротермический режим данных почв и способствует поступлению органических веществ в поверхностные слои молодых почв. Субстрат отвала на этом участке характеризуется наибольшей уплотненностью и легким гранулометрическим составом. В результате неблагоприятных гидрологических показателей и повышенным потреблением почвенной влаги древесной растительностью этот участок характеризуется напряженным водным режимом. В результате иссушения поверхностных слоев они становятся пожароопасными, что приводит к пожарам и уничтожению лесных культур на рекультивированных землях. Несмотря на хорошее состояние лесных посадок, общее почвенно-экологическое состояние этого участка характеризуется как удовлетворительное.

Одной из особенностей данного участка является наличие обширных водно-болотных участков. Общая площадь таких участков около 70 га. Хотя в настоящее время называть переувлажненные участками болотами преждевременно. Эти участки расположены в пониженных элементах рельефа и практически окружают бывший Центральный участок от прилегающих естественных ландшафтов. В большинстве случаев эти участки имеют крутые берега, заросшие кустарниковой (*Salix caprea* L., *Hippophaë rhamnoides* L.) и древесной растительностью (*Betula pendula* Roth, *Populus tremula* L., *Pinus sylvestris* L.). На самих переувлажненных участках формируется моновидовой фитоценоз из тростника южного (*Phragmites*

australis (Cav.) Trin. ex Steud.), составляющего 100 % проективного покрытия. Высота травостоя – 2,5 м. Особи других видов растений не встречаются.

В почвенном покрове в результате избыточного увлажнения формируются молодые почвы гидроморфного ряда – эмбриоземы глеевые. Однако из-за отсутствия достаточного количества органического вещества и мха болотная подстилка не формируется, и в дальнейшем, почвенный покров может формироваться в направлении образования иловато-болотных почв с неразвитым органомным горизонтом.

Заключение. Проведенные исследования на территории Назаровского угольного разреза показали, что в настоящее время на участках сформировался растительный покров, соответствующий выбранным направлениям рекультивации. Общее проективное покрытие превышает 90 %, что свидетельствует о высокой эффективности рекультивационных работ. Наибольшей встречаемостью обладают естественно поселившиеся злаки – *Dactylis glomerata* L., *Festuca pratensis* Huds., *Phleum phleoides* (L.) H. Karst., *Poa pratensis* L., бобовые – *Lathyrus pratensis* L., *Trifolium pratense* L., несколько видов рода *Vicia*, представители разнотравья – *Achillea millefolium* L., *Galium mollugo* L., *Plantago media* L. и другие виды, которые надолго сохраняются в травостое, занимая различные экологические ниши. Выполненные рекультивационные мероприятия позволяют разнопланово использовать сформированные участки, при этом это мало влияет на естественное развитие растительного и почвенного покрова. Почвенно-экологическое состояние на участках с отсыпкой ПСП характеризуется как отличное, при самозаращении – хорошее, при лесной рекультивации в результате ограниченного фиторазнообразия – удовлетворительное. Таким образом, в настоящее время, проведенные рекультивационные работы позволяют активно использовать бывшие нарушенные территории в рекреационном и сельскохозяйственном направлении.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 19-29-05086.

Список литературы

1. Воронов А. Г. Геоботаника. М.: Высшая школа, 1973. 383 с.
2. Куприянов А. Н., Манаков Ю. А. Закономерности восстановления растительного покрова на отвалах Кузбасса // Сибирский лесной журнал. 2016. № 2. С. 51–58.
3. Уфимцев В. И., Андроханов В. А., Куприянов О. А., Уфимцев Ф. Г. Плодородный слой почвы как фактор восстановления зональных фитоценозов на отвалах угольной промышленности // Вестник КузГТУ. 2019. № 6. С. 64–71.
4. Андроханов В. А. Сингенез почвенно-генетических и биологических процессов в техногенных ландшафтах Кузбасса // Вестник Томского государственного университета. 2003. Приложение № 7. С. 16–23.
5. Андроханов В. А., Курачев В. М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.
6. Андроханов В. А., Овсянникова С. В., Курачев В. М. Техноземы: свойства, режимы, функционирование. Новосибирск: Наука Сибирская издательская фирма РАН, 2000. 200 с.
7. Соколов Д. А., Абакумов Д. А., Андроханов В. А. Почвообразование в техногенных ландшафтах: тренды, результаты и отражение в современных классификациях (обзор) // Вестник Томского государственного университета. Сер. Биология. 2021. № 56. С. 6–32. DOI: 10.17223/19988591/56/1

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДХОДА К БЛАГОУСТРОЙСТВУ ОЗЕЛЕНЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ ЕКАТЕРИНБУРГА

¹Банникова Л. А., ¹Хриченков А. В., ¹Бурцев А. Г., ¹Тиганова И. А.,
^{1,2}Третьякова А. С., ²Груданов Н. Ю., ¹Владыкина В. Д.

¹Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

²Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

l.a.bannikova@urfu.ru

Ключевые слова: стандарт благоустройства, городские зеленые насаждения, биоразнообразие, ландшафтно-экологические кластеры, зеленые коридоры.

Аннотация: По заказу Департамента архитектуры, градостроительства и регулирования земельных отношений Администрации г. Екатеринбурга подготовлен «Стандарт комплексного благоустройства набережных, парков, скверов, бульваров Екатеринбурга». Предлагаемый Стандарт направлен на сохранение и повышение биоразнообразия в городе, рекомендует использовать природные сообщества в качестве моделей для создания городского озеленения, предусматривает объединение озелененных пространств в водно-зеленый каркас города. Стандартом предусматривается включение на озелененных территориях специальной функциональной зоны естественного разнообразия. Эта зона создается как аналог природных растительных сообществ Среднего Урала и способствует формированию идентичного облика городской среды Екатеринбурга. При проектировании водно-зеленого каркаса города необходимо предусмотреть наличие экологических коридоров между разрозненными озелененными территориями города. Зелеными коридорами естественного происхождения являются русла, поймы и долины рек, антропогенного – бульвары и парки с линейной планировкой.

MODERN FOUNDATIONS FOR FORMATION OF GREEN AREAS IN EKATERINBURG

¹Bannikova L. A., ¹Khrichenkov A. V., ¹Burtsev A. G., ¹Tiganova I. A.,
^{1,2}Tretyakova A. S., ²Grudanov N. Yu., ¹Vladykina V. D.

¹Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²Institute Botanic Garden UB RAS, Ekaterinburg, Russia

Key words: Standards, urban green spaces, biodiversity, landscape-ecological clusters, green corridors.

Abstract: By order of Ekaterinburg City Administration's Department of Architecture, Urban Planning and Regulation of Land Relations the 'Standards for Comprehensive Improvement of Embankments, Parks, Squares and Boulevards in Ekaterinburg' were developed. The proposed Standards aim to preserve and increase biodiversity in the city, recommend using natural communities as models for creating urban landscapes and provide for integration of landscaped areas into the city's water-green framework. The Standards specify inclusion of a special functional natural-diversity zone into the landscaped areas. The zone is created as an analogue to natural plant communities in the Middle Urals and will contribute to formation of identical appearance of Ekaterinburg urban environment. Whilst designing the water-green framework of the city it is necessary to ensure availability of ecological corridors between the scattered landscaped territories of the city. The green corridors of natural origin are riverbeds, floodplains and valleys, while the anthropogenic ones are boulevards and parks with a linear layout.

Введение. В настоящее время г. Екатеринбург представляет собой активно растущий мегаполис с высокими темпами жилищного строительства. Для повышения инвестиционной

привлекательности территории рекомендуется создание комфортной городской среды путем развития не только транспортной и инженерной инфраструктуры, но также системы озелененных общественных пространств. В связи с этим по заказу Департамента архитектуры, градостроительства и регулирования земельных отношений Администрации г. Екатеринбурга подготовлен «Стандарт комплексного благоустройства набережных, парков, скверов, бульваров Екатеринбурга».

Городские зеленые насаждения являются важной составляющей частью любого города. Недавние исследования подтвердили связь между городским озеленением и благополучием горожан. Городские озелененные территории улучшают качество воздуха, очищают его от пыли и загрязняющих веществ, поглощают выбросы CO₂, способствуют снижению уровня шума, регулируют температурный режим [1, 2]. Городские парки оказывают благоприятное воздействие на психологическое и физическое здоровье человека. Общение с природой снижает уровень стресса, тревожности. У людей поднимается настроение и формируется позитивное отношение к жизни. Зеленые насаждения способствуют повышению социальной активности, общению, улучшению когнитивных функций. Появляется все больше данных, что зеленые насаждения стимулируют контакты организма человека с микроорганизмами, что улучшает иммунорегуляцию организма и снижает склонность человека к аллергии. И наконец, озелененные пространства выполняют образовательную и просветительскую функцию, побуждают к познанию. Это идеальные площадки для проведения экскурсий для знакомства с местной флорой и фауной, обучения на открытом воздухе [3–6].

Современные концепции городского озеленения направлены не просто на формирование парков, а на сохранение и повышение биологического разнообразия в городах. Повышается интерес к использованию аборигенных растений и воссозданию природных сообществ на городских территориях. Разрабатываются проекты конструирования на городской территории водно-зеленого каркаса, объединяющего все зеленые насаждения в единую непрерывную сеть [7–8].

Результаты исследований. В качестве научной основы предлагаемого стандарта благоустройства является выделение на территории г. Екатеринбурга ландшафтно-экологических кластеров и их структурных элементов. Ландшафтно-экологические кластеры представляют собой гомогенные фрагменты, территориально близкие участки ландшафтов, сходные по геоморфологическим, литологическим и биологическим характеристикам. В результате оценки территории города было сформировано 11 кластеров: Исетский, Центральный, Пышминский, Садовый, Шарташский, Истокский, Уктусский, Юго-западный, Патрушихинский, Чусовской и Западный. Каждый кластер состоит из ядра, зоны стабилизации и центральной зоны.

Ядра кластеров образованы территориями лесных парков, городских лесов, акваториями рек и водоемов, где расположены природные экосистемы, обладающие высоким биологическим разнообразием, устойчивостью и способностью к самовосстановлению, саморегуляции и самоочищению. Например, Уктусский кластер. Кластер отличается горным рельефом, здесь нередки крутые каменистые склоны с выходами коренных горных пород – дунитов, перидотитов. В его южной части поднимается самая высокая вершина Уктусских гор и Екатеринбурга – гора Татищева (385 м над ур. м.). У подножья гор сохранились заброшенные карьеры. Ядра кластера составляют лесопарки Уктусский, Южный и Нижне-Исетский. Основная растительность представлена сосновыми лесами с примесью березы: 82 % лесов образовано сосной, 18 % – березой. На южных и юго-западных склонах гор и скалистых обнажениях встречаются участки горных разнотравно-злаковых и злаковых степей.

Второй элемент кластера – зона стабилизации. Это своего рода буферная зона, расположенная между ядрами кластеров и центральной, высоко урбанизированной зоной. Она сдерживает негативное воздействие антропогенных факторов центральной зоны на природные экосистемы. Близость природных ландшафтов создает условия для миграции видов флоры и фауны внутрь города. Для определения размеров зоны стабилизации городских лесов и лесных парков были использованы методические приемы, разработанные В. В. Сухановым,

В. Б. Михно и А. В. Кучиным [9–10], учитывающие конфигурацию и размеры площади лесопарков и городских лесов, ширину водоохранной зоны, протяженность рек и береговой линии водоемов.

В зоне стабилизации Стандартом предусматривается включение на озелененных территориях функциональной зоны естественного разнообразия. Эта зона создается как аналог характерных и уникальных для Среднего Урала природных растительных сообществ. Зона естественного разнообразия поддерживает биоразнообразие городской территории и способствует формированию идентичного облика городской среды Екатеринбурга.

Территория зоны естественного разнообразия обустроивается двумя способами. Первый способ подразумевает сохранение существующих природных сообществ: лесных, луговых, околоводных и др. Примером могут служить лесные массивы в ЦПКиО. Второй способ – воссоздание характерных или уникальных природных сообществ на подходящих территориях парков. Обустройство зоны естественного разнообразия определяется видовым разнообразием животных и растений, которое планируется сохранить или поддерживать на территории парков. Оно должно учитывать разнообразие природных сообществ, расположенных в границах кластера и особенности рельефа озеленяемой территории. Например, в Уктусском кластере в зонах естественного разнообразия рекомендуется моделировать степные и скальные сообщества. При этом необходимо использовать аборигенные петрофитные растения: *Spiraea crenata* L., *Festuca pulchra* Schur, *Phlomis tuberosa* (L.) Moench, *Onosma simplicissima* L., *Sedum acre* L. Здесь возможно проводить специальную реинтродукцию редких и охраняемых видов растений (*Aster alpinus* L., *Dianthus acicularis* Fisch. ex Ledeb., *Thymus talijevii* Klokov & Des.-Shost., *Sabulina helmii* (Fisch. ex Ser.) Dillenb. & Kadereit, *Stipa pennata* L.). Представление характерных или уникальных элементов природного ландшафта в парках Екатеринбурга повысит интерес горожан к природе Среднего Урала и будет способствовать повышению уровня экологического сознания.

Третий элемент кластера – центральная зона. Это часть городской территории, насыщенная плотной многофункциональной застройкой и объектами инфраструктуры. В направлении центра города сокращаются площади озелененных пространств, происходит снижение биологического разнообразия за счет уплотнения почв и высокой доли непроницаемых покрытий. В ее пределах располагаются «обособленные озелененные пространства»: парки, скверы, бульвары и набережные, способствующие проницаемости городской среды для представителей природной флоры и фауны.

На следующем шаге проектирования водно-зеленого каркаса города необходимо предусмотреть наличие экологических коридоров между разрозненными озелененными территориями города. Экологические коридоры обеспечивают перемещение живых организмов во фрагментированном городском ландшафте и объединяют все местообитания в единую систему. Соединение всех озелененных пространств в единую сеть позволит повысить устойчивость сообществ, способность выдерживать высокие антропогенные нагрузки, продолжая при этом сохранять основные экологические функции. Экологические коридоры могут состоять из длинных непрерывных растительных поясов, таких как живые изгороди, полосы леса, или берега рек. Они также могут состоять из небольших, отделенных друг от друга местообитаний, где организмы могут найти убежище, пищу, место отдыха. Экологические коридоры не обязательно должны быть непрерывными, физическими связанными, они могут представлять сложную мозаику местообитаний (стабилизирующие и обособленные парки, улицы, дворы, санитарно-защитные полосы и т. п.). Зелеными коридорами естественного происхождения являются русла, поймы и долины рек, антропогенного – бульвары и парки с линейной планировкой [4].

Как показывает мировой опыт невозможно добиться полностью непрерывного озеленения. Но увеличение доли, формирование хотя бы небольших зеленых островков существенно повышает проницаемость городской среды для представителей флоры и фауны. Это может быть и уличное озеленение, и зеленые крыши, которым уделяется большое внимание в европейских городах.

Заключение. Таким образом, подготовленный документ содержит описание концепции развития набережных, парков, скверов и бульваров Екатеринбурга. Основные отличительные особенности предлагаемого Стандарта – понимание важности роли биологического разнообразия в городской среде и применение идеи экологического подхода при разработке проектов реконструкции существующих и вновь проектируемых озелененных пространств города Екатеринбурга.

Список литературы

1. Brack C. L. Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest // *Environmental Pollution*. 2002. V. 116. P. 195–200. DOI: 10.1016/S0269-7491(01)00251-2
2. Strohbach M., Arnold E., Haase D. The Carbon Footprint of Urban Green Space: A Life Cycle Approach // *Landscape and Urban Planning*. 2012. V. 104(2). P. 220–229. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.10.013
3. Çakar H., Gülgün B., Yazici K. The importance of green areas for human health // *Proceeding book of International symposium for environmental science and engineering research (ISESER2021)*. 2021. P. 66–72.
4. City meadows. Vitality from a living heritage. Centre for Economic Development, Transport and the Environment for Southwest Finland. 2012. 79 p.
5. Dadvand P., Nieuwenhuijsen M. J., Esnaola M., Forns Guzman J., Basagaña X., Alvarez-Pedrerol M., Rivas I., López-Vicente M., de Castro Pascual M., Su Ja., Jerrett M., Querol X., Sunyer J. Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2015. V. 112(26). P. 7937–7942. DOI: 10.1073/pnas.1503402112
6. Монтгомери Ч. Счастливый город: как городское планирование меняет нашу жизнь. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2019. 365 с.
7. Зеленый Новосибирск. Концепция развития озелененных общественных пространств общегородского значения. Кн. 1, 2. Новосибирск, 2017. 132 с.
8. Приложение 1 к постановлению Правительства Москвы от 10 сентября 2002 г. № 743-ПП «Правила создания, содержания и охраны зеленых насаждений и природных сообществ города Москвы».
9. Михно В. Б., Горбунов А. С., Быковская О. П., Бевз В. Н. Геосистемный подход к формированию стабилизирующей ландшафтно-экологической сети Центрального Черноземья // *Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле*. 2018. Т. 28, № 1. С. 64–76.
10. Суханов В. В. К расчету оптимальной буферной зоны заповедника // *Экология*. 1993. № 1. С. 100–102.

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРИРОДНОГО РАЗНООБРАЗИЯ ТРАВСТОЯ
И ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ ОСТЕПНЕННЫХ ЛУГОВ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ**

Барашикова Н. В., Мартынова Л. В.

*Институт биологических проблем. с.-х. наук криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Россия
lugved@list.ru*

Ключевые слова: залежные земли, остепненные луга, доминирующие виды, выход биомассы, подземное растительное вещество.

Аннотация: Залежи (заброшенные пашни) способствуют восстановлению природного разнообразия травостоя и почвенного плодородия. Луговые растения обогащают почву растительными веществами, улучшают гидротермические условия, влияющие на гумификацию в зависимости от влагообеспеченности вегетационных периодов, что особенно проявляется в условиях остепненных лугов (луговые степи) долины средней Лены. Шестая агроэкологическая группа земель Намского агроландшафта представлена засоленными землями надпойменных террас р. Лены и занимает площадь 0,15 тыс. м². Здесь основными почвами являются мерзлотные лугово-черноземные солонцеватые почвы, которые обладают слабощелочной реакцией (рН 7–8), содержание подвижных форм азота, фосфора недостаточное в начале вегетационного периода. Видовой состав растительности 15–18-летней залежи формируют пырейно-китайско-волоснецовые ассоциации (*Eletrigio-Leymetum chinensis* Gogl. Etal 1987; *E. A.l. typicum*) с внедрением случайно залежных природных растений. Общее проективное покрытие пырейно-китайско-волоснецовой ассоциации достигает 65–75 % с выходом биомассы 2–1,0 т/га сена. Содержание надземной массы 12,1 ц/га и масса корней 57,6 ц/га, соотношение 4,8. Травостои формируются с низкой скоростью оборота подземной биомассы, ведущей к накоплению запасов подземного растительного вещества. Запас подземной продукции составила 58 ц/га, преобладание подземного растительного вещества над надземной частью является типичным показателем для растительности в условиях степи криолитозоны. Почвы сеяных травостоев отличается плодородием, накоплением органического вещества в почве, засоленность почв слабая, хлоридная.

**RESTORATION OF NATURAL DIVERSITY OF GRASS AND SOIL FERTILITY OF
STEPPE MEADOWS IN CENTRAL YAKUTIA**

Barashkova N. V., Martynova L. V.

*Institute for Biological Problems of Cryolithozone of the Siberian Branch of the RAS, Yakutsk,
Russia*

Key words: fallow lands, steppe meadows, dominant species, biomass output, underground vegetable matter, accumulation of organic matter.

Abstract: Sod fields (fallowlands) contribute to the restoration of natural diversity of grass and soil fertility. Meadow plants fertilize the soil with vegetable matter and improve hydrothermal conditions, affecting humification depending on water availability of vegetation periods, which is particularly apparent under conditions of steppe meadows in middle Lena River valley. The sixth agroecological group of Namsky agrarian landscapes is represented by salinized areas of terrace above the flood-plain of the Lena and occupies an area of 0,15 thousand square meters. The main types of soil here are cryogenic, meadow-chnozemic, solonetzic soils, which have weakly alkaline reaction (pH 7–8), the content of active forms of nitrogen and phosphorus is deficient at the beginning of vegetation period. Species composition of vegetation of 15–18-years old sod fields consists of *Eletrigio-Leymetum chinensis* (*Eletrigio-Leymetum chinensis* Gogl. Etal 1987; *E. A.l. typicum*) with acci-

dental fallow natural plants. Total projective cover of *Eletrigio-Leymetum chinensis* reaches up to 65–75 % with the biomass output of 2–1,10 t/ha of hay. The content of tops amounts to 1,21 t/ha, mass of roots – 5,76 t/ha, ratio – 4,8. Grass stand forms with the slow underground biomass recirculation, resulting in accumulation of underground vegetable matter. Storage of underground production equaled to 5,8 t/ha; domination of underground vegetable matter over aboveground part is typical for vegetation under the conditions of steppe in cryolithozone. The content of humus in sod field soil is up to 2,5 %, other labile soil nutrients take part in biological cycle, moisture deficit in summer causes intensive smoldering and mineralization of organic remains, roots of meadow grass.

Введение. Залежь – это природная экосистема, которая когда-то использовалась для возделывания сельскохозяйственных культур, потом была выведена из оборота и сейчас на ней происходит восстановление природных экосистем путем естественных сукцессионных процессов восстановления травяного покрова.

Академик В. Р. Вильямс [1, 2] выделил две стадии восстановления травяного покрова залежей на бывшей пашне: первая – мягкий перелог с бурьянистой растительностью, вторая стадия – твердый перелог с луговой растительностью и используемый вначале как сенокос и потом как пастбище. В дальнейшем теория развития стадий перелога углубилась с точки зрения почвообразовательного процесса. Дерновый процесс начинается с накопления мертвого органического вещества и ухудшения аэрации почвы, поскольку изменение растительности на лугах обусловлено эндогенными причинами развития. Поэтому для каждой природно-климатической зоны стадии развития растительности на залежных землях имеет свои зональные особенности.

За период аграрных реформ в Якутии увеличилась площадь заброшенных пашен (48 тыс. га), мелиорированных земель (44 тыс. га) и деградированных лугопастбищных угодий (230 тыс. га), что является весьма актуальным для развития лугового кормопроизводства. В условиях среднетаежной подзоны Якутии залежный процесс луговых степей восстанавливается через 8–9 лет с характерной степной растительностью и формирует устойчивые пырейно-вострцовые (*Leymus-Eletrigia repens*) ассоциации с проектным покрытием до 65–74 % и выходом надземной биомассы до 3,3 т/га [3]. В условиях Тувы сходство и восстановление коренного сообщества растений при содержании исходных питательных ресурсов для роста растений отмечалось на 17-летней залежи [4].

В период залежи происходят важнейшие экосистемные функции: депонирование углерода, реабилитация структуры и почвенного плодородия, восстановление степного разнообразия по видовому составу флоры. Луговые экосистемы залежей способствуют сохранению и накоплению органических веществ в биосфере [5, 6]. Рациональное использование луговых травостоев на залежах предусматривает использование травостоя в фазу вегетации по доминирующим видам и соблюдение остальных агротехнических мер как к луговым угодьям [7].

Целью настоящих исследований является изучение видового, биохимического состава и питательности 15–17-летней залежной растительности при сенокосном использовании для производства объемистого корма.

Место и методы исследований. Опытные участки заброшенных пашен научного стационара «Мархинский» Института биологических проблем криолитозоны СО РАН расположены в 13 км в северо-восточном направлении от г. Якутска. Почвы под луговыми степями отличаются большой сухостью и сравнительно интенсивным нагреванием корнеобитаемой толщи. Во второй половине лета протекает усиленная минерализация органических веществ с образованием верхнего гумусированного слоя, внешне напоминающего гумусо-аккумулятивный горизонт степных черноземов. При этом весенняя влажность мерзлотной дерновой почвы характеризуется как недостаточная для начальной вегетации луговых трав, поэтому луговые степи отличаются низкой биологической продуктивностью [8].

Почвы Мархинского стационара определены как мерзлотные лугово-черноземные с содержанием гумуса в пахотном слое 0–20 см до 2,5 %, подвижного фосфора – 279 мг/кг, обменного калия – 104 мг/кг почвы [9]. Данные почвы имеют хлоридно-сульфатный тип засоления. РН водной суспензии в верхних горизонтах этих почв близка к нейтральной, в нижних толщах отмечается некоторое подщелачивание.

Для изучения питательности и качества луговых трав на 15–17-летней залежи проводили отбор растительных образцов на опытных участках. Описание луговой растительности проведено по методу Л. Г. Раменского [10]. Отбор образцов почвы с дальнейшим определением запаса органического вещества проводили по общепринятым методам А. А. Титляновой [11]. Для определения продукционного процесса и продуктивности восстановленной залежной растительности использовали общепринятые методики по луговодству ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» [12, 13].

Результаты исследований. В условиях Намского агроландшафта шестой агроэкологической группы земель 2019–2021 гг. в составе растительности 16–17-летней залежи доминируют типичные для остепненных лугов виды трав: мятлик степной (*Poa transbaicalica* Roshev.), остролодочник шишковидный (*Oxytropis strobilacea* Bunge), полынь замещающая (*Artemisia commutata* Bess). В засушливых условиях общее проектное покрытие травостоя достигает 75 % и биомасса залежи на уровне 2,0–1,2 т/га сена. При этом запас растительного вещества (масса корней) составил 5,8 т/га, что в 6,4 раза превышала биомассу степных растений залежи. Следовательно, в условиях Намского агроландшафта (среднее течение р. Лены) продукционно-деструкционные процессы отражают специфику криоридных почв, когда формирование биомассы отражается в преобладании запасов подземного растительного вещества и низкой скорости оборота подземной биомассы. Показатели подземного растительного вещества в засушливый год сопоставимы с данными перелога после пожара [14]. Содержание надземной массы 13,5 ц/га и массы корней 70,6 ц/га, соотношение 5,2 (табл. 1). Залежи 12,1 ц/га и масса корней 57,6 ц/га, соотношение 4,8. Травостой, которые формируются в низкой скорости оборота подземной биомассы, ведущей к накоплению запасов подземного растительного вещества. Запас подземной продукции сеяного травостоя и залежи составила 71, 58 ц/га.

Таблица 1 – Накопление ВЭ валовой энергии в подземной массе, в 2020 г.

Показатели	Масса корней, ц/га СВ	Содержание ВЭ в 1 кг СВ, МДж		Соотношение ВЭ пм/ВЭ нм	Закрепление ВЭ в корнях, ГДж/га
		В подземной массе (пм)	В надземной массе (нм)		
Сеяный травостой					
0–10 см	52,9	13,5	13,2	1,0	71,4
0–30 см	70,6	–	–	–	95,3
Биомасса залежи					
0–10 см	42,1	13,7	12,3	1,1	57,7
0–30 см	57,6	–	–	–	78,9

Наибольшая часть запасов растительных сообществ была сосредоточена в подземной части, преобладание подземного растительного вещества над надземной частью является типичным показателем для растительности в условиях степи криолитозоны.

Почвы сеяных травостоев отличаются плодородием, накоплением органического вещества в почве, засоленность почв слабая, хлоридная (табл. 2).

Таблица 2 – Агрохимическая характеристика почвы Мархинского стационара в 2020 г.

Показатели	pH _{сол}	Агрохимические показатели				Содержание, кг/га			
		Подвижный фосфор, мг/кг	Обменный калий, мг/кг	Общий азот, %	Гумус, %	Подвижный фосфор	Обменный калий	Общий азот	Гумус
Сеяный травостой	7,4	102	49	0,35	3,5	153	74	5250	52500
Биомасса залежи	7,5	235	108	0,31	2,5	352	162	4650	37500

Заключение. В составе *биомассы залежи* травостой с высокой долей участия остролодочника шишковидного (31,4 %), полыни замещающей (33,8 %), поэтому содержание переваримого протеина – 247 г/к. ед., сырого протеина – 21 %, сырой клетчатки – 32 % и содержанием БЭВ – до 40 %. В травостое в период учета до 4 % ветоши (вострец (*Leymus*), лапчатка клейкая (*Potentilla longifolia* Willd. ex Schtdl.) и другие лапчатки). В засушливых условиях надпойменной террасы масса органического вещества в данных условиях почвы соответствует массе 0,4 т/га запас органического вещества. Остепненные условия с содержанием гумуса 2–3,5 % и запасом органического вещества (приход и минерализация) в биологическом круговороте, являются главным источником органического вещества. За счет которого, при его разложении, происходит синтез вторичных форм живого вещества микроорганизмов и почвенных животных с одной стороны, и образование, и накопление гумусовых веществ, с другой стороны. Вместе с тем в засушливых условиях недостаток влаги приводит к минерализации органических остатков.

Список литературы

1. Вильямс В. Р. Естественнаучные основы луговодства или луговедения. М.: Новая деревня, 1922. С. 83–128.
2. Вильямс В. Р. Почвоведение. М.: Сельхозгиз, 1936. 648 с.
3. Продуктивность и средообразующий потенциал луговых фитоценозов в условиях средне-таежной подзоны Якутии / Н. В. Барашкова, А. А. Данилова, А. П. Аржакова, Л. В. Мартынова. Новосибирск: СО РАН, 2020. 218 с.
4. Титлянова А. А., Самбу А. Д. Детерминированность и синхронность залежной сукцессии в степях Тувы // Известия Российской Академии наук. Сер. Биологическая. 2014. № 6. С. 621–630.
5. Трофимова Л. С. Агрорландшафтно-экологическое районирование Юга Центрального Федерального округа // Адаптивное кормопроизводство. 2016. № 2. С. 62–70.
6. Трофимова Л. С., Кулаков В. А. Управление травяными экосистемами из многолетних трав // Вестник РАСХН. 2012. № 4. С. 67–69.
7. Кутузова А. А. Лекции послевузовского образования по специальности 06.01.06. – луговодство, лекарственные и эфирно-масличные культуры. М.: Угрешская типография, 2013. 116 с.
8. Иванова Л. С. Агрорландшафтное районирование и агроэкологическая группировка земель среднетаежной подзоны Якутии для проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Новосибирск: [б. и.], 2018. 115 с.
9. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 221 с.
10. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову / Л. Г. Раменский, И. А. Цаценкин, А. Н. Чижиков, Н. А. Антипин. М.: Сельхозгиз, 1956. 474 с.
11. Титлянова А. А. Изучение биологического круговорота в биогеоценозе: Метод. руководство. Новосибирск: [б. и.], 1971. 31 с.

12. Методическое пособие по агроэнергетической и экономической оценке технологий и систем кормопроизводства. М.: РАСХН, 1995. 173 с.
13. Методическое пособие по агроэнергетической оценке технологий и систем кормопроизводства. М.: ВНИИК, 2000. 52 с.
14. Мартынова Л. В. Сравнительная оценка воздействия пирогенного фактора на растительный покров степной зоны // Вестник КрасГАУ. 2016. № 6. С. 112–119.

УДК 502.6:654:631.6

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНСОРЦИУМОВ МИКРООРГАНИЗМОВ И ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ В ВОССТАНОВЛЕНИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Бухарина И. Л., Исупова А. А., Лямзин В. И.

*Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия
buharin@udmlink.ru*

Ключевые слова: микроорганизмы, рекультивация, нефтяное загрязнение, инокуляция, фиторемедианты.

Аннотация: Проведены исследования пределов устойчивости к действию различных концентраций нефти у ряда изолятов (культур) микроскопических эндотрофных грибов, выделенных из урбанопочв с высоким уровнем загрязнения. Выявлены широкие пределы толерантности микроскопических грибов *Fusarium equiseti* и *Cylindrocarpon magnusianum* к содержанию нефти. Исследована эффективность очистки и восстановления биологической активности нефтезагрязненных земель при использовании консорциума биоремедиантов: биопрепарата «Микрозим Петро Трит», содержащего ряд бактерий деструкторов нефти, фиторемедианта – мятлика лугового (*Poa pratensis* L.) и микроскопических грибов. Проведен лабораторный эксперимент по моделированию 5 и 10 % загрязнения земель (разного гранулометрического состава) нефтью. Установлена наибольшая эффективность при использовании *Cylindrocarpon magnusianum*. По окончании эксперимента в вариантах с 5 % внесением нефти на обоих типах почв и при 10 % загрязнении нефтью (супесь) содержание нефти было достоверно ниже, чем в контроле (использование лишь биопрепарата). На среднесуглинистой почве при 5 и 10 % содержании нефти показатель инвертазной активности почв по окончании эксперимента превышал контроль в варианте фитомелиорант + грибы, и максимально в варианте полного консорциума биоремедиантов. На супесчаных почвах достоверное увеличение биологической активности почв по сравнению с контролем установлено лишь при 5 % внесении нефти и лишь в варианте использования полного консорциума мелиорантов. Полученные результаты позволяют констатировать эффективность совместного действия биопрепарата и микроскопических грибов в очистке и восстановлении нефтезагрязненных почв.

PROSPECTS FOR THE USE OF CONSORTIUMS OF MICROORGANISMS AND HIGHER PLANTS IN THE RESTORATION OF OIL-CONTAMINATED LANDS

Bukharina I. L., Isupova A. A., Lyamzin V. I.

Udmurt State University, Izhevsk, Russia

Key words: microorganisms, reclamation, oil pollution, inoculation, phytoremediants.

Abstract: The limits of resistance to various concentrations of oil in a number of isolates (cultures) of endotrophic fungi isolated from urban soils with a high level of pollution have been studied. Wide limits of tolerance of fungi *Fusarium equiseti* and *Cylindrocarpon magnusianum* to oil content were revealed. The efficiency of cleaning and restoring the biological activity of oil-contaminated lands was studied using a consortium of bioremediants: the biopreparation

«Mikrozim Petro Tret», containing a number of oil-degrading bacteria, a phytoremediant (*Poa pratensis* L.) and fungi. A laboratory experiment was carried out to simulate 5 and 10 % soil pollution (of different granulometric composition) by oil. The greatest efficiency was established when using *Cylindrocarpon magnusianum*. At the end of the experiment, in the variants with 5 % oil application on both types of soils and at 10 % oil pollution (sandy loam), the oil content was significantly lower than in the control (using only a biological product). On medium loamy soil at 5 and 10 % oil content, the index of soil invertase activity at the end of the experiment exceeded the control in the phytoremediant + fungi variant, and maximally in the variant of the full consortium of remediant. On sandy loamy soils, a significant increase in the biological activity of soils compared to the control was established only at 5 % oil application and only in the variant using the full consortium of ameliorants. The results obtained allow us to state the effectiveness of the joint action of the biological product and fungi in the purification and restoration of oil-contaminated soils.

Введение. В природных условиях с непостоянством климатических и физико-химических параметров, а также наличием факторов, ингибирующих рост микроорганизмов, продолжительность утилизации нефтяных углеводородов значительно возрастает и требует многократного внесения биопрепаратов и минеральных удобрений. Существует проблема узкого диапазона применения углеводородокисляющих микроорганизмов при проведении биологического этапа рекультивации нефтезагрязненных почв. Появляется необходимость в применении биологических препаратов совместно с популяциями других биологических агентов, которые способны не только поддерживать необходимый микроэлементный состав в очищаемой почве, но и полностью формировать почвенную экосистему. Такими биологическими агентами являются, к примеру, микроскопические эндотрофные грибы, которые способны усиливать роль нефтеразрушающих микроорганизмов и повышать устойчивость растений при проведении биологического этапа рекультивации земель. Микроскопические эндотрофные грибы создают благоприятную среду для углеводородокисляющих микроорганизмов, поддерживая оптимальное значение рН почвенного раствора, уровень влажности почвы, эффективное использование минеральных элементов [1–5].

Были проведены исследования по выявлению пределов устойчивости к действию различных концентраций нефти у ряда изолятов (культур) микроскопических эндотрофных грибов, выделенных из урбанопочв с высоким уровнем загрязнения [6–8]. Микромицеты высаживали на субстраты с внесением нефти в различных концентрациях, наблюдали за динамикой роста и размерами колоний мицелия грибов. Оба микромицета способны выживать при высоких концентрациях нефти (до 10 %) в субстрате, но они используют разные механизмы для выживания. *Fusarium equiseti* в начале эксперимента отличался активным ростом, далее наблюдалось снижение скорости роста колоний. *Cylindrocarpon magnusianum*, наоборот, в начале эксперимента не отличался активным ростом (период адаптации), а со второй недели эксперимента проявлял высокие показатели роста колоний мицелия. Таким образом, можно отметить видоспецифические стратегии адаптации грибов в условиях нефтяного загрязнения, которые показали, что оба вида можно использовать в технологиях биорекультивации, но при разных условиях. *F. equiseti* целесообразно использовать при низких концентрациях нефти в субстрате и при необходимости быстрого восстановления почвы. *C. magnusianum* рекомендовано использовать при длительном нефтяном загрязнении и высоких концентрациях нефти.

Объекты и методы исследований. Далее в условиях лабораторных экспериментов было исследовано влияние сочетания биопрепарата «Микрозим Петро Трит», содержащего ряд бактерий деструкторов нефти, и микроскопических грибов на эффективность разложения нефти. Опыт включал ряд вариантов: биопрепарат «Микрозим Петро Трит» (Контроль); фиторемедиант – мятлик луговой (*Poa pratensis* L.); фиторемедиант + микроскопические грибы; «Микрозим Петро Трит» + фиторемедиант + микроскопические грибы (консорциум). Эксперимент проводился на двух типах почв по гранулометрическому составу: супесь и средние суглинки.

Продолжительность эксперимента составила 6 месяцев. Эксперимент был проведен в моделируемых условиях климатической камеры BINDERKBWF: дневной режим: температура +23 °С, максимальное освещение 15000 лк и вентиляция; ночной режим: температура +18 °С, вентиляция и отсутствие освещения. Вносили согласно схеме эксперимента «Микрозим Петро Трит» в виде водной суспензии из расчета 1 и 1,5 г на 1 кг почвы в вариантах 5 и 10 % загрязнения нефтью соответственно. Спустя 10 дней в соответствующие схеме варианты опыта были посеяны семена мятлика лугового (норма высева 10–15 г/м²). Через 10 дней после прорастания семян в соответствующие варианты опыта была внесена грибная суспензия (25 мл на 1 делянку). Для производства суспензии («Способ приготовления и внесения микромицетного биопрепарата для повышения устойчивости растений», патент на изобретение 2722206 С1, 28.05.2020) [9], были использованы культуры эндотрофных микромицетов *F. equiseti* и *C. magnusianum*.

По завершении эксперимента был проведен анализ почв на содержание нефти (ПНД Ф 16.1:2.2.22-98) [10–12], а также инвертазной активности почв (метод В. Ф. Купреевича, Т. А. Щербакowej). Обработку результатов эксперимента проводили с использованием статистического пакета Statistica 13.0.

Результаты исследований. Результаты исследований показали наибольшую эффективность использования в консорциуме *C. magnusianum*. По окончании эксперимента установлено, что в вариантах с 5 % внесением нефти (средние суглинки), ее содержание составило в Контроле 9900±1500 мг/кг; в вариантах фиторемедиант и фиторемедиант + грибы 13800±3500 и 10100±2500 мг/кг соответственно, что находится в рамках статистической погрешности. Достоверно эффективные различия получены при использовании полного консорциума ремедиантов и составило 5400±1600 мг/кг. Также достоверная разница результатов установлена и при 10 % загрязнении, причем именно при использовании консорциума ремедиантов (Контроль – 20300±2100 и полный консорциум – 14300±2800). На супесчаных почвах также зафиксировано достоверное снижение содержания нефти в варианте полного консорциума по сравнению с контролем (11000±2800 и 7000±1300 соответственно), но лишь при моделировании 5 % загрязнения почв нефтью.

Также оценивали показатель биологической (инвертазной) активности почв. На среднесуглинистой почве при 5 и 10 % содержании нефти показатель инвертазной активности почв превышал контроль (11,5±1,4, доверительный интервал среднего значения 10,1–12,9 и 13,5±1,1 доверительный интервал 12,4–14,6 соответственно) в варианте фиторемедиант + грибы (18,2±0,7 доверительный интервал 17,5–18,9 и 21,1±0,8 доверительный интервал 20,3–21,9 соответственно) и максимально – в варианте полного консорциума биоремедиантов (19,9±0,7, доверительный интервал 19,2–20,6 и 22,3±0,9, доверительный интервал 21,4–23,2 соответственно при 5 и 10 % загрязнении нефтью). На супесчаных почвах достоверное увеличение биологической активности почв по сравнению с контролем установлено при 5 % внесении нефти в варианте использования полного консорциума ремедиантов (27,6±2,4, доверительный интервал 25,2–30,0, где контроль 21,0±3,3, доверительный интервал 17,7–24,3).

Выводы. Данные результаты позволяют констатировать эффективность совместного действия биопрепарата и микроскопических грибов в очистке и восстановлении нефтезагрязненных земель.

Список литературы

1. Лямзин В. И., Бухарина И. Л., Здобяхина О. В., Исламова Н. А., Загребина В. С. Исследование эффективности совместного применения биопрепарата нефтедеструктора и эндотрофных грибов на этапе биологического восстановления нефтезагрязненных земель // Астраханский вестник экологического образования. 2018. № 3(45). С. 94–98.
2. Domka A. M., Rozpadek P., Turnau K. Are Fungal Endophytes Merely Mycorrhizal Copycats? The Role of Fungal Endophytes in the Adaptation of Plants to Metal Toxicity [Электронный ресурс] // *Frontiers in Microbiology*. 2019. V. 10: 371. DOI: 10.3389/fmicb.2019.00371

3. Halleen F., Schroers H. J., Groenewald J. Z., Crous P. W. Novel species of *Cylindrocarpon* (*Neonectria*) and *Campylocarpon* gen. nov. associated with black foot disease of grapevines (*Vitis* spp.) // *Studies in Mycology*. 2004. V. 50. P. 431–455.
4. Hou L., Yu J., Zhao L., He X. Dark Septate Endophytes Improve the Growth and the Tolerance of *Medicago sativa* and *Ammopiptanthus mongolicus* Under Cadmium Stress // *Frontiers in Microbiology*. 2020. V. 10. P. 1–17.
5. Maciá-Vicente J. G., Jansson H.-B., Talbot N. J., Lopez-Llorca L. V. Real-time PCR quantification and live-cell imaging of endophytic colonization of barley (*Hordeum vulgare*) roots by *Fusarium equiseti* and *Pochonia chlamydosporia* // *New Phytologist*. 2009. V. 182(1). P. 213–228. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2008.02743.x
6. Бухарина И. Л., Исламова Н. А., Жавад А. Ф., Лебедева М. А., Шашов Л. О. Влияние инокулята *Cylindrocarpon magnusianum* на формирование адаптивных реакций растений к стрессовым факторам // *Аграрная Россия*. 2019. № 12. С. 26–32. DOI: 10.30906/1999-5636-2019-12-26-32
7. Bukharina I. L., Islamova N. A., Lebedeva M. A. Species of fungi in the root system of woody plants in urban plantations // *The Fourth International Scientific Conference Ecology and Geography of Plants and Plant Communities, «KnE Life Sciences»*, 2018. P. 49–55. DOI: 10.18502/kls.v4i7.3219
8. Bukharina I., Franken P., Kamasheva A., Vedernikov K., Islamova N. About the species composition of microscopic fungi in soils and woody plant roots in urban environment // *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*. 2016. V. 7(4). P. 1386–1394.
9. Патент на изобретение № 2722206 С1 от 28.05.2020 г. Способ приготовления и внесения грибного биопрепарата для повышения устойчивости растений / И. Л. Бухарина, Н. А. Исламова.
10. ГОСТ Р 54039–2010. Качество почв. Экспресс-метод спектроскопии в ближней инфракрасной области для определения содержания нефтепродуктов. Дата введения: 01.01.2012. М.: Стандартинформ, 2011. 9 с.
11. Другов Ю. С., Родин А. А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов практическое руководство. СПб: «Анатолия», 2000. 250 с.
12. Рябов В. Д. Химия нефти и газа: Учеб. пособие. М.: ИД «ФОРУМ», 2009. 336 с.

ОСОБЕННОСТИ НАРУШЕННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ В ПОДЗОНЕ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

*Бушуева Ю. О., Егошина Т. Л., Гудовских Ю. В., Ярославцев А. В., Лугинина Е. А.
ВНИИ Охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б. М. Житкова, г. Киров, Россия
etl@inbox.ru*

Ключевые слова: рекультивация, восстановление фитоценозов, редкие виды, гемеробия, Республика Коми.

Аннотация: Представлены результаты исследования 17 растительных сообществ, в северо-таежных экосистемах Усинского района Республики Коми, находящихся на различных стадиях восстановления. Определены местообитания редкого и охраняемого вида семейства *Orchidaceae* – *Dactylorhiza maculata* (L.) Soó. Определена степень антропогенной трансформации исследованных сообществ, а также выделены этапы их восстановления. Для оценки степени устойчивости фитоценозов к антропогенному воздействию определен индекс гемеробиальности, показаны спектры гемеробности изученных сообществ.

PECULIARITIES OF DISTURBED PLANT COMMUNITIES IN THE NORTHERN TAIGA SUBZONE OF THE KOMI REPUBLIC

*Bushueva Yu. O., Egoshina T. L., Gudovskikh Yu. V., Yaroslavtsev A. V., Luginina E. A.
Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia*

Key words: remediation, phytocoenoses recovery, rare species, hemeroby, Komi Republic.

Abstract: The paper presents the studied conducted in 17 plant communities with different stages of recovery in northern taiga ecosystems in Usinsk district of the Komi Republic. Habitats of rare and protected orchid species – *Dactylorhiza maculata* (L.) Soó were marked. Stages of phytocoenoses recovery and level of human disturbance were defined. To estimate the communities' resilience towards human impact, hemeroby index was determined and hemeroby spectra for each studied community compiled.

Введение. Республика Коми (Р. Коми) богата ресурсами, в том числе углеводородными – нефть, уголь, газ, при добыче которых естественные экосистемы подвергаются серьезной антропогенной нагрузке. Кроме того, северные территории России имеют ряд особенностей, обусловленных ее географическим положением, в основном в высоких широтах, например, температурным режимом, коротким вегетационным периодом и т. д. Все эти факторы оказывают существенное влияние на фитоценозы данного региона [1]. Поэтому изучение особенностей рекультивации нарушенных земель с целью формирования фитоценозов, приближенных к естественным, является актуальной задачей для данного региона.

Материалы и методы. Исследование проводилось в полевой сезон 2021 года в 17 фитоценозах, находящихся на различных стадиях восстановления. Объекты исследования расположены в подзоне северной тайги (Усинском районе, Р. Коми). Их изучение проводилось с использованием подходов, рекомендованных рядом факторов [2].

Исследуемые фитоценозы были объединены в три группы по степени восстановления: начальный этап естественного восстановления без выравнивания рельефа, этап технической и биологической рекультивации с выравниванием рельефа и посевом клеверо-злаковой газонной смеси и этап восстановления без посева газона на выровненном рельефе.

Для оценки степени устойчивости фитоценозов к антропогенному воздействию использовали показатель гемеробии. Гемеробность определяли по составу видов в растительных сообществах, в которых каждый вид имеет индивидуальный спектр толерантности к ан-

тропогенным факторам [3, 4]. При оценке устойчивости сообществ определяли долю антропогенных видов в растительных сообществах (показатель апофитизма).

Результаты исследований. На начальных этапах естественного восстановления без выравнивания рельефа сформировались такие типы луговых сообществ как разнотравно-злаковый луг, пушицево-осоковый луг, заболоченный луг на месте техногенно-измененного покрова, клеверо-пижмовый луг.

К полностью нарушенным фитоценозам относятся: разнотравно-злаковый луг, пушицево-осоковый луг и клеверо-пижмовый луг.

Частично нарушенные фитоценозы представлены заболоченным лугом на месте техногенно-измененного покрова, а также молодым березняком.

Ельник голубично-сфагновый и ельник голубично-ерниковый-сфагновый представляют собой сохранившиеся участки первичного ельника с множественными локальными антропогенными нарушениями.

Проективное покрытие (ПП) травяно-кустарничкового яруса (ТКЯ) в фитоценозах данной группы варьировалось от 30 % до 70 %.

На этапе технической и биологической рекультивации с выравниванием рельефа и посевом клеверо-злаковой газонной смеси выделены 7 типов фитоценозов: зарастающая техногенная площадка, злаково-клеверовый луг, пушицево-клеверовый луг со злаками, разнотравно-злаковый луг, злаковый агрофитоценоз с заходами аборигенных видов, мать-и-мачехово-одуванчиково-клеверовый луг, клеверо-мать-и-мачехо-хвощевый луг. Все перечисленные фитоценозы сформировались на полностью нарушенных участках.

ПП ТКЯ в представленной группе фитоценозов также составляло от 30 % до 70 %.

На этапе восстановления без посева газона на выровненном рельефе были выделены следующие типы фитоценозов: березняк разнотравный на техноземы, временный частично пересыхающий водоем на антропогенном углублении, березняк с примесью сосны, сформированный на техноземы.

К частично-нарушенным фитоценозам относились березняк разнотравный на техноземы и березняк с примесью сосны, сформированный на техноземы.

Временный частично пересыхающий водоем на антропогенном углублении относится к полностью нарушенным фитоценозам.

ПП ТКЯ в данной группе фитоценозов составляла от 30 % до 50 %.

Dactylorhiza maculata (L.) Soó, включенный в Приложение 1 Красной книги Республики Коми «Перечень (список) объектов растительного мира, нуждающихся в особом внимании к их состоянию в природной среде и рекомендованных для биологического надзора» [5], и список редких и уязвимых сосудистых растений (LC категория), в Приложение II к конвенции СИТЕС [6, 7], был обнаружен в 8 из 17 обследованных фитоценозов. На сегодняшний день не существует четкой позиции по поводу возможности адаптации видов сем. Orchidaceae к антропогенно-измененным условиям. Точки зрения исследователей варьируют от отрицания возможности произрастания орхидных в таких условиях [8] до указания на образование устойчивых ценопопуляций некоторых видов орхидных в техногенно-измененных ландшафтах [9]. По некоторым данным, *D. maculata* на территории Р. Коми приурочен к заболоченным травяным, кустарничково-осоково-сфагновым болотам, а также к зарастающим злаково-разнотравным лугам [10, 11].

Кроме того, на территории обследований в ельнике голубично-ерниково-сфагновом отмечена княженика арктическая (*Rubus arcticus* L.) – один из редких и охраняемых видов в ряде субъектов РФ, внесённый в Изумрудную книгу РФ (2011–2013) [12]. Исследуемый вид отмечен в сообществах на стадии естественного возобновления без выравнивания рельефа. В условиях южной и средней тайги вид характеризуется относительно оптимальными параметрами плотности в сообществах на начальных этапах восстановления после нарушений (зарастающих мелколесьем вырубках, сырых лугах) [13, 14].

Ценопопуляции *D. maculata* были обнаружены только на первых двух этапах восстановления – естественное восстановление без выравнивания рельефа и возобновление на ос-

нове первого этапа рекультивации с использованием газонной смеси. Наибольшее число особей *D. maculata* (1160) было обнаружено на зарастающей техногенной площадке. Наименьшее количество особей представлено на разнотравно-злаковом луге.

Анализ антропоотолерантности сообществ показал, что на всех этапах восстановления наибольшую роль играют мезо-гемеробные виды (виды полустественных сообществ, устойчивые к экстенсивным влияниям). На долю этих видов приходится от 78 % (этап возобновления на основе технического и биологического этапа рекультивации) до 93 % (этап восстановления без посева газона на выровненном рельефе).

В естественно восстановленных фитоценозах на выровненном рельефе, а также в естественно возобновляемых фитоценозах без выравнивания рельефа доли олигогемеробных видов (виды сообществ, близких к естественным, переносящие нерегулярные слабые влияния) и б-эугемеробных видов (виды далеких от естественных сообществ, устойчивые к интенсивному использованию) примерно равны 73–77 % (олигогемеробы) и 47–50 % (б-эугемеробы), соответственно (рис.).

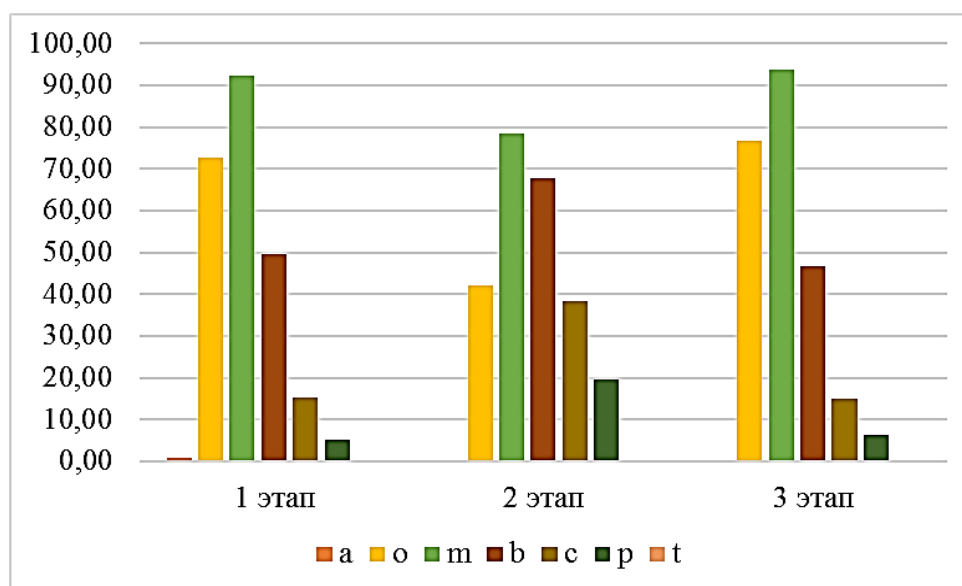


Рисунок – Спектр гемеробии типов растительных сообществ на различных этапах рекультивации

Наименьший процент в сложении всех групп изученных сообществ составляют виды, очень чувствительные к антропогенному воздействию, – а-гемеробы (не более 1 %). Метагемеробы (растения нарушенных сообществ) в составе изученных фитоценозов не обнаружены.

В обобщенном спектре гемеробии отмечается преобладание антропофобных видов (а-о-т – отрезок спектра) для естественно восстановленных сообществ: они участвуют в формировании более половины изученных сообществ (порядка 70 %). Доля антропоотолерантных видов в естественных сообществах составила порядка 30 %. Наибольший индекс гемеробии характерен для этапа возобновления на основе технического и биологического этапов рекультивации с использованием выравнивания рельефа и газонной смеси.

Заключение. На обследованной территории выделены 3 типа формирования антропогенно-измененных растительных сообществ, в которых индексы гемеробии варьировали от 0,40 до 1,04. Низкие значения индексов гемеробии выявлены в естественно восстановленных фитоценозах, высокие значения – в фитоценозах, где восстановление проводилось путем биологической рекультивации с использованием клеверо-злаковой газонной смеси. Редкие виды растений были обнаружены только на первых двух этапах рекультивации и отсутствовали на этапе восстановления без посева газона на выровненном рельефе.

Список литературы

1. Квашнина С. И., Мозырев А. Г., Богословский А. В. Высокие широты: проблемы восстановления нарушенных земель // Современные наукоемкие технологии. 2010. № 10. С. 12–13.
2. Андреева Е. Н., Баккал И. Ю., Горшков В. В., Лянгузова И. В., Мазная Е. А., Нешатаев В. Ю., Нешатаева В. Ю., Ставрова Н. И., Ярмишко В. Т., Ярмишко М. А. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХимии, 2002. 240 с.
3. Frank D., Klotz S. Biologisch-Ökologisch Daten zur Flora der DDR. Halle (Saale), 1990. 167 s.
4. Kunick D. Zonietung des Stadtgebietes von Berlin (West). Ergebnisse Floristischer Untersuchung // Gen. Schriftenr. d. Fachber. Landschaftsentwicklung u. Umweltforsch. 1982. No. 14. S. 1–164.
5. Красная книга Республики Коми. Сыктывкар: ООО «Коми республика типография», 2019. 768 с.
6. Bilz M., Kell S. P., Maxted N., Lansdown R. V. European Red List of Vascular Plants. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011. 130 p.
7. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. Appendices I, II and III valid from 12 June 2013. International Environment House. Switzerland, Geneva, 45.
8. Ефимов П. Г. Сохранение орхидных (Orchidaceae Juss.) как одна из задач охраны биоразнообразия // Биосфера. 2010. Т. 2, № 1. С. 50–58.
9. Василевская Н. В., Глазунова Е. Д., Путилова Н. В. Состояние ценопопуляций *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo на нарушенных местообитаниях в условиях Арктики // Актуальные проблемы геоботаники: Материалы III Всерос. школы-конф. Ч. 1. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 97–101.
10. Кириллова И. А., Кириллов Д. В. Пальчатокоренник пятнистый *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo (Orchidaceae) в Республике Коми: структура ценопопуляций и репродуктивная биология // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2017. № 3(31). С. 5–14.
11. Bushueva Yu. O., Gudovskikh Yu. V., Egoshina T. L., Luginina E. A., Yaroslavtsev A. V. Ecological and biological aspects of *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo ceno-populations in northern taiga conditions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. V. 1010: 012120.
12. Изумрудная книга Российской Федерации. Территории особого природоохранного значения Европейской России. Предложения по выявлению. Ч. 1. М.: Институт географии РАН, 2011–2013. 308 с.
13. Гудовских Ю. В., Егорова Н. Ю., Егошина Т. Л. Состояние ценопопуляций *Rubus arcticus* (Rosaceae) в Кировской области // Ботанический журнал. 2020. Т. 105, № 8. С. 66–80.
14. Gudovskikh Y. V. Vitality of *Rubus arcticus* L. in medium and southern taiga // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. V. 981: 042076.

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Воробьева И. Б., Власова Н. В.

*Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия
Irina-Vorobyeva@yandex.ru*

Ключевые слова: мониторинг, угольный разрез, снежный покров, снеговая вода, загрязнение.
Аннотация: Проведен анализ снежного покрова на территории Иркутского угольного бассейна с открытым способом добычи. Снежный покров фиксирует реальную величину выпавших загрязняющих веществ в холодный, продолжительный сезон года, особенно в Сибири. Установлено, что в период проведения горных работ по вскрытию и добыче угля, выбрасываются в воздух продукты от работы двигателей горнотранспортного оборудования, породная и угольная пыль, выхлопные газы, содержащие углерод, углеводороды, сажу, серу и оксиды азота. В дополнение к основным выбросам, добавляются загрязняющие вещества от деятельности вспомогательных производств – металлическая, древесная, абразивная и резиновая пыль, пары серной кислоты, соединения марганца, фтора и многие другие загрязнители. Сравнительный анализ снежного покрова на территории угольного разреза и фонового участка выявил поступающие в атмосферу вещества-загрязнители, которые являются довольно тяжелыми для их переноса воздушными массами на большие расстояния, поэтому загрязнение является локальным, и является результатом производственных мероприятий.

MONITORING OF THE STATE OF THE SNOW COVER OF DISTURBED LANDS DURING THE OPEN-PIT MINING OF A COAL DEPOSIT IN EASTERN SIBERIA

Vorobyeva I. B., Vlasova N. V.

V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia

Key words: monitoring, coal mine, snow cover, snow water, pollutio.

Abstract: The analysis of snow cover on the territory of the Irkutsk coal basin during open-pit mining has been carried out. The snow cover reflects the actual amount of pollutants that fall during the cold and long season, especially in Siberia. It has been established that during mining operations for stripping and coal mining, the products of the engines of mining and transport equipment, mining and coal dust, exhaust gases containing carbon, hydrocarbons, soot, sulfur and nitrogen oxides are emitted into the air. In addition to the main emissions, pollutants from the activities of auxiliary industries are added – metal, wood, abrasive and rubber dust, sulfuric acid vapors, manganese compounds, fluorine and many other pollutants. A comparative analysis of the snow cover on the territory of the coal mine and the background territory revealed the ingress into the atmosphere of pollutants that are heavy enough to be transported by air masses over long distances, therefore, the pollution is local and is the result of industrial activity.

Введение. Уголь остается вторым по важности видом топлива для производства энергии в мире, его доля неуклонно снижается с 2014 г., это связано с инициативами многих ведущих экономик мира, направленными на снижение выбросов парниковых газов, что ставит под вопрос перспективы угольной промышленности в долгосрочной перспективе. Однако использование угля в энергобалансе особенно важно (47 %) в быстрорастущих странах Азиатско-Тихоокеанского региона, на долю которых приходится 44 % потребляемой энергии в мире. Поэтому можно предположить, что уголь останется одним из ключевых источников энергии в среднесрочной перспективе (5–10 лет). В России 76 % его разведанных запасов

располагаются в восточных регионах, из которых около 70 % приходится на долю бурого угля. Угольные бассейны являются доступными, и их разработка, в сочетании с применением современных технологий, не затруднена.

Добыча угля сопровождается образованием природно-техногенных комплексов, главные из которых – это отвод существенных территорий земель общего пользования под золошлаковые отходы, пыление золоотвалов, загрязнение почв и водоемов тяжелыми металлами. При открытом способе добычи преобладают карьеры, выемки и насыпи различного размера, породы без какой-либо предварительной сортировки складываются во внешних и внутренних отвалах. Неселективная технология отвалообразования приводит к формированию хаотичной по свойствам и вещественному составу смеси пород отвалов [1].

Все это ставит задачу проведения мониторинга компонентов природной среды на территории угольных разрезов.

Процесс формирования снежного покрова на загрязненных и фоновых территориях происходит одновременно. Снежный покров фиксирует реальную величину выпадений загрязняющих веществ в холодный, продолжительный сезон года, особенно в Сибири. Загрязняющие вещества находятся в снежном покрове в трех формах: газообразной, химически растворенных веществ и нерастворенных частиц. Последние оказывают наибольшее влияние на спектрально-яркостные свойства снега [2].

Загрязнение снежного покрова происходит в 2 этапа: первый – это загрязнение снежинок во время их образования в облаке и выпадения на местность – влажное выпадение загрязняющих веществ со снегом; второй – это загрязнение уже выпавшего снега в результате сухого выпадения загрязняющих веществ из атмосферы, а также их поступления из подстилающих почв и горных пород. Измерение загрязняющих веществ в снежном покрове позволяет оценить загрязнение атмосферного воздуха, воды и почв.

Цель исследования – провести мониторинг состояния снежного покрова на участках горных разработок угольного месторождения.

Объекты и методы исследований. Территория исследования относится к Азейскому бурогоугольному месторождению, расположенному в Тулунском районе Иркутской области, в северо-западной части Иркутского угольного бассейна. Иркутский угольный бассейн простирается с юго-востока на северо-запад вдоль железной дороги (Транссиб). Площадь бассейна – 36 000 км² [3].

Комплексная проба снега отбиралась согласно ГОСТу 17.2.3.01-86 [4] на участках разреза, на полигонах (ключевых) и фоновых точках, заложенных в условия естественной природной среды, с учетом господствующих ветров (рис.).

Химико-аналитические работы, по определению состава и качества снеговых вод, производились по стандартизованным методикам.

Результаты и их обсуждение. Мощность снежного покрова, по среднемноголетним данным в районе исследования, изменялась от 20 до 40 см, тогда как в зимний сезон 2012–2013 гг. высота снежного покрова отмечалась от 30 до 49 см, в среднем – 44 см, что выше нормы. На фоновом участке высота снежного покрова – 46 см, что так же выше нормы.

Величина рН снеговых вод колебалась от 5,1 до 6,0, на фоновом участке концентрация ионов водорода составляла 5,0 ед. рН (табл. 1). Следует отметить, что снежный покров угольного разреза характеризовался более высокими значениями ионов Ca²⁺, Mg²⁺ и HCO₃⁻, чем на фоновом участке. Однако достаточно высокие содержания сульфат – и хлорид-иона в снеге, свидетельствует о поступлении соединений серы и хлора из атмосферы, аэрозоли которых оседают на поверхность.

На снежную поверхность попадают продукты вскрышных работ, от работы двигателей горнотранспортного оборудования: породная и угольная пыль, выхлопные газы, содержащие углерод, углеводороды, сажу, серу и оксиды азота сжигания топлива. Содержание твердого вещества в снежном покрове зависит от местоположения и варьирует от 1,5 до 37,5 г/м², для фоновом участка характерно содержание 1,6 г/м².

Содержание микроэлементов в снеговых водах изменялось в очень широком диапазоне в зависимости от величины рН и степени антропогенного влияния. Даже незначительное снижение рН (до 5,3–6,5) увеличивает растворимость таких элементов как медь и свинец.

Результаты исследования талых снеговых вод – валовое содержание химических элементов представлено в таблице 2. На современном этапе производства и применяемых технологий отмечалось отсутствие в снеговом покрове на территории угольного разреза таких загрязнителей как хром и кадмий, а свинец обнаруживается в очень малых количествах (от 0,004 и ниже мг/л). Никель практически не определялся в пробах. Отмечены повышенные концентрации бария, кальция и кремния относительно фона. На участке, который расположен недалеко от автотрассы М53, обнаружены повышенные относительно фона содержания цинка и меди (в 2,5–5 раз).

На фоновом участке, который располагается примерно в 37 км от разреза «Азейский» на юго-восток, отмечено повышенное содержание таких химических элементов как барий, кальций, калий, магний, железо и кремний, что является результатом общей обстановки, по загрязнению воздушного бассейна. Согласно метеорологическим данным, в зимний период преобладает юго-восточный направление, которое является переносчиком загрязненных атмосферных масс.

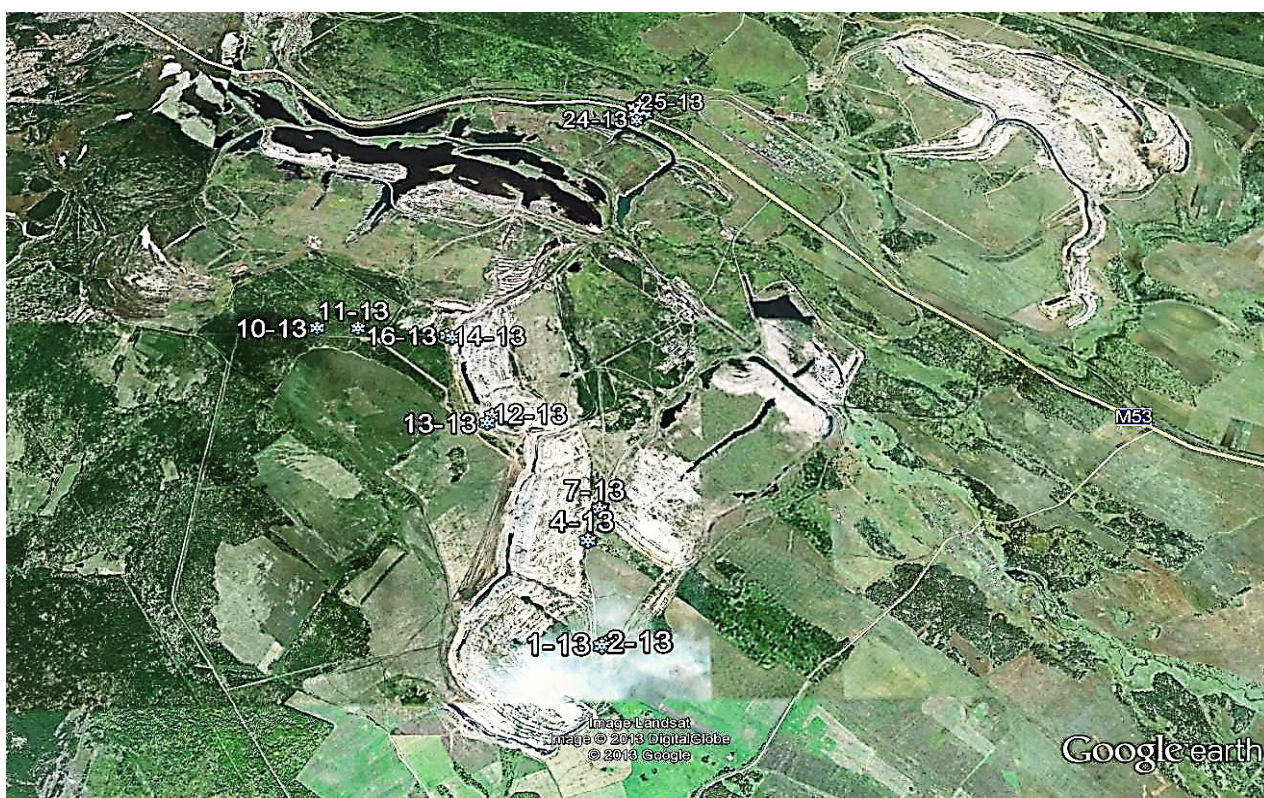


Рисунок – Местоположение точек отбора проб снега (фото. www.Google.ru)

Таблица 1 – Химический состав снега, мг/л

№ п/п	№ точки	рН	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Минерализация
1	1-13	5,2	3,03	1,16	4,02	0,62	1,08	2,37	0,28	12,56
2	2-13	5,3	3,05	2,07	6,01	0,41	0,46	1,43	0,21	13,64
3	4-13	5,6	1,83	3,11	3,43	0,62	0,89	2,80	0,24	12,92
4	5-13	5,6	2,05	0,08	3,03	0,43	0,53	0,98	0,37	7,47
5	7-13	5,4	3,05	3,93	5,67	0,89	0,28	1,35	0,20	15,37
6	10-13	5,2	2,44	2,01	4,59	0,18	2,32	1,95	0,27	13,76

№ п/п	№ точки	pH	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Минерализация
7	11-13	5,4	3,05	2,01	4,13	0,83	3,09	1,60	0,30	15,01
8	12-13	6,0	8,54	3,51	4,29	0,77	1,07	2,57	0,28	21,03
9	13-13	5,7	3,27	1,09	4,23	0,32	0,31	2,53	0,19	11,94
10	14-13	5,4	3,83	3,61	4,26	0,74	0,39	1,45	0,29	14,57
11	16-13	5,1	2,22	0,59	4,59	0,91	0,41	1,96	0,12	10,81
12	24-13	5,2	3,06	0,76	3,40	0,79	0,47	1,80	0,13	10,41
13	25-13	5,3	3,88	1,34	4,03	0,33	0,67	0,89	0,19	11,33
фон	28-13	5,0	2,44	1,25	1,96	0,63	0,31	0,77	0,13	7,49

Таблица 2 – Валовое содержание химических элементов в снеге

№ п/п	№ точки	Химический элемент, мг/л										
		Si	Ca	Mg	K	Na	Fe	Ba	Zn	Cu	Ni	Pb
1	1-13	0,102	1,374	0,184	0,075	0,223	0,018	0,003	0,011	0,002	<0,002	<0,002
2	2-13	0,102	1,415	0,205	0,062	0,211	0,026	0,004	0,011	0,003	<0,002	<0,002
3	4-13	0,128	1,801	0,281	0,088	0,222	0,018	0,002	0,012	0,002	<0,002	<0,002
4	5-13	0,105	0,976	0,165	0,033	0,129	0,022	0,002	0,008	0,003	<0,002	<0,002
5	7-13	0,101	1,340	0,204	0,282	0,394	0,024	0,002	0,009	0,002	<0,002	<0,002
6	10-13	0,086	0,947	0,166	0,317	0,175	0,046	0,004	0,008	0,003	<0,002	<0,002
7	11-13	0,076	0,603	0,095	0,086	0,228	0,010	0,002	0,007	0,003	<0,002	<0,002
8	12-13	0,106	1,573	0,181	0,074	0,169	0,014	0,002	0,013	0,003	<0,002	<0,002
9	13-13	0,111	1,532	0,159	0,006	0,119	0,023	0,003	0,005	0,003	<0,002	<0,002
10	14-13	0,103	1,193	0,290	0,387	0,242	0,043	0,002	0,009	0,004	<0,002	<0,002
11	16-13	0,071	0,954	0,119	0,212	0,306	0,017	0,004	0,016	0,004	<0,002	<0,002
12	24-13	0,077	0,802	0,123	0,073	0,187	0,018	0,005	0,016	0,004	<0,002	<0,002
13	25-13	0,084	0,886	0,161	0,068	0,134	0,037	0,003	0,012	0,003	<0,002	<0,002
14	28-13	0,059	0,767	0,132	0,309	0,226	0,027	0,006	0,009	0,002	<0,002	<0,002

Закключение. Таким образом, проведя сравнительный анализ снежного покрова на территории угольного разреза и фонового участка, установлено, что загрязнение воздушного бассейна происходит в результате выполнения технологических процессов основного и вспомогательного производств. В период проведения горных работ по вскрыше и добыче угля от работы двигателей горнотранспортного оборудования выбрасывается в воздух породная и угольная пыль, выхлопные газы, содержащие углерод, углеводороды, сажу, серу и оксиды азота. В дополнение к основным выбросам примешивались загрязняющие вещества от деятельности вспомогательных производств – металлическая, древесная, абразивная и резиновая пыль, пары серной кислоты, соединения марганца, фтора и многие другие загрязнители.

В снеговом покрове на территории угольного разреза не выявлено таких загрязнителей как хром и кадмий, а свинец обнаружен в очень малых количествах, а концентрации бария, кальция и кремния повышены относительно фоновых условий. Увеличено относительно фона содержания цинка и меди на участке (в 2,5–5 раз), что связано с близким расположением автодороги М53.

Сравнительный анализ снежного покрова на территории угольного разреза и фонового участка, можно сказать, что поступающие в атмосферу вещества-загрязнители, являются довольно тяжелыми для их переноса воздушными массами на большие расстояния, поэтому загрязнение является локальным, и является результатом производственных мероприятий.

Список литературы

1. Герасимова М. И., Строганова М. Н., Можарова Н. В., Прокофьева Т. В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация: Учеб. пособие / Под ред. Г. В. Добровольского. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
2. Прокачева В. Г., Усачев В. Ф. Снежный покров в сфере влияния города. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 176 с.
3. Иркутская область (природные условия административных районов) / Н. С. Беркин, С. А. Филиппова, В. М. Бояркин [и др.]. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1993. 304 с.
4. ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. Дата введения: 01.01.1987. М.: Стандартиформ, 2005. 3 с.

ВИДЫ ТРИБЫ PYROLEAE НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТВАЛАХ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

Глазырина М. А., Лукина Н. В., Филимонова Е. И., Баркова Н. Ю., Коробицина С. Н.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия,
Margarita.Glazyrina@urfu.ru

Ключевые слова: *Pyroleae, Ericaceae, ценопопуляции, фитоценоз, промышленные отвалы.*

Аннотация: *В результате проведенного мониторинга формирования растительности на отвалах добывающей и перерабатывающей промышленности Свердловской области, было выявлено семь видов трибы Pyroleae: Chimaphila umbellata (L.) W. Barton, Orthilia secunda (L.) House, Moneses uniflora (L.) A. Gray, Pyrola rotundifolia L., Pyrola media Sw., Pyrola minor L. и Pyrola chlorantha Sw. Наиболее распространенными видами на нарушенных территориях являются O. secunda и P. rotundifolia. Всем изученным видам свойственно групповой тип пространственного распределения. Все ценопопуляции являются нормальными, молодыми с преобладанием доли прегенеративных особей. Исключение составляет ценопопуляция Ch. umbellata на рекультивированном участке золоотвала ВТГРЭС, которая была отнесена к зреющей.*

SPECIES OF THE PYROLEAE TRIBE ON INDUSTRIAL DUMPS (MIDDLE URALS)

Glazyrina M. A., Lukina N. V., Filimonova E. I., Barkova N. Yu., Korobitsina S. N.
Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia,

Key words: *Pyroleae, Ericaceae, cenopopulations, phytocenosis, industrial dumps.*

Abstract: *As a result of the monitoring of vegetation formation on the dumps of the mining and processing industry of the Sverdlovsk region, seven species of the Pyroleae tribe were identified: Chimaphila umbellata (L.) W. Barton, Orthilia secunda (L.) House, Moneses uniflora (L.) A. Gray, Pyrola rotundifolia L., Pyrola media Sw., Pyrola minor L. and Pyrola chlor-antha Sw. The most common species in disturbed areas are O. secunda and P. rotundifolia. All the studied species are characterized by a group type of spatial distribution. All cenopopulations are normal, young with an increase in the proportion of pregenerative individuals. The exception is the cenopopulation of Ch. umbellata on the recultivated site of the VTGRES ash dump, which was classified as maturing.*

Введение. Увеличение доли нарушенных и загрязненных человеком природных экосистем, в результате которых происходит сокращение биологического разнообразия, является одной из главных проблем в настоящее время. Урал с его продолжительной историей и большой масштабностью промышленной деятельности является местом значительного нарушения и загрязнения природных ландшафтов. Техногенные отвалы, образованные вследствие деятельности добывающей и перерабатывающей промышленности, на данный момент занимают по площади огромные территории, разрушая целостность экосистем и создавая обширный спектр различных неблагоприятных воздействий на природу. Одним из способов решения данной проблемы является биологическая рекультивация. Для успешного проведения и удешевления биологической рекультивации большое значение имеют исследования процессов самозарастания, оценка состояния возобновляемых биологических ресурсов, оценка скорости восстановления биоразнообразия, а также знания о популяционной жизни растений на нарушенных промышленностью землях.

На промышленных отвалах Среднего Урала, на определенной стадии формирования лесных фитоценозов, начинают поселяться типичные лесные виды, характерные для бореальной зоны, в том числе представители сем. Ericaceae Juss. трибы Pyroleae Dumort. [1], включающей вечнозеленые травы и кустарнички. Многие виды данной трибы характеризуются

ются переходным характером жизненных форм и сложностью длительного жизненного цикла. Исследований, посвященных изучению видов трибы *Pyroleae*, способных поселяться на техногенных отвалах, крайне мало. Между тем, при нарушении естественных местообитаний, происходит сокращение популяций данных видов.

Цель работы: выявление видов трибы *Pyroleae* в результате мониторинга формирования растительности на отвалах добывающей и перерабатывающей промышленности Свердловской области и оценка ценопопуляций данных видов.

Объекты и методы исследований. Наши исследования были проведены в июне–августе 1994–2021 гг. в лесных фитоценозах на: Южном отвале пустых пород и вскрыши Веселовского месторождения бурого угля; Галкинских отвалах № 3 и 4 пустых пород и вскрыши мраморизированного известняка и Сухореченском доломитовом отвале Сухореченского месторождения карбонатных пород; гидроотвале Шуралино-Ягодного месторождения россыпного золота; отвалах пустых пород и вскрыши Шабровского месторождения тальк-магнезитового камня; золоотвалах Среднеуральской (СУГРЭС) и Верхнетагильской (ВТГРЭС) государственных районных электростанций (табл.). Все отвалы расположены в зоне умеренно континентального климата с характерной резкой изменчивостью погодных условий, хорошо выраженными сезонами года (с холодной зимой и теплым летом).

Геоботаническое обследование лесных фитоценозов проводили детально-маршрутным методом с описанием растительности по общепринятым методикам [2]. На месте оценивалось общее проективное покрытие (ОПП) растительности, видовой состав растительных сообществ, а также для каждого вида отмечалось обилие по шкале Друде, фенофаза и жизненность. Для детального изучения ценопопуляций видов сем. *Ericaceae* были заложены учетные площади $S=100 \text{ м}^2$, внутри которых также закладывались раункиеровские площадки $S=0,25 \text{ м}^2$.

Результаты исследований. В результате проведенных исследований на техногенных отвалах Свердловской области в лесных фитоценозах с доминированием *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth, *Populus tremula* L. были выявлены семь видов трибы *Pyroleae*: *Chimaphila umbellata* (L.) W. Barton, *Orthilia secunda* (L.) House, *Moneses uniflora* (L.) A. Gray, *Pyrola rotundifolia* L., *Pyrola media* Sw., *Pyrola minor* L. и *Pyrola chlorantha* Sw. (табл.).

Северо- и центральноевропейско-азиатско-североамериканский вид – *Ch. umbellata* (зимолюбка зонтичная) – длиннокорневищный вечнозеленый явнополицентрический кустарничек с верхнерозеточными побегами и полной ранней специализированной партикуляцией [3]. Онтогенез растения можно отнести к Д-типу [4]: онтогенез семенной особи краток (максимум до молодого генеративного возрастного состояния), полный онтогенез осуществляется в ряду особей вегетативного происхождения. Хамефит. Мезофит. *Ch. umbellata* встречается в хвойных, преимущественно сосновых и смешанных лесах.

Исследования показали, что ценопопуляции (ЦП) *Ch. umbellata* встречаются в лесных фитоценозах (50 % обследованных территорий) Южного Веселовского отвала (класс постоянства – КП I), на отвалах Шабровского тальк-магнезитового месторождения (КП III), на не-рекультивированном и рекультивированном участках золоотвала ВТГРЭС (КП IV и II соответственно) и золоотвале СУГРЭС (КП I). Отмечено, что данный вид может произрастать на субстратах в диапазоне от слабокислых ($\text{pH}=5,2\text{--}5,7$) [5] до слабощелочных ($\text{pH}=8,5\text{--}8,6$).

Циркумполярный бореальный вид – *O. secunda* (ортилия однобокая) – длиннокорневищный вечнозеленый явнополицентрический кустарничек со среднерозеточными побегами и полной ранней специализированной партикуляцией [6]. Также как у *Ch. umbellata* во время любой из фаз онтоморфогенеза может образовываться клон, но обычно это происходит в фазе протосомно-побегового растения. После этого развитие растения продолжается в виде совокупности клонов. Онтогенез *O. secunda* относится к Д-типу, предполагается потенциальное бессмертие особей. Хамефит, зимне-зеленый поликарпик. Мезофит. Типичный представитель травяно-кустарничкового яруса в лесах различного типа [13], широко распространенный на Урале.

Таблица – Биоразнообразие видов трибы Руголеае на промышленных отвалах Свердловской области

№ п/п	Месторождение / отвал	Местоположение, зона	Породный состав и краткая характеристика субстрата [7]	<i>Ch. umbellata</i>	<i>O. secunda</i>	<i>M. uniflora</i>	<i>P. rotundifolia</i>	<i>P. media</i>	<i>P. minor</i>	<i>P. chlorantha</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Отвалы горнодобывающей промышленности</i>										
1	Веселовское месторождение бурого угля / Южный отвал	Граница Северного и Среднего Урала, восточный склон, низкотермальные массивы (200–400 м). Таежная зона, подзона средней тайги [8, 9].	Основную массу вскрышных пород составляют слабосцементированные выветрившиеся песчаники, аргиллиты, реже глины. На поверхности отвала встречаются ожелезненные пески. Опесчаненные суглинки; каменность 10–40 %. pH среды субстрата варьирует от сильнокислой до слабощелочной. Субстрат содержит среднее количество гидролизуемого азота, бедный калием, среднее и хорошее обеспечен подвижными формами фосфора [8]	sol	sp-cop ₁	sol	cop ₁ / sol		sp / sol gr – sp	sol gr
<i>Сухореченское месторождение карбонатных пород:</i>										
2	Галкинский отвал № 3	Среднего Урала, низкогорье, горные массивы (400–600 м). Таежная зона, подзона южной тайги.	Пустые породы и вскрыша (запасоченные глины с галькой кварцита и обломками известняка). Известняки обладают высокой крепостью и вязкостью; каменность 60–80 %. Реакция среды слабощелочная (pH=7,3–7,5). Обеспеченность калием очень низкая. Доступные фосфаты практически отсутствуют [10].		sol-gr sol gr		sol gr – sp gr / cop ₁	sp-gr sp gr		
3	Галкинский отвал № 4			sol gr – sp gr					sol gr	
4	Сухореченский доломитовый отвал			sol gr / sp gr-cop ₁					sol gr – sp gr	un-gr sol gr

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Шуралино-Ягодное месторождение россыпного золота / гидроотвал и дамбы:										
5	нерекультивированный участок	Средний Урал, восточный склон Уральского хребта. Таежная зона, подзона южной тайги.	Полигоны: седиментированные глины (заилованные глины); дамбы: глинистые породы, запесоченные глины (глина – 55–60 %, песок – 30 %, каменность – 5–10 %). Реакция среды слабощелочная (рН=5,5), на внешней дамбе близка к нейтральной (рН=6,5). Содержание азота и фосфора очень низкое, калия низкое, гумуса варьирует от 0,20 до 0,53 % [11].	sp gr – sp / cop1	un gr	sp– sp gr / cop1 gr	un gr –sol / sol gr – sp			sol gr
6	рекультивированный участок		Запесоченные глины + торф	sp gr –cop1	sol gr	sol	un gr – sol			sol gr
7	Шабровское месторождение тальк-магнезитового камня / отвалы пустых пород и вскрыши	Средний Урал. Таежная зона, подзона южной тайги.	Серпентиниты, тальк-карбонатные породы; каменность 50–90 %. Реакция среды слабощелочная, обеспеченность азотом и доступными фосфатами очень низкая, обменным калием – средняя и высокая. В породах повышенное содержание Mn, Cr, Cu, Mo, Co, Ni, V, Pb и др. [10].	sol gr	sp– cop1	sol gr	sp gr –cop1	un– sol		sol– sp gr
<i>Отвалы перерабатывающей промышленности</i>										
8	Злоотвал ВПГРЭС: нерекультивированный участок	Средний Урал, восточный склон, горная котловина. Таежная зона, подзона южной тайги.	Золы бурого угля Коркинского карьера и Калачевских шахт [12]. Реакция среды слабощелочная (рН=8,5). Обеспеченность подвижными фосфатами достаточная (23,5 мг/100 г), калием – низкая (7,0 мг/100 г), азотом – следы. По гранулометрическому составу: супесь: 60,84 % – физический песок, 19,69 % – физическая глина.	sp gr– cop1	sol gr – sp	sp gr –cop1	un– sol			sol– sol gr
9	рекультивированный участок		То же + суглинок	sol gr cop1 gr– cop2		sp gr –cop1	un– sol			sol– sol gr
10	Злоотвал СУГРЭС / нерекультивированный участок	Средний Урал. Таежная зона, подзона южной тайги.	Золы бурого угля Челябинского бассейна и экибастузского угля. Реакция среды слабощелочная (рН=8,6). Обеспеченность подвижными фосфатами очень низкая (0,34 мг/100 г), калием – низкая (3,9 мг/100 г), азотом – следы. По гранулометрическому составу: песок.	un gr	sol gr	cop1– cop2				

ЦП *O. secunda* встречаются в лесных фитоценозах на всех обследованных территориях. КП данного вида на отвалах, как правило, изменяется от IV до IX. Исключение составляет золоотвал СУГРЭС, где *O. secunda* имеет КП I. Данный вид произрастает на субстратах в диапазоне реакции среды от слабокислых и нейтральных (рН=5,2–6,2) [5] до слабощелочных (рН=8,5–8,6).

Циркумпольярный бореальный вид, распространенный в Евразии и Северной Америке – *M. uniflora* (одноцветка крупноцветковая) – монокарпическое протосомное явнополицентрическое вечнозеленое травянистое растение со среднерозеточными побегами и полной ранней специализированной партикуляцией [3, 14]. Онтогенез *M. uniflora* можно отнести к Д-типу. В результате многократной партикуляции происходит значительное омоложение особи. Типичный представитель таежной флоры. Растет преимущественно в хвойных (чаще еловых и сосновых, реже пихтовых) лесах, но встречается также и в смешанных, а изредка и в мелколиственных (березовых, ольховых) лесах. Иногда растет по окраинам болот и в зарослях кустарников [15]. Предпочитает леса с разреженным травяным ярусом и хорошо развитым покровом из зеленых мхов. Является умеренным ацидофилом (произрастает на почвах в диапазоне рН от 4,7 до 5,7) [5].

ЦП *M. uniflora* обнаружены на половине обследованных территорий. На Южном Веселовском отвале, на отвалах Шабровского тальк-магнетитового месторождения, на нерекультивированных участках гидроотвала Шуралино-Ягодного месторождения россыпного золота и золоотвалов ВТГРЭС и СУГРЭС данный вид имеет невысокие значения КП (I–III).

Циркумпольярный бореальный вид – *P. rotundifolia* – длиннокорневищное вечнозеленое явнополицентрическое травянистое растение со среднерозеточными побегами и полной нормальной специализированной партикуляцией [6]. Онтогенез *P. rotundifolia*, относится по классификации Л. А. Жуковой [16] к Г2-типу: онтогенез семенной особи неполный и может заканчиваться партикуляцией [17]. При старении растения ветвление ослабевает; дольше оно сохраняется в подземной части. Хамефит, зимне-зеленый ползучий поликарпик. Мезофит [18]. Типичный представитель травяно-кустарничкового яруса в темно- и светлохвойных, а также смешанных мелколиственно-хвойных лесах. Данный вид не требователен к освещению, индифферентно относится к плодородию почв и к содержанию гумуса [5].

Исследования показали, что ЦП *P. rotundifolia* встречаются также в лесных фитоценозах на всех обследованных территориях. КП данного вида на отвалах, как правило, изменяется от III до VIII. Исключение составляет отвалы Шабровского тальк-магнетитового месторождения, где *P. rotundifolia* имеет КП I. Отмечено, что данный вид может произрастать на субстратах в диапазоне реакции среды от сильнокислой и нейтральной (рН 4,6 до 7,8) [5] до слабощелочной (рН=8,5–8,6).

Бореальный евро-азиатский вид – *P. media* (грушанка средняя) – длиннокорневищное вечнозеленое явнополицентрическое травянистое растение со среднерозеточными побегами и полной нормальной специализированной партикуляцией. Хамефит, зимне-зеленый ползучий поликарпик [18]. Мезофит, мезотроф, малотребовательный к свету. Встречается, в основном, во мшистых сосняках, предпочитая хорошо аэрированные и гумусированные почвы [19].

ЦП *P. media* отмечены на половине обследованных территорий. На Галкинском отвале № 3, Сухореченском доломитовом отвале и отвалах Шабровского тальк-магнетитового месторождения растет данный вид имеет невысокий КП I. *P. media* может произрастать на субстратах с реакцией среды от слабокислой до слабощелочной.

Евразийско-североамериканский вид – *P. minor* (грушанка малая) – длиннокорневищное вечнозеленое явнополицентрическое травянистое растение со среднерозеточными побегами и полной нормальной специализированной партикуляцией. Весь онтоморфогенез можно отнести к Г-типу [6]. Хамефит, зимне-зеленый ползучий поликарпик. Мезофит [18]. Произрастает в смешанных, хвойных и мелколиственных лесах по окраинам болот в затененных местах.

ЦП *P. minor* отмечены на 70 % обследованных территорий. Данный вид на отвалах имеет невысокий КП I. Встречается на слабокислых, нейтральных и слабощелочных субстратах.

Циркумбореально-древнесредиземноморский вид – *P. chlorantha* (грушанка зеленоцветковая) – длиннокорневищное вечнозеленое явнополицентрическое травянистое растение со среднерозеточными побегами и полной нормальной специализированной партикуляцией [6]. В целом, онтогенез особи у этого вида можно отнести к Г-типу. Партикуляция иногда сопровождается глубоким омоложением, что позволяет предположить потенциальное бессмертие растения [6]. Хамефит, зимне-зеленый ползучий поликарпик. Мезофит [18]. Данный вид произрастает по сосновым, реже смешанным лесам на относительно сухих почвах.

Исследования показали, что ЦП *P. chlorantha* отмечены небольшими группами на 60 % обследованных территорий. Данный вид на отвалах имеет невысокий КП I. Встречается на слабокислых, нейтральных и слабощелочных субстратах.

По данным Ю. А. Боброва [6] парциальный куст у представителей трибы Pyroleae развивается разное число лет: формирование его у видов рода *Chimaphila* длится 25–30 лет, у *O. secunda* – 15–20 лет, у большинства видов рода *Pyrola* – 12–15 лет, у *P. chlorantha* – 5–8 лет, у *M. uniflora* – 3–4 года. Отмирает он также постепенно: у видов рода *Chimaphila* – в течение 10–20 лет, у *O. secunda* – 8–10 лет, у большинства видов рода *Pyrola* – 5–7 лет, у *P. chlorantha* и *M. uniflora* – 3–4 года. Таким образом, длительность жизни основного модуля у кустарничков семейства составляет как минимум 30 лет, у большинства видов рода *Pyrola* – около 20 лет, у *P. chlorantha* – примерно 10 лет, у *M. uniflora* – 5–8 лет.

Заключение. Таким образом, в результате мониторинга формирования растительности на отвалах добывающей и перерабатывающей промышленности Свердловской области было выявлено семь видов трибы Pyroleae: *Chimaphila umbellata* (L.) W. Barton, *Orthilia secunda* (L.) House, *Moneses uniflora* (L.) A. Gray, *Pyrola rotundifolia* L., *Pyrola media* Sw., *Pyrola minor* L. и *Pyrola chlorantha* Sw. Наиболее распространенными видами на нарушенных территориях являются *O. secunda* и *P. rotundifolia*. Всем изученным видам свойственно групповой тип пространственного распределения. Все ценопопуляции являются нормальными, молодыми с преобладанием доли прегенеративных особей. Исключение составляет ценопопуляция *Ch. umbellata* на рекультивированном участке золоотвала ВТГРЭС, которая была отнесена к зреющей.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Программы развития Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина в соответствии с программой стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Список литературы

1. Chase M. W., Reveal J. L. A phylogenetic classification of the land plants to accompany APG III // Botanical Journal of the Linnean Society. 2009. V. 161(2). P. 122–127. DOI: 10.1111/j.1095-8339.2009.01002.x
2. Полевая геоботаника: в 5 т. М.; Л.: Наука, 1964. Т. 3. 530 с.
3. Бобров Ю. А. О ранних стадиях развития особей европейских видов семейства Pyrolaceae // Ботанический журнал. 2004. № 8. С. 1342–1351.
4. Жукова Л. А. Популяционная жизнь луговых растений. Йошкар-Ола, 1995. 224 с.
5. Таршис Л. Г. Об изменчивости морфологических и анатомических признаков у видов подсемейства Pyroloideae (Ericaceae) на Урале // Ботанический журн. 2005. № 8. С. 1197–1208.
6. Бобров Ю. А. Грушанковые России. Киров: Изд-во ВятГГУ, 2009. 137 с.
7. Экологические основы и опыт биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель / Т. С. Чибрик, Н. В. Лукина, Е. И. Филимонова, М. А. Глазырина. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2011. 268 с.

8. Махонина Г. И., Чибрик Т. С. К характеристике начальных этапов почвообразования при естественном зарастании отвалов Веселовского бурогоугольного месторождения // Растения и промышленная среда: Сб. науч. тр. Свердловск: УрГУ, 1978. С. 72–83.
9. Рундквист Н. А., Задорина О. В. Свердловская область. Иллюстрированная краеведческая энциклопедия. Екатеринбург: Квист, 2009. 456 с.
10. Махонина Г. И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. 355 с.
11. Филимонова Е. И., Уманова Н. Е., Рябухин Э. А. Начальные этапы формирования растительности на гидроотвалах Шуралино-Ягодного месторождения россыпного золота // Биологическая рекультивация нарушенных земель: Материалы Междунар. совещ., г. Екатеринбург, 26–29 августа 1996 г. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. С. 238–247.
12. Чибрик Т. С., Лукина Н. В., Глазырина М. А. Характеристика флоры нарушенных промышленностью земель Урала: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2004. 160 с.
13. Флора СССР / Под ред. Б. К. Шишкина. М.; Л.: Академия наук СССР, 1952. Т. 18. 802 с.
14. Онтогенетический атлас растений: Науч. изд. Т. V. Йошкар-Ола: МарГУ, 2007. 372 с.
15. Багдасарова Т. В., Вахрамеева М. Г. Одноцветка крупноцветковая // Биологическая флора Московской области. М.: МГУ, 1990. С. 181–188.
16. Онтогенетический атлас растений: Науч. изд. Йошкар-Ола: МарГУ, 2004. Т. IV. 240 с.
17. Полянская Т. А., Ведерникова О. П. Характеристика ценопопуляций *Pyrola rotundifolia* L. в Республике Марий Эл // Вестник ОГУ. Оренбург, 2009. № 10. С. 84–91.
18. Иллюстрированный определитель растений Пермского края / С. А. Овеснов, Е. Г. Ефимик, Т. В. Козьминых [и др.] / под ред. С. А. Овеснова. Пермь: Книжный мир, 2007. 744 с.
19. Определитель растений Мещеры: в 2 ч. / Е. Б. Алексеев [и др.] / под ред. В. Н. Тихомирова. М.: Изд-во Московского университета, 1987. Ч. 2. 1987. 224 с.

ФИТОРЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ПРИБРЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ ТЕРСКОГО БЕРЕГА БЕЛОГО МОРЯ

Глухова Е. В., Голубева Е. И.

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия
evglukhova@gmail.com, egolubeva@gmail.com*

Ключевые слова: *нарушенные экосистемы, фитомелиорация, песчаные массивы, Кольский полуостров.*

Аннотация: *В статье рассматриваются современные процессы восстановления растительности на побережье Терского берега Белого моря в устье реки Варзуги. В основу анализа положены результаты исследования восстановления растительного покрова деградированных прибрежных экосистем, связанные преимущественно с длительной историей освоения региона и различными видами природопользования. При полевых исследованиях состояния формирующихся на месте песчаных массивов сосновых лесов использованы различные географические методы – фитоценотические, морфометрические, биохимические и дистанционные. Результаты исследования позволили выбрать наиболее информативные показатели состояния формирующихся с 1980-х годов сосновых лесов. В результате проведения исследований удалось оценить состояние насаждений и провести мониторинг процесса фитомелиорации.*

PHYTORECOLTIVATION OF DISTURBED ECOSYSTEMS OF THE TERSKY COAST OF THE WHITE SEA

Glukhova E. V., Golubeva E. I.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Key words: *disturbed ecosystems, phytomelioration, sands, the Kola Peninsula.*

Abstract: *The article discusses the modern processes of vegetation restoration on the coast of the Tersky coast of the White Sea at the mouth of the Varzuga River. The analysis is based on the results of a study of the restoration of vegetation cover of degraded coastal ecosystems, mainly related to the long history of the development of the region and various types of nature management. Various geographical methods – phytocenotic, morphometric, biochemical and remote – have been used in field studies of the state of pine forests formed on the site of sands. The results of the study made it possible to select the most informative indicators of the state of pine forests that have been forming since the 1980 s. As a result of the research, it was possible to assess the condition of the plantings and monitor the phytomelioration process.*

Введение. Деградационные процессы, происходящие под влиянием различных природных и антропогенных факторов, обуславливающих трансформацию компонентов экосистем – климата, рельефа, почвенного покрова, растительности и животного мира, могут протекать достаточно активно. Особенно быстро такие процессы происходят в экстремальных природных условиях и в результате нерациональной антропогенной деятельности. Изучению деградации земель в условиях Севера необходимо уделять особое внимание, так как экосистемы здесь весьма уязвимы, а процессы естественного восстановления затягиваются на многие годы, а иногда и не возможны [1, 2]. Поэтому большого внимания требует разработка методов рекультивации деградированных земель в экстремальных природных условиях, а также организация мониторинга их функционирования.

На побережье Белого моря (Южная часть Кольского полуострова), на территориях, приуроченных, как правило, к населенным пунктам, расположенным в устьях рек, на легких песчаных почвах, сформированных древними речными выносами, наблюдается процесс ак-

тивного разрушения почвы и растительности. Вырубка лесов, чрезмерный выпас скота, пожары в отдельных местах привели к полной деградации растительности и, как следствие, к образованию обнаженных песчаных массивов, которые при постоянно дующих ветрах на границе моря и суши подвержены сильной дефляции. Наиболее крупные песчаные массивы располагаются в районе села Кузомень Терского района Мурманской области. Здесь резко сократилась площадь водоохранных лесов вдоль берегов Белого моря, и самовосстановление таких нарушенных земель практически невозможно. Терский берег является уникальным в природном и историческом отношении районом Кольского полуострова. Здесь сохранились обширные территории естественных природных ландшафтов [3, 4].

Фиторекультивация подвижных песков на побережье Белого моря началась в начале 1980-х годов Полярно-альпийским ботаническим садом-институтом КНЦ РАН и Терским лесхозом. За восьмилетний период экспериментальных работ было заложено 110 пробных площадей. На площади 5,8 га высажено около 50 тысяч саженцев древесных пород, испытаны различные виды растений – фитомелиорантов. На песках Терского побережья основной лесобразующей культурой при фиторекультивации был выбран вид местной флоры – сосна обыкновенная лапландская (*Pinus sylvestris* L.), степень приживаемости которой оказалась самой высокой по сравнению с другими видами.

Целью наших исследований было рассмотрение эффективности проведенной рекультивации деградированных земель на основе анализа особенностей структуры и динамики формирующихся сосновых лесов при фитомелиорации на песках Терского побережья Белого моря, а также разработка практических рекомендаций для дальнейшего мониторинга.

Большое значение в успешности фиторекультивации имеют особенности микрорельефа и плотность посадок [5]. Так, при достаточно плотной посадке, растения лучше защищены от неблагоприятного воздействия сильных ветров и существенно опережают единичные деревья по всем морфометрическим параметрам [6].

Объекты и методы исследований. Для оценки состояния формирующихся сосновых сообществ разного возраста нами были изучены особенности их восстановления более чем за 20-летний период. Исследования проводились на пробных площадях размером 20×20 м², характеризующих четыре возрастные стадии развития насаждений. Все пробные площади располагаются на бугристых песках в сходных природных условиях. На каждой пробной площади в течение вегетационного периода измерялись температура, влажность и содержание элементов питания в верхнем горизонте почвы с учетом микрорельефа (на буграх и в межбугристых понижениях). Для определения содержания элементов питания (Mn, Zn, Cu, N, P₂O₅, K₂O) в почве было отобрано 40 смешанных проб почвы с горизонта 0–5 см, в хвое сосны – 250 образцов 40 деревьев в 2-х кратной повторности, для которых оценивались изменения биохимических показателей (содержание пигментов – хлорофиллов *a* и *b*, и каротиноидов) [7].

Для изучения условий произрастания сосновых насаждений на каждой пробной площади были выполнены стандартные геоботанические описания, при этом учитывалась горизонтальная неоднородность. Все этапы исследования проводились отдельно для микроценозов, состоящих из одиночных особей сосны и для групп деревьев. В качестве фоновых рассматривали сохранившиеся естественные сообщества, прилегающие к песчаным массивам. Для изучения хода роста сосновых насаждений разного возраста были измерены основные морфометрические характеристики 500 деревьев: высота дерева, диаметр ствола на высоте 1,3 м, диаметр корневой шейки ствола, линейный прирост ствола, возраст хвои, ежегодный прирост [8].

Результаты исследований. Изменения показателей, характеризующих состояние и развитие растительных сообществ, при фиторекультивации на Терском побережье Белого моря, позволили выделить стадии формирования сосновых лесов.

Первая стадия – приживание сосновых насаждений. Она наступает с момента посадки и продолжается несколько лет, пока у сосны формируется корневая система и происходит адаптация к новым условиям обитания. В посадках присутствуют лишь те виды растений,

которые использовались при фитомелиорации. У исследованных сосновых насаждений данная стадия наблюдается до 5-летнего возраста.

Вторая стадия – усиленный рост и формирование сообществ. В этот период происходит активное развитие надземных и подземных частей растений и начинается смыкание крон у отдельных деревьев. Наблюдается появление видов лесного разнотравья. У исследованных нами сосновых насаждений эта стадия наблюдается с 5-летнего до 10–15-летнего возраста.

Третья стадия – формирование сообществ, близких к естественным. Для этой стадии характерны сомкнутые насаждения. Значительно увеличивается разнообразие и проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса, преимущественно за счет внедрения лесных видов, появления лишайников. К этой стадии можно отнести сосновые насаждения 15–20-летнего возраста, которые, даже в экстремальных условиях Севера, приближаются к фоновым.

Анализ рассмотренных показателей состояния формирующихся сосновых лесов позволил выбрать наиболее информативные, на основе которых можно проводить оценку состояния насаждений и мониторинг процесса фитомелиорации: морфометрические (высота деревьев, диаметр ствола на высоте 1,3 м, ежегодный прирост), фитоценотические (экобиоморфный состав и флористическое разнообразие), биохимические (соотношение пигментов).

Выводы. Мониторинг, проводимый с помощью данных дистанционного зондирования в 2018–2019 гг., показал, что процесс восстановления сосновых лесов на исследуемой территории успешно продолжается.

Список литературы

1. Бурлакова Л. М. Деградация земель и опустынивание // Мелиорация и водное хозяйство. 2005. № 1. С. 6–9.
2. Редько Г. И., Бабич Н. А. Лесовосстановление на Европейском Севере России. Архангельск: Северо-Западное книжное изд-во, 1994. 188 с.
3. Казаков Л. А. Кузоменские пески. Мурманск – Апатиты: Изд-во Госкомитета по охране окружающей среды Мурманской обл., 2000. 112 с.
4. Регель К. В. Терский берег (краткое физико-географическое и естественно-историческое описание) // Известия Архангельского общества изучения Русского Севера. 1917. № 3–4. С. 89–100.
5. Федорков А. Л. Адаптация хвойных к стрессовым условиям Крайнего Севера. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 100 с.
6. Глухова Е. В., Голубева Е. И., Жиров В. К. Фиторекультивация деградированных земель Терского побережья Белого моря. М.: ЛЕНАНД, 2021. 156 с.
7. Перельман А. И. Геохимия ландшафтов. М.: Высшая школа, 1975. 340 с.
8. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на крайнем севере / В. К. Жиров, Е. И. Голубева, А. Ф. Говорова, А. Х. Хаитбаев. М.: Наука, 2007. 166 с.

УГЛЕВОДОРОДНОЕ СОСТОЯНИЕ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ В РАЙОНЕ НЕФТЕБАЗ НА ТЕРРИТОРИИ ЯКУТИИ

Глязнецова Ю. С., Зуева И. Н., Лифшиц С. Х., Чалая О. Н., Попова Н. И.
Институт проблем нефти и газа СО РАН, г. Якутск, Россия
glyaz1408@mail.ru

Ключевые слова: почва, нефтебаза, природный геохимический фон, битумоид, углеводороды, алканы.

Аннотация: В работе дана сравнительная оценка современного углеводородного состояния двух видов фоновых почв – взятых с территории экологически чистых природных объектов и в районе нефтебаз. Детальный химический анализ состава углеводородов в почвенных битумоидах показал отклонения в составе проб в районе нефтебаз от природного геохимического фона. Это выражается в повышенном содержании углеводородов нефтяного ряда в составе битумоидов, появлении дополнительного максимума в низкомолекулярной области на $n-C_{15,16}$ в распределении n -алканов, более высоких значениях соотношения изопреноиды/ n -алканы, низких – коэффициента нечетности CPI, присутствии заметных следов ароматических углеводородов. Все это может указывать на протекающие процессы трансформации природного геохимического фона за счет миграции углеводородов с паводковыми, дождевыми и сезонно-талыми водами и атмосферного переноса даже на расстоянии от действующих техногенных объектов.

HYDROCARBON STATE OF PERMAFROST SOILS IN THE AREA OF TANK FARMS ON THE TERRITORY OF YAKUTIA

Glyaznetsova Yu. S., Zueva I. N., Lifshits S. H., Chalaya O. N., Popova N. I.
Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russia

Key words: soil, tank farm, natural geochemical background, bitumoid, hydrocarbons, alkanes.

Abstract: The paper gives a comparative assessment of the current hydrocarbon state of two types of background soils - taken from the territory of ecologically clean natural objects and in the area of tank farms. A detailed chemical analysis of the composition of hydrocarbons in soil bitumoids showed deviations in the composition of samples in the area of tank farms from the natural geochemical background. This reflects an elevated content of hydrocarbons of the petroleum series in the composition of bitumoids. Also, it proves the appearance of an additional maximum in the low molecular weight region at $n-C_{15,16}$ in the distribution of n -alkanes, higher values of the isoprenoid/ n -alkanes ratio, low values of the odd CPI coefficient as the presence of noticeable traces of aromatic compounds. All this may indicate ongoing processes of transformation of the natural geochemical background due to the migration of hydrocarbons with flood, rain and seasonal melt waters and atmospheric transport even at a distance from operating technogenic objects.

Введение. Наиболее распространенным источником загрязнения на сегодняшний день является транспортировка и хранение нефти и нефтепродуктов. В Якутии нефтепродукты доставляются в наиболее отдаленные районы по рекам, по берегам которых расположены нефтебазы, относящиеся к категории объектов с высокой техногенной нагрузкой, поскольку включают многообразные устройства (резервуары, трубопроводные коммуникации, насосное оборудование, сливноналивные устройства) и операции. При эксплуатации нефтебаз происходят потери нефтепродуктов за счет утечек, переливов и аварийных разливов, испарения при операциях заполнения резервуаров, за счет суточных колебаний температуры и давления и др. В результате происходит загрязнение объектов окружающей среды и прилегающих тер-

риторий. В рамках настоящей работы проведены геохимические исследования по оценке углеводородного состояния почв в районе возможного влияния нефтебаз, расположенных в разных климатических зонах Якутии. Эти данные необходимы для экологического мониторинга нарушенных земель и идентификации природных и техногенных углеводородов, что в дальнейшем может быть основой для разработки нормативов остаточного содержания нефтепродуктов в почвах и оптимальных рекомендаций по рекультивации нарушенных земель.

Объекты и методы исследований. Объектами исследования послужили два вида фоновых мерзлотных почв – взятых с территории экологически чистых природных объектов (пойменная часть р. Оленек) и на границе размещения нефтебаз. Нефтебазы расположены на территории Якутии (г. Томмот, г. Ленск, г. Якутск, п. Хонуу, п. Черский) по берегам крупных рек (Лена, Колыма, Алдан, Индигирка). Срок их эксплуатации более 50 лет.

Комплекс аналитических методов исследования включал: извлечение хлороформенного битумоида (ХБ) методом холодной экстракции; изучение структурно-группового состава ХБ и их фракций методом ИК-Фурье спектроскопии; определение группового состава методом жидкостно-адсорбционной колоночной хроматографии; определение индивидуально-группового состава насыщенных углеводородов (УВ) методом хромато-масс-спектрометрии [1].

Результаты исследований. При определении степени углеводородного состояния почв проведена идентификация возможного присутствия техногенной составляющей (нефтяные УВ) на фоне присутствия природного органического вещества почв, как это предлагается рядом авторов [1–3].

При экологическом мониторинге территорий нефтебаз оценка нефтезагрязнения почв проводится путем сравнения с фоном. Поэтому фоновые пробы отбираются на расстоянии от нефтебаз на территории, не подверженной прямому техногенному воздействию (разливы, утечки нефтепродуктов). Такие почвы можно принять за условно фоновые. По результатам выполненных нами работ в пробах условно фоновых почв выход ХБ в среднем составлял от 497 мг/кг до 525 мг/кг, вплоть до 2793 мг/кг. При этом доля углеводородных фракций в некоторых пробах в составе ХБ достигала 57,7 %, что нехарактерно для геохимического фона (табл.).

Таблица – Геохимическая характеристика почвенных битумоидов

Район исследования	Выход ХБ, мг/кг	Групповой состав ХБ, %			
		УВ в составе ХБ		Смолы	Асфальтены
		%	мг/кг	%	%
<i>Условно фоновые почвы – в районе нефтебаз</i>					
Нижнеколымский р-н, п. Черский	<u>196–927*</u> 525	<u>18,2–55,6</u> 40,2	<u>108,9–372,4</u> 192,4	<u>30,9–54,0</u> 43,1	<u>10,9–27,9</u> 16,7
Момский р-н, с. Хонуу	<u>1409–1516</u> 1452	<u>6,2–13,8</u> 9,6	<u>94,5–197,3</u> 138,2	<u>58,2–69,3</u> 62,9	<u>21,9–32,7</u> 27,5
г. Якутск	<u>428–567</u> 497	<u>50,2–57,7</u> 54	<u>214,8–327,2</u> 271,0	<u>35,2–43,9</u> 39,5	<u>3,5–14,6</u> 9,0
Ленский р-н, г. Ленск	<u>440–568</u> 504	<u>7,6–40,2</u> 23,8	<u>42,9–176,8</u> 73,2	<u>53,5–71,5</u> 62,5	<u>6,4–21,0</u> 13,7
Алданский р-н, г. Томмот	<u>194–6209</u> 2793	<u>4,2–25,1</u> 10,2	<u>48,8–296,8</u> 153,5	<u>44,0–60,5</u> 54,0	<u>21,1–53,3</u> 35,8
<i>Фоновые почвы природных объектов</i>					
Булунский р-н, дельта р. Оленек	<u>30–82</u> 56	<u>9,4–6,3</u> 7,9	<u>2,8–5,2</u> 4,0	<u>72,6–81,5</u> 76,9	<u>9,4–21,1</u> 15,2

Примечание: * – в числителе – интервал, в знаменателе – среднее значение.

Для сравнения в таблице представлены результаты исследования почв, отобранных с экологически чистой территории, незатронутой промышленной деятельностью, вдали от ав-

тодорог и населенных пунктов – в пойменной части р. Оленек. Как видно из приведенных данных, содержание УВ (метановых, нафтеновых и ароматических) в составе ХБ этих почв не превышало 5,2 мг/кг по сравнению с условно фоновыми почвами в районе нефтебаз, где содержание УВ более, чем на порядок выше и составляло от 42,9 до 372,4 мг/кг.

В ИК-спектрах ХБ условно фоновых почв появляются слабо интенсивные полосы поглощения (п.п.) нефтяных УВ (соединений с ароматическими циклами 750 и 1600 см^{-1}) (рис. 1, спектры 1, 2 и 3), что и отличает их от ИК-спектров ХБ почв чистых территорий, в которых доминирующими являются п.п. карбонильных и гидроксильных групп, эфирных связей и отсутствуют п.п. ароматических УВ (рис. 1, спектр 4).

В групповом составе ХБ почв в районе нефтебаз установлено преобладание асфальтово-смолистых компонентов над УВ (табл.). Однако доля УВ в составе ХБ значительно выше, чем для почв природных объектов. В последних на долю УВ приходится от 6 до 9 %, что составляет 4,0–20 мг/кг, что (табл.).

В индивидуальном составе насыщенных УВ почв природных объектов характерно одномодальное распределение n-алканов с максимумом в высокомолекулярной области на n- $\text{C}_{27,29,31}$, преобладание гомологов нормального строения, низкие значения соотношений изопреноиды/n-алканы, преобладание пристана (Pr) и фитана (Ph) над n-гептадеканом и n-октадеканом соответственно, высокое значение коэффициента нечетности CPI (5,6–10,1) (рис. 2 (2)).

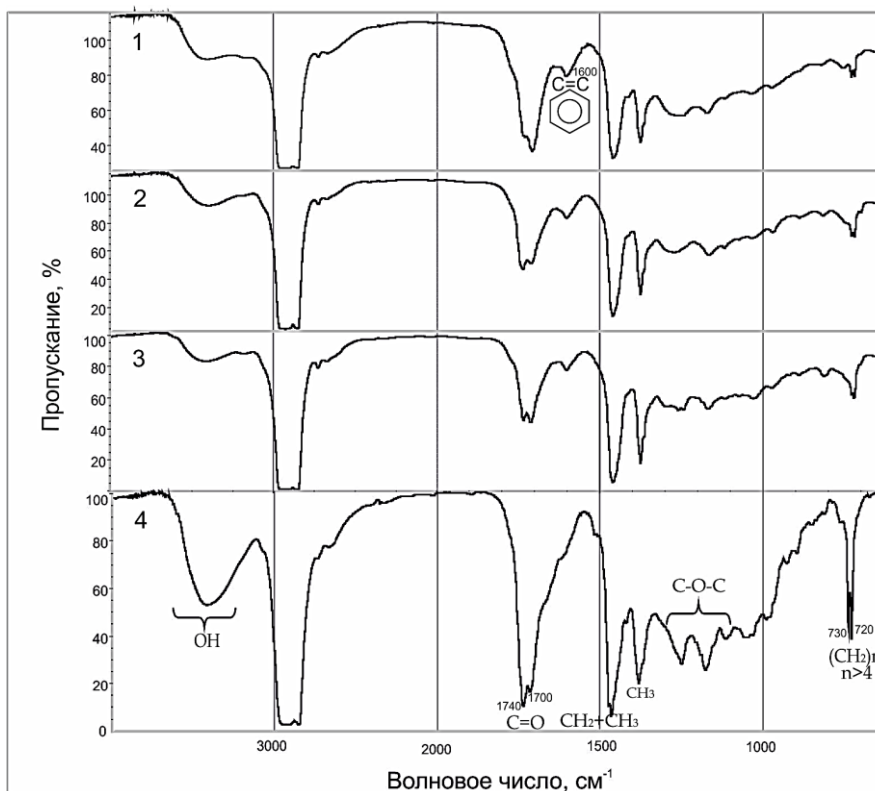


Рисунок 1 – ИК-спектры экстрактов условно фоновых проб почв, отобранных в районе НБ: г. Якутск (1); г. Ленск (2); пос. Черский (3) и фоновой почвы пойменной части р. Оленек (4)

В условно фоновых почвах установлен другой характер распределения насыщенных УВ. По сравнению с чистыми фоновыми почвами в них в 1,7 раза меньше содержание алканов нормального строения, среди которых наряду с высокомолекулярными гомологами обнаружены относительно низкомолекулярные n-алканы C_{13} – C_{19} (рис. 2 (1)).

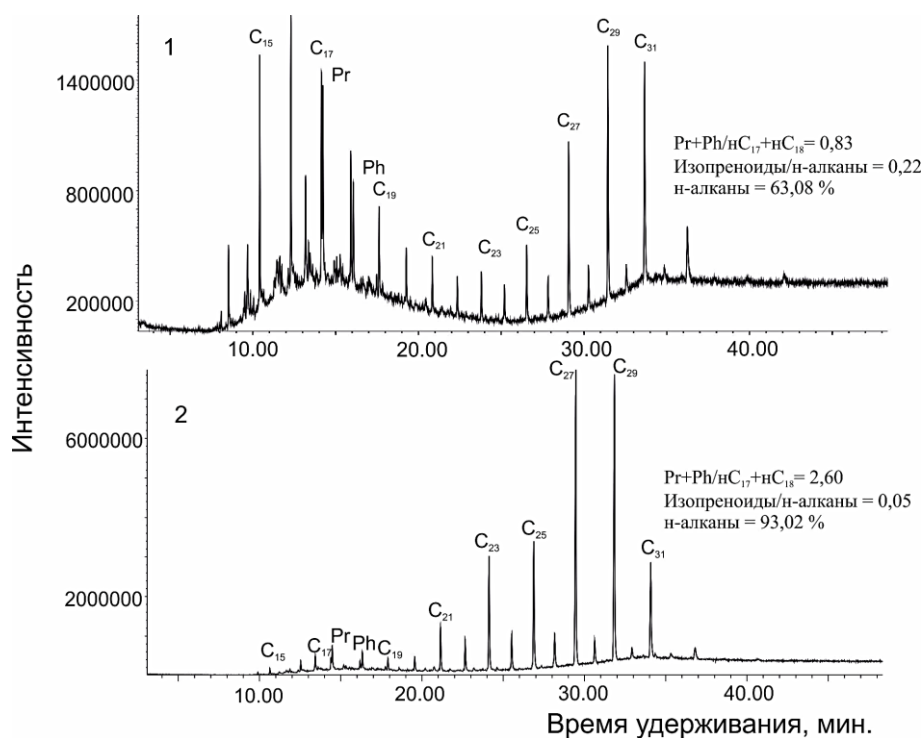


Рисунок 2 – Масс-хроматограммы насыщенных УВ фоновых почв: отобранных в районе нефтебазы г. Томмот (1) и фоновой почвы пойменной части р. Оленек (2)

Распределение н-алканов носит бимодальный характер с появлением дополнительного максимума на н-С_{15,16}. Данные пробы характеризуются более высокими значениями соотношения изопреноиды/н-алканы. Установленные различия в составе и характере распределения алканов изученных фоновых проб указывает на присутствие следов нефтяных УВ в составе условно фоновых почв. Такие отклонения от природного фона типичны для территорий, находящихся рядом с объектами нефтегазового комплекса, но неподверженных прямому техногенному воздействию [3].

Заключение. Проведенные исследования показали, что при сравнительной оценке современного углеводородного состояния двух видов фоновых почв установлены отклонения в составе битумоидов почв в районе нефтебаз от природного геохимического фона экологически чистых территорий. В почвах в районе нефтебаз, которые не подвергались прямому техногенному воздействию, были обнаружены следы присутствия нефтяных УВ.

Все это может указывать на протекающие процессы трансформации природного геохимического фона за счет миграции УВ с паводковыми, дождевыми и сезонно-талыми водами и атмосферного переноса даже на расстоянии от действующих техногенных объектов.

Таким образом, в природно-климатических условиях Якутии попадание в мерзлотные почвы даже незначительного количества нефтяных УВ способно изменить углеводородное состояние почв.

Благодарности. Исследования выполнены в рамках Госзадания Министерства науки и высшего образования РФ № 122011200369-1 с использованием научного оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН в рамках гранта №13.ЦКП.21.0016.

Список литературы

1. Глязнецова Ю. С., Зуева И. Н., Чалая О. Н., Лифшиц С. Х. Вопросы экологического мониторинга и реабилитации нефтезагрязненных почв арктической зоны Якутии // Арктика и Север. 2012. № 5. С. 97–108.
2. Пиковский Ю. И., Смирнова М. А., Геннадиев А. Н., Завгородняя Ю. А., Жидкин А. П., Ковач Р. Г., Кошовский Т. С. Параметры нативного углеводородного состояния почв различных биоклиматических зон // Почвоведение. 2019. № 11. С. 1307–1321.

З. Зуева И. Н., Каширцев В. А., Лифшиц С. Х., Глянцева Ю. С., Чалая О. Н. Методы исследования поверхностных углеводородных геохимических полей природного и техногенного происхождения // Наука и образование. 2009. № 1(53). С. 50–54.

УДК 631.618

СПОСОБЫ РЕАБИЛИТАЦИИ ПОЧВ, ДЕГРАДИРУЮЩИХ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

^{1,2}Двуреченский В. Г.

¹Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный педагогический университет, г. Новосибирск, Россия,
dvu-vadim@mail.ru

Ключевые слова: деградация естественных экосистем, тяжелые металлы, экологическая катастрофа, почвенно-экологический статус, способы реабилитации.

Аннотация: В статье представлена информация о катастрофической ситуации в месте добычи и переработки цветных металлов. Цель исследования – выявить возможность реабилитации деградированных почв. Объекты исследования – почвенный покров ландшафта, имеющий в своем составе черноземы выщелоченные горные, деградирующие под влиянием свинцово-цинкового завода. В ходе исследования выявлено, что почвенно-экологический статус территории – неудовлетворительный. Химические элементы-загрязнители накапливаются в гумусовой части профиля. Превышения цинка, свинца, меди, кадмия составляют несколько порядков в сравнении с фоновыми значениями. Для возвращения нарушенной экосистемы в удовлетворительное состояние необходимо резко сократить опасные для природы выбросы с предприятия, срочно переоборудовать очистные системы с применением современных технологий очистки выбросов. Необходимы реабилитационные мероприятия, которые сводятся к инактивации избыточных химических элементов в почвах.

METHODS OF REHABILITATION OF SOILS DEGRADING UNDER THE INFLUENCE OF NON-FERROUS METALLURGY ENTERPRISES

^{1,2}Dvurechenskiy V. G.

¹Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia

Key words: degradation of natural ecosystems, heavy metals, ecological catastrophe, soil-ecological status, reclamation methods.

Abstract: The article provides information about the catastrophic situation in the place of mining and processing of non-ferrous metals. The purpose of the study is to identify the possibility of rehabilitating degraded soils. The objects of study are the soil cover of the landscape, which includes leached mountain chernozems degrading under the influence of a lead-zinc plant. The soil-ecological status of the territory is unsatisfactory. Chemical elements-pollutants accumulate in the humus part of the profile. The excesses of zinc, lead, copper, cadmium are several orders of magnitude in comparison with the background values. In order to return the disturbed ecosystem to a satisfactory state, it is necessary to drastically reduce emissions from the enterprise that are hazardous to nature, urgently re-equip the treatment systems using modern technologies for cleaning emissions. Rehabilitation measures are needed, which are reduced to the inactivation of excess chemical elements in soils.

Введение. Большие горы отвалов, гигантские площади хвостов вокруг предприятий цветной металлургии в г. Риддере, г. Усть-Каменогорске и г. Зырянске (Республика Казахстан) – свидетельство нерационального подхода к использованию недр земли. Подобная практика, крайне губительная для окружающей среды, ведет к бесцельной трате полезных ископаемых, трансформации естественных ландшафтов из-за строительства отвалов и хранилищ отработанных пород и загрязнению водного и воздушного пространства. Основными загрязнителями среди химических элементов считаются Cd, Cu, Hg, Pb и Zn, т. к. их накопление в окружающей среде происходит высокими темпами, и они являются наиболее частыми компонентами антропогенных элементохимических ассоциаций [1].

Цель исследования: определить возможные способы реабилитации почв для дальнейшего использования в народном хозяйстве.

Задачи исследования:

- 1) Установить почвенно-экологический статус экосистемы.
- 2) Определить содержание химических элементов-загрязнителей в почвах и их распределение в почвенном профиле.
- 3) Предложить эффективные приемы детоксикации, рекультивации загрязненных почв.

Объекты и методы исследований. Объектом исследования послужил почвенный покров ландшафта, имеющий в своем составе черноземы выщелоченные горные, деградирующие в пределах санитарно-защитной зоны свинцово-цинкового завода. Предприятие находится в черте г. Риддер Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан. Площадь исследуемого участка – 14 га. Участок имеет уклон к малой р. Филипповке, которая протекает по территории завода и города.

При закладке 4-х разрезов в различных зонах участка был отмечен характерный металлический блеск верхней части гумусового горизонта A_1 . В связи с этим выдвинулось предположение о том, что накопление химических элементов происходит главным образом в верхней части профиля, и, следовательно, основное внимание необходимо уделить изучению поверхностных горизонтов почвы [2].

В качестве контроля были взяты пробы черноземов выщелоченных горных, формирующихся в естественных ландшафтах, расположенных в 30 км к северу от территории исследования, в районе с. Бутаково, не в зоне влияния дующих от предприятия ветров и текущих загрязненных рек.

Для проведения количественного элементного анализа тяжелых металлов в почве использовался атомно-абсорбционный спектрометр «Квант-2А».

Результаты исследований. Валовое определение тяжелых металлов в фоновых почвах представляет, как научный, так и практический интерес. Как правило, такие данные используются для мониторинга загрязненных ландшафтов, находящихся в одном районе с незагрязненными ландшафтами, или не попавшими под влияние загрязняющих факторов. Природное валовое содержание элементов берется в качестве эталона, с превышением которого начинается загрязнение. Это дает возможность оценить степень загрязнения и распространения тяжелых металлов, а также определить темпы загрязнения. На угодьях, расположенных рядом с исследуемым участком, в верхнем 10-см слое содержание Pb доходит до 1802,8 мг/кг (в зональной почве – до 3,6 мг/кг); Cd – до 56,3 мг/кг (в зональной почве – до 0,38 мг/кг); Zn – до 58000,0 мг/кг (в зональной почве – до 25,2 мг/кг); Cu – до 881,8 мг/кг (в зональной почве – до 0,4 мг/кг); Ni – до 4,7 мг/кг (в зональной почве – до 0,9 мг/кг); Co – до 0,9 мг/кг (в зональной почве – 0,8 мг/кг). То есть по некоторым элементам превышения составляют несколько порядков в сравнении с зональными значениями.

При реабилитации почв, подвергшихся загрязнению тяжелыми металлами необходимо выбрать мероприятия, в результате применения которых произошло бы восстановление почвенного покрова либо прекращение его деградации. Для этого нужно ликвидировать или значительно сократить поступление токсикантов в окружающую среду. В условиях г. Риддера на свинцово-цинковом комбинате это можно достичь, например, внедрением но-

вых технологий и улавливателей выбросов в атмосферу и речную систему. Если в ближайшее время удастся ограничить поступление загрязнителей в окружающую среду, большие площади ранее загрязненных территорий будут постоянно привлекать к себе внимание. Например, кадмий может сохраняться в почве несколько десятилетий, прежде чем количество этого элемента снизится до допустимого значения.

Почва, без проведения реабилитационных мероприятий, способна самоочищаться (поступающие в нее материалы техногенного происхождения со временем разрушаются и выносятся за пределы почвенного профиля, частично закрепляются в недоступной форме). Тем не менее, проведение рекультивации загрязненных территорий позволит значительно ускорить процессы восстановления, так как защитные способности почвы ограничены.

Реабилитационные мероприятия сводятся к инактивации избыточных химических элементов, в ослаблении их воздействия на живые организмы, в уменьшении их содержания в растениях.

Общедоступными методами детоксикации тяжелых металлов в почве служат внесение извести и применение органических удобрений. При известковании почвы поступление тяжелых металлов в растения уменьшается. Это объясняется тем, что: 1) при возрастании pH тяжелые металлы выпадают из почвенного раствора в осадок в виде карбонатов, фосфатов, гидроксидов; 2) при возрастании pH и содержания ионов Са, уменьшается способность корней растений к поглощению тяжелых металлов, особенно Pb; 3) известкование способствует образованию комплексов органических веществ почвы с тяжелыми металлами.

Дозы извести, необходимые для инактивации тяжелых металлов, зависят от кислотности и величины pH, соответствующей наименьшей подвижности элемента-загрязнителя. У разных элементов она различная. При повышении pH уменьшается подвижность Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr, а у As, Se и Sr подвижность, наоборот, увеличивается.

Доза извести рассчитывается таким образом, чтобы нейтрализовать обменную кислотность. А может нужно проводить более глубокое подщелачивание для нейтрализации гидролитической кислотности. Здесь вступает в свои права экономический фактор.

Применение органических удобрений (навоза, торфа) позволяет использовать свойства многих органических соединений к комплексообразованию с тяжелыми металлами. Образующиеся органоминеральные комплексы являются либо малоподвижными, либо неспособными к преодолению клеточных мембран корневых систем растений. Немаловажный момент – органические удобрения обогащают почву органическим углеродом и элементами питания растений.

Детоксикацией обладают фосфорные удобрения, так как фосфаты свинца, цинка представляют собой труднорастворимые соединения, малодоступные для растений.

Для детоксикации избытка тяжелых металлов в почве эффективно использование цеолитов, так как они являются емкими ионообменниками и могут поглотить мобильную часть элементов-загрязнителей.

Для детоксикации можно применять биологические приемы. Они сводятся к выращиванию на загрязненных участках толерантных растений и фитомелиорации. При фитомелиорации обеспечивается максимальный вынос загрязнителей из почвы. Тем не менее, необходимо решить вопрос с последующей утилизацией выращенных культур.

К растениям фитомелиорантам относятся такие растения, как житняк гребенчатый, пырей пустынный, горчица сарептская, кострец безостый, пырей ползучий, мятлик луговой, т. е. виды, обладающие способностью быстро адаптироваться к конкретным условиям, устойчиво формировать фитомассу и переносить высокую концентрацию химических элементов [3]. Тополь обладает способностью к значительному выносу загрязнителей с листвой.

Одним из радикальных методов рекультивации и реабилитации является создание нового пахотного горизонта за счет плантажной вспашки, обеспечивающей погребение загрязненного слоя на глубине 40–50 см и выворачивание на поверхность подпахотного незагрязненного.

Возможно удаление верхнего токсичного слоя и размещение на его месте чистого слоя ПСП (плодородного слоя почвы) с проведением фитомелиорации. Выращивание трав необходимо для создания корнеобитаемого слоя, который препятствует эрозионным процессам.

На загрязненных почвах, после их рекультивации, экономически и экологически приемлемым должно быть выращивание фуражных, технических и других сельскохозяйственных культур. На загрязненных территориях необходимо стремиться к созданию санитарно-защитных растительных насаждений из видов, способных выдерживать высокую техногенную нагрузку.

Выводы.

1) Экологическая ситуация, сложившаяся вокруг предприятия цветной металлургии, оценивается как катастрофическая. Почвенно-экологический статус – неудовлетворительный.

2) Химические элементы-загрязнители накапливаются главным образом в гумусовой части профиля (0–10 (20) см). Превышения Zn, Pb, Cu, Cd составляют несколько порядков в сравнении с фоновыми значениями. Содержание Ni и Co также выше фоновых значений.

3) Для возвращения нарушенной экосистемы в удовлетворительное состояние необходимо резко сократить опасные для природы выбросы с предприятия, срочно переоборудовать очистные системы с применением современных технологий очистки выбросов.

4) После сокращения выбросов необходимы реабилитационные мероприятия, которые сводятся к инактивации избыточных химических элементов в почвах.

Список литературы

1. Ильин В. Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва-растение. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 220 с.
2. Двуреченский В. Г., Козыбаева Ф. Е., Бейсеева Г. Б. Особенности содержания тяжелых металлов в растениях, произрастающих под негативным воздействием предприятий цветной металлургии // Безопасность жизнедеятельности. 2021. № 6(246). С. 43–50.
3. Буравцев В. Н., Крылова Н. П. Современные технологические схемы фиторемедиации загрязненных почв (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2005. № 5. С. 67–74.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБИОМА КАРЬЕРА ПО ДОБЫЧЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЗАУРАЛЬЕ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

¹Дорогая Е. С., ²Абакумов Е. В., ¹Гаршин М. В., ¹Сулейманов Р. Р., ³Миннегалиев А. О.

¹Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия.

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия.

³Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия.

ekaterina.s.dorogaya@gmail.com

Ключевые слова: микробиом, секвенирование ДНК, самовосстановление почв, карьеры, микробный состав.

Аннотация: Микробный состав почв является важным показателем их самовосстановления на техногенно-нарушенных участках. Для изучения микробиома карьера по добыче строительных материалов и факторов окружающей среды, оказывающих на него влияние, проведены работы в Зауралье Республики Башкортостан. Оценивалась степень образования новых почв, микробный состав и агрохимические свойства по сравнению с фоновыми почвами изучаемой местности. Выявлены отсутствие признаков самовосстановления почв и первичного почвообразования, практическая утрата плодородия, обусловленная очень низким содержанием органического углерода (0,9 %) и щелочногидролизующего азота (42,0 мг/кг), щелочной реакцией среды (рН=7,62). Микробный состав материала карьера по таксономическому составу и альфа-разнообразию схож с микробным составом почв фона, но бета-разнообразие показывает сильное различие в кластеризации. Изменяется также представленность фил по сравнению с фоном: снижаются доли Actinobacteria, Acidobacteria, Chloroflexi, Planctomycetes и Verrucomicrobia, не обнаружено фил Patescibacteria и Firmicutes, но содержание Bacterioidetes резко возрастает, увеличиваются доли бактерий Protobacteria и Gemmatimonadates и архей Thaumarchaeota.

STUDY OF THE MICROBIOME OF A QUARRY FOR THE EXTRACTION OF CONSTRUCTION MATERIALS IN THE TRANS-URALS OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

¹Dorogaya E. S., ²Abakumov E. V., ¹Garshin M. V., ¹Suleymanov R. R., ³Minnegaliev A. O.

¹Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia.

²Saint-Petersburg State University, Petersburg, Russia.

³Bashkir State University, Ufa, Russia.

Keywords: microbiome, DNA sequencing, soil self-restoration, quarries, microbial composition.

Abstract: The microbial composition of soils of technogenically disturbed areas is of great importance for their self-recovery. To study the microbiome of a quarry for the extraction of construction materials and environmental factors that affect it, work was carried out in the Trans-Urals of the Republic of Bashkortostan. The degree of restoration of the soil cover, microbial composition and agrochemical properties were assessed in comparison with the background soils of the study area. Signs of self-restoration of the soil and soil formation weren't revealed. There was a loss of fertility due to a very low content of organic carbon (0,9 %) and alkaline hydrolysable nitrogen (42,0 mg/kg) and the alkaline reaction of the environment (pH=7,62). The taxonomic composition of microbiome and the alpha diversity were resemblant to the soil microbial composition, but the beta diversity showed a strong difference in clustering. The representation of phyla also changed compared to the background: the proportions of Actinobacteria, Acidobacteria, Chloroflexi, Planctomycetes, and Verrucomicrobia decreased; the phyla Patescibacteria and Firmicutes were absent, but the content of Bacterioidetes sharply increased and the proportion of bacteria Protobacteria and Gemmatimonadates and the archaea Thaumarchaeota increased.

Введение. Техногенно-нарушенные территории, в том числе карьерные разработки, являются удобными объектами для изучения процессов почвообразования [1]. Ключевую роль на первых этапах рекультивации почв играют микроорганизмы, накапливающие и трансформирующие органическое вещество, и минеральный азот – основные компоненты плодородия. Поэтому микробный состав может служить маркером степени восстановления почв и соответственно экосистемы [2].

С целью изучения микробного состава техногенно-нарушенных земель выполнено исследование карьера по добыче строительных материалов в Зауралье Республики Башкортостан. Проведен сравнительный анализ с микробиомом фоновых почв и проанализировано изменение условий жизнедеятельности микроорганизмов по агрохимическим параметрам.

Объекты и методы исследований. Исследования выполнены в Хайбуллинском районе на юго-востоке Республики Башкортостан в зоне Зауральской равнинной степи. Почвы представлены оподзоленными черноземами и черноземами обыкновенными языковатыми, гумусовый горизонт до 10–20 см с содержанием общего гумуса 2–4 %, нейтральной и щелочной реакцией среды ($\text{pH} \geq 6$) почв. Климатические характеристики соответствуют континентальному климату [3].

Проведено изучение отвала внутри молодого функционирующего карьера по добыче строительных материалов, возраст разработки до 2 лет. Пробы отбирались из верхнего горизонта (на возможную глубину подкопки, но не более 20 см). Для фона подбирали местность с минимальным визуальным антропогенным воздействием. Работы проводили летом 2021 г.

Пробы для каждого из анализов подготавливались в соответствии с методикой проведения опыта. Агрохимические исследования проводили общепринятыми в почвоведении методами [4, 5]. Секвенирование ДНК для микробиологического анализа почв выполнялось на Illumina MiSEQ sequencer (Illumina, США) с праймерами F515 (GTGCGCMGCCGGCGGTAA) и R806 (GGACTACVSGGATCTAAT) [6]. Экстракция ДНК проводилась при помощи набора MN FastDNA Spin Kit (MN, Germany) for soil total DNA extraction. Для механического разрушения образца использовался гомогенизатор Precellus 24 (Bertin, France). Контроль качества извлекаемой ДНК провели при визуальной оценке электрофорреграмм в 1 % агарозе геле и контролем ПЦР с использованием секвенирующих грунтовок. Последовательности обрабатывались при помощи языка R (v3.6.3) на основе dada2 (v1.14.1) [7] и phyloseq (v1.30.0) пакетов [8]. Во время анализа последовательности фильтровались для качества чтения, варианты амплитудных последовательностей (ASV) определялись с помощью машинных алгоритмов, а прямые и обратные последовательности комбинировались. Сформирована таблица представления ASV. Таксономическая аннотация выполнялась классификатором naïve Bayesian, библиотека SILVA применялась в качестве учебного набора последовательностей (124) [9].

Результаты и их обсуждение. Полевое обследование карьера выявило признаки интенсивного эрозионного воздействия в виде следов смыва на стенках карьера и накопления эоловых наносов на неровностях рельефа. Формирования первичных почв или подстилки в пределах карьера не обнаружено.

По агрохимическим свойствам материал карьера значительно уступает фоновым почвам: обеспеченность общим углеродом очень низкая (0,9 % и 1,7 % для фона), очень низкое содержание щелочногидролизуемого азота (42 мг/кг и 84 мг/кг для фона), реакция среды щелочная ($\text{pH}=7,62$ и нейтральная $\text{pH}=5,71$ для фона). В целом материал карьера не имеет основных свойств, формирующих плодородие, и является непригодным для восстановления растительности.

Микробиологический анализ учитывал сравнение альфа- и бета-разнообразия, и оценку относительной представленности фил (рис.).

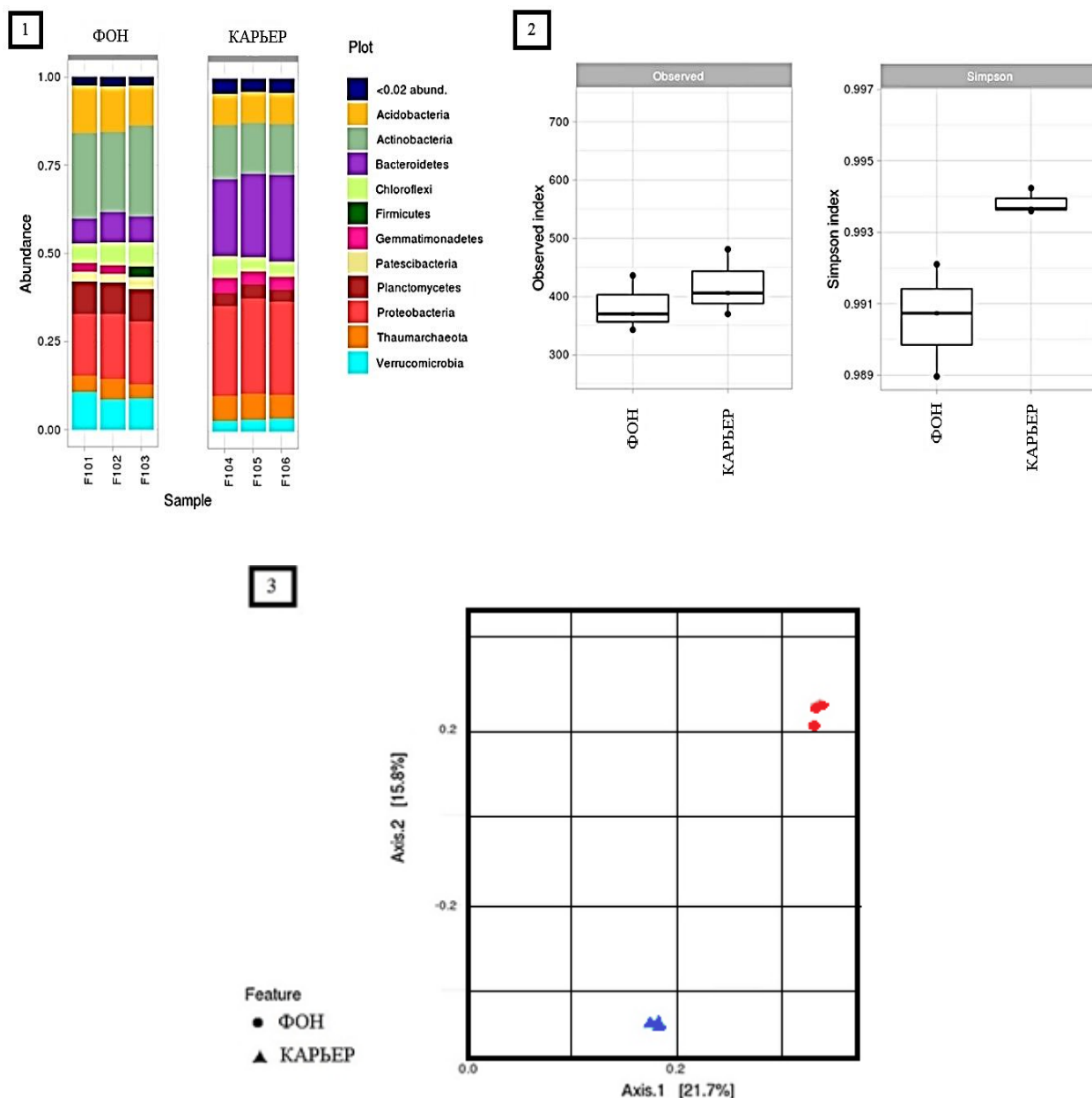


Рисунок – Результаты микробиологического исследования: 1 – Относительная представленность бактериальных фил в микробных сообществах; 2 – Альфа-разнообразии (представленность ASV и индекс Симпсона) бактериальных сообществ; 3 – RCoA ординация бета-разнообразия (дистанции Брея) микробных сообществ

Альфа-разнообразие показывает схожесть видового богатства (рис., схема 2), но бета-разнообразие позволяет говорить о наличии выраженного различия в кластеризации (рис., схема 3). На таксономическом уровне микробные сообщества имеют высокую степень схожести. На схеме 1 (рис.) хорошо видно, что вещество отвала имеет аналогичный фону микробный состав, но различное соотношение представленности фил: в материале карьера существенно возрастает (в ≈ 3 раза) количество *Bacteroidetes*, увеличилась доля бактерий *Proteobacteria* и *Gemmatimonadetes*, архей *Thaumarchaeota* и суммы фил, по количеству не превышающих порог определения. Содержание *Actinobacteria* упало примерно вдвое, филы *Acidobacteria*, *Chloroflexi*, *Planctomycetes* и *Verrucomicrobia* подавлялись, их количество уменьшалось по сравнению с фоновым образцом. Филы бактерий *Patescibacteria* и *Firmicutes* в материале карьера не определялись.

Таким образом, микробиом карьера в значительной мере схож с микробиомом фоновых почв, хотя и претерпевает изменения в степени представленности фил.

Заключение. Техногенно-нарушенные земли на месте молодого карьера через два года самовосстановления не имеют внешних признаков накопления подстилки, появления растительности или начала образования нового почвенного покрова. Эрозионное влияние снижает возможность накопления наносного вещества, которое могло бы служить основой для роста растений. По данным агрохимического анализа, местность практически полностью лишена плодородных свойств, но микробиом имеет высокое сходство с фоном в таксономическом составе и альфа-разнообразии. Бета-разнообразие и различия в степени представленности фил указывают на происходящие изменения в новой среде обитания. Несмотря на сильную деградацию, материал карьера успешно заселяется микроорганизмами почв, окружающих его. При этом процесс изменения микробного состава для адаптации в новых условиях еще не завершился и идет перераспределение численности фил. Снизилась доля бактерий *Actinobacteria*, *Acidobacteria*, *Cloroflexi*, *Planctomycetes* и *Verrucomicrobia*, исчезли филы *Patescibacteria* и *Firmicutes*. На фоне этого наблюдается рост содержания фил *Bacterioidetes* (≈ 3 раза), *Protobacteria*, *Gemmatimonadates* и архей *Thaumarchaeota*.

Список литературы

1. Abakumov E., Zverev A., Suleymanov A., Suleymanov R. Microbiome of post-technogenic soils of quarries in the Republic of Bashkortostan (Russia) // *Open Agriculture*. 2020. V. 5(1). P. 529–538. DOI:10.1515/opag-2020-0053
2. Сазанова К. В., Абакумов Е. В., Власов Д. Ю. Метаболомный профайлинг почв хроносерии подзолов песчаного карьера // Научное электронное периодическое издание ЮФУ «Живые и биокосные системы». 2018. № 25. URL.: <http://www.jbks.ru/archive/issue-25/article-5>
3. Атлас Республики Башкортостан / Р. Ф. Абдрахманов, Р. М. Абзалов, А. З. Асфандияров [и др.]. Уфа: Китап, 2005. 419 с.
4. Соколов А. В. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
5. Кирюшин В. И. Экологические основы земледелия. М.: Колос, 1996. 367 с.
6. Caporaso J. G., Lauber C. L., Walters W. A., Berg-Lyons D., Lozupone C. A., Turnbaugh P. J., Fierer N., Knight R. Global Patterns of 16S RRNA Diversity at a Depth of Millions of Sequences per Sample // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2011. V. 108. P. 4516–4522. DOI:10.1073/pnas.1000080107
7. Callahan B. J., McMurdie P. J., Rosen M. J., Han A. W., Johnson A. J. A., Holmes S. P. DADA2: High-Resolution Sample Inference from Illumina Amplicon Data // *Nat. Methods*. 2016. V. 13. P. 581–583. DOI:10.1038/nmeth.3869
8. McMurdie P. J., Holmes S. Phyloseq: An R Package for Reproducible Interactive Analysis and Graphics of Microbiome Census Data // *PloS ONE*. 2013. V. 8: e61217. DOI:10.1371/journal.pone.0061217
9. Quast C., Pruesse E., Yilmaz P., Gerken Ja., Schweer T., Yarza P., Peplies J., Glöckner F. O. The SILVA Ribosomal RNA gene database project: Improved Data Processing and Web-Based Tools // *Nucleic Acids Res*. 2013. V. 41 (D1): D590–D596. DOI:10.1093/nar/gks1219

РОСТ И ФОРМИРОВАНИЕ КУЛЬТУР СОСНЫ ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ДРАЖНЫХ ОТВАЛОВ

Ермакова М. В.

*Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
M58_07E@mail.ru*

Ключевые слова: *дражные отвалы, сосна обыкновенная, лесные культуры.*

Аннотация: *Исследовано состояние 12-летних культур сосны обыкновенной, созданных на дражных отвалах на месте золотодобычи. Показано, что приживаемость лесных культур на дражных отвалах оказалась почти на 16 % меньше, чем у культур на вырубке-гари в аналогичном типе леса. Не выявлено существенных различий по средним показателям диаметра и высоты ствола между культурами сосны на дражных отвалах и вырубке-гари. Не установлено значительных различий по высоте ствола деревьев по классам роста между деревьями на дражных отвалах и вырубке-гари. Естественное возобновление древесных пород на дражных отвалах представлено только хвойными, а на вырубке-гари – лиственными и хвойными породами. Проективное покрытие живого напочвенного покрова на дражных отвалах составляло 40–50 %, а на вырубке-гари достигало 100 %.*

GROWTH AND FORMATION OF PINE CULTURES DURING RECLAMATION OF SEWAGE SLUDGE

Ermakova M. V.

Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, Ekaterinburg, Russia

Key words: *sewage sludge, Scotch pine, forest plantation.*

Abstract: *The state of 12-year-old Scotch pine cultures, created on sewage sludge at the place of gold mining, was studied. It is shown, that the survival rate of forest crops on sewage sludge turned out to be almost 16 % less than that of crops on felling-slash areas in a similar type of forest. There were no significant differences in the average diameter and height of the trunk between pine crops on sewage sludge and on felling-slash areas. There were no significant differences in the height of the tree trunk by growth classes between the trees on the sewage sludge and on the felling-slash areas. A few natural regeneration of tree species on the sewage sludge is represented only by coniferous species, and on the felling-slash areas – by deciduous and coniferous species. The projective cover of the living ground cover on the sewage sludge was 40–50 %, and on the felling-slash areas it reached 100 %.*

Введение. Восстановление древесной растительности на техногенно нарушенных землях в первую очередь определяется почвенно-гидрологическими условиями района проведения работ, особенностями состояния территории, породным составом окружающих насаждений, как источника обсеменения и, в определенной степени удаленностью и доступностью участков, подлежащих восстановлению [1].

Одними из специфических техногенно нарушенных объектов, которым уделяется определенное внимание, являются дражные отвалы, появившиеся в результате работы драг на местах дислокации россыпных золотоносных месторождений [2]. Как показывают имеющиеся литературные данные, процессы естественного зарастания древесной и травянистой растительностью дражных отвалов занимают длительное время [3, 4].

Методы исследований. При решении вопросов искусственного восстановления древесной растительности на дражных отвалах в первую очередь, возникают вопросы технологического характера: подготовка территории, подбор древесных пород, способы и методы проведения лесовосстановительных работ и т. д. [5, 6]. В целях изучения одного из аспектов

этого вопроса нами были исследованы характеристики 12-летних производственных лесных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), созданных в типе леса сосняк с темно-хвойным ярусом мшисто-черничниковый (С-Тх мш. чер.), на дражных отвалах и на вырубке-гари в условиях южной тайги Средне-Уральского лесорастительного района: ПП 1 – лесные культуры сосны с размещением 0,5×2,3 м (общее количество высаженных сеянцев 8,7 тыс. шт. на 1 га), на выровненных бульдозером дражных отвалах; ПП 2 – лесные культуры сосны на вырубке-гари, с размещением 0,5×3,5 м (общее количество высаженных сеянцев 5,7 тыс. шт. на 1 га). Исследования на ПП проводились в соответствии с общепринятыми методиками [7, 8]. На каждой ПП учитывались все деревья для установления показателя приживаемости.

Оценка рангового положения деревьев в древостое и распределение деревьев сосны на ПП по ранговым классам высоты осуществлялось с использованием конкретных ранговых коэффициентов [9]. На основе амплитуды редуцированных чисел определялся шаг и границы классов.

Сравнение средних показателей проводилось с помощью t-критерия Стьюдента.

Результаты исследований. Как показал анализ полученных данных (табл. 1) культуры, созданные на дражных отвалах на 12-й год после посадки, имели значительно более низкую (на 16 %) приживаемость, чем культуры на вырубке-гари. При этом, у более чем 25 % деревьев на ПП 1 (дражные отвалы) наблюдалось пожелтение хвои в нижней части кроны и ствола, что свидетельствует, прежде всего о неблагоприятных почвенных условиях произрастания – уплотнению и повышенному увлажнению почвогрунта [10, 11].

Не установлено достоверных различий между средними биометрическими показателями культур сосны на ПП 1 и ПП 2 по величине диаметра на середине высоты, а также по высоте ствола ($t_{\text{факт}}=1,43-1,86 < t_{\text{табл.}}$ при $p \leq 0,05$).

Как видно из таблицы 2, распределение по ранговым классам высоты на ПП 1 и ПП 2 несколько различалось. На ПП 1 (дражные отвалы) доля наиболее крупных деревьев (I класс высоты) была почти в два раза меньше, чем на ПП 2 (вырубка-гарь). В то же время, доля деревьев II класса высоты на ПП 1 (дражные отвалы) оказалась на 7 % больше, чем доля таких деревьев на ПП 2 (вырубка-гарь). Тем не менее, в сумме доля деревьев I и II классов высоты на обеих ПП оказалась практически одинаковой.

Таблица 1 – Приживаемость и средние биометрические показатели лесных культур на ПП

Приживаемость на момент учета, %	Количество сохранившихся, тыс. шт. на 1 га	Биометрические характеристики		
		Показатель	M±m	V, %
ПП 1 (дражные отвалы)				
36,7	3,19	Д _{0,5Н} , см	4,7±0,15	31,12
		Н ств., см	382,6±8,23	21,72
ПП 2 (вырубка-гарь)				
60,0	3,42	Д _{0,5Н} , см	4,4±0,11	25,98
		Н ств., см	390,4±7,20	17,98

Примечание. Д_{0,5Н} – диаметр на середине высоты, Н ств. – высота ствола, М – среднее, m – ошибка среднего; V – коэффициент вариации.

На ПП 2 (вырубка-гарь) доля деревьев III класса роста (средние по высоте деревья) оказалась несколько выше (на 6 %), чем на ПП 1 (дражные отвалы). В свою очередь, доля наиболее отстающих в росте деревьев IV и V классов была несколько больше на ПП 1 (дражные отвалы), чем на ПП 2 (вырубка-гарь).

Таблица 2 – Распределение деревьев на ПП по ранговым классам высоты

Ранговый класс высоты	ПП 1	ПП 2
I	4	10
II	37	30
III	26	32
IV	24	22
V	9	6

Сравнение биометрических параметров деревьев I и II ранговых классов роста показало, что деревья на ПП 1 (дражные отвалы) значительно ($t_{\text{факт}}=4,12-6,52 > t_{\text{табл.}}$, при $p \leq 0,05$) превосходят по диаметру на середине высоты деревья на ПП 2 (вырубка-гарь). Однако, между деревьями III–V ранговых классов высоты не выявлено значительных различий по величине диаметра на середине высоты.

В то же время, по величине высоты деревьев по классам роста практически не выявлено достоверных различий ($t_{\text{факт}}=1,58-1,73 < t_{\text{табл.}}$, при $p \leq 0,05$) между деревьями на ПП 1 (дражные отвалы) и ПП 2 (вырубка-гарь).

На обеих ПП в течение периода функционирования лесокультурной площади происходили процессы естественного возобновления за счет деревьев-обсеменителей из прилегающих участков леса (табл. 3).

Таблица 3 – Естественное возобновление древесных пород на ПП

Древесная порода	Количество экземпляров, шт. на 1 га	Показатель, М±m	
		Д _{0,5H} , см	H ств., см
ПП 1 (дражные отвалы)			
Ель (<i>Picea obovata</i> Ledeb.)	415	1,5±0,32	150,0±14,53
Лиственница (<i>Larix sibirica</i> Ledeb.)	112	1,7±0,22	205,0±20,00
Сосна (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	712	1,8±0,17	162,6±8,25
Всего	1239		
ПП 2 (вырубка-гарь)			
Береза (<i>Betula</i> sp.)	336	1,3±0,62	196,5±23,14
Осина (<i>Populus tremula</i> L.)	201	1,5±0,52	175,8±20,40
Лиственница (<i>Larix sibirica</i> Ledeb.)	168	1,5±1,17	279,6±64,19
Сосна (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	403	1,1±0,36	198,5±14,33
Всего	1108		

Естественное возобновление на ПП 1 (дражные отвалы) и ПП 2 (вырубка-гарь) преимущественно встречалось только в междурядьях. Его численность на обеих ПП оказалась небольшой – чуть более 1 тыс. шт. на га.

Как видно из таблицы 4, проективное покрытие живого напочвенного покрова (ЖНП) в междурядьях на ПП 1 (дражные отвалы) было неравномерным и значительно меньше, чем на ПП 2 (вырубка-гарь). По всей видимости, заселение естественного возобновления в данном случае ограничивалось неблагоприятными условиями почвогрунта даже на участках, свободных от ЖНП. На состоянии повышенной кислотности почвогрунта указывает значительное присутствие хвоща лесного (*Equisetum sylvaticum* L.), а также такого рудерального для лесных условий вида как мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara* L.).

Таблица 4 – Общие характеристики живого напочвенного покрова на ПП

Проективное покрытие, %	Высота травостоя, см	Размещение на площади	Основные виды
ПП 1 (дражные отвалы)			
40–50	5–75	контагиозное (пятнами)	Мать-и-мачеха обыкновенная (<i>Tussilago farfara</i> L.), вейники (<i>Calamagrostis</i> spp.), хвощ лесной (<i>Equisetum sylvaticum</i> L.)
Проективное покрытие, %	Высота травостоя, см	Размещение на площади	Основные виды
ПП 2 (вырубка-гарь)			
90–100	75–150	равномерное	Кипрей узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.), вейники (<i>Calamagrostis</i> spp.), малина обыкновенная (<i>Rubus idaeus</i> L.)

Выводы. По результатам исследования можно сделать вывод, что, несмотря на довольно положительный опыт искусственного восстановления дражных отвалов путем посадки лесных культур сосны, для достижения большего положительного эффекта необходимо проведение предварительной рекультивации для улучшения физико-механических свойств почвогрунта.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада УрО РАН.

Список литературы

- Капелькина Л. П. О естественном зарастании и рекультивации нарушенных земель Севера // Успехи современного естествознания. 2012. № 1 (Ч. 1). С. 98–102.
- Низкий С. Е. Самовосстановление фитоценоза на участках золотодобычи // Вестник Алтайского государственного аграрного ун-та. 2009. Вып. 7 (57). С. 36–40.
- Дегтева С. В. Особенности восстановления растительности на отвалах отработанных россыпей Приполярного Урала // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 3. С. 79–89.
- Лешков В. Г. Разработка россыпных месторождений: Учебник для вузов. М.: Изд-во «Горная книга», Изд-во Московского государственного горного ун-та, 2007. 906 с.
- Logan T. J., Burnham J. C. The N-Viroprocess: an advanced technology to convert sewage sludge into a soil product // Amer. Soc. Agron. Annu. Meet 1993. Cincinnati. 1993. P. 321.
- Ивакина Е. В., Осипов С. В. Естественное и искусственное лесовосстановление в горно-промышленных ландшафтах Дальнего Востока России // Сибирский лесной журнал. 2016. № 7. С. 6–21.
- Моисеев В. С. Таксация молодняков: Учеб. пособие. Л.: ЛТА, 1971. 344 с.
- Василевич В. И. Очерки теоретической фитоценологии. Л.: Наука, 1983. 247 с.
- Высоцкий К. К. Закономерности строения смешанных древостоев. М.: Гослесбумиздат, 1962. 178 с.
- Benson L., Shephera K. Effect of nursery practice on *Pinus radiata* seedling characteristics and field performance // J. Nursery seedbed density. N. Z. J. Forest Sci. 1976. No. 1. P. 19–26.
- Физиология сосны обыкновенной / Н. С. Судачкова [и др.]; отв. ред. Г. М. Лисовский. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1990. 248 с.

СОЗДАНИЕ ДЕКОРАТИВНЫХ ФОРМ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРИ ОЗЕЛЕНЕНИИ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ

Ермакова М. В.

*Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
M58_07E@mail.ru*

Ключевые слова: *сосна обыкновенная, деформации ствола, формирование декоративных форм.*

Аннотация: *Установлено, что, в результате посттравматических процессов у стволов сосны выделяются два типа морфологических нарушений ствола деревьев сосны: нарушение моноподиального ветвления и возникновение многоствольности. В первом случае после периода относительной многоствольности, один из побегов из почек мутовки занимает место центрального побега в ранневесенний период. Образование устойчивой многоствольности, происходит в основном, в поздневесенний-летний период. Процессы регенерации отражаются на параметрах древесины ствола в местах повреждений. В областях ствола, где имела место посттравматическая регенерация, наблюдается заметное увеличение базисной плотности древесины и содержания поздней древесины. Рекомендовано, для создания декоративных форм отбирать деревья сосны не старше 8–10 лет.*

CREATION OF DECORATIVE FORMS OF SCOTT PINE FOR GREENING OF URBANIZED ENVIRONMENT

Ermakova M. V.

Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, Ekaterinburg, Russia

Key words: *Scotch pine, trunk deformations, formation of decorative forms.*

Abstract: *The features of creating decorative forms from young pine trees are considered. It has been established that, as a result of post-traumatic processes, two types of morphological disorders of the pine tree trunk are distinguished in pine trunks: violation of monopodial branching and the occurrence of multi-stemming. In the first case, after a period of relative multi-stemming, one of the shoots from the whorl buds takes the place of the central shoot in the early spring. The formation of stable multi-stem occurs mainly in the late spring-summer period. Regeneration processes are reflected in the parameters of the trunk wood in places of damage. In the areas of the trunk, where post-traumatic regeneration took place, there is a noticeable increase in the basic density of wood and the content of late wood. It is recommended to select pine trees no older than 8-10 years to create decorative forms.*

Введение. Озеленение современных российских городов и других населенных пунктов, это задача, при решении которой необходимо ориентироваться на введение в ландшафтную архитектуру древесных пород, являющихся аборигенными для конкретных природно-климатических условий [1], таких как сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.).

Известно, что имеется возможность использовать в озеленении городов специально культивируемых декоративных форм деревьев сосны, отобранных в результате длительной селекционной работы или появившихся в результате спонтанных соматических мутаций [2, 3]. Однако, надо признать, что этот способ довольно трудоемкий и имеет ограниченные возможности.

Как показали, наши многолетние исследования [4], имеются существенные возможности формирования декоративных форм сосны из обычных деревьев как искусственного, так и естественного происхождения. Решением этой задачи является применение методов механи-

ческого воздействия. Подобный подход учитывает то обстоятельство, что в молодом возрасте деревья сосны обладают высокой регенерационной способностью т. е., способностью воссоздания нарушенных структур с соответствующей затратой энергии и питательных веществ, при повреждении надземной части [5, 6].

Методы исследований. Исследования проводились на основе многолетнего изучения характеристик посттравматических морфологических деформаций стволов сосны, выращенных в искусственных и естественных условиях Среднего Урала. Для определения характеристик древесины было отобрано более 250 модельных молодых деревьев сосны. Образцы древесины отбирались на отметках 0,1; 0,2...0,9 высоты ствола. Для определения базисной плотности древесины применялись как метод выталкивающей силы, так и метод максимальной влажности [7].

Результаты исследований. По результатам массового изучения молодых деревьев сосны в насаждениях естественного и искусственного происхождения выделены два основных направления посттравматических деформаций ствола молодых деревьев сосны, возникающих после механического повреждения – нарушение моноподиального ветвления и возникновение многоствольности. Оба вида деформаций возникают в результате гибели верхушечной почки или верхушечного побега и последующих процессов регенерации.

В случае гибели верхушечной почки или верхушечного побега, в основном в ранневесенний период, происходит активизация роста побегов из почек мутовки текущего года с усилением их вертикальной ориентации (рис. 1), образуя своего рода временную многоствольность.

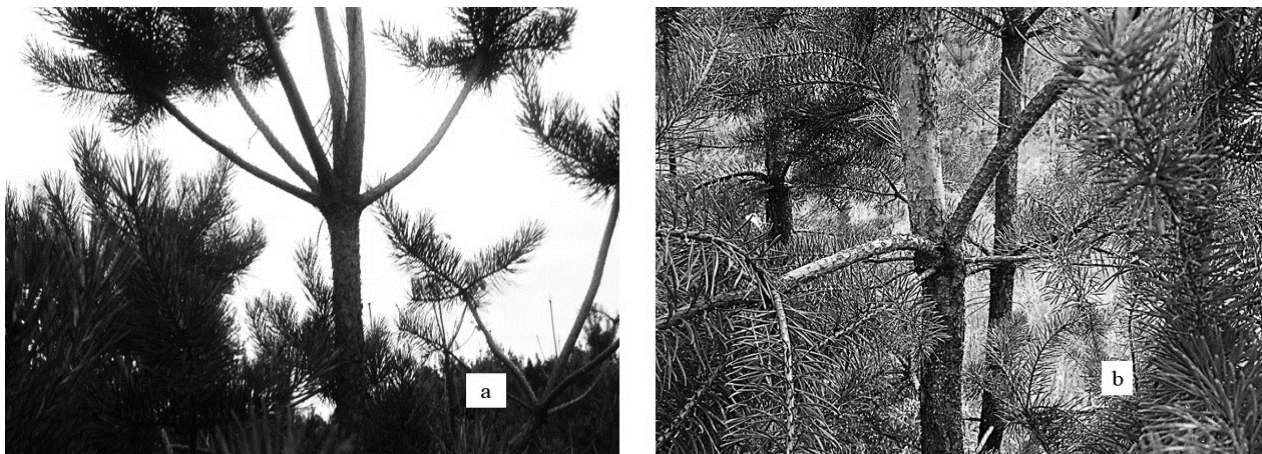


Рисунок 1 – Рост побегов из почек мутовки после гибели верхушечной почки (а) и формирование замещающего верхушечного побега и мутовки неправильной формы (б)

В течение последующих 1–3 лет в результате регенерационных процессов модификации ствола могут происходить по двум основным направлениям. По первому, один из побегов, сформировавшихся из почек мутовки, занимает центральное положение и замещает верхушечный побег, а остальные побеги, постепенно изменяя вертикальную ориентацию на выраженную горизонтальную, формируют мутовку неправильной формы.

По второму направлению, в случае гибели верхушечного побега, преимущественно, в поздневесенний – летний период, также происходит усиленный рост побегов из почек мутовки и их вертикальная переориентация. Все побеги, сформировавшиеся из почек мутовки, сохраняют вертикальную ориентацию. В дальнейшем формируется несколько отдельных стволиков. Стволики, чаще всего в количестве 2-х, намного реже 3-х. Отдельные стволики могут иметь или примерно одинаковые размеры или, чаще всего выделяется один более крупный, а остальные значительно уступают по размерам.

Как показали наши наблюдения, наиболее устойчивой модификацией многоствольности является та, которая сформировалась в нижней части ствола. Для деревьев, у которых

многоствольность сформировалась выше основания ствола, например, на его середине, она является временно устойчивой. Далее, в течение 3–5 лет после формирования многоствольности начинают происходить дополнительные процессы деформации. Один из стволиков, самый крупный, сохраняет свою вертикальную ориентацию, а остальные постепенно, с разной скоростью, отклоняются в горизонтальном направлении.

Следует отметить, что установленные деформации могут встречаться неоднократно и на одном и том же стволе в различных комбинациях. Это зависит от частоты и глубины повреждений ствола. Подобное сочетание морфологических изменений (деформаций) дает значительную возможность для формирования разнообразных декоративных форм деревьев сосны.

Проведенные нами исследования показали, что при формировании декоративных форм у молодых деревьев сосны необходимо учитывать очень важный аспект – процесс регенерации обуславливает постепенное восстановление одноствольности с последующим ростом центрального побега в высоту. При формировании декоративных форм требуется ежегодная корректировка роста центрального побега путем его полного или частичного удаления. Однако, формирование декоративных форм сосны не может ограничиваться только контролем за центральным побегом. Вследствие удаления центрального побега, боковые ветви и дополнительные стволики получают конкурентные преимущества и могут усиливать свой рост. Ветви, кроме того, могут изменять пространственную ориентацию. Таким образом, требуется ежегодный контроль не только за ростом центрального побега, но и все остальных дополнительных побегов и ветвей.

Установлено, что процессы механического повреждения-регенерации отражаются и на состоянии древесины ствола. У деревьев без повреждений изменение базисной плотности древесины по стволу носит равномерный характер, плавно снижаясь от основания к вершинке. У деревьев, имевших механические повреждения, такого плавного изменения не наблюдается. В тех областях ствола, где имело место механическое повреждение и последующая регенерация наблюдается заметное увеличение плотности древесины. Примеры изменения базисной плотности приведены на рисунке 2.

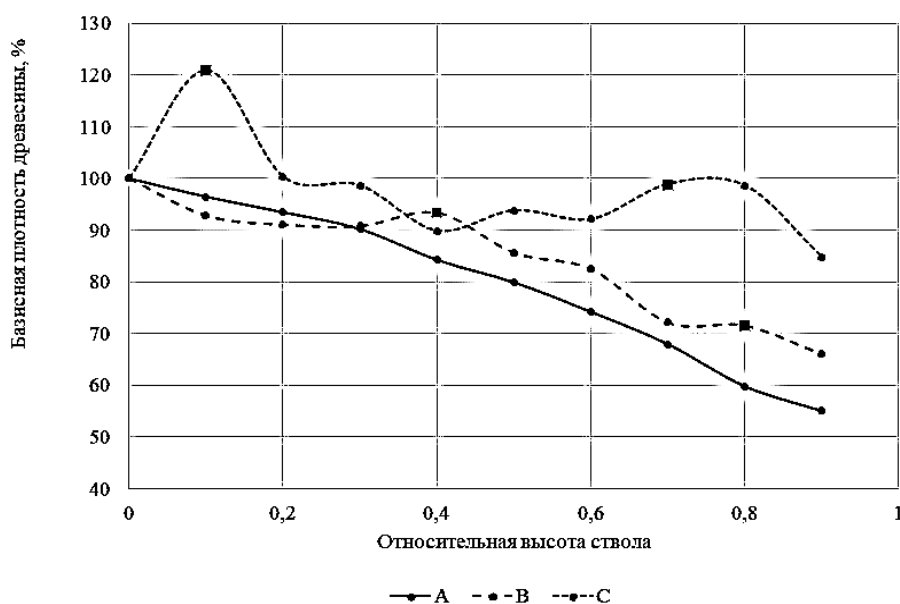


Рисунок 2 – Изменение базисной плотности древесины по стволу дерева (А – дерево без повреждений, В – дерево с заменой побега, С – дерево с многоствольностью. Крупными значками выделены места повреждений)

Анализ данных характеристик древесины модельных деревьев показал, что в областях, где произошло механическое повреждение и последующая регенерация ствола, значительно увеличивается базисная плотность древесины и содержание поздней древесины (табл.), что свидетельствует о существенном изменении физико-механических свойств ствола. Это также необходимо учитывать, при формировании декоративных форм деревьев сосны обыкновенной.

Таблица – Изменение базисной плотности и содержания поздней древесины у деревьев с механическими повреждениями ствола

Тип модификации	Увеличение по сравнению с деревьями без механических повреждений, %	
	Базисная плотность древесины	Содержание поздней древесины
Замена побега	15–20	10–30
Многоствольность	25–45	15–35

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада УрО РАН.

Список литературы

1. Теодоронский В. С., Горбачева В. И., Горбачев В. И. Озеленение населенных мест с основами градостроительства. М.: Издательский центр «Академия», 2013. 128 с.
2. Торчик В. И., Холопук Г. А. Декоративные формы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) селекции Центрального Ботанического сада НАН Беларуси: Материалы междунар. конф., посвященной 85-летию Центрального Ботанического сада НАН Беларуси Ч. 1. Минск: Изд-во Медисонт, 2017. С. 310–314.
3. Auders A., Spicer D. Encyclopedia of Conifers: A Comprehensive Guide to Cultivars and Species / Royal Horticultural Society. 2013. 1500 p.
4. Ермакова М. В. Особенности структуры подроста сосны в условиях ненарушенных и слабонарушенных лесных фитоценозов Среднего Урала // Вестник ПГТУ. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 2. С. 36–45.
5. Heikkilä R., Löytynimi K. Growth response of young Scots pines to artificial shoot breaking simulating moose damage // *Silva Fennica*. 1992. V. 26(1). P. 19–26.
6. Buckley G., Slater D, Ennos A. R. Angle of inclination affects the morphology and strength of bifurcations in hazel (*Corylus avellana* L.) // *Arboricultural Journal*. 2015. V. 37(2). P. 99–112. DOI: 10.1080/03071375.2015.1064265
7. Столяров Д. П., Полубояринов О. И., Декатов А. А. Использование кернов древесины в лесоводственных исследованиях: Методические рекомендации. Л.: ЛенНИИЛХ, 1988. 43 с.

ТРАНСФОРМИРОВАННЫЕ БИОГЕОЦЕНОЗЫ РЕКИ БОГОДУХОВА Г. ДОНЕЦКА

Жуков С. П.

ГУ «Донецкий ботанический сад», г. Донецк, ДНР
ser64luk@yandex.ru

Ключевые слова: биогеоценоз, малая река, сукцессия, трансформация.

Аннотация: Река Богодухова практически полностью находится на территории г. Донецка. Биогеоценозы в долине этой реки находятся в различной степени трансформации, от сохранивших природную основу до полностью техногенных. Наиболее интересны слабо трансформированные сообщества в верхнем течении реки, где наблюдается распространение природных видов на территории сукцессионно развивавшихся техногенных и старозалежных земель. Это позволяет уточнить стратегию восстановления естественной растительности на этих территориях. Актуально сохранение даже небольших естественных фрагментов и пополнение природными видами в соответствии с этапами сукцессионного развития. Рекультивация нарушений и снятие антропопрессинга способны сделать долину реки рефугиумом для местных природных сообществ.

TRANSFORMED BIOGEOCENOSES OF THE BOGODUKHOV RIVER IN DONETSK

Zhukov S. P.

PI «Donetsk Botanical Garden», Donetsk, DPR

Key words: biogeocenosis, small river, succession, transformation.

Abstract: The Bogodukhova River flows through Donetsk. Biogeocenoses in the valley of this river are in varying degrees of transformation. There are communities that have preserved the natural basis, as well as completely technogenic cenoses. The most interesting are the poorly transformed communities in the upper reaches of the river. Natural species here are distributed on the territory of technogenic lands and old reservoir fields. This makes it possible to clarify the strategy of restoring natural vegetation in these territories. It is important to preserve even small natural fragments and replenish with natural species in accordance with the stages of successional development. Incomplete reclamation of technogenically transformed lands delays the development of soils and vegetation cover. Reclamation and removal of anthropopressing can make the river valley a refuge for regional natural communities.

Введение. В черте г. Донецка протекает несколько малых рек, относящихся к бассейну р. Кальмиус. Ввиду наличия в их долинах крутых склонов и других неудобных территорий для хозяйственной деятельности, местами сохранились относительно слабо трансформированные биогеоценозы. Река Богодухова располагается в восточной половине г. Донецка. Истоки ее уходят в лесопосадки возле шахты в п. Ганзовка, но в настоящее время там обнаруживается только временный водоток и даже сухое русло не везде прослеживается. Постоянный водоток имеется уже на территории Донецкого ботанического сада (ДБС), где река поворачивает к югу и, пройдя Калининский и Буденовский районы, выходит на южной окраине города, где впадает в р. Кальмиус.

Объекты и методы исследований. В ходе изучения особенностей взаимодействия антропогенных и природных биогеоценозов в регионе были исследованы существующие биогеоценозы по р. Богодухова с целью выявления степени их трансформации и специфики развития. Использовались традиционные методы полевых геоботанических исследований [1].

Результаты исследований. В 2018–2021 гг. обследовано практически все течение р. Богодухова, в том числе и ближайшие части ее притоков. В промышленной зоне, через которую протекает река, располагаются техногенные территории с кардинальным изменением всех компонентов экотопов: породные отвалы шахт и обогатительных фабрик, место складирования породы из шахтного отвала, разобранного при строительстве торгового центра и др. В последнем случае даже сама река оказалась в подземном положении. В районе п. Сахалин ниже ДБС по правому берегу р. Богодухова, вдоль большей части одноименного водохранилища, был срезан верхний плодородный слой почвы и заскладирован.

Значительная часть течения реки занята водохранилищами, из которых самыми крупными являются Алексеевский ставок, Молодежные ставки, ставки в хозяйстве «Тепличное» и п. Сахалин.

Исследования, проведенные в июне 2020 г., показали, что минерализация воды в р. Богодухова повышена: в районе ДБС около 600 ppm (частей на млн.), на выходе из ботсада достигает 800 ppm, после перекрытого породой участка за п. Сахалин доходит до 1000 ppm, дальше по течению реки сохраняясь примерно на этом уровне.

На обследованной территории имеются частично сохранившиеся участки исходных биогеоценозов. В частности, ДБС и был построен в Богодуховской балке с учетом наличия таких участков. В основном это склоновые поверхности, иногда с выходами каменистых подстилающих пород, например, в нижнем течении реки возле хозяйства «Тепличное». Видовое богатство на данной территории небольшое и представлено в основном массовыми степными видами.

Средняя часть течения реки в этом отношении малоинтересна. Техногенные объекты имеют значительные размеры: породные отвалы центральной обогатительной фабрики (ЦОФ) «Чумаковская»; очень большой породный отвал в районе ул. Солнечная; отвалы шахты № 9 «Капитальная» на левобережном притоке. Эти объекты вносят свой вклад в минерализацию вод р. Богодухова. Так, у отвала на ул. Солнечной, имеются стоки засоленных вод и непосредственно с отвала, и выклинивающиеся посреди окружающих полей. Приток, идущий от отвала шахты № 9 «Капитальная», в основном, питается, вероятно, шахтными водами из работающего водоотлива. Явных признаков высокого засоления вод не наблюдается, только высокое содержание железа, которое окисляется и оседает в первом водоеме. Интересен этот приток редко встречающейся в регионе трансформацией экотопов – подтоплением. Видимо, первое из небольших водохранилищ-отстойников было сделано, или отремонтировано в последнее десятилетие, но при этом не был предусмотрен водослив. В результате вода переливалась через дамбу, что привело к вымоканию корневых систем и гибели части деревьев в близлежащей лесополосе.

В Буденновском районе ниже п. Сахалина был обнаружен участок с сохранившейся природной растительностью. Данная территория представляет собой фрагмент балки со склоновыми прилегающими участками, окруженная железной дорогой на юго-западе, 2-й ул. Антропова с северо-востока и жилой застройкой с других сторон. По левому берегу реки имеются пятна с древесно-кустарниковыми ценозами с участием *Fraxinus excelsior* L., *Rhamnus cathartica* L., *Rubus caesius* L., *Rosa corymbifera* Borkh., сохранившиеся от исходного состояния и высаженные виды, характерные для городского озеленения. Вероятно, в естественном состоянии в долине реки были участки с фрагментами байрачных лесов, и *F. excelsior* мог сохраниться с тех времен, на это указывает наличие пятен эфемероидов под пологом существующей посадки в юго-западной части территории.

В травянистых ценозах левого берега также сохранились природные виды – *Festuca valesiaca* Gaudin, *Caragana frutex* (L.) K. Koch, *Centaurea adpressa* Ledeb., *Pseudolysimachion barrelieri* (Schott) Holub, *Linaria genistifolia* (L.) Mill., *Odontites vulgaris* Moench, *Ononis arvensis* L. и др., в том числе редко встречающиеся в урбанизированной среде – *Limonium platyphyllum* Lincz., *Stipa capillata* L., *Galium borysthenticum* Klokov, *Thymus marschallianus* Willd. Встречена редкая белоцветковая форма *Centaurea scabiosa* L. Но в целом этот участок

тоже пострадал в последние годы из-за обустройства здесь трассы с препятствиями для гонок автомобилей повышенной проходимости.

Наиболее интересный с точки зрения взаимодействия природных и трансформированных ценозов участок находится ниже по течению реки и идет по правому берегу. Выше по склону имеется полоса травянистых сообществ между лесопосадкой у железнодорожной насыпи и застройкой, где встречаются виды природных степных сообществ и обнажений. Там, где склон выполаживается в верхней части, имеются выходы горных пород. Вся эта территория, несмотря на то, что испытала антропогенное воздействие, частично сохранила естественную структуру.

Отмечено распространение видов природных сообществ на прилегающие техногенные территории (рис.). В частности, на участке 3 вдоль насыпи железной дороги к западу от выявленных природных сообществ формируются фитоценозы с доминированием зональных степных видов: *S. capillata* и *Stipa lessingiana* Trin. & Rupr., *Linum austriacum* L., *Thymus dimorphus* Klokov & Des.-Shost., *Vincetoxicum maoticum* (Kleopow) Barbar. и *Medicago romanica* Prodán.

Насыпь сформирована до 1943 г., тогда эта дорога уже имелась на карте. Растительность на участке уже прошла длительный период сукцессионного развития, в результате которого сформировались сообщества, соответствующие по структуре естественным степным фитоценозам. Природные виды распространяются и на прилегающие к полосе железной дороги не занятые лесополосой земли, которые, если и не являются техногенными, то их можно охарактеризовать как старозалежные.



Рисунок – Участки растительности разной степени трансформации у р. Богодухова: 1 – сохранившийся участок природных сообществ на малопродуктивных субстратах; 2 – природные сообщества различной степени трансформации на склонах; 3 – участок вторичного распространения природных видов на техногенно преобразованных землях вдоль железной дороги; 4 – вероятно имевшиеся природные сообщества, трансформированные в последние десятилетия (а – застроенные, б – засыпанные породой, в – срезана почва)

Общая схема расположения выявленных в этом месте природных сообществ и территорий их вторичного распространения показана на рисунке. Кроме этого, на рисунке показаны территории, на которых предположительно могли присутствовать природные виды или сообщества, которые в таком случае имели бы потенциальную возможность участвовать в формировании вторичных фитоценозов степного типа. Участок (рис., 4в) расположен за 2-й ул. Антропова, между склонами над водоемом и п. Сахалин на западе.

Возле участка 2 с частичной трансформацией исходных ценозов (рис.) находится полоса застройки частными домами (рис., 4а). Они примыкают к низкоплодородному участку 1 с выходами камня и естественной растительностью.

Южнее, за железной дорогой, находится обширный участок балки Богодуховская, который в 2010-х годах был засыпан породой от разобранного шахтного отвала (рис., 4б). Этот участок продолжается и южнее, чем он показан на рисунке, занимая треугольник между ул. Линейная и ул. Краснооктябрьская. То есть в двух последних локалитетах, непосредственно примыкающих к природным участкам, с высокой долей вероятности находились такие же слабо трансформированные сообщества, формировавшие с выявленными природными сообществами контур гораздо большего размера и, соответственно, более высокой устойчивости за счет большего количества ценопопуляций и фитоценозов.

В результате, на данном участке балки р. Богодуховская идет распространение природных видов, а также формирование сообществ со структурой, близкой к естественным фитоценозам, на длительно сукцессионно развивавшихся техногенных и старозалежных землях, под влиянием близко расположенных природных или слаботрансформированных сообществ. Проведенные исследования показали, что существует возможность и даже обязательность восстановления естественных ценозов на техногенных и антропогенно трансформированных территориях после купирования или хотя бы снижения влияния антропогенных факторов, пусть и за весьма продолжительный период времени (в данном случае 50–70 лет). Обязательным при этом является наличие вблизи источника природных видов. Наши исследования на других участках р. Богодуховская также указывают на это.

Исследования показали, что в долине р. Богодуховская приток адвентивных видов: *Grindelia squarrosa* (Pursh) Dunal, *Phalacrolooma annuum* (L.) Dumort s.l. и др., которые сейчас активно распространяются, выше, чем приток зональных видов. Актуальным является сохранение даже небольших фрагментов естественных или слаботрансформированных растительных сообществ в качестве очагов видов естественной подсистемы региональной сукцессионной системы для восстановления, а может и обеспечения притока таких видов в восстанавливающиеся техногенные и деградированные земли искусственными методами, желательно в соответствии с этапами сукцессионного развития [2].

Заключение. Таким образом, в бассейне р. Богодухова, несмотря на значительную степень трансформации территории, сохраняются участки природных биогеоценозов. Происходит их взаимодействие, что хорошо просматривается по обнаруженным территориям распространения из них зональных видов и сообществ на прилегающие техногенные и деградированные земли, а также по участкам с другим исходом этого взаимодействия. Выявленные при этом особенности и закономерности взаимодействия антропогенных и природных биогеоценозов (положительное влияние возможности заноса зональных видов; структура почвенного банка семян, сложившегося в результате предшествующего сукцессионного развития; размеры нарушенных объектов; время техногенного воздействия; характер оказавшихся на поверхности субстратов и др.) позволяют выработать подходы и направления восстановления биогеоценозов в различных условиях. Рекультивация и снятие антропогенного прессинга способны, хотя бы частично, сделать долину р. Богодухова «рефугиумом» для местных природных сообществ.

Список литературы

1. Миркин Б. М., Розенберг Г. С. Фитоценология. Принципы и методы. М.: Наука, 1978. 212 с.

2. Жуков С. П. О Возможности регулирования развития фитоценозов в техногенных экотопах Донбасса на основе сукцессионного подхода // Промышленная ботаника. 2006. Вып. 6. С. 15–20.

УДК 574

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ОКРЕСТНОСТЕЙ ЗИЛАЙСКОГО МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ЗАВОДА ЗИЛАЙСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Ильбулова Г. Р., Семенова И. Н., Суюндукова М. Б.

*ГАНУ «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан»
Сибайский филиал, г. Сибай, Россия
ilbulova@mail.ru*

Ключевые слова: *тяжелые металлы, почва, предельно-допустимая концентрация, Зилайрский медеплавильный завод.*

Аннотация: *Целью работы являлась оценка загрязненности тяжелыми металлами (ТМ) почв окрестностей Зилайского медеплавильного завода, расположенного на территории Зилайского района Республики Башкортостан. В настоящее время данный завод, деятельность которого прекращена 100 лет назад, представляет собой старинную индустриальную постройку XVIII–XX веков. Несмотря на столь длительный срок, компоненты окружающей среды, особенно почвенный покров, остаются загрязненными отходами медеплавильного производства, которые могут вовлекаться в круговороты веществ и по пищевой цепи поступать в организм человека. Содержание ТМ определяли методом атомной адсорбции. Оценку загрязненности почв ТМ исследуемой территории осуществляли сравнением фактических результатов анализа с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) элементов, а также фоновым содержанием. Уровень загрязнения почв оценивали с помощью суммарного показателя загрязнения Zc. В результате проведенных исследований выявлено, что несмотря на допустимую категорию загрязнения почв ТМ в пробах был обнаружен повышенный уровень кадмия и кобальта.*

SOIL POLLUTION IN THE VICINITY OF THE ZILAIR COPPER SMELTER OF THE ZILAIR DISTRICT OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

Ilbulova G. R., Semenova I. N., Suyundukova M. B.

Institute for Strategic Studies of the Republic of Bashkortostan, Sibai, Russia

Keywords: *heavy metals, soil, maximum permissible concentration, Zilair copper smelter.*

Abstract: *The aim of the work was to assess the contamination with heavy metals (HM) of soils in the vicinity of the Zilair copper smelter, located on the territory of the Zilair district of the Republic of Bashkortostan. Currently, this plant, whose activities were terminated 100 years ago, is an old industrial building of the 18th-20th centuries. Despite such a long period, the components of the environment, especially the soil cover, remain contaminated with waste from copper smelting, which can be involved in the circulation of substances and enter the human body through the food chain. The HM content was determined by the atomic adsorption method. Soil contamination with HMs in the study area was assessed by comparing the actual results of the analysis with the maximum permissible concentrations (MPC) of elements, as well as the background content. The level of soil pollution was assessed using the total pollution index Zc. As a result of the studies, it was revealed that, despite the permissible category of soil contamination with HMs, an increased level of cadmium and cobalt was found in the samples.*

Введение. Преображенский, или Зилаирский медеплавильный завод был основан в 1750 г. В годы Крестьянской войны 1773–1775 гг. завод был сожжен и лишь в 1777 г. был восстановлен. В 1871 г. была проведена реконструкция, затем в 1884 г. завод был закрыт. За период работы на заводе было выплавлено свыше 1,1 млн пудов чистой меди. В данный момент на территории Преображенского (Зилаирского) медеплавильного завода расположено с. Зилаир.

Цель работы: оценка загрязненности тяжелыми металлами (ТМ) почв окрестностей Зилаирского медеплавильного завода, расположенного на территории Зилаирского района Республики Башкортостан.

Методы исследований. Отбор почвенных образцов проводили в летний период 2021 г. из слоя почвы 0–30 см по общепринятым методикам [1] на пробных площадках (ПП), расположенных на территории с. Зилаир на различном удалении от завода: в северо-западном направлении на расстоянии 2,5 км (2,5 СЗ); в северном – 100 м (0,1 С), 500 м (0,5 С), 1 км (1 С), 1,5 км (1,5 С), 2 км (2 С), в юго-западном – на 500 м (0,5 ЮЗ), 1 км (1 ЮЗ), 1,5 км (1,5 ЮЗ), 2 км (2 ЮЗ), 2,5 км (2,5 ЮЗ); в южном – 100 м (0,1 Ю) и в восточном – 100 м (0,1 В).

Содержание ТМ определяли методом атомной адсорбции. Оценку загрязненности почв ТМ исследуемой территории осуществляли сравнением фактических результатов анализа с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) элементов [2], а также фоновым содержанием для железа (27533 мг/кг – для валового и 3800 мг/кг для подвижного) и для валового кадмия (0,22 мг/кг) [3].

Уровень загрязнения почв оценивали с помощью суммарного показателя загрязнения Z_c [4]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n \left(\frac{K_i}{K_{\phi}} \right) - (n-1),$$

где K_i – концентрация в почве конкретного элемента, мг/кг; K_{ϕ} – регионально – фоновая концентрация или ПДК конкретного элемента, мг/кг; n – число суммируемых элементов, у которых $K_i \geq 1$. Критические значения, позволяющие охарактеризовать суммарное загрязнение по степени опасности, таковы: при $Z_c < 16$ загрязнение считается допустимым; при $16 < Z_c < 32$ – умеренно опасным; при $32 < Z_c < 128$ – опасным; при $Z_c > 128$ – чрезвычайно опасным.

Результаты исследований. Результаты исследования содержания валовых и подвижных форм металлов в почвах территорий, прилегающих к Зилаирскому медеплавильному заводу, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Вариационно-статистические показатели ТМ (мг/кг) в почвах территорий, прилегающих к Зилаирскому медеплавильному заводу

ТМ	$M \pm m$	min	max	σ	$C_v, \%$	ПДК/фон
Валовая форма						
Cu	20,21±1,66	7,60	32,00	6,85	33,90	55/-
Zn	184,42±47,97	68,00	776,00	197,79	107,42	100/-
Fe	8243,82±72,06	7761,00	8841,00	297,13	3,60	-/27533
Mn	670,71±87,87	194,00	1346,00	362,28	45,00	1500/-
Cd	1,65±0,91	0,21	16,00	3,75	226,66	-/0,22
Pb	9,48±0,79	3,4	19,00	49,03	4,65	32/-
Ni	98,82±5,40	66,00	134,00	22,28	22,55	85/-
Co	22,74±2,46	9,60	45,00	10,12	44,51	15/-

Подвижная форма						
Cu	2,47±0,30	1,00	5,60	1,23	49,90	3/-
Zn	33,27±12,85	0,10	178,00	52,98	159,22	23/-
Fe	81,61±30,04	8,30	439,00	123,87	151,79	-/3800
Mn	73,82±7,44	29,00	136,00	30,69	41,58	140/-
Cd	0,70±0,51	0,02	8,80	2,11	302,55	0,24/-
Pb	0,65±0,05	0,33	1,02	0,20	151,79	6/-
Ni	2,15±0,33	0,72	5,10	1,37	63,58	4/-
Co	3,07±0,35	0,97	6,60	1,46	47,45	5/-

В исследуемых почвах содержание валовых форм меди варьировало от 7,6 до 32,0 мг/кг и не превышало ПДК, равное 55,0 мг/кг. Концентрации ее подвижных форм варьировали от 1,0 до 5,6 мг/кг, что превышало уровень ПДК (3,0 мг/кг) в пробных площадках, расположенных от завода в северном направлении на расстоянии 1 и 1,5 км, в юго-западном – на 2,5 км.

ПДК для валового содержания цинка составляет 100 мг/кг, для подвижной формы – 23 мг/кг. Валовая концентрация цинка в почвах с. Зилаир варьировала от 68,00 до 776 мг/кг, подвижная форма – от 3,9 до 178 мг/кг. Отмечено, что концентрации валовых и подвижных форм цинка превышали уровень ПДК в пробных площадках в юго-западном направлении в радиусе 2,5 км, в южном, восточном и северном – в радиусе 100 м. Его наибольшие содержания отмечаются в пробных площадках, расположенных на юге в 100 м и на юго-западе в 500 м.

Концентрация валовых форм железа в исследуемых почвах варьировала от 7761,00 до 8841,00 мг/кг, а подвижных – от 8,30 до 439,00 мг/кг, что не превышало уровень РГФ (27533 мг/кг – для валовых и 3800 мг/кг для подвижных).

Содержание валовой формы марганца в исследуемых почвах варьировало от 194,00 до 1346,00 мг/кг, подвижной – от 29,00 мг/кг до 136,00 мг/кг и не превышало ПДК, равную для валовых 1500 мг/кг и для подвижных 140 мг/кг.

Концентрация валовых форм кадмия в исследуемых почвах варьировала от 0,21 до 16,00 мг/кг, подвижных – от 0,02 до 8,8 мг/кг. Концентрация валовых и подвижных форм кадмия превышает уровень РГФ для валового содержания, равный 0,22 мг/кг (в 1,3–36,6 раз) и ПДК для подвижных форм, равную 0,24 мг/кг (в 1,2–72,7 раз).

Содержание валовых форм свинца в почвах варьировало от 3,4 до 19 мг/кг, подвижных – от 0,33 до 1,02 мг/кг. Концентрации свинца в исследуемых почвах не превышали уровень ПДК (для валового содержания – 32 мг/кг и для подвижных форм – 6 мг/кг).

Валовое содержание никеля в исследуемых пробных площадках варьировало от 66,00 до 134,00 мг/кг. Содержание валовой формы никеля в почвах превышало ПДК (85 мг/кг) почти во всех пробах, за исключением образцов, взятых в юго-западном направлении на расстоянии 2,5 км, в северном – 0,5, 1 и 1,5 км. В с. Зилаир содержание подвижных форм никеля находилось в диапазоне от 0,72 до 5,10 мг/кг. В районе исследования отмечено превышение уровня ПДК (4,0 мг/кг) содержания никеля в почвах, расположенных в 2 км на севере и 500 м на юго-западе.

Содержание валовых формы кобальта в почвах находилось в пределах 9,60 до 45,00 мг/кг и превышало уровень ПДК (15 мг/кг), за исключением образцов в северном направлении в радиусе 500 м. Анализ содержания подвижных форм кобальта в почвах показал, что его концентрации в исследуемых почвах варьировали в пределах от 0,97 до 4,20 мг/кг и не превышали значения ПДК, равного 5 мг/кг.

Оценка загрязненности почв по суммарному показателю Zc выявил (табл. 2), что по уровню химического загрязнения все почвы относятся к допустимой категории загрязнения,

кроме пробной площадки, расположенной в непосредственной близости на расстоянии 100 м в южном направлении, которая имела опасную категорию загрязнения.

Таблица 2 – Оценка почв по суммарному показателю загрязнения (Z_c)

Пробные площадки	Z _{спо} валовым формам ТМ	Категория загрязнения почв	Z _{спо} подвижным формам ТМ	Категория загрязнения почв
2,5 СЗ	3,02	Допустимая	0,00	Допустимая
2 С	3,42	Допустимая	1,28	Допустимая
1,5 С	2,51	Допустимая	1,87	Допустимая
1 С	4,17	Допустимая	1,10	Допустимая
0,5 С	2,59	Допустимая	0,00	Допустимая
0,1 С	6,96	Допустимая	2,05	Допустимая
0,5 ЮЗ	11,58	Допустимая	8,17	Допустимая
1 ЮЗ	8,72	Допустимая	2,20	Допустимая
1,5 ЮЗ	6,65	Допустимая	2,27	Допустимая
2 ЮЗ	1,62	Допустимая	0,00	Допустимая
2,5 ЮЗ	2,66	Допустимая	1,52	Допустимая
0,1 Ю	80,46	Опасная	43,41	Опасная
0,1 В	13,23	Допустимая	5,89	Допустимая

Заключение. Таким образом, в почвах в зоне воздействия Преображенского (Зилаирского) медеплавильного завода концентрации меди, марганца, свинца, подвижного кобальта не превышали ПДК, а железа – РГФ. Отмечено превышение уровня ПДК по содержанию подвижной меди, валового никеля и кобальта, валового и подвижного цинка и кадмия.

По степени загрязнения (Z_c) изученные образцы почвы пробных площадок в основном относились к категории допустимой, за исключением почв, отобранных в радиусе 100 м в южном направлении, отнесенных к опасной категории.

Благодарности. Работа подготовлена за счет финансового обеспечения выполнения государственного задания ГАНУ «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан» на 2022 год (руководитель темы – Я. Т. Суюндуков).

Список литературы

1. Опекунова М. Г. Биоиндикация загрязнений: Учеб. пособие. СПб: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2004. 209 с.
2. Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
3. Опекунова М. Г., Алексеева-Попова Н. В., Арестова И. Ю., Грибалев О. В., Краснов Д. А., Бобров Д. Г., Осипенко О. А., Соловьева Н. И., Тяжелые в почвах и растениях Южного Урала. II Экологическое состояние антропогенно нарушенных территорий // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2002. Вып. 1, № 7. С. 63–71.
4. Методические рекомендации по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. М.: Минздрав СССР, 1987. 25 с.

**OENOTHERA SALICIFOLIA DESF. EX G. DON В ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОТОПАХ
Г. МАКЕЕВКИ (ДНР)**

Калинина А. В.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
a.kalinina@donnu.ru

Ключевые слова: адвентивный вид, ценопопуляция, изменчивость, техногенные экотопы, энергия прорастания, всхожесть.

Аннотация: Исследована изменчивость некоторых морфометрических параметров и особенности репродуктивной способности ценопопуляций *Oenothera salicifolia* Desf. ex G. Don, сформированных в техногенных экотопах г. Макеевки. Приведены результаты анализа внутривидовой и межвидовой вариации признаков, определена энергия прорастания и всхожести. Установлено, что для ценопопуляции *Oe. salicifolia* породного отвала (ЦП 1) угольной шахты характерны более высокие значения исследованных параметров, в сравнении с ценопопуляцией, сформированной на железнодорожных путях (ЦП 2). Параметры особей ЦП 1 характеризуются повышенным уровнем изменчивости всех исследованных признаков, а также процентом энергии прорастания и всхожести семян. Выявленные закономерности исследования свидетельствуют о реализации адаптивной способности адвентивного вида *Oe. salicifolia* в условиях нарушенных экотопов г. Макеевки.

**OENOTHERA SALICIFOLIA DESF. EX G. DON IN TECHNOGENIC ECOTOPS OF MAKEEVKA
(DPR)**

Kalinina A. V.

Donetsk National University, Donetsk, DPR

Key words: adventitious species, cenopopulation, variability, technogenic ecotopes, germination energy, germination.

Abstract: The variability of some morphometric parameters and features of the reproductive capacity of *Oenothera salicifolia* Desf. ex G. Don, formed in the technogenic ecotopes of Makeevka is researched. The results of the analysis of intrapopulation and interpopulation variability of parameters are given, the energy of germination and germination is determined. It has been established that the cenopopulation *Oe. salicifolia* of the rock heap (CP 1) is characterized by higher values of the studied parameters in comparison with the cenopopulation formed on the railway tracks (CP 2). The parameters of individuals of CP 1 are characterized by a higher level of variability of all the studied traits, a higher percentage of germination energy and seed germination. The revealed patterns of the study indicate a significant adaptive ability of the adventitious species *Oe. salicifolia* in the disturbed ecotopes of Makeevka.

Введение. В связи с ростом антропогенного влияния на экосистемы наблюдается увеличение нарушенных территорий, которые, как правило, являются очагами флористического загрязнения [1]. Адвентивные виды внедряются в нарушенные местообитания, закрепляются на новых территориях, становятся постоянным компонентом флоры, что может приводить к деградации естественных растительных сообществ и изменению структуры биоразнообразия [2].

Возникает необходимость изучения биологических и экологических особенностей адвентивных видов, их адаптивных реакций на различные факторы среды, что позволит прогнозировать их дальнейшее распространение на вторичных ареалах и разработать возможные меры по борьбе с бесконтрольным распространением чужеродных видов [2–4].

Основными механизмами выживания, дальнейшей натурализации или инвазии адвентивных видов на вторичных ареалах является их изменчивость и пластичность. В разных локальных условиях признаки, помогающие растению внедриться в новое местообитание, повысить конкурентную способность и обеспечить дальнейшую натурализацию, имеют специфичный характер [2].

Цель работы – провести анализ изменчивости некоторых морфометрических параметров и установить особенности качества семенного материала по энергии прорастания и всхожести особей ценопопуляций *Oenothera salicifolia* Desf. ex G. Don в условиях техногенных экотопов г. Макеевки.

Объекты и методы исследований. *Oe. salicifolia* – представитель семейства Onagraceae, североамериканский вид, на территории ДНР является адвентивным [3]. Встречается на трансформированных территориях Донбасса [2, 5].

Объект изучения – ценопопуляции (ЦП) *Oe. salicifolia* в техногенных экотопах г. Макеевки: ЦП 1 сформирована на уплощенной вершине породного отвала г. Макеевки Советского района; ЦП 2 выявлена на железнодорожных путях территории шахты Калиновская-Восточная Советского района.

Изучение морфометрических признаков проводили по общепринятым методикам [6–9]. Морфометрические параметры учитывали в генеративном состоянии. Межпопуляционную и популяционную изменчивость признаков особей оценивали по среднему арифметическому значению изучаемых признаков и его ошибке ($\bar{x} \pm S_x$), коэффициенту вариации (CV, %), лимитам (максимум и минимум) с использованием эмпирической шкалы С. А. Мамаева [10]. Для диагностики состояния особей в ценопопуляциях исследованы следующие параметры: высота особи (Н, см), ветвление (В, шт.), длина генеративной оси побега (Lr, см), длина плода ($L_{w_{Fr}}$, мм), масса семян (wt, г).

Важным признаком является продукция жизнеспособных семян. Для определения энергии прорастания и всхожести использован семенной материал, собранный на учетных площадках в сентябре 2021 г. Семена хранились при комнатных условиях, предварительную подготовку перед проращиванием не выполняли. Проращивание проводили в лабораторных условиях по 50 шт. семян в четырехкратной повторности в чашках Петри на фильтровальной бумаге и агроперлите.

Результаты исследований. Изменения средних значений параметров особей в исследованных ценопопуляциях показали, что для ЦП 1 характерны более высокие значения в сравнении с параметрами особей ЦП 2. Наиболее выраженные различия в варьировании средних значений были отмечены в случае с длиной цветоносной оси и высотой особей – в 2,10 и 1,27 раз. Следует отметить, что для массы семян отметили обратную ситуацию – масса семян ЦП 2 несколько выше, чем ЦП 1. В таблице 1 представлены данные анализа исследуемых параметров.

Таблица 1 – Морфометрические параметры особей *Oe. salicifolia* в условиях техногенных экотопов г. Макеевки

Параметр	ЦП 1		ЦП 2	
	Значение параметра $\bar{x} \pm S_x$	Индекс вариации CV, %	Значение параметра $\bar{x} \pm S_x$	Индекс вариации CV, %
Ветвление В, шт.	2,94±0,43	73,58	2,5±0,25	49,94
Высота Н, см	140,28±7,28	25,95	110,7±3,89	17,57
Длина цветоносной оси Lr, см	76,37±7,05	50,12	36,3±1,49	20,57
Длина плода $L_{w_{Fr}}$, мм	24,81±0,55	11,23	23,48±0,31	6,68
Масса семян wt, г	0,039±0,001	14,90	0,040±0,001	5,16

О гетерогенности ценопопуляций свидетельствуют также и лимиты признаков. Наибольшее различие между максимальными и минимальными значениями отмечены для длины цветоносной оси и высоты особей. Максимальное значение высоты особей ЦП 1 составило $H_{max}=210$ см, минимальное – $H_{min}=80$ см; длина цветоносной оси – максимальное значение – $Lr_{max}=130$ см, минимальное – $Lr_{min}=45$ см. Для особей ЦП 2 отмечены следующие значения высоты – $H_{max}=140$ см, $H_{min}=90$ см, длины цветоносной оси – $Lr_{max}=45$ см, $Lr_{min}=25$ см. Полученные данные свидетельствуют о том, что условия произрастания на породном отвале являются более нестабильными.

Как видно из приведенных выше данных (табл. 1), большую изменчивость морфометрических параметров наблюдали в условиях произрастания на экотопах породного отвала ЦП 1.

На внутривоупуляционном уровне амплитуда изменчивости изученных параметров ценопопуляций варьирует в следующих пределах: ветвление – очень высокое (ЦП 1, ЦП 2); длина цветоносной оси – от очень высокого (ЦП 1) до повышенного (ЦП 2); высота растений – от повышенного (ЦП 1) до среднего (ЦП 2); длина плода от низкого (ЦП 1) до очень низкого (ЦП 2); масса семян – от среднего (ЦП 1) до очень низкого (ЦП 2).

Семенной материал ценопопуляций обладает значительными показателями энергии прорастания и всхожести (табл. 2). Более высокий процент энергии прорастания и всхожести характерны для семян ЦП 1. В вариантах проращивания на агроперлите отмечены несколько повышенные значения энергии прорастания и всхожести.

Таблица 2 – Прорастание семян *Oe. Salicifolia*

ЦП	Субстрат	Период до начала прорастания, дни	Срок учета энергии прорастания, дни	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
1	Фильтровальная бумага	2	4	93,0	67,0
	Агроперлит	2	4	94,0	88,9
2	Фильтровальная бумага	3	4	49,1	58,0
	Агроперлит	3	4	70,6	60,5

Заключение. В результате проведенного исследования подтверждена высокая адаптивная способностью адвентивного вида *Oe. salicifolia* в условиях техногенных экотопов г. Макеевки. Установлено, что под действием сильного техногенного влияния наблюдается увеличение ростовых показателей растений. Отмечено высокое варьирование признаков в условиях произрастания на породном отвале таких, как ветвление (В), высота особей (Н), длина цветоносной оси (Lr). Это свидетельствует о нестабильных и более неблагоприятных условиях среды существования. Длина плода (Lw_{Fr}) и масса семян (wr) имеют низкую вариабельность, являются морфологически более консервативными признаками.

Высокий процент энергии прорастания и всхожести семян увеличивает риски приживаемости вида при заносе, а впоследствии и дальнейшую успешную натурализацию его в новых местообитаниях.

Влияние экологических факторов на продуктивность особей *Oe. salicifolia* в техногенных условиях ДНР требует дальнейшего исследования.

Список литературы

1. Калинина А. В., Гермонова Е. А. Геостратегическая визуализация фитоценозов породных отвалов угольных шахт г. Макеевки в условиях самозаращения и рекультивации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 3–4. С. 28–34.

2. Тохтарь В. К., Грошенко С. А. Изучение распространения видов рода *Oenothera* L. в модельных индустриальных регионах Европы // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Естественные науки. 2012. Вып. 18, № 3(122). С. 60–65.
3. Остапко В. М., Бойко А. В., Мосякин С. Л. Сосудистые растения юго-востока Украины. Донецк: Изд-во «Ноулидж», 2010. 247 с.
4. Сафонов А. И. Фитомониторинг в решении экологических проблем степной зоны Восточной Европы // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, г. Киров, 26–27 апреля 2022 г. Киров: Вятский государственный университет, 2022. С. 62–65.
5. Калинина А. В., Сафонов А. И. Фитоиндикационный мониторинг на отвалах угольных шахт г. Макеевки, внедрение данных в образовательную программу // Донецкие чтения 2017: Русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса: Материалы Междунар. научн. конф., г. Донецк, 17–20 октября 2017 г. Донецк: Донецкий национальный университет, 2017. С. 80–82.
6. Сафонов А. И., Глухов А. З. Фитомониторинг в техногенно трансформированной среде: методология и практика // Экосистемы. 2021. № 28. С. 16–28.
7. Злобин Ю. А. Популяционная экология растений: современное состояние, точки роста. Сумы: Университетская книга, 2009. 239 с.
8. Заугольнова Л. Б., Денисова Л. В., Никитина С. Б. Подходы к оценке состояния ценопопуляций растений // Бюл. МОИП. отд. биол. 1993. Т. 98, вып. 5. С. 100–108.
9. Жукова Л. А., Полянская Т. А. О некоторых подходах к прогнозированию перспектив развития ценопопуляций растений // Вестник ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2013. Вып. 32, № 31. С. 160–171.
10. Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М.: Наука, 1972. 283 с.

ОСОБЕННОСТИ СФАГНОВОГО СУБСТРАТА В ПОСТПИРОГЕННЫХ И НЕГОРЕ- ЛЫХ СОСНЯКАХ НА ВЕРХОВЫХ БОЛОТАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Кочубей А. А., Петрова И. В.

*Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
79326010873@yandex.ru*

Ключевые слова: *Сосна обыкновенная, верховое болото, подрост, популяция, естественное возобновление, низовые пожары.*

Аннотация: *Проведены выявление и анализ послепожарных особенностей основных факторов среды, которые оказывают приоритетное лимитирующее влияние на динамику естественного возобновления ценопопуляций сосны обыкновенной в сосняках багульниково-кассандрово-сфагновых на верховых болотах в подзоне предлесостепи Западной Сибири. Выявлено, что мозичное выгорание сфагнового покрова приводит к появлению уплотненного горизонта, на котором создаются относительно благоприятные условия для начальных этапов семенного возобновления сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Данный горизонт является открытым для налета семян сосны, позволяет им прорасти и укорениться и исключает появление фитоценотической конкуренции другими видами растений первые годы после пожара. Таким образом, постпирогенный субстрат обеспечивает успешное появление, выживание и развитие, по крайней мере, двух–трех первых генераций всходов сосны.*

PECULIARITIES OF THE SPHAGNE SUBSTRATE IN BURNERS AND INTACT PINE FOR- ESTS ON THE BOG OF WESTERN SIBERIA

Kochubei A. A., Petrova I. V.

Russian Academy of Sciences, Ural branch: Institute Botanic Garden, Yekaterinburg, Russia

Kew world: *Scotch pine, *Pinus sylvestris*, high swamp, bog, undergrowth, population, natural renewal, fire.*

Abstract: *Identification and analysis of post-fire features of the main environmental factors that have a priority limiting effect on the dynamics of natural regeneration of Scots pine populations in pine forest on a raised bog with a predominance of wild rosemary in the subzone of the preforest-steppe of Western Siberia were carried out. It was revealed that the mosaic burnout of the sphagnum cover leads to the appearance of a compacted horizon, which creates relatively favorable conditions for the initial stages of seed renewal of Scots pine. This horizon is open to pine seeds, allows them to germinate and take root, and excludes the appearance of phytocenotic competition by other plant species in the first years after the fire. Thus, the post-fire substrate ensures the successful emergence, survival, and development of at least two or three first generations of pine seedlings.*

Введение. На территории Западно-Сибирской равнины болотные леса и массивы болот занимают достаточно большие территории. В них сосредоточены колоссальные, но еще слабо используемые биоресурсы органического вещества (торфа), пресной воды (соизмеримые с запасами оз. Байкал), растительности и фауны. Они играют и значительную буферную роль в сохранении регионального и глобального экологического баланса биосферы [1, 2]. На верховых олиготрофных болотах доминирующим лесообразующим видом является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Весь комплекс почвенной среды сосняков (избыточно влажной, анаэробной, олиготрофной, холодной, кислой и токсичной) на верховых болотах намного менее благоприятен для выживания, роста, семеношения и естественного возобновления сосны, по сравнению со смежными суходольными [3, 4].

Целью работы стала оценка состояния негорелого и поспирогенного сфагнового покрова в сосняках багульниково-кассандрово-сфагновых на верховых болотах подзоны предлесостепи и влияние этого покрова на возобновление сосны обыкновенной. Объектами исследования стали гари на болотах 5- и 9-летней давности (бол. Теплое и бол. Бахметское) и участок давно (170 лет) негорелого Самохваловского болота (Тугулымское и Луговское лесничества Свердловской области).

Результаты исследований. Низовые пожары на всех пробных площадях вызвали кардинальную трансформацию соотношения проективного покрытия видов мохового и кустарничкового подъярусов нижнего яруса фитоценозов, пропорциональную крайне мозаичной интенсивности выгорания сфагнового покрова. Наибольший интерес для нас представляют собой пирогенные изменения в доле площади и степени выгорания тех наиболее высыхающих участков сфагнового покрова на кочках, на которых до пожара доминировали два вида сфагновых мхов – *Sphagnum magellanicum* Brid. и *Sphagnum fuscum* (Schimp.) N. Klinggr. Именно они в основном являются тем субстратом, на котором происходит естественное возобновление сосны на верховых болотах.

Низовой пожар вызывает образование во всех отношениях принципиально иного, экологически предпочитаемого типа субстрата для заделки, прорастания семян и укоренения проростков и всходов сосны на сфагновом болоте. В верхнем слое – в живом, а глубже мертвом, но рыхлом и воздухоемком сфагновом субстрате – отсутствует какой-либо достаточно уплотненный и разложившийся слой, который мог бы стать основным (базовым, «стартовым») для укоренения и почвенного питания всходов древесных растений.

После интенсивного пожара, выжигающего слой сфагнового покрова толщиной свыше 5–10 см (а тем более 10–15 см) вследствие сложного сочетания физико-химических процессов минерализации, пиролиза и спекания продуктов горения, (а также воздействия пока еще недостаточно изученных атмосферных, почвенных и микробиологических факторов) образуется специфичный «пироторфяной» горизонт [3]. В первые 1–2 года его относительно уплотненная обожженная «битуминизированная» поверхность, в отличие от рыхлых сфагновых подушек представляет собой на порядок более благоприятный субстрат не только для прорастания семян, но и для укоренения всходов сосны. Некоторые физико-химические преимущества этого типа субстрата, по сравнению с негорелым, приведены в таблице.

Таблица – Средние параметры микроклимата и напочвенной среды самосева сосны на низовой гари 5-летней давности и в давно негорелом (170 лет) сосняках багульниково-кассандрово-сфагновых подзоны предлесостепи Западной Сибири

ЭДР БГЦ	Дп, лет	ФАР, %	Корнеобитаемый слой торфа					Проективное покрытие растений, %						
			T	pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca+Mg	Pa	Sph	Pol	Lp	Cc	ΣP	
Г	5	50±4	13,5	3,55	0,2	2,7	0,3	4,7±0,6	51±6	18±3	15±2	16±4	49±7	
НГ	170	29±4	12,1	3,07	следы*	1,5*	0,1*	6,6±0,5	72±5	1±0,2	20±1,8	31±2,7	80±6	

Примечания: ЭДР БГЦ – эколого-динамический ряд биогеоценоза; Дп – давность пожара; ФАР – относительная ФАР, %, T – среднесуточная температура субстрата в июне-июле (°C); pH – кислотность в H₂O; P₂O₅, K₂O – содержание фосфора и калия (мг/100 г почвы); Ca+Mg – содержание кальция и магния (ммоль/100 г почвы); Pa – абсолютная полнота (м²/га); Sph – сфагновые мхи, Pol – *P. commune*, *P. strictum* Bridel, J. Bot. (Schrader), Lp – *Ledum palustre* L., Cc – *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench; ΣP – общее проективное покрытие нижнего яруса фитоценоза; * – по литературным данным [4].

К числу его важнейших свойств, способствующих прорастанию семян, укоренению и росту всходов самосева сосны на гарях «по болоту», кроме обычно почти всегда достаточной влажности, относится и его более высокая обеспеченность зольными элементами почвенного питания [5]. Но его главными, в конечном итоге решающими экологическими преимущест-

вами, определяющими успешность начальных этапов естественного возобновления сосны, являются следующие три: 1) открытость к нему доступа семян; 2) формирование более или менее уплотненного слоя для прорастания семян укоренения проростков и всходов и 3) отсутствие фитоценотического «конкурентного исключения» всходов в первые годы после пожара.

На рисунке показано, что лишь первые две послепожарные генерации всходов сосны, возникшие на открытой, еще лишенной пирогенного мохового покрова *Polytrichum commune* Hedw. или зарастающей его редкой (несомкнутой) порослью гари, успевают обогнать его (или, по крайней мере, не отстать от него) по ежегодному линейному росту и высоте стеблей. Поэтому они оказываются выше поверхности кукушкина льна и, получая достаточное световое довольствие, укореняются, выживают и развиваются далее. Напротив, более поздние генерации всходов, (начиная с 3-го года после пожара) попадая под уже сомкнутый полог кукушкина льна со стадии проростков, вынуждены развиваться в условиях значительного, а затем и полного дефицита ФАР для фотосинтеза и большей частью отмирают (рис.).

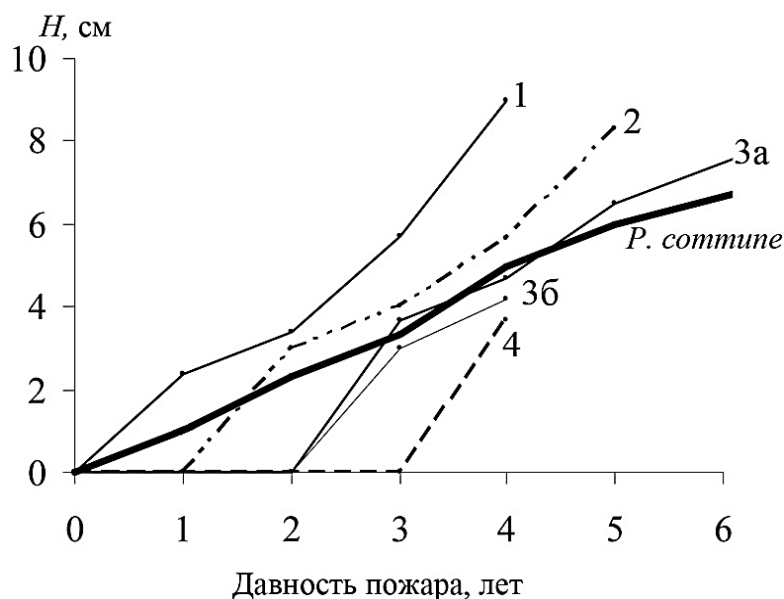


Рисунок – Соотношение в ходе роста по высоте мха *P. commune* и всходов сосны различных генераций. Генерации всходов сосны: 1 – первого года; 2 – второго года; 3 – третьего года (3а – здоровые, 3б – угнетенные); 4 – четвертого года после пожара

Заключение. Таким образом, в отличие от давно негорелых сфагновых болот, после интенсивного пожара на них, вызвавшего хотя бы частичное (мозаичное) выгорание верхнего слоя сфагнового покрова с образованием уплотненного «пироторфяного горизонта», создаются необходимые и вполне достаточно благоприятные условия среды напочвенного субстрата, обеспечивающие успешное появление, выживание и развитие, по крайней двух–трех первых генераций всходов сосны.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада УрО РАН.

Список литературы

1. Вомперский С. Э., Иванов А. И., Цыганова О. П., Валяева Н. А., Глухова Т. В., Дубинин А. И., Глухов А. И., Маркелова Л. Г. Заболоченные органогенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах // Почвоведение. 1994. № 12. С. 17–25.
2. Земцов А. А., Инишева Л. И. Болота Западной Сибири: их роль в биосфере. Томск: ТГУ, 2000. 72 с.

3. Ефремова Т. Т. Структурообразование в торфяных почвах. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1992. 191 с.
4. Санников С. Н., Черепанова О. Е., Евремова Т. Т., Петрова И. В. Градиенты среды смежных суходольных и болотных популяций *Pinus sylvestris* // Генетика, экология и география дендропопуляций и ценоэкосистем: Сб. науч. статей. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. С. 74–83.
5. Yefremova T. T., Yefremov S. P. Ecological effects of peat fire on forested bog ecosystem // Fire in ecosystems of boreal Eurasia. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Acad. Publish., 1996. P. 350–357.

УДК 591.5

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПО ДАННЫМ БИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ПРИМЕРЕ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

¹Крюкова С. А., ²Катаев Г. Д.

¹ФГБУ «Государственный заповедник «Пасвик», пгт Никель, Россия

²ФГБУ «Лапландский государственный природный биосферный заповедник», г. Мончегорск, Россия

kryukova@pasvik-reserve.ru

Ключевые слова: мониторинг, грызуны, насекомоядные, Мурманская область, биоиндикатор.

Аннотация: Мелкие грызуны и насекомоядные являются самыми многочисленными представителями класса млекопитающих и важнейшим звеном трофоценологических цепей в лесных экосистемах. Данное исследование представляет собой один из этапов системного экологического мониторинга. Для изучения биологического разнообразия были выбраны модельные группы организмов, наиболее чувствительные к загрязнению окружающей среды и являющиеся доминантами и эдификаторами естественных экосистем (фоновые виды), выбраны методы их изучения. Одна из таких индикаторных групп – мелкие млекопитающие. В статье приводятся результаты многолетнего мониторинга мелких млекопитающих заповедника «Пасвик» и его окрестностей, рассматриваются перспективы мониторинга мелких млекопитающих как индикаторной группы в системе контроля качества окружающей среды.

ASSESSMENT OF THE STATE OF TERRESTRIAL ECOSYSTEMS BASED ON THE DATA OF BIOLOGICAL MONITORING ON THE EXAMPLE OF SMALL MAMMALS

¹Kryukova S. A., ²Kataev G. D.

¹«Pasvik» reserve, Nickel, Russia

²Lapland State Natural Biosphere Reserve, Monchegorsk, Russia

Key words: monitoring, rodents, insectivores, Murmansk region, bioindicator.

Abstract: Small rodents and insectivores are the most numerous representatives of the class of mammals and the most important link in trophocenotic chains in forest ecosystems. This study is one of the stages of systemic environmental monitoring. In order to study biological diversity in the earlier studies, model groups of organisms were selected that are most sensitive to environmental pollution and are dominants and edifiers of natural ecosystems (background species), and methods for their study were selected. One such indicator group is small mammals. The article presents the results of long-term monitoring of small mammals in the Pasvik Nature Reserve and its environs, discusses the prospects for monitoring small mammals as an indicator group in the environmental quality control system.

Введение. К мелким млекопитающим относятся виды млекопитающих, обладающие небольшими размерами и сходными экологическими потребностями, обитающие на поверхности почвы, в лесной подстилке или неглубоко под землей [1]. В Мурманской области эти животные представлены отрядами Грызуны – *Rodentia* и Насекомоядные – *Insectivora*.

Высокая численность, видовое разнообразие, широкое распространение и многообразная функциональная роль в биоценозах суши делает их чрезвычайно удобным объектом в решении ряда прикладных и теоретических вопросов экологии животных. Особый интерес представляет возможность использовать эту группу в качестве биоиндикаторов среды обитания, как модель для построения общей теории популяционных адаптаций, выявления основных принципов приспособления организмов к жизни у границ ареалов, разработки методов биоиндикации при оценке направлений и масштабов антропогенных воздействий на популяции животных. Поэтому, актуальность изучения структуры и динамики их фаунистических комплексов в коренном и культурном ландшафте конкретного зоогеографического района не вызывает сомнения [2, 3].

В пгт Никель, на самом северо-западе Мурманской области, находится крупный горно-металлургический комбинат «Печенганикель» (предприятие ОАО Кольская ГМК «Норильский никель»). В процессе производственной деятельности плавильного цеха комбината на протяжении долгого времени в атмосферу попадал целый ряд тяжелых металлов. Среди разнообразных загрязняющих веществ тяжелые металлы и их соединения выделяются распространенностью, высокой токсичностью, многие из них также способностями к накоплению в живых организмах и циркуляции в окружающей среде. Тяжелые металлы и их соединения сохраняют свои вредные свойства постоянно, независимо от формы их состояния.

Закрытие медно-никелевого производства в пгт Никель в 2020 г. дает уникальную возможность для исследований поведения токсикантов в природе, их дрейфа, аккумуляции, биоконцентрирования, трансформации, детоксикации и элиминирования в различных биосистемах, оценки реакции биосистем на их воздействие, а также делает возможным оценить пространственную и временную динамику концентратов поллютантов в растениях и организмах животных на техногенной территории, предложить новые подходы к ее восстановлению.

Объекты и методы исследований. Исследования мелких млекопитающих проводятся в заповеднике «Пасвик» и окрестностях ежегодно непрерывно с 1993 г. Основным методом учета года является учет с помощью линий ловушек-давилок. Дополнительным методом служит учёт ловчей канавкой. Отлов животных сопровождается последующей обработкой материала по общепринятой методике зоологических исследований [4–6]. Результаты обработки и измерений биологического материала заносятся в единую электронную базу данных. База содержит данные со всех стационаров на границе России и Норвегии.

Главный стационар находится на горе Калкупя в центре заповедника в 55 км к югу относительно комбината «Печенганикель». Места установки ловушек на линии являются постоянными и отмечены маркерами. Дополнительный стационар работал к югу от заповедника с 2004 по 2012 гг. на биосферном полигоне «Янискоски». Аналогичные исследования мелких млекопитающих проводятся и на норвежской стороне на стационарах «Ровваварра» и «Сванвик» (коммуна Сер-Варангер, Северная Норвегия), расположенных в 15 и 11 км к юго-западу от промышленной площадки в пгт Никель соответственно.

Специальные исследования воздействий антропогенных факторов на индикаторные виды мелких млекопитающих в окрестностях комбината проводились ранее в 1992–1994 гг. на пяти станциях зоологического мониторинга по мелким млекопитающим, выбранных по градиенту загрязнения в западном направлении от источника загрязнения [7].

В 2013 г. были начаты исследования в рамках программы мониторинга состояния природной среды территории, прилегающей к промышленным площадкам комбината. Автором статьи были заложены стационары на выбранных модельных участках «Никель», «Гольфстрим», «Печенга». Модельные участки расположены в сходных по структуре экосистемах на участках горно-березового редколесья на разном удалении от предприятия. Стационар «Никель» располагается в непосредственной близости от промышленного предпри-

ятия и представляет собой техногенную пустошь со слабо развитой растительностью. Стационар «Гольфстрим» расположен в средней зоне загрязнения. Участок «Печенга» находится на достаточном удалении от комбината, где влияние деятельности предприятия было наименее заметным. Здесь практически отсутствуют признаки отрицательного воздействия на природу. После перерыва с 2014 по 2019 гг. работа на модельных участках возобновлена в 2020 г. в год закрытия плавильного цеха комбината.

Основные и дополнительные места отловов в заповеднике и окрестностях приведены на рисунке.

Собранные данные позволяют анализировать видовой состав мелких млекопитающих, в том числе в зависимости от удаленности относительно источника загрязнения, отслеживать динамику их численности, исследовать возрастную и половую структуру. Помимо долгосрочного мониторинга на стационаре в заповеднике перед нами поставлена задача исследования влияния загрязнения окружающей среды на отдельные виды мелких млекопитающих путем токсикологического анализа их тканей.

Результаты исследований. За все время учетных работ с 1993 по 2021 гг. на территории заповедника и окрестностей выявлены 12 видов мелких млекопитающих, которые представлены отрядами Грызуны (*Rodentia*) и Насекомоядные (*Insectivora*) (табл.). Отряд грызунов включает представителей серых полевок, лесных полевок и леммингов. Отряд насекомоядных включает представителей семейства Землеройковые (*Soricidae*): кутору и виды бурозубок.

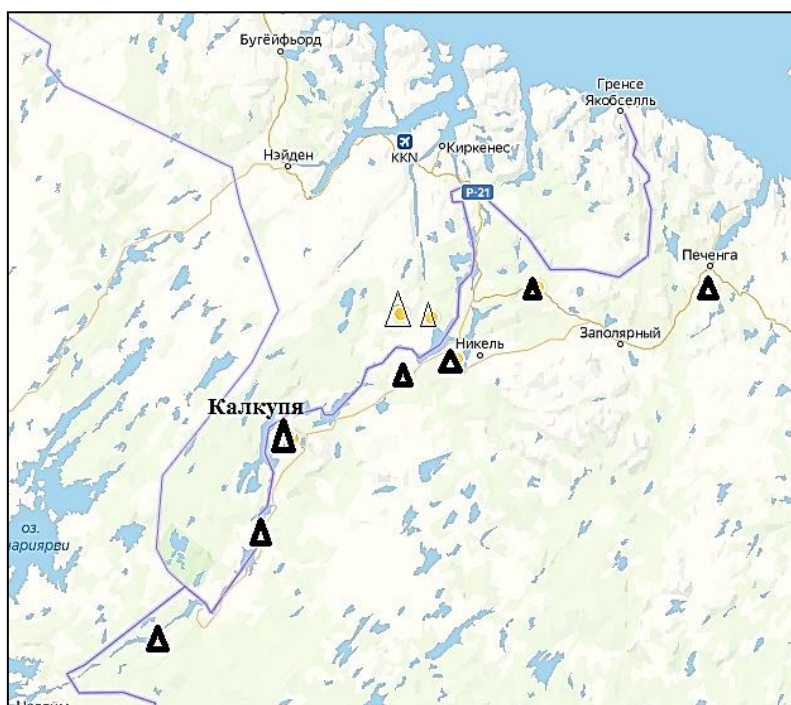


Рисунок – Точки отловов мелких млекопитающих на границе России и Норвегии

Таблица – Видовое разнообразие видов мелких млекопитающих, зарегистрированных на территории заповедника «Пасвик» за период учетов с 1993 по 2021 гг.

Русское название	Латинское название
Красно-серая полевка	<i>Myodes rufocanus</i> (Sundevall, 1846)
Красная полевка	<i>Myodes rutilus</i> (Pallas, 1779)
Обыкновенная полевка	<i>Microtus agrestis</i> (Linnaeus, 1761)
Полёвка-экономка	<i>Microtus oeconomus</i> (Pallas, 1776)

Русское название	Латинское название
Лемминг лесной	<i>Myopus schisticolor</i> (Liljeborg, 1844)
Лемминг норвежский	<i>Lemmus lemmus</i> (Linnaeus, 1758)
Бурозубка обыкновенная	<i>Sorex araneus</i> (Linnaeus, 1758)
Бурозубка средняя	<i>Sorex caecutiens</i> (Laxmann, 1788)
Бурозубка равнозубая	<i>Sorex isodon</i> (Turov, 1924)
Бурозубка малая	<i>Sorex minutus</i> (Linnaeus, 1766)
Бурозубка крошечная	<i>Sorex minutissimus</i> (Zimmermann, 1780)
Кутора обыкновенная	<i>Neomys fodiens</i> (Pennant, 1771)

Наиболее многочисленные виды – красно-серая и красная полевки среди грызунов и Бурозубка обыкновенная среди насекомоядных. Численность красной полевки, некогда бывшей доминантным видом в заповеднике, с 2012 г. находится на низком уровне и меняется незначительно. Причины этого явления недостаточно ясны и требуют дальнейшего наблюдения и анализа. Остальные виды отмечены малой численностью.

Численность зверьков закономерно увеличивается по мере удаления от комбината. В результате проведенных работ наблюдается опосредованное влияние работы предприятия на сообщества мелких млекопитающих. Биотопы, располагающиеся вблизи комбината, характеризуются скудной кормовой базой, малым разнообразием кормов (ягоды, семена, зеленая масса, почвенные беспозвоночные), тонкой лесной подстилкой, плохими возможностями для устройства убежищ. В таких местах неурожай кормов или плохие метеорологические условия сказываются более резко, чем в биотопах, где, благодаря богатой кормовой базе, возможна замена одного вида корма другим, толще лесная подстилка и больше убежищ.

Заключение. Развитие мониторинга за данной модельной группой предполагает длительный мониторинг, токсикологический анализ тканей зверьков, изучение корреляций загрязняющих веществ и численности насекомоядных и грызунов, выявление степени накопления загрязнителей и их элиминирования.

Список литературы

1. Ивантер Э. В. Популяционная экология мелких млекопитающих таежного северо-запада СССР. Л.: Наука, 1975. 246 с.
2. Ивантер Э. В., Макаров А. М. Территориальная экология землероек-бурозубок. Петрозаводск: Петрозав. гос. ун-т, 2001. 270 с.
3. Поздняков С. А. Фауна и экология мелких млекопитающих Северной Карелии: Автореферат дис. ... канд. биол. наук / Гос. природный заповедник «Костомукшский». Петрозаводск, 1997. 16 с.
4. Терентьев П. В. Малый практикум зоологии позвоночных. М.: Сов. наука, 1947. 484 с.
5. Новиков Г. А. Полевые исследования экологии наземных позвоночных. 2-е изд., испр. и доп. М.: Сов. наука, 1953. 503 с.
6. Туликова Н. В. Изучение размножения и возрастного состава популяций мелких млекопитающих // Методы изучения природных очагов болезней человека. М.: Медицина, 1964. С. 154–191.
7. Черненькова Т. В., Бутусов О. В., Сычев В. В., Кабиров Р. Р., Степанов А. М., Куперман Р. Г., Катаев Г. Д. Воздействие металлургических производств на лесные экосистемы Кольского полуострова. СПб: Наука, 1995. 252 с.

БИОАККУМУЛЯЦИЯ МЕТАЛЛОВ В АССИМИЛЯЦИОННЫХ ОРГАНАХ СОСНЫ И ИЗМЕНЕНИЕ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ТЕКУЩЕГО И НАКОПЛЕННОГО АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

¹Кузьмина Н. А., ¹Менщиков С. Л., ²Севик Х.

¹Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²Университет Кастамону, факультет лесного хозяйства, кафедра лесоводства, Кастамону, Турция
yarkaya05@mail.ru

Ключевые слова: хвоя сосны *Pinus sylvestris* L., аэротехногенное загрязнение, концентрации металлов в хвое и почве.

Аннотация: Развитие и концентрация металлургии в индустриальных регионах создает массу экологических проблем. Металлы, содержащиеся в твердой фракции выбросов, закрепляются в почвенном поглощающем комплексе, а также имеют тенденцию к биоаккумуляции в ассимиляционных органах древесных видов, что может быть использовано как для целей диагностики уровня загрязнения лесных биогеоценозов, так и для изучения закономерностей процессов поглощения загрязняющих веществ в системе почва – растение. Химические анализы почвы и хвои сосны в очаге поражения лесов в зонах влияния ОАО «Комбината «Магнезит» показали повышенное содержание Mg, Fe, Mn и Ca по сравнению с фоном. Кроме того, почва имеет высокие показатели pH – в импактной зоне до 9,0. Концентрации Mg, Fe, Mn и Ca, были определены путем анализа образцов 1 и 2-х летней хвои сосны обыкновенной, произрастающей в 1, 3, 10 и 25 км от источника воздействия. Установлено, что концентрации металлов, варьируются в зависимости от расстояния, особенно концентрации Mg, которые демонстрирует значительное уменьшение, с расстоянием от источника выбросов. Определено, что концентрации в 2-х летней хвое почти во всех точках, были выше, чем в 1-летней, и могли даже превышать эту разницу в несколько раз.

BIOACCUMULATION OF METALS IN ASSIMILATION ORGANS OF PINE AND CHANGES IN SOILS UNDER CONDITIONS OF CURRENT AND ACCUMULATED AEROTECHNOGENIC POLLUTION

¹Kuzmina N. A., ¹Menshchikov S. L., ²Sevik H.

¹Russian Academy of Sciences, Ural branch: Institute Botanic Garden, Ekaterinburg, Russia

²Kastamonu University, Faculty of Forestry, Silviculture Department, Kastamonu, Turkiye

Key words: pine needles *Pinus sylvestris* L., aerotechnogenic pollution, metal concentrations in needles and soil.

Abstract: The development and concentration of metallurgy in industrial regions creates a lot of environmental problems. Metals contained in the solid fraction of emissions are fixed in the soil absorbing complex, and also tend to bioaccumulate in the assimilation organs of tree species, which can be used both for the purposes of diagnosing the level of pollution of forest biogeocenoses and for studying the patterns of pollutant absorption processes in the system soil is a plant. Chemical analyzes of soil and pine needles in the focus of forest damage in the zones of influence of JSC «Combine «Магнезит» showed an increased content of Mg, Fe, Mn and Ca compared with the background. In addition, the soil has high pH values – up to 9,0 in the impact zone. The concentrations of Mg, Fe, Mn and Ca were determined by analyzing samples of 1 and 2 year old Scots pine needles growing at 1, 3, 10 and 25 km from the exposure source. Metal concentrations have been found to vary with distance, especially Mg concentrations, which show a significant decrease with distance from the emission source. It was determined that concentrations in 2-year-old needles

were higher at almost all points than in 1-year-old needles, and could even exceed this difference by several times.

Введение. Аэротехногенное загрязнение является постоянным экологическим фактором, оказывающим негативное влияние на окружающую среду и здоровье человека в условиях современных городов. Объекты исследования расположены в зонах воздействия ОАО Комбинат «Магnezит» (г. Сатка, Челябинская область) являются одним из крупнейших очагов уничтожения лесной растительности на Южном Урале. С целью изучения пригодности почв для лесовосстановления в различных зонах загрязнения магnezитовой пылью работниками Ботанического сада РАН в 1980–1983 гг. на опытных участках (ОУ) посажены рядами культуры древесных пород. ОУ расположены на разных расстояниях от комбината.

В градиенте загрязнения к северо-востоку в направлении преобладающих ветров от источника выбросов и к югу в фоне расположены следующие участки:

- опытный участок (ОУ-2/1) на расстоянии 1 км от комбината в зоне сильного влияния, тип почв – горные серые лесные, легкосуглинистые;
- опытный участок (ОУ-5/3) на расстоянии 3 км – зона среднего влияния, тип почв – горные темно-серые лесные, легкосуглинистые;
- опытный участок (ОУ-4/10) в 10 км – зона слабого влияния, тип почв – горная серая лесная, легкосуглинистая;
- фоновые условия (ОУ-7К/25) в 25 км к югу от комбината в районе населенного пункта Сибирка, тип почв – горные бурые лесные кислые оподзоленные.

В 1980–1983 гг. Уральской опытной станцией во время посадки сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) был внесен торф на ОУ-2 и ОУ-5 слоем 2 см, на участке в ОУ-4 посадка производилась без внесения меллиорантов. Тип леса на всех опытных участках – сосняк ягодниковый.

Цель исследования основана на изучении особенностей аккумуляции загрязняющих веществ в системе почва-растение в условиях магnezитового загрязнения.

Для достижения цели были поставлены задачи:

- 1) Изучить уровень техногенной нагрузки в динамике с 2005 по 2019 гг. по загрязнению снега.
- 2) Определить уровень загрязнения почв и содержание элементов в условиях техногенного загрязнения.
- 3) Выделить закономерности накопления загрязняющих веществ в системе почва – ассимиляционные органы сосны.

Объекты и методы исследований. Объектами исследования послужили культуры сосны обыкновенной, снег и почвы на опытных участках в очаге аэротехногенного загрязнения ОАО «Комбината «Магnezит» на Южном Урале.

Исследования выполнены в лаборатории ЭТРС Ботанического сада по общепринятым апробированным методикам, применяемые в почвоведении, лесоводстве, лесной таксации и лесоустройстве. В лаборатории университета Кастамону проводились исследования на образцах хвои, которые были классифицированы и помечены, затем высушены в течение 15 дней на воздухе. После образцы были досушены в сушильном шкафу при 45 °С в течение недели. Высушенные образцы хвои измельчали и взвешивали (0,5 г). Навеску помещали в пробирки, предназначенные для микроволновой печи. К образцам добавляли 10 мл 65 % HNO₃. Подготовленные образцы сжигали при давлении 280 фунтов на квадратный дюйм в микроволновом устройстве и при 180 °С в течение 20 минут. Пробирки извлекались из микроволновой печи после обработки и были оставлены для остывания. К охлажденным образцам в пробирки добавляли дистиллированную воду, доводя до 50 мл. Подготовленные образцы фильтровали через фильтровальную бумагу и затем считывали на приборе ICP-OES на соответствующей длине волны.

Результаты исследований. Химический анализ образцов снега на опытных участках, проводимый нами в динамике за многолетний период с 1983 по 2019 гг., показал техноген-

ную нагрузку в период исследований (рис. 1). Показатель кислотности снеговой воды позволяет судить о локальном загрязнении воздушного бассейна. В зоне сильного влияния рН снегового фильтрата составляет от 9,1 до 10,4, среднего (3 км) – от 8,9 до 10,1 и слабого воздействия (10 км) – от 7,9 до 9,7, при этом показатель держится в пределах сильнощелочной и слабощелочной реакции. На протяжении 36 лет существенных изменений в снижении рН снеговой воды не произошло. Увеличение в сторону щелочной реакции на расстоянии от 1–10 км от источника выбросов связано с минерализацией снежного покрова за счет магниевых соединений. Оседающая каустическая магнезитовая пыль имеет рН=10...11 ед. Показатель кислотности снеговой воды не зависит напрямую от количества выпавшей пыли в течение длительного зимнего периода (5–6 месяцев) в данном районе. По сравнению с фоновыми условиями (25 км) на 2019 г. разница показателя рН фильтрата в зонах сильного, среднего и слабого воздействия составляет в 3,8, 3,3 и 2,5 раза соответственно.

Анализ почвенных образцов на соотношение магния к сумме магния к кальцию в почве показало достоверные различия на всех исследуемых участках в зависимости от расстояния (рис. 2). Содержание обменного кальция в почве в зависимости от расстояния достоверно меняется. Происходит увеличение в фоновых условиях, тогда как содержание обменного магния достоверно снижается. Естественное соотношение между элементами в почвенном поглощающем комплексе было нарушено в 1983 г., затем существенно изменилось в сторону увеличения обменного кальция на фоне высокого содержания магния [1]. Однако экспериментальные наблюдения, проведенные нами в 2018 г., показали превышение содержания магния в соотношении обменных катионов в почве в сравнении с 1983 г. в 2,4 раза.

При высокощелочной актуальной кислотности (рН) почвы в зоне сильного воздействия и высоком содержании обменного магния в почве оказывает отрицательное воздействие на рост и развитие растений, нарушается нормальное поступление необходимых питательных веществ. Изменение рН почвы достоверно с расстоянием и снижается в сравнении с фоновыми условиями на 2,1 ед. (рис. 2).

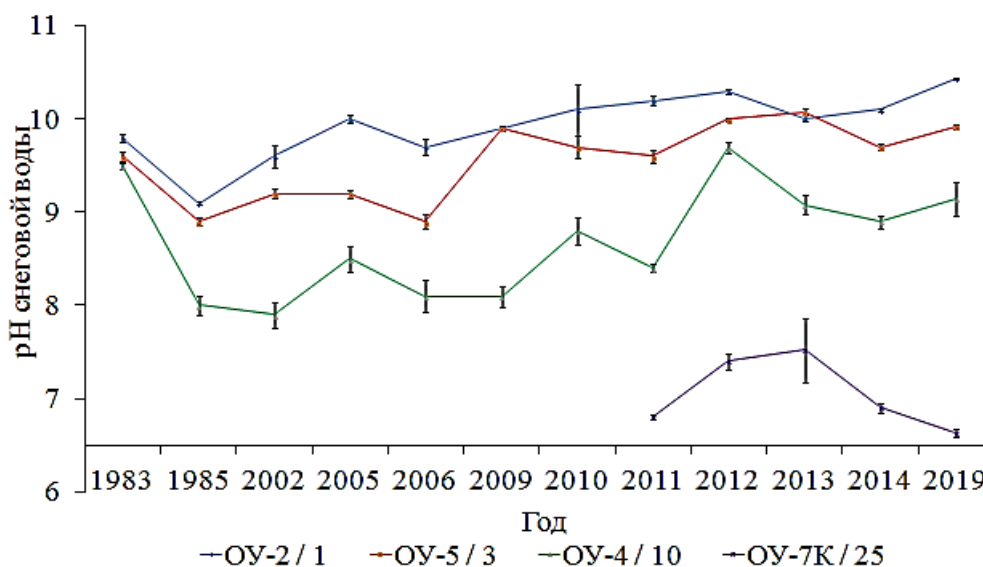


Рисунок 1 – Изменение показателя кислотности рН снегового фильтрата в динамике на разном удалении от источника выбросов

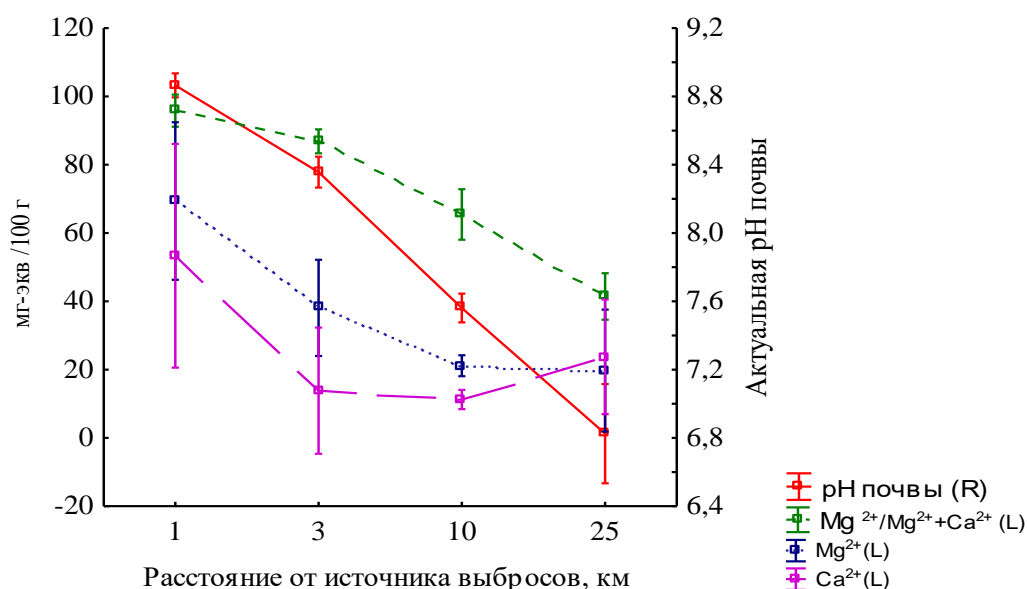


Рисунок 2 – Изменение содержания обменного кальция и магния, соотношение магния к кальцию в зависимости от расстояния, мг-экв на 100 г почвы

Как следует из данных экспериментов, проведенных в 2008 и 2018 гг., накопление железа и марганца в подстилке и органогенном горизонте происходит на всех исследуемых участках (рис. 3).

В зоне сильного воздействия ОУ-2/1 в подстилке концентрации Mn за 10-ти летний период исследования увеличились в 2,6 раз, Fe – в 5 раз. В горизонте АВ увеличение Mn произошло в 4 раза, а Fe – в 5 раз. В зоне среднего воздействия ОУ-5/3 в подстилке концентрация Mn увеличилась в 5 раз, в органогенном горизонте АВ – в 2 раза, концентрация Fe – не изменилась. В зоне слабого воздействия ОУ-4/10 в подстилке концентрация Mn показала увеличение почти в 5 раз в 2018 г, в горизонте АВ – в 2,6 раза; концентрация Fe – не изменилась.

Поступление элементов происходит в традиционном представлении через корневую систему. Некоторые авторы считают, что в условиях аэротехногенного загрязнения происходит осаждение пылевых металлосодержащих частиц на листовую пластинку с последующей ионизацией металла под воздействием листовых выделений или атмосферной влаги и поглощением ионов через устьица [2]. Увеличение содержания металлов в хвое происходит как при непосредственном контакте за счет поверхностного загрязнения, а также через почву и корневую систему. Однако информация о поглощении металла через поверхность листовой пластинки растения из атмосферы мало изучена [3]. В зонах токсического влияния загрязнителей растения пытаются приспособливаться, а в растениях и их органах, и органеллах протекают реакции, которые можно характеризовать как адаптация к изменяющимся условиям [4, 5].

Полученные данные концентраций металлов в разновозрастной хвое были обработаны с помощью пакетной программы SPSS, проведен дисперсионный анализ и тест Дункана, после чего результаты были упрощены, сведены в таблицу и интерпретированы.

Анализируя полученные результаты видно, что изменения концентрации элемента Mg являются статистически значимыми ($p < 0,001$) (табл. 1). Концентрация Mg значительно уменьшается как у 1-летней, так и у 2-летней хвои в зависимости с расстоянием от источника выбросов, концентрации Mg на расстоянии 1 км показали превышение в 1,6 раз, по сравнению с концентрациями Mg, полученных на расстоянии 25 км. Видно, что изменения на всех расстояниях с точки зрения возраста хвои являются статистически значимыми ($p < 0,01$ на 1 и 3 км на других расстояниях, $p < 0,001$), а значения определенные в хвое 2-го года жизни на всех исследуемых участках выше, чем те, которые определены в хвое 1-го года жизни.

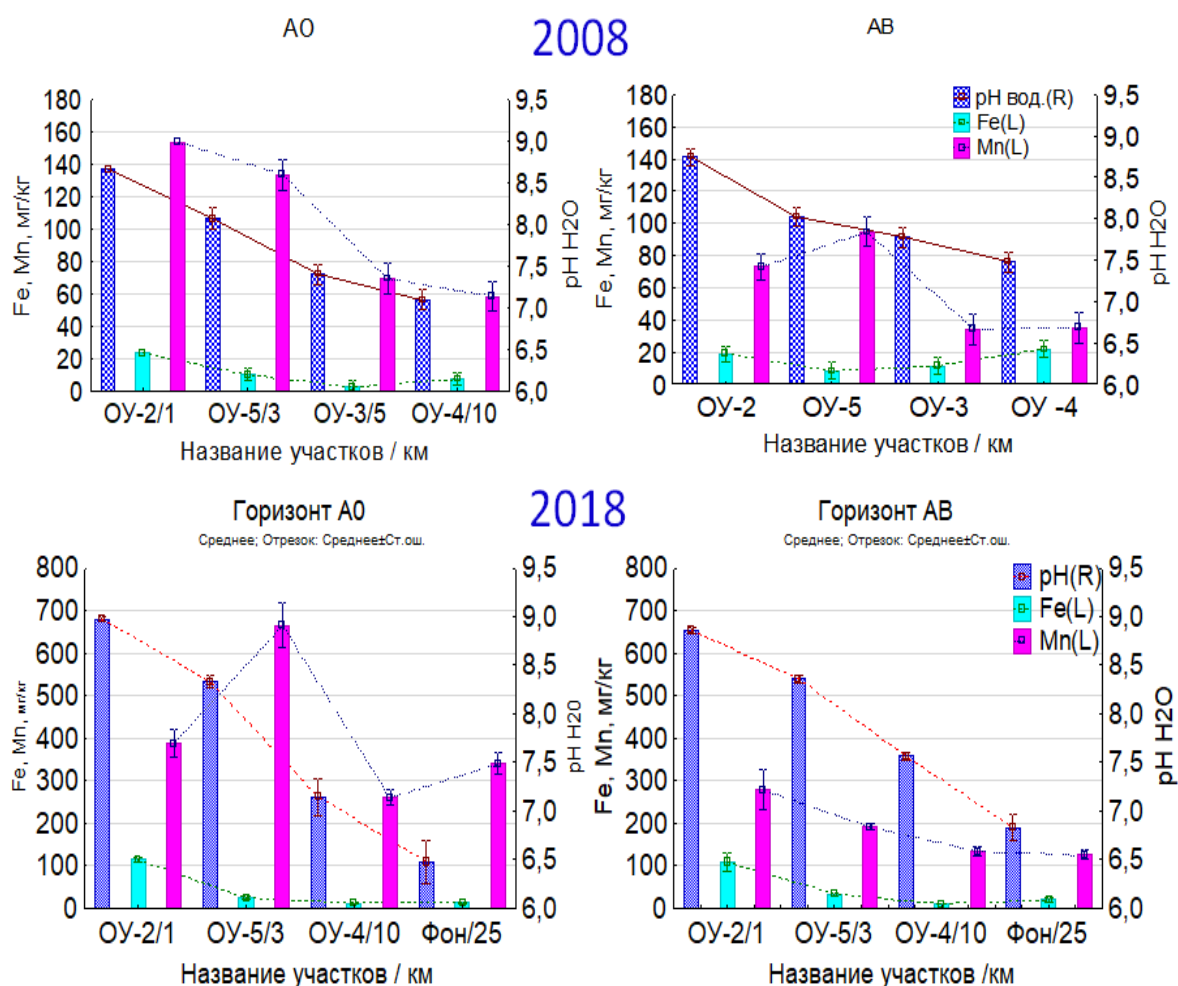


Рисунок 3 – Изменение pH_{H2O} и содержание Fe и Mn в А₀ и почвенном горизонте АВ, при p<0,05

Согласно дисперсионному анализу, изменение концентрации Fe в зависимости от расстояния было статистически значимым ($p < 0,001$ в хвое 1-го года и $p < 0,01$ в хвое 2-го года) (табл. 2). По средним значениям и результатам теста Дункана можно сказать, что концентрация Fe снижается в хвое 1-го года жизни, в то же время трудно сказать, что в 2-летней хвое произошло значительное изменение, кроме хвои на расстоянии 3 км от источника выбросов. В результате дисперсионного анализа установлено, что изменения на всех расстояниях были статистически значимыми ($p < 0,001$) с точки зрения возраста хвои, а значения, определенные в 2-летней хвое, были выше, чем значения, определенные в 1-летней хвое. На самом деле эта разница довольно высока, колеблется от 1,6 раза до 2,9 раза.

Таблица 1 – Изменение содержания Mg в зависимости от расстояния от источника выбросов и дисперсии возраста хвои, мг/кг

Расстояние, км	1	2	F	Error
1	3659,24 Ad	4566,64 Bd	42,598	0,000
3	2907,08 Ac	4179,28 Bc	50,364	0,000
10	2687,33 Ab	2902,48 Bb	9,415	0,007
25	2282,17 Aa	2597,37 Ba	12,012	0,003
F	65,505	83,040		
Error	0,000	0,000		

Таблица 2 – Изменение Fe в зависимости от расстояния от источника выбросов и возраста хвои, мг/кг

Расстояние, км	1	2	F	Error
1	66,56 Ac	110,41 Ba	21,641	0,000
3	55,20 Ab	156,48 Bb	224,086	0,000
10	31,15 Aa	91,34 Ba	901,938	0,000
25	38,69 Aa	108,86 Ba	29,160	0,000
F	28,092	4,367		
Error	0,000	0,011		

В условиях аэротехногенных выбросов магнезитового производства основным элементом, концентрирующимся в хвое, является магний. Максимальные концентрации в хвое второго года жизни в зоне сильного загрязнения 4,5–4,1 г/кг абсолютного сухого вещества, соответственно. При сравнении эти данные с фоном, установлено, что содержание магния вблизи комбината в 1,8 раза выше – показательный результат воздействия аэротехногенного загрязнения. Многие авторы отмечают снижение концентрации магния в хвое на 2-ой год жизни [6–8], однако в нашем случае при магнезитовом запылении во всех зонах содержание магния увеличивается с возрастом.

Также была определена концентрация Mn в зависимости от расстояния и возраста хвои, а средние значения и значение F, полученные путем анализа дисперсии, частоты ошибок и группировок, сформированных в результате теста Дункана, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Элемент Mn в зависимости от расстояния от источника выбросов и возраста хвои, мг/кг

Расстояние, км	1	2	F	Error
1	40,95 Ab	77,78 Bb	28,326	0,000
3	65,52 Ac	100,52 Bc	62,199	0,000
10	28,18 Aa	48,10 Ba	13,131	0,002
25	95,42 Ad	169,47 Bd	81,932	0,000
F	172,674	72,060		
Error	0,000	0,000		

Установлено, что концентрация Mn была статистически значимой ($p < 0,001$). Однако трудно сказать, что существует линейная зависимость между расстоянием и концентрацией Mn в хвое, когда исследуются средние значения и группировки, сформированные с помощью теста Дункана, поскольку самое низкое значение определяется на 10 км, а самое высокое значение на 25 км в хвое 1-го и 2-го года жизни. В результате дисперсионного анализа было обнаружено, что изменения во всех расстояниях были статистически значимыми ($p < 0,01$ на расстоянии 10 км, $p < 0,001$ на других расстояниях) с точки зрения возраста хвои, между 5 и 1,9 раза. Концентрации железа в хвое не показали изменений с расстоянием, но изменения прослеживаются с возрастом, чем старше хвоя, тем больше накапливается железа на всех исследуемых участках. Сходные результаты были получены П. Г. Аминовым при изучении влияния на хвою сосны Карабашской ГТС [9].

В соответствии с результатами дисперсионного анализа было обнаружено (табл. 4), что изменение Ca в зависимости от расстояния было статистически значимым ($p < 0,01$) в хвое как 1, так и 2-го года жизни, и когда были исследованы средние значения и результаты теста Дункана, было обнаружено, что существует обратная зависимость между концентрацией Ca и расстоянием. В результате дисперсионного анализа было обнаружено, что изменения на всех расстояниях были статистически значимыми ($p < 0,001$) с точки зрения возраста хвои, а значения, определенные в двухлетней хвое, были в 1,9 раза – в 2,3 раза выше, чем те, что в

однолетней хвое. По мере увеличения возраста хвои, в ней возрастает содержание карбонатных и оксалатных соединений кальция. Установлено, что по мере старения клеток кальций концентрируется в вакуоли и связывается с элементами клеточных стенок [10].

Таблица 4 – Элемент Са в зависимости от расстояния от источника выбросов и возраста хвои, мг/кг

Расстояние (км)	1	2	F	Error
1	1298,71 Aa	2985,44 Ba	28,489	0,000
3	2002,73 Ab	4312,44 Bb	26,576	0,000
10	1992,97 Ab	4538,26 Bb	51,147	0,000
25	2451,64 Ab	4750,71 Bb	44,374	0,000
F	7,126	6,025		
Error	0,001	0,002		

Пониженное содержание марганца и повышенное содержание железа в хвое отмечено как реакция на присутствие поллютантов в растениях [9, 11].

Ряд авторов отмечают, что повышенное содержание кальция в зоне воздействия загрязнения приводит к снижению концентрации в хвое марганца, но способствует накоплению железа [12]. В нашем случае, такую закономерность мы выявили только в зоне среднего загрязнения на расстоянии 3 км от источника эмиссии. Железо в хвое накапливается с возрастом на всех опытных участках, что согласуется с данными других авторов [6, 9]. Связь накопления магния и железа в хвое выявлена во всех зонах, кроме ОУ-5/3.

Выводы. В условиях аэротехногенного загрязнения природной среды отходами магнезитового производства наиболее отрицательным фактором являются высокие показатели рН снеговой воды до 10,2 и почвы до 8,9, а также изменение химизма почв. Сравнительный анализ показал изменения содержания металлов в хвое и почве.

1) В условиях аэротехногенных выбросов магнезитового производства основным элементом, концентрирующимся в хвое и в почве, является магний. Максимальные концентрации в хвое второго года жизни в зоне сильного загрязнения – в 1,8 раза выше, чем в фоне. В этом заключается отличие закономерностей распределения магния в хвое по годам жизни в данных условиях, по результатам полученных в условиях других типов загрязнения, где содержание магния убывает с увеличением возраста хвои.

2) Содержание кальция в хвое возрастает с увеличением возраста хвои, однако в отличие от магния с увеличением техногенной нагрузки содержание кальция уменьшается в пять раз по сравнению с фоном. Содержание обменного кальция в почве также снижается с увеличением техногенной нагрузки.

3) Достоверно увеличивается также содержание железа в хвое с увеличением возраста хвои, но в целом с удалением от источника выбросов содержание железа уменьшается в хвое первого года и в почве.

4) Содержание марганца в хвое уменьшается, а в почве увеличивается с увеличением техногенной нагрузки. С увеличением возраста хвои содержание марганца увеличивается во всех зонах и загрязнения и особенно в фоне.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада Уральского отделения Российской академии наук и Университета Кастамону, факультет лесного хозяйства, кафедра лесоводства.

Список литературы

1. Кузьмина Н. А., Менщиков С. Л. Влияние аэротехногенных выбросов магнезитового производства на химический состав снеговой воды и почвы в динамике // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 6 (56). С. 192–195.

2. Лукина Н. В., Никонов В. В. Поглощение аэротехногенных загрязнителей растениями сосняков на северо-западе Кольского полуострова // Лесоведение. 1999. № 6. С. 34–41.
3. Shahid M., Dumat C., Khalida S., Schreck E., Xiong T., Nabeel N. K. Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake // Journal of Hazardous Materials. 2017. No. 325. P. 36–58.
4. Кулагин А. Ю., Гиниятуллин Р. Х., Уразгильдин Р. В. Средообразующая роль лесных насаждений в условиях Стерлитамакского промышленного центра. Уфа: Гилем, 2010. 106 с.
5. Биоиндикация: теория, методы, приложения / Г. С. Розенберг, С. В. Викторов, В. А. Терехова [и др.]; под ред. Г. С. Розенберга. Тольятти: ИЭВБ РАН, 1994. 266 с.
6. Казимиров Н. И., Волков А. Д., Зябченко С. С., Иванчиков А. А., Морозова Р. М. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.
7. Никонов В. В., Баскова П. А., Сизов И. И. Химический состав сосны на северном пределе распространения (Кольский полуостров) // Дендрологические исследования в Заполярье. Апатиты: КНЦ АН СССР, 1987. С. 62–75.
8. Скрипальщикова Л. Н., Днепровский И. А., Стасова В. В., Пляшечник М. А., Грешилова Н. В., Калугина О. В. Морфолого-анатомические особенности хвои сосны обыкновенной под влиянием промышленных выбросов города Красноярск // Сибирский лесной журнал. 2016. № 3. С. 46–56.
9. Аминов П. Г. Тяжелые металлы в хвое *Pinus sylvestris* в условиях градиентного аэрального потока загрязняющих веществ медеплавильного производства (Карабашская геотехническая система, Южный Урал) // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. 2009. № 8. С. 18–25.
10. Елпатьевский И. В., Аржанова В. С., Власов А. В. Взаимодействие растительности с потоком металлоносных аэрозолей // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л., 1985. С. 97–100.
11. Копылова Л. В. Аккумуляция железа и марганца в листьях древесных растений в техногенных районах забайкальского края // Известия Самарского научного центра РАН. Биологические ресурсы: флора. 2010. Т. 12, № 1(3). С. 709–712.
12. Медведев С. С. Физиология растений. СПб: БХВ-Петербург, 2012. 512 с.

**ЛЕСНАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ – ЭКОЛОГИЧЕСКИ
КОРРЕКТНЫЙ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЙ СПОСОБ ЛИКВИДАЦИИ НАКОП-
ЛЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ БИОЛОГИЧЕ-
СКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ**

Кулагин А. Ю.

Уфимский институт биологии УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

coolagin@list.ru

Ключевые слова: *лесная рекультивация, экологический риск, природопользование.*

Аннотация: *Техногенная трансформация окружающей среды имеет региональный характер. Лесная рекультивация нарушенных ландшафтов обеспечивает эффективную экологическую коррекцию, ликвидацию накопленного экологического ущерба и восстановление биологической продуктивности. Оценка устойчивости древесных растений к экстремальным природным и техногенным факторам является основой успешности работ по лесовосстановлению и защитному лесоразведению. Восстановление нарушенных ландшафтно-природных комплексов целесообразно выполнять с ориентацией на естественные процессы и региональные особенности. Этот подход позволяет минимизировать риски, сократить сроки рекультивации и существенно снизить финансовые затраты на природоохранные мероприятия.*

**REAFORESTATION OF DISTURBED LANDSCAPE IS AN ENVIRONMENTALLY COR-
RECT RESOURCE-SAVING METHOD TO REMOVE ACCUMULATED ENVIRONMENTAL
DAMAGE AND RESTORE BIOLOGICAL PRODUCTIVITY**

Kulagin A. Yu.

Ufa Institute of Biology of the UFRC RAS, Ufa, Russia

Key words: *reafforestation, environmental risk, nature management.*

Abstract: *Technogenic transformation of the environment has a regional character. Reafforestation of disturbed landscapes provides effective ecological correction, elimination of accumulated environmental damage and restoration of biological productivity. Assessment of the resistance of woody plants to extreme natural and man-made factors is the basis for the success of reafforestation and protective afforestation. Restoration of disturbed landscape and natural complexes should be carried out with a focus on natural processes and regional features. This approach makes it possible to minimize risks, reduce the time of reclamation and significantly reduce the financial costs of environmental protection measures.*

Введение. Производственная деятельность по добыче полезных ископаемых носит региональный характер, приводит к масштабной (в зависимости от запасов и длительности разработки месторождений) техногенной трансформации ландшафтно-природных комплексов (образование карьерно-отвалных комплексов, отстойников и пр.). Технологии разведки и разработки месторождений полезных ископаемых, добычи, обогащения руд и получения конечного продукта (металлов, строительных материалов и пр.) постоянно совершенствуются в части минимизации отрицательного воздействия на окружающую среду. При этом требования природоохранного законодательства ужесточаются [1]. Отличительной чертой современного этапа выступает формирование социально-экономической инфраструктуры в зоне разработки месторождений – строительство населенных пунктов, которые нередко преобразуются в моногорода [2].

Экстенсивное и интенсивное природопользование в последние десятилетия привели к значительной трансформации природных ландшафтов. Развитие добывающего, транспортно-го и перерабатывающего секторов промышленности привело к формированию территориально-промышленных комплексов. Анализ антропогенных нарушений в отдельных регионах свидетельствует о критических нагрузках на отдельные компоненты экологических систем [3].

Результаты исследований. Предуралье, Южный Урал и Зауралье представляют значительную по площади и разнообразию природно-климатических условий территорию. За последние 300 лет в данном регионе сформировался своеобразный полигон с выраженным действием комплекса природных и техногенных экологических факторов. Многолетние наблюдения за состоянием лесных насаждений и ретроспективный анализ позволяют прогнозировать состояние лесных насаждений. Показана экспертная и прогнозная эффективность, а также работоспособность концепций об экологической видоспецифичности, адаптациогенезе, адаптивном полиморфизме с использованием методов экологических аналогий, экологических экстраполяций и расчета. Эти подходы стали основой успешных работ по лесовосстановлению на отвалах горнодобывающей промышленности, в обезлесенных поймах рек, в санитарно-защитных лесных насаждениях промышленных центров [4, 5].

Естественные лесные экосистемы, лесные культуры и санитарно-защитные лесные насаждения выполняют средостабилизирующую функцию. Это проявляется в оптимизации микроклиматических условий, предотвращении распространения промышленных загрязнителей, выполнении аккумулялирующих функций по отношению к загрязнителям. Лесные насаждения создают условия для сохранения и восстановления биологического разнообразия в индустриальных центрах.

Проблема техногенной трансформации окружающей среды носит выраженный региональный характер. Эффективная экологическая коррекция, ликвидация накопленного экологического ущерба и восстановление биологической продуктивности возможна на основе учета специфики природно-климатических условий и техногенных нарушений. Современные подходы и нормативная документация с требованиями к организации и проведению рекультивации нарушенных земель учитывают основные проблемы, возникающие при реализации производственных программ и проектов, связанных с природопользованием, разработкой месторождений полезных ископаемых, переработкой сырья и организацией производства, сбором, переработкой и хранением отходов производства и потребления. На примере разработки месторождений полезных ископаемых показано, что происходит разрушение ландшафтно-природных комплексов, разрушение почвенного и растительного покровов, нарушение естественных биогеохимических циклов с проявлениями эффектов вторичного загрязнения окружающей среды (загрязнение поверхностных и грунтовых вод, загрязнение атмосферы и пр.) [6, 7].

Для отдельных территорий и месторождений полезных ископаемых характерна специфическая многолетняя динамика рекультивации нарушенных ландшафтов, а также специфика, степень успешности, отрицательный опыт рекультивации. Вопросы рекультивации нарушенных земель напрямую связаны с обеспечением достойных условий жизни людей и восстановлении структурно-функциональной целостности ландшафтно-природных комплексов. С учетом техногенной трансформации окружающей среды и ограничениями на сельскохозяйственное использование нарушенных земель, перспективной представляется лесная рекультивация с дальнейшим восстановлением биологической продуктивности.

Оценка устойчивости древесных растений к экстремальным природным и техногенным факторам является основой успешности работ по лесовосстановлению и защитному лесоразведению. Восстановление нарушенных ландшафтно-природных комплексов целесообразно выполнять с ориентацией на естественные процессы и региональные особенности. Такой подход позволяет минимизировать риски, сократить сроки рекультивации и существенно снизить финансовые затраты на природоохранные мероприятия.

Техногенная трансформация ландшафтов сопряжена с нарушением геохимического фона, нередко сопровождается вторичным загрязнением значительных территорий. При этом естественное восстановление экологических систем занимает длительный период времени и проходит все стадии восстановительной сукцессии. За последние десятилетия показано, что сельскохозяйственное направление рекультивации нарушенных земель и их возврат в хозяйственное использование приводит к увеличению потока техногенных, нередко токсичных химических элементов и соединений по пищевой цепи, звеном которой выступает человек. При этом экологическая коррекция антропогенно нарушенных территорий обеспечивает снижение техногенной нагрузки и оптимизацию социально-экономических условий жизни людей. Лесное направление в рекультивации техногенных ландшафтов обеспечивает формирование устойчивых длительно функционирующих и способных к самовосстановлению лесных экосистем. Основным преимуществом лесной рекультивации нарушенных в результате промышленной деятельности ландшафтов является включение в естественный биогеохимический круговорот токсичных компонентов и промышленных загрязнителей.

Благодарности. *Исследования проводились с использованием оборудования центра коллективного пользования «Агидель» в рамках выполнения плановых исследований по бюджетной теме Рег. № НИОКТР АААА-А18-118022190103-01 и при поддержке гранта Министерства образования и науки Республики Башкортостан НОЦ-РМГ-2021 «Создание методологических основ оценки баланса парниковых газов и определении потенциала депонирования углерода в экосистемах».*

Список литературы

1. Федеральный Закон Российская Федерация. Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (ред. от 26.03.2022) «Об охране окружающей среды».
2. Колесников Б. П. О научных основах биологической рекультивации техногенных ландшафтов // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск, 1974. С. 73–87.
3. Розенберг Г. С., Гелашвили Д. Б., Зибарев А. Г., Кулагин А. Ю., Латыпова В. З., Саксонов С. В., Салиева Р. Н., Усманов И. Ю., Хасаев Г. Р., Шляхтин Г. В. Мысли вслух о Федеральном Законе о реке Волге // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2019. Т. 28, № 1. С. 9–17.
4. Лесовосстановление на промышленных отвалах Предуралья и Южного Урала / А. А. Баталов, Н. А. Мартыанов, А. Ю. Кулагин, О. Б. Горюхин. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1989. 140 с.
5. Кулагин А. Ю., Тагирова О. В. Специфичность экологических условий Уфимского промышленного центра и динамика формирования листьев *Betula pendula* Roth // Известия Уфимского научного центра РАН. 2017. № 3(1). С. 94–98.
6. Прохорова Н. В., Матвеев Н. М., Павловский В. А. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Изд-во Самарского ун-та, 1998. 97 с.
7. Зверковский В. Н., Тупика Н. П. Биоэкологическое обоснование лесной рекультивации нарушенных земель // Биологическая рекультивация нарушенных земель. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. С. 112–125.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЕСНОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕРРИТОРИЙ, НАРУШЕННЫХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ: ПЕРСПЕКТИВЫ РЕКРЕАЦИОННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРЬЕРНО-ОТВАЛЬНОГО ЛАНДШАФТНО-ПРИРОДНОГО КОМПЛЕКСА КУМЕРТАУСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА (ЮЖНОЕ ПРЕДУРАЛЬЕ)

¹Кулагин А. Ю., ²Тагирова О. В.

¹Уфимский институт биологии УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия
coolagin@list.ru

²Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия
olecyi@mail.ru

Ключевые слова: карьерно-отвалный комплекс, лесная рекультивация, защита окружающей среды, рекреационное природопользование.

Аннотация: Лесная рекультивация карьерно-отвалных ландшафтов снижает отрицательные последствия и риски прямого и вторичного загрязнения прилегающих территорий, сельскохозяйственных земель и водных ресурсов. В результате естественных процессов водно-ветровой эрозии, просадки и химического выветривания отвалных грунтов складываются условия для успешного естественного возобновления древесных растений. Отмечается фрагментарное естественное возобновление *Pinus sylvestris* и *Larix sukaczewii* вблизи лесных культур на отвалах, которые вступили в генеративный возраст. Карьерно-отвалный комплекс Кумертауского бурогоугольного разреза в настоящее время становится территорией стихийной рекреации. Население посещает эти места с целью отдыха, а также сбора плодов, ягод, грибов. Оптимизация состояния ландшафтно-природного комплекса г. Кумертау, карьера и отвалов Кумертауского бурогоугольного разреза с целью использования в качестве рекреационной зоны является перспективным направлением в природопользовании.

REGIONAL FEATURES OF FOREST RECLAMATION OF TERRITORIES DISTURBED DURING THE DEVELOPMENT OF MINERAL DEPOSITS: PROSPECTS OF RECREATIONAL USE OF THE QUARTER-DUMP LANDSCAPE-NATURAL COMPLEX OF THE KUMERTAUS BROWN COAL SECTION (SOUTH PREURAL)

¹Kulagin A. Yu., ²Tagirova O. V.

¹Ufa Institute of Biology of the UFRC RAS, Ufa

²Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, Ufa

Key words: quarry-dump complex, forest reclamation, environmental protection, recreational nature management

Abstract: Reafforestation of dump landscapes reduces the negative consequences and risks of direct and secondary pollution of adjacent territories, agricultural lands and water resources. As a result of the natural processes of water-wind erosion, subsidence and chemical weathering of dump soils, conditions are formed for the successful natural renewal of woody plants. Fragmentary natural regeneration of *Pinus sylvestris* and *Larix sukaczewii* is noted near forest plantations on dumps that have entered the generative age. The quarry-dump complex of the Kumertau brown coal mine is currently becoming a territory of spontaneous recreation. The population visits these places for the purpose of recreation, as well as collecting fruits, berries, mushrooms. Optimization of the state of the landscape and natural complex of the city of Kumertau, the quarry and dumps of the Kumertau brown coal mine for the purpose of using it as a recreational zone is a promising direction in nature management.

Введение. Добыча и переработка полезных ископаемых носит выраженный региональный характер. При этом в течение десятков лет формируется производственный и социальный комплекс современного промышленного города. По окончании разработки месторождений остро встают вопросы поддержания городской инфраструктуры, трудовой занятости людей, рекультивации нарушенных ландшафтов и природопользования.

Результаты исследований. Особенностью разработки Кумертауского бурого угольного разреза является его расположение в экотоне лесостепной и степной зоны. В период с 1947 года в процессе разработки месторождения бурого угля сформировался современный г. Кумертау с населением около 60 тыс. человек и развитой социально-экономической инфраструктурой [1, 2]. Комбинат по добыче бурого угля был закрыт в 2009 году, а в результате техногенной трансформации природного ландшафта в зеленой зоне г. Кумертау образовался карьерно-отвалный комплекс (рис.).



Рисунок – Карта г. Кумертау, карьера и отвалов Кумертауского бурого угольного разреза

В 1980–1982 годы в период активной добычи бурого угля, разработки карьера, выполнения отсыпки вскрышных пород и формирования отвалов были проведены опытно-производственные работы по лесной рекультивации отвалов Кумертауского бурого угольного разреза [3]. В настоящее время лесные насаждения представлены следующими древесно-кустарниковыми породами: сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), лиственницей Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.), березой повислой (*Betula pendula* Roth), ивой белой (*Salix alba* L.), ивой трехтычинковой (*S. triandra* L.), ивой шерстистопобеговой (*S. dasyclados* Wimm.), ивой корзиночной (*S. viminalis* L.), облепихой крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.). В целом лесообразующие виды формируют насаждения III класса бонитета, относительное жизненное состояние насаждений (по В. А. Алексею) [4] оценивается как «здоровое» и «ослабленное». Следует отметить, что после прекращения производственной деятельности в результате естественных процессов водно-ветровой эрозии, просадки грунтов и химического вывет-

ривания складываются условия для успешного естественного возобновления древесных растений. Это наблюдается на примере широкого распространения облепихи на склонах различной экспозиции отвалов, березы на бортах карьера. Происходит фрагментарное естественное возобновление сосны и лиственницы вблизи лесных культур на отвалах, которые вступили в генеративный возраст.

Карьерно-отвальный комплекс Кумертауского буроугольного разреза в настоящее время становится территорией стихийной рекреации. Население посещает эти места с целью отдыха, а также сбора плодов, ягод, грибов. Кроме того, на отвалах, на открытых участках с сформировавшимся травяным покровом производится выпас скота. Специфика отвальных грунтов состоит в повышенном содержании стронция, что определяет необходимость ограничения хозяйственного использования данных территорий [5]. Лесные насаждения на территориях, нарушенных в результате добычи полезных ископаемых, снижают отрицательные последствия и риски прямого и вторичного загрязнения окружающей среды и прилегающих ландшафтов, сельскохозяйственных земель и водных ресурсов.

Заключение. Оптимизация экологических условий и снижение экологических рисков основана на ландшафтном картографировании, экологическом картографировании, учете природно-климатических условий и особенностей нарушений ландшафтно-природных комплексов. В качестве перспективного направления, обеспечивающего оптимизацию состояния ландшафтно-природного комплекса г. Кумертау, карьера и отвалов Кумертауского буроугольного разреза представляется перспективным проведение оценки и мониторинга состояния лесных насаждений города и прилегающих территорий. Использование карьера, который представляет бессточную котловину и успешно заполняется талыми и дождевыми водами, в качестве рекреационной зоны является перспективным направлением в развитии инфраструктуры активного рекреационного природопользования. Обоснование, разработка и реализация проектов по лесовосстановлению на отвалах, в санитарно-защитной зоне и зеленой зоне города рассматривается как система мероприятий по охране природы и природопользованию [6].

Благодарности. *Исследования проводились с использованием оборудования центра коллективного пользования «Агидель» в рамках выполнения плановых исследований по бюджетной теме Рег. № НИОКТР АААА-А18-118022190103-01.*

Список литературы

1. Башкирская энциклопедия / Под ред. М. А. Ильгамова. Уфа: ГАУН «Башкирская энциклопедия», 2015–2020.
2. Официальный сайт городского округа город Кумертау. URL: <https://www.admkumertau.ru/ru/> (дата обращения: 25.05.2022).
3. Лесовосстановление на промышленных отвалах Предуралья и Южного Урала / А. А. Баталов, Н. А. Мартыанов, А. Ю. Кулагин, О. Б. Горюхин. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1989. 140 с.
4. Алексеев В. А. Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. С. 38–54.
5. Кулагин А. Ю., Тагирова О. В. Экологическая реабилитация ландшафтов, нарушенных при разработке полезных ископаемых в лесостепной зоне (на примере отвалов Кумертауского буроугольного разреза // Степи Северной Евразии: Материалы VIII Междунар. симпозиума. Оренбург: ИС УрО РАН, 2018. С. 962–964.
6. Кулагин А. Ю., Тагирова О. В. Лесные насаждения Уфимского промышленного центра: современное состояние в условиях антропогенных воздействий. Уфа: Гилем, Башк. энцикл., 2015. 196 с.

РЕДКИЕ И ИСЧЕЗАЮЩИЕ ВИДЫ РАСТЕНИЙ СИБИРСКОЙ ФЛОРЫ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ БИОРАЗНООБРАЗИЯ НА ВСКРЫШНЫХ ПОРОДНЫХ ОТВАЛАХ В КУЗБАССЕ

Ламанова Т. Г., Шеремет Н. В., Доронькин В. М.

*Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, г. Новосибирск, Россия
tlamanova@yandex.ru*

Ключевые слова: редкие и исчезающие растения, интродукция, вскрышные отвалы, Кузбасс.

Аннотация: Впервые на коллекционном участке, созданном на свежих спланированных отвалах Кузбасса, проходили испытание 12 видов редких и исчезающих видов растений Сибири, относящихся к разным семействам, географическим, экологическим, поясно-зональным группам, жизненным формам, третичным реликтам черновой тайги Кузнецкого Алатау. Все изученные виды растений размножаются семенами или вегетативно, без применения особых агротехнических мероприятий. Характеризуются высокой жизнеспособностью, морозо- и зимостойкостью, дают самосев, поэтому их можно отнести к группе перспективных видов для оптимизации ландшафтов в промышленных и урбанизированных районах, а вскрышные породные отвалы могут стать новыми местообитаниями для интродукции редких и исчезающих видов растений Сибири. Важным условием успешной интродукции этих видов должна стать охрана рекультивированных территорий.

RARE AND ENDANGERED SPECIES OF THE SIBERIAN FLORA IN THE RESTORATION OF BIODIVERSITY ON OPEN-CUT SPOIL BANKS IN KUZBASS

Lamanova T. G., Sheremet N. V., Doronkin V. M.

Central Siberian Botanical Garden, SB RAS, Novosibirsk, Russia

Key words: biodiversity, rare and endangered plant species, open-cut spoil banks, Kuznetsk basin.

Abstract: As a result of multi-year observations of 12 species of vascular plants on the spoil banks it may be concluded that leveled opencut spoil banks in the Kuznetsk Basin can be used for cultivation of Siberian rare and endangered plants of different families, geographical, ecological and zonal groups, life forms, and tertiary relicts of coniferous taiga of Kuznetsk Alatau. All plant species studied propagate vegetatively and by seeds, without use of any agricultural techniques. They are characterized by high viability, winter and frost hardiness, and are self-seeding. Therefore, these plant species may be promising for optimization of landscapes in industrial and opencut spoil banks may become new habitats for introduction of Siberian rare and endangered plant species. Protection of reclaimed territories is important for successful introduction of such species.

Введение. Восстановление биологического разнообразия, как основы устойчивости биогеоценозов, на землях, нарушенных при добыче полезных ископаемых, является приоритетной задачей национальной политики многих государств в области экологии. Актуальна эта проблема и для России, являющейся важным поставщиком сырьевых ресурсов на мировые рынки. Основная добыча каменного угля в нашей стране производится в Кузбассе, являющимся крупнейшим угольным бассейном мира. В то время как площади нарушенных земель резко возрастают, площади местообитаний редких и исчезающих видов растений постоянно сокращаются. Одним из методов сохранения популяций редких и исчезающих видов растений является выращивание их на техногенных территориях. В 1989 г. сотрудниками ЦСБС СО РАН (г. Новосибирск) в рамках программы по разработке методов и проведению биологической рекультивации породных отвалов Кузбасса, на свежих спланированных отва-

лах были созданы коллекционный участок и агрофитоценозы, представленные монокультурами и травосмесями. Основой для создания коллекционного участка на отвалах послужил генофонд кормовых, лекарственных, пряно-ароматических, пищевых и, в том числе, 12 видов редких и исчезающих растений флоры Сибири, полученный в результате многолетних исследований сотрудниками интродукционных лабораторий ЦСБС. Впервые на отвалах в лесостепи Кузнецкой котловины проходили испытание редкие и исчезающие виды флоры Сибири, относящиеся к разным семействам, географическим, экологическим, поясно-зональным группам, жизненным формам.

Наблюдения на протяжении 33-летнего периода за структурой и продуктивностью созданных растительных сообществ показали, что на производственных площадях отвалов (125 га) были сформированы высокопродуктивные, устойчивые агрофитоценозы, созданные при минимальных затратах по экономически выгодной технологии.

Цель данного исследования – изучение особенностей развития редких и исчезающих видов растений сибирской флоры на техногенно нарушенных землях, и выявление возможности их выращивания при создании растительного покрова на вскрышных отвалах в лесостепи Кузнецкой котловины (юг Западной Сибири). Изучением возможности использования породных вскрышных отвалов для выращивания редких и исчезающих видов растений, занимались не только в нашей стране, но и за рубежом [1, 2].

Объекты и методы исследований. Наблюдения за состоянием и развитием растений, произрастающих на коллекционном участке, расположенного в 15 км к юго-западу от г. Новокузнецка, проводили ежегодно с 1989 г. по 2004 г., затем в 2013–2014 гг., 2021 г. по общепринятым методикам [3–6]. Участок создавался на отвалах разреза «Листвянский» в двух вариантах: 1) с нанесением скрепером плодородного слоя почвы мощностью 20 см и 2) посадки проводились непосредственно на спланированные отвалы. Общая площадь участка составляла 0,5 га, площадь каждой делянки 2 м². Отвалы были образованы четвертичными отложениями, представленными потенциально плодородными суглинками [7]. За изучаемый период на коллекционном участке прошли испытание более ста видов растений.

При отнесении видов растений к группе редких и исчезающих видов флоры Сибири руководствовались списками государственных и региональных Красных книг [8–12]. Названия растений приводятся по изданию «Флора Сибири» (1987–2003) [13]. Растения, выращиваемые на отвалах разреза «Листвянский», были собраны в естественных местах их произрастания в Западной и Средней Сибири.

Результаты исследований. Редкие и исчезающие виды растений, высаженные на отвалах (табл.), относятся к 10 семействам, 11 родам, 12 видам. По жизненным формам Раункиера [14] являются геофитами (33,3 %) и гемикриптофитами (66,7 %). Экологические группы растений, выделенные по отношению к увлажнению и почвенным характеристикам [15], представлены гигрофитами – 8,3 %, мезогигрофитами – 8,3 %, мезофитами – 25,0 %, мезопсихрофитами – 25,0 %, мезопетрофитами – 8,4 %, мезоксерофитами – 25,0 %.

Таблица – Высота генеративных побегов и продолжительность жизни редких и исчезающих видов растений Сибири на коллекционном участке, созданном на вскрышных отвалах в лесостепи Кузнецкой котловины

Виды	Высота генеративных побегов, см			Продолжительность жизни на делянках	
	На зональных почвах*	Коллекционный участок без нанесения ПСП	Коллекционный участок с нанесением ПСП	без ПСП	с ПСП
<i>Allium altaicum</i> (Респ. Алтай)	50,0–100,0	$\frac{48,6 \pm 3,0}{35-55}$	$\frac{49,3 \pm 5,2}{45-60}$	9 лет	9 лет
<i>Allium altaicum</i> (Респ. Тува)	50,0–100,0	$\frac{40,0 \pm 6,2}{30-55}$	$\frac{48,6 \pm 7,1}{25-60}$	9 лет	9 лет

<i>Alfredia cernua</i>	210,0–285,0	$\frac{225,0 \pm 25,0}{200-250}$	$\frac{157,5 \pm 31,3}{125-150}$	11 лет	14 лет
<i>Rhaponticum carthamoides</i> (Красноярский край)	65,0–130,0	$\frac{92,2 \pm 7,8}{60-135}$	$\frac{93,8 \pm 6,6}{70-120}$	>16 лет	>16 лет
<i>Rh. carthamoides</i> (Респ. Алтай)	65,0–130,0	$\frac{90,0 \pm 4,9}{70-120}$	$\frac{86,1 \pm 5,9}{60-110}$	>16 лет	>16 лет
<i>Rh. carthamoides</i> (Горная Шория)	65,0–130,0	$\frac{82,5 \pm 5,9}{50-100}$	$\frac{90,0 \pm 7,0}{60-120}$	>16 лет	>16 лет
<i>Rh. carthamoides</i> subsp. <i>chamarensis</i> (Респ. Бурятия)	75,0–110,0	$\frac{76,9 \pm 5,3}{50-100}$	$\frac{78,1 \pm 9,1}{35-110}$	>16 лет	>16 лет
<i>Campanula trachelium</i> (Кемеровская обл.)	90,0–122,0	70,0±8,8	$\frac{77,1 \pm 7,7}{40-120}$	>33 лет	>33 лет
<i>Sedum pallescens</i> (Читинская обл.)	30,0–75,0	–	$\frac{41,0 \pm 3,4}{30-60}$	–	14 лет
<i>Glycyrrhiza uralensis</i> (Новосибирская обл.)	89,5–158,0	$\frac{80,4 \pm 4,6}{50-110}$	$\frac{75,0 \pm 8,2}{60-130}$	>33 лет	>33 лет
<i>Iris pseudacorus</i> (Курганская обл.)	80,0	47	$\frac{52,5 \pm 4,8}{40-60}$	>33 лет	>33 лет
<i>Heimerocallis minor</i> (Респ. Алтай)	50,0–98,0	$\frac{63,7 \pm 6,1}{37-90}$	$\frac{70,0 \pm 2,2}{60-80}$	>16 лет	>16 лет
<i>Festuca gigantean</i> (Кемеровская обл.)	167,8±1,8	$\frac{119,2 \pm 6,7}{80-160}$	$\frac{107,7 \pm 8,2}{60-160}$	>16 лет	>16 лет
<i>Rheum altaicum</i> (Респ. Алтай)	15,0–60,0	–	$\frac{30,5 \pm 3,6}{20-35}$	>16 лет	>16 лет
<i>Paeonia anomala</i> (Кемеровская обл.)	92,0–107,0	80	$\frac{65,0 \pm 2,9}{60-70}$	>33 лет	>33 лет

Примечания: * – данные Г. П. Семеновой [19]; прочерк – элемент отсутствует.

По поясno-зональной принадлежности растения относятся к группам бореальной (25,0 %), лесостепной (25,0 %), высокогорной (16,8 %). Группы горностепная, степная, монтанная, водно-болотная включают по одному виду каждая и составляют в сумме 33,2 %.

Среди географических групп одним видом представлены южно-сибирская, общеазиатская, центрально-азиатская, восточноазиатская, эндемики Хамар-Дабана (41,5 %); двумя видами евразийская, евросибирская (33,4 %); тремя видами – североазиатская группа (25,1 %).

Среди исследованных видов представлена группа третичных реликтов черневой тайги Кузнецкого Алатау: *Alfredia cernua* (L.) Cass., *Campanula trachelium* L., *Festuca gigantean* (L.) Vill. [16]. А. А. Гроссгейм [17] и К. А. Соболевская [18] считают, что реликтовые виды обладают большим запасом индивидуальной изменчивости, биологически и экологически представляют собой группу, из которой можно черпать материал для культуры, не боясь вырождения и вымирания. Многолетние наблюдения за третичными реликтами на коллекционном участке показали, что эти виды растений сохраняют высокий жизненный потенциал и при переносе их в условия техногенных ландшафтов.

Продолжительность жизни большинства редких и исчезающих видов растений на коллекционном участке, составляет более 16 лет. Исключением являются лук алтайский (9 лет), *Al. cernua*, *Sedum pallescens* Freyn (14 лет) (табл.). Выявлены четыре вида растений, продолжительность жизни которых превышает 33 года: *C. trachelium*, *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. ex DC., *Iris pseudacorus* L., *Paeonia anomala* L.

На протяжении 16 лет наблюдений ежегодно цвели и плодоносили *C. trachelium*, *F. gigantea*. Большинство видов цвели и плодоносили 6–8 лет: *Allium altaicum* Pall.,

Rhaponticum carthamoides (Willd.) Pjin, *Rh. carthamoides* subsp. *chamarensis*, *G. uralensis*, *Hemerocallis minor* Mill., *S. pallescens*. Цвели и плодоносили 2–3, реже 3–4 года: *Al. cernua*, *Rheum altaicum* Losinsk, *I. pseudacorus*, *P. anomala*. Высота генеративных побегов у растений, выросших на отвалах, была близка высоте растений, выросших на интродукционных участках ЦСБС [19] (табл.).

На отвалах без нанесения плодородного слоя почвы лучше растут мезофиты *F. gigantea*, *C. trachelium*, *P. anomala* и мезоксерофит *G. uralensis*. При нанесении на отвалы плодородного слоя почвы мощностью 20 см увеличивается проективное покрытие мезогигрофита *Al. cernua*, гигрофита *I. pseudacorus*, мезопсихрофита *R. altaicum* и мезоксерофита *H. minor*. Одинаковое проективное покрытие и при нанесении ПСП, и без его нанесения у *Rh. carthamoides*.

Следуя шкале оценки интродукции Г. П. Семеновой [20], их можно отнести к группе перспективных видов как для выращивания в условиях ботанического сада, так и на вскрышных отвалах и использовать для оптимизации ландшафтов на территории Западной Сибири в индустриальных, урбанизированных районах Кузбасса. Вскрышные породные отвалы можно рассматривать в качестве новых местообитаний для интродукции редких и исчезающих видов растений Сибири. Важным условием для их успешной интродукции должна стать охрана рекультивированных территорий.

Выводы. При проведении биологического этапа рекультивации на отвалах в лесостепи Кузнецкой котловины есть несколько возможностей использования редких и исчезающих видов растений:

1) В состав серийных сообществ, созданных на отвалах, можно включать *C. trachelium*, *G. uralensis*, *I. pseudacorus*, *P. anomala*.

2) Создавать искусственные сообщества из редких и исчезающих видов растений на свободных участках отвалов, удаленных от злаковых фитоценозов или включать их в агрофитоценозы, в которых нет растений с ярко выраженными эдификаторными свойствами.

3) В настоящее время вскрышные отвалы в Кузбассе примыкают вплотную к городам и поселениям, а иногда даже к школам. В этих случаях при создании на основе ландшафтного дизайна зон отдыха на отвалах можно использовать, в том числе и редкие виды растений. В качестве примера можно привести эколого-познавательный центр «Эдем» в Великобритании, который создан в карьере, образовавшемся при добыче угля.

Список литературы

1. Piekarska-Stachowiak A., Szary M., Ziemer B., Besenyei L., Woźniak G. An application of the plant functional group concept to restoration practice on coal mine spoil heaps // *Ecological Research*. 2014. V. 29. P. 843–853.
2. Tischew S., Baasch A., Grunert H., Kirmer A. How to develop native plant communities in heavily altered ecosystems: examples from large-scale surface mining in Germany // *Applied Vegetation Science*. 2014. V. 17. P. 288–301.
3. Серебряков И. Г. О методах изучения ритмики сезонного развития растений в стационарных геоботанических исследованиях // Уч. зап. Моск. пед. ин-та. 1954. № 37 (2). С. 3–20.
4. Бейдеман И. Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1974. 156 с.
5. Зайцев Г. Н. Фенология травянистых многолетников. М.: Наука, 1978. 150 с.
6. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах // Бюлл. ГБС АН СССР. 1979. С. 3–8.
7. Трофимов С. С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. 299 с.
8. Красная книга СССР. М.: Лесная промышленность, 1978. 459 с.
9. Редкие и исчезающие растения Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. 224 с.

10. Красная книга СССР: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных и растений: в 2 т. Изд. 2-е перераб. и доп. Т. 2. М.: Лесная промышленность, 1984. 480 с.
11. Красная книга РСФСР (растения). М.: Росагропромиздат, 1988. 590 с.
12. Красная книга Кемеровской области: в 2 т. Изд. 2-е перераб. и доп. Т. 1: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. Кемерово: Азия Принт, 2012. 206 с.
13. Флора Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1987–2003.
14. Raunkiaer C. The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography, being the collected papers of C. Raunkiaer. 1937.
15. Куминова А. В. Растительный покров Алтая. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-ния Акад. наук СССР, 1960. 450 с.
16. Положий А. В., Крапивкина Э. Д. Реликты третичных широколиственных лесов во флоре Сибири. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1985. 158 с.
17. Гросгейм А. А. Реликты Восточного Закавказья. Баку: Изд-во АзФАН, 1940. 43 с.
18. Соболевская К. А. Исчезающие растения Сибири в интродукции. Новосибирск: Наука, 1984. 220 с.
19. Семенова Г. П. Редкие и исчезающие виды флоры Сибири: биология, охрана. Новосибирск: Изд-во «ГЕО», 2007. 408 с.
20. Семенова Г. П. Интродукция редких и исчезающих растений Сибири. Новосибирск: Наука, 2001. 142 с.

**АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ КОМПОНЕНТОВ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА
ТЕРРИТОРИИ ШОРСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА
ЗА ПЕРИОД С 2016 ПО 2021 ГГ.**

^{1,2}Леухин И. В.

¹ФГБУ «Шорский национальный парк», Кемеровская область, Россия

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск,
Россия
ilia-leukhin@mail.ru

Ключевые слова: магнитная восприимчивость, загрязнение, Кузбасс, мониторинг, тяжёлые металлы.

Аннотация: В статье приводятся результаты пятилетней работы по анализу и мониторингу загрязнённости (2016–2021 гг.) снежного покрова и хвои сосны сибирской кедровой (*Pinus sibirica* Du Tour) с территории Шорского национального парка. Описываются основные методические подходы к изучению компонентов окружающей среды. Представлены данные по магнитной восприимчивости почв с изучаемой территории за 2021 г., приводится сравнение территории парка и городских почв. Путём статистического анализа обобщены сведения о содержании ряда химических элементов в хвое: В, Сd, As, Pb, Cu, Fe, Zn, Mn, F, Hg. Для снеготалой воды приводится статистический анализ по Mn, Cu, Pb, Zn. Дается оценка загрязнённости и динамика накопления химических элементов в исследуемых компонентах окружающей среды на территории Шорского национального парка. Установлены низкие значения суммарных индексов загрязнения в хвое и снеготалой воде.

**ANALYSIS OF POLLUTION OF THE COMPONENTS OF THE ENVIRONMENT IN THE
TERRITORY OF THE SHORIYA NATIONAL PARK FOR THE PERIOD FROM 2016 TO 2021**

^{1,2}Leukhin I. V.

¹FGBI «Shoriya national park», Kemerovo region, Russia

² National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Key words: magnetic susceptibility, pollution, Kuzbass, monitoring, heavy metals.

Abstract: In the paper showed the results of monitoring and the analysis of pollution some environmental components: of snow cover and needles of the Siberian cedar pine (*Pinus sibirica* Du Tour) from the territory of the Shoriya National Park. Research helds from 2016 to present. Presented the description of main methodological approaches to the study of environmental component. Data on the magnetic susceptibility of soils from the study area for 2021 are presented in comparison with urban soils Tashtagol city. Statistical analysis summarized information on the content of a number of chemical elements in needles: B, Cd, As, Pb, Cu, Fe, Zn, Mn, F, Hg. For snowmelt water, a statistical analysis is given for Mn, Cu, Pb, Zn. The pollution and the dynamics of the accumulation of chemical elements in the studied components of the environment on the territory of the Shoriya National Park are assessed. Into the researched components was defended low values of total pollution of studied elements.

Введение. В настоящее время государственный мониторинг на особо охраняемых территориях затрагивает лишь изучение протекания естественных процессов: фенологические наблюдения, учёт численности животных, изменения климата. В то время как протекание процессов миграции загрязняющих веществ изучается слабо и отрывочно.

Цель работы: изучение загрязнённости основных компонентов окружающей среды на примере территории Шорского национального парка.

Задачами исследования являются:

- 1) Анализ источников поступления поллютантов на рассматриваемую территорию.
- 2) Изучение динамики поступления загрязняющих веществ и их содержания в различных компонентах окружающей среды.
- 3) Сравнение показателей с санитарно-гигиеническими критериями оценки окружающей среды и определение ее состояния.

Характеристика исследуемой территории. Шорский национальный парк находится в Таштагольском районе Кемеровской области, парк расположен в уникальном природном регионе на юге Кузбасса – в Горной Шории. Ключевой особенностью природы Горной Шории является черневая тайга – особый вид высокопродуктивной тайги, отличающийся составом почв, лесорастительными условиями, наличием высокотравья и повышенной влажностью. Климат резко-континентальный: Среднемесячная температура воздуха в июле +19,2 °С; среднемесячная температура воздуха в январе -15,7 °С. Среднее годовое количество осадков – 818 мм [1].

Горная Шория издавна славилась своими природными богатствами: месторождениями железа и россыпным золотом. В настоящее время в Горной Шории разрабатывается ряд мелких месторождений золота и три крупных железорудных месторождения: Таштагольское, Шерегешское и Казское [2]. Помимо прочего источником поступления тяжелых металлов может служить мелкодисперсная пыль, образующаяся при сгорании каменного угля, которым отапливаются населенные пункты юга Кузбасса [3].

Расположение пробных точек на территории Шорского национального парка показано на рисунке 1.

Материалы и методы. Снежный покров отбирался во время достижения максимального влагозапаса: в феврале – марте. Отбор проводился шурфом на всю глубину за исключением пяти сантиметров приземного слоя, чтобы частицы почвы не загрязнили пробу. Снег растапливался при комнатной температуре, снеготалая вода изучалась методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой [4].

Пробы хвои отбирались в июне – июле вместе с пробами почвы. Хвоя исследовалась рядом методов [5], основным из которых стала атомно-абсорбционная спектроскопия, с помощью которой определили содержания тяжелых металлов.

Магнитная восприимчивость измерялась капнометром КМ-2 в Томском политехническом университете, основываясь на подходах, описанных А. А. Васильевым и Е. С. Лобановой [6]. При осуществлении пробоотбора и подготовки проб опирались на положения, изложенные в СП 47.13330.2016 [7].

Результаты исследований. Основой статистического анализа служили первичные аналитические данные о содержании химических элементов в снежном покрове в сравнении с ПДК в рыбохозяйственных водоемах и ПДК в питьевой воде. Индекс комплексного загрязнения (Z_c) решено рассчитывать по рыбохозяйственным ПДК, поскольку в акватории Шорского национального парка размножаются и обитают ценные виды рыб: Хариус сибирский (*Thymallus arcticus* Pallas, 1776), ленок тупорылый (*Brachymystax tumensis* Mori, 1930), таймень обыкновенный (*Hucho taimen* Pallas, 1773). Для хвои эталоном сравнения служили максимально допустимые уровни в кормах [4]. Магнитная восприимчивость приведена в сравнении с городскими почвами для большей наглядности.

Расчет индекса комплексного загрязнения проводился по формуле:

$$Z_c = \sum K_c > 1 / (n-1),$$

где Z_c – индекс полиэлементного загрязнения, K_c – коэффициент концентрации больше единицы, n – количество элементов, коэффициент концентрации которых больше единицы. Для оценки загрязненности хвои применялся аналогичный расчет.

Динамика поэлементного и комплексного индекса загрязнения снежного покрова приведена на рисунке 2.

Из графиков видно, что комплексный индекс загрязнения варьируется и имеет достаточно высокие значения за счет превышения ПДК по меди и цинку. Это может свидетельствовать о влиянии выбросов в атмосферный воздух промышленных предприятий юга Кемеровской области.

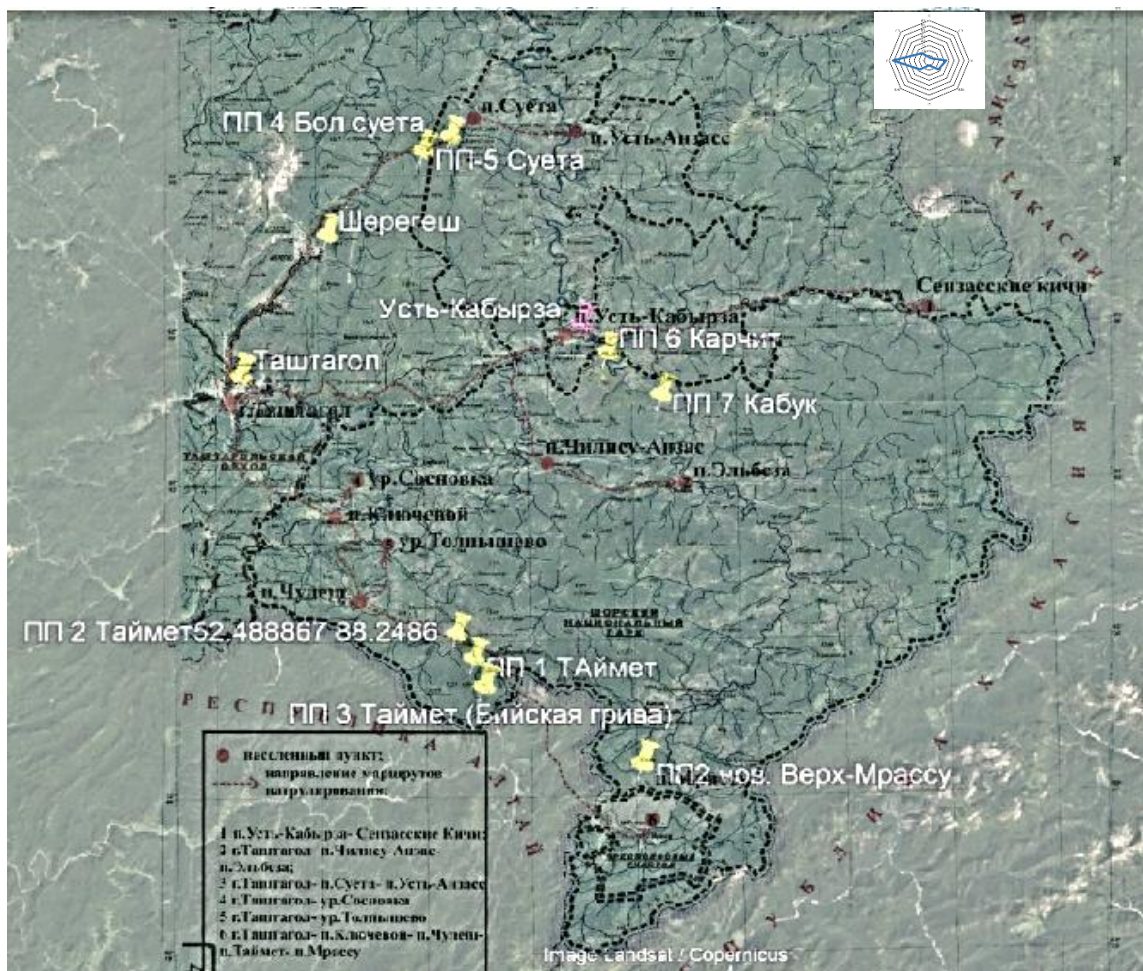


Рисунок 1 – Схема расположения точек отбора проб

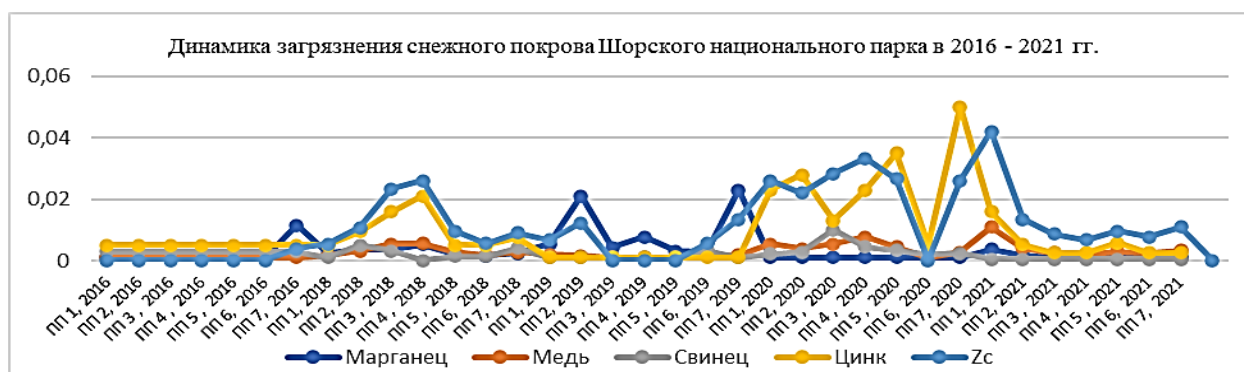


Рисунок 2 – Динамика загрязнения снежного покрова Шорского национального парка в 2016–2021 гг. (для удобства отображения Zc поделен на 100)

На рисунке 3 указаны содержания элементов в хвое и индекс комплексного загрязнения для хвои. Данные по магнитной восприимчивости почв приведены таблице.

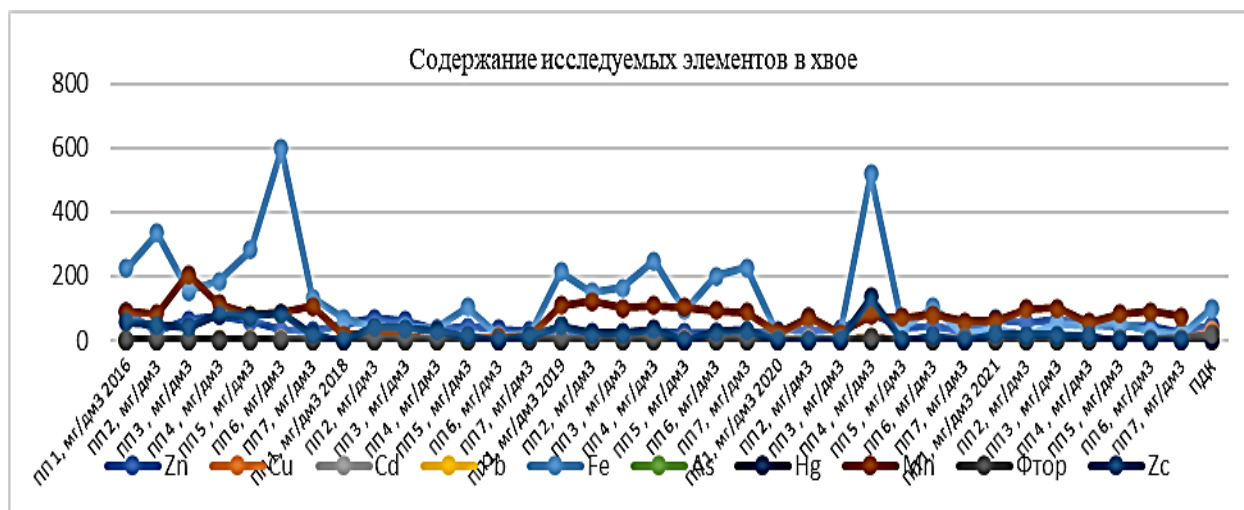


Рисунок 3 – Динамика накопления исследуемых элементов в хвое сосны сибирской кедровой на территории Шорского национального парка (для удобства отображения Zr умножен на 100)

Таблица – Данные по магнитной восприимчивости почв

№ п/п	Масса образца (г)	Удельная МВ на 100 г образца 10^{-5} СИ
ПП 1	75,358	0,796
ПП 2	80,356	0,137
ПП 4	72,485	0,345
ПП 5	77,198	0,181
ПП 7	63,151	0,317
Среднее по г. Таштагол	–	12,57

Заключение. Индекс комплексного загрязнения показывает невысокие значения даже по самым строгим критериям оценки (ПДК для рыбохозяйственных водоемов, а не для питьевой воды), что свидетельствует о низкой загрязненности изучаемых компонентов окружающей среды на рассматриваемой территории. Вместе с тем, само по себе загрязнение вызывает ряд вопросов, на которые предстоит ответить. К примеру, в течение, практически всего ряда наблюдений фиксируются высокие содержания меди в снеготалой воде, возникают очаги накопления цинка в хвое и снеге. Эти вопросы требуют более детального изучения с установлением фактора влияющего на поступление указанных металлов.

Благодарности. Автор выражает благодарность коллективу Шорского национального парка за всестороннюю помощь в проведении исследования, особо хочется отметить работу начальника отдела научно-исследовательской и эколого-просветительской деятельности Е. В. Дударевой. Автор благодарит сотрудников Томского политехнического университета, особо необходимо отметить зав. отделением геологии ИШПР, д. г.-м. н. профессора, Е. Г. Язикова за научное руководство и всестороннюю помощь в организации работы.

Список литературы

- Кадастровые сведения о Шорском национальном парке за 2017–2020 гг. Таштагол, 2020. 213 с.
- Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы кемеровской области (на 15.06.2020 г.) [Электронный ресурс]. <https://rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202011/b689bdea84fdb2a34e12d4e178eb3886.pdf>.
- Язиков Е. Г., Таловская А. В., Жорняк Л. В. Минералогия техногенных образований. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. 160 с.

4. ГОСТ 30692-2000 Межгосударственный стандарт корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Атомно-абсорбционный метод определения содержания меди, свинца, цинка и кадмия М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. 9 с.
5. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках (утв. Главным управлением ветеринарии Государственного агропромышленного комитета СССР 7 августа 1987 г.). 1987. 4 с.
6. Васильев А. А., Лобанова Е. С. Магнитная и геохимическая оценка почвенного покрова урбанизированных территорий Предуралья на примере города Перми. Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2015. 243 с.
7. СП 47.13330.2016 Свод правил «Инженерные изыскания для строительства». Основные положения. [Электронный ресурс]. <https://docs.cntd.ru/document/456045544>

**ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ
ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА СЕВЕРЕ
(РЕСПУБЛИКА КОМИ)**

*Лиханова И. А., Кузнецова Е. Г., Лаптева Е. М.
Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
г. Сыктывкар, Россия
likhanova@ib.komisc.ru*

Ключевые слова: Республика Коми, нарушенные земли, рекультивация, природовосстановление, технологическая карта.

Аннотация: Обсуждаются результаты многолетних исследований по разработке практических приемов и теоретической базы восстановления нарушенных земель, проводимых в Республике Коми. Отмечено, что для северных территорий в отличие от более южных районов комплекс восстановительных работ имеет свои особенности, обусловленные спецификой биоклиматических условий. На основе концепции «природовосстановления», согласно которой основной целью восстановительных работ на Севере становится формирование зональных экосистем или близких им по типу, разработан проект технологической карты. В карте предусмотрены различные варианты приемов восстановительных работ с учетом природных условий таежной и тундровой зон и типа нарушения. Карта позволяет стандартизировать работы по восстановлению нарушенных экосистем на Севере и избежать ошибок при их выполнении.

DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGICAL SCHEMES FOR RESTORATION OF DISTURBED LANDS IN THE NORTH (KOMI REPUBLIC)

*Likhanova I. A., Kuznetsova E. G., Lapteva E. M.
Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Syktyvkar, Komi Republic, Russia*

Key words: North, Komi Republic, disturbed lands, recultivation, nature restoration, technological scheme.

Abstract: The paper highlights the problem on disturbed lands restoration in the north-eastern part of European Russia (on the example of the Komi Republic). It includes a draft technological scheme developed on the basis of the 'nature restoration' concept. The concept means that the main goal of restoration work in the North is to form natural ecosystems of a zonal type. Structurally, the scheme consists of three interconnected sections. The first section includes a description of the bioclimatic conditions of the area where the technogenic object is located, its characteristics, and the principles of controlled succession. The second section indicates activities of the technical and biological restoration stages. The third section means monitoring the state of the restored ecosystem and managing the succession process. The technological schemes developed for a particular technogenic object will allow for standardizing the restoration activities of disturbed ecosystems and avoiding possible mistakes.

Введение. На севере России, в том числе, и в Республике Коми деятельность крупных горнорудных и нефтегазодобывающих предприятий приводит к загрязнению компонентов окружающей среды, нарушению земель. В условиях ускоренного разрушения природных экосистем под влиянием антропогенной деятельности особую актуальность приобретают исследования их восстановления [1].

В Республике Коми исследования по разработке практических приемов и теоретической базы восстановления нарушенных земель (рекультивации) начались с 70-х годов прошлого века. Было показано, что попытки использовать на Севере принципы и приемы рекультивации, разработанные для южных территорий и прописанные в ГОСТах, оказались практически неэффективными, так как они не учитывали специфику биоклиматических условий Севера, особенно территорий, входящих в состав Арктической зоны Российской Федерации.

В результате многолетних исследований на северо-востоке европейской части России сотрудников Сыктывкарского государственного университета [2], Института биологии Коми НЦ УрО РАН [3–7], Научно-исследовательского проектно-изыскательского института «Комимелиоводхозпроект» [8] и других организаций была создана теоретическая база восстановления посттехногенных территорий на Севере и разработан комплекс практических приемов. В качестве альтернативы традиционной рекультивации, направленной на возврат нарушенных земель в хозяйственное пользование, был предложен термин «природовосстановление» [4], который понимается как система мероприятий, способствующих ускорению восстановления на посттехногенных территориях зональных экосистем или близких им по типу.

Использование разработанных для тундровой и таежной зон рекомендаций, технологий и регламентов по теме восстановления нарушенных земель обусловили существенное улучшение качества рекультивационных работ, проводимых в последние два десятилетия на территории Республики Коми. Технический этап рекультивации, как правило, включает уборку мусора, планировку, на нефтезагрязненных землях – их очистку, фрезерование, внесение биосорбентов и микробиологических препаратов. Биологический этап на нарушенных землях севера таежной зоны заключается, главным образом, в посадке древесных пород и посеве многолетних трав с внесением удобрений, в тундровой – посеве многолетних трав с внесением удобрений. Вместе с тем отсутствие стандартизированной схемы восстановительных мероприятий для различных биоклиматических зон и подзон республики с учетом исходных условий нарушенных территорий определяет значительное количество ошибок при проведении работ по их восстановлению.

По этой причине в настоящее время требуется обобщение и систематизация данных, касающихся восстановления нарушенных земель в разных природных условиях Республики Коми. Эти работы необходимы для подготовки рекомендаций, разработки технологических карт и их утверждения в качестве стандарта для территории республики. В технологических картах должен быть предусмотрен научно обоснованный алгоритм использования материалов, оборудования и приемов восстановления в зависимости от исходных характеристик восстанавливаемой территории. Подбор посадочного и посевного материала должен основываться на характеристике участка расположения техногенного объекта и данных о сукцессионных рядах восстановления на местообитаниях подобного типа. При разработке приемов улучшения субстрата необходимы данные о его свойствах и пригодности к биологической рекультивации. Требуется разработка и стандартизация критериев восстановления нарушенных земель, которые позволят надзорным органам адекватно оценивать проведенные мероприятия.

Результаты исследований. Ниже приведена разработанная нами структура технологической карты по восстановлению нарушенных земель с примерами в краткой форме для тундровой и таежной природных зон Республики Коми. Карту составляют три взаимосвязанных раздела (табл.).

Таблица – Технологическая карта (схема) восстановительных работ

1. Характеристика состояния посттехногенной территории и выбор направления восстановления нарушенных земель	
<i>Природные условия территории расположения техногенного объекта (с примерами для тундры и тайги)</i>	
Природная зона/подзона	Северная тундра / южная тундра / редколесные леса / северная тайга / средняя тайга / южная тайга.
Геоморфология	Виды рельефа: водораздельная равнина, гряда, холм, лощина, речная долина (пойма, терраса) и т. д.
Геология и гидрологические условия	Четвертичные отложения, опасные геологические процессы (карст, эрозия, заболачивание), уровень и состав подземных вод и др.
Почвы	Почвообразующие породы, тип почвы, мощность верхнего органо-аккумулятивного горизонта.
Растительность	Тундра: ерниковая, ивняковая, кустарничковая; лес: еловый, сосновый, лиственничный, березовый; болото: бугристое, верховое, переходное, низинное; луг и т. д.
<i>Характеристика нарушенной территории, выбор направление восстановления нарушенных земель</i>	
Тип объекта	Отвал / карьер / дорога / трасса трубопровода и т. п.
Карта-схема территории расположения объекта	Масштаб 1 : 2000 – 1 : 10000
Состояние почвенно-растительного покрова	Структура почвенно-растительного покрова, карты растительности и почв нарушенных участков и прилегающих к ним ненарушенных территорий.
Свойства субстрата/почвы	Физические параметры: гранулометрический состав (песчаный / супесчаный / суглинистый / глинистый), влажность (сухой / свежий / влажный / сырой / мокрый), температура и т. д.; химические: рН, содержание углерода, азота, калия, кальция, магния, фосфора и т. д.
Загрязнение субстрата/почвы	Наличие и характер загрязнения (нефтью /пластовыми водами / тяжелыми металлами и т. п.), концентрация загрязнителей (солей, нефтепродуктов, радионуклидов, тяжелых металлов, других поллютантов, патогенных микроорганизмов).
Пригодность субстрата к восстановлению почвенно-растительного покрова	Оценка пригодности (пригодные, малопригодные, непригодные). Выбор мер по улучшению свойств субстрата.
Направление восстановления нарушенных земель	Природовосстановление – формирование зонального (интразонального) или близкому к нему типа экосистемы.
Разработка опорной схемы управляемой сукцессии	Описание приемов создания искусственных экосистем, динамики компонентов экосистемы на каждой сукцессионной стадии.
Рельеф	Характеристика поверхности участка.
2. Организация и технология работ «интенсивной» стадии схемы практических приемов «природовосстановления»	
<i>Технический этап</i>	

Формирование рельефа	Планировка поверхности участка, формирование неоднородности рельефа (микрорельефа) для ускорения процесса восстановления.
Улучшение свойств субстрата	Очистка от загрязнений, использование потенциально плодородных пород, внесение минеральных и органических удобрений.
<i>Биологический этап</i>	
Формирование биотического компонента экосистемы	Посадка саженцев/сеянцев кустарниковых и древесных растений, посев семян местных/районированных видов трав.
Уход за формирующейся экосистемой	Подкормки, дополнение посадок, подсев семян растений.
Обследование территории для оценки состояния почв и растительности	Контроль эрозионных процессов, отбор образцов почвы для химических анализов, геоботанические описания.
Составление и утверждение акта приемки и сдачи восстанавливаемой территории	На основании критериев оценки эффективности восстановительных работ: характеристика растительного покрова (структура, видовое богатство), почв (мощность органогенного горизонта, физико-химические свойства); наличие эрозии; показатели гидрологического (глубина залегания грунтовых вод) и температурного (глубина залегания мерзлоты) режимов и т. д.
3. Организация и технология работ «ассимиляционной» стадии схемы практических приемов «природовосстановления»	
Контроль состояния восстанавливаемой территории	Ежегодный мониторинг растительности и почв, гидрологического и термического режимов, наблюдения за соответствием восстановительного процесса схеме управляемой сукцессии.
Управление сукцессионным процессом для стимулирования желаемого направления	Дополнение посадок, уход за лесными культурами, подсев семян растений, приемы увеличения видового разнообразия, устранение последствий эрозии.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы НИР отдела почвоведения на 2022–2024 гг. «Криогенез как фактор формирования и эволюции почв арктических и бореальных экосистем европейского Северо-Востока в условиях современных антропогенных воздействий, глобальных и региональных климатических трендов», регистрационный номер: 122040600023-8.

Список литературы

1. Macdonald S. E., Landhausser S. M., Skousen J., Franklin J., Frouz J., Hall S., Jacobs D. F., Quideau S. Forest restoration following surface mining disturbance: challenges and solutions // *New Forests*. 2015. V. 46(5). P. 703–732.
2. Акульшина Н. П., Лобовиков Н. Н., Менгалимов Х. Я. Опыт фитомелиорации эродированных почво-грунтов на трассе магистрального нефтепровода Возей–Уса–Ухта // *Растительные ресурсы*. 1981. Т. XVII, вып. 2. С. 175–183.
3. Дегтева С. В., Симонов Г. А. Рекультивация земель на Севере // *Фиторекультивация отвалов отработанных россыпей в условиях Приполярного Урала*. Вып. 2. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1995. 40 с.

4. Арчегова И. Б. Эффективная система природовосстановления – основа перспективного природопользования на Крайнем Севере // Научные доклады Коми НЦ УрО РАН. Вып. 412. Сыктывкар, 1998. 12 с.
5. Восстановление земель на Крайнем Севере. Сыктывкар: Коми НЦ РАН, 2000. 152 с.
6. Лиханова И. А., Арчегова И. Б., Хабибуллина Ф. М. Восстановление лесных экосистем на антропогенно нарушенных территориях подзоны крайнесеверной тайги европейского северо-востока России. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 103 с.
7. Лиханова И. А., Ковалева В. А. Управляемое восстановление лесных экосистем на песчаных техногенных субстратах крайнесеверной тайги европейского северо-востока России // Вестн. Том. гос. ун-та. Сер. Биология. 2018. № 43. С. 174–195.
8. Экологические основы оптимизированной технологии восстановления нефтезагрязненных природных объектов на Севере / Г. М. Тулянкин [и др.]. Сыктывкар: Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН, 2007. 139 с.

СПЕЦИФИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ДЕПОНИРОВАНИЕ УГЛЕРОДА В ПРОЦЕССЕ ПЕРВИЧНОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Лиханова И. А., Кузнецова Е. Г., Холопов Ю. В., Денева С. В., Лаптева Е. М.
Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
г. Сыктывкар, Россия
likhanova@ib.komisc.ru

Ключевые слова: Республика Коми, средняя тайга, первичное почвообразование, гумусово-аккумулятивный горизонт, почвенный углерод.

Аннотация: Изучено первичное почвообразование на карьерах по добыче полезных ископаемых (строительного песка) в среднетаежной подзоне европейского северо-востока России (Республика Коми). Фоновыми послужили участки с ненарушенными лесными экосистемами в окрестностях карьеров. Исследовано развитие почв на субстратах разного гранулометрического состава (песчано-супесчаном, песчаном и суглинистом). Установлено, что процесс почвообразования функционально связан с формированием растительного покрова. Выявлены особенности образования гумусово-аккумулятивных горизонтов, накопления почвенного органического вещества. В автоморфных условиях скорость накопления $C_{орг.}$ в почве песчаного и песчано-супесчаных карьеров составляет 0,07–0,16, суглинистого – 0,37 т/га/год. В полугидроморфных и гидроморфных почвах скорость накопления $C_{орг.}$ возрастает до 0,53–0,60 т/га/год за счет консервации растительного материала в виде торфа. В верхней 20-сантиметровой толще профиля запасы $C_{орг.}$ в молодых почвах в несколько раз меньше по сравнению с фоновыми.

THE SPECIFICITY OF SOIL ORGANIC MATTER FORMATION AND CARBON SEQUESTRATION DURING PRIMARY SOIL FORMATION IN THE EUROPEAN NORTH-EAST OF RUSSIA

Likhanova I. A., Kuznetsova E. G., Kholopov Yu. V., Deneva S. V., Lapteva E. M.
Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Syktyvkar, Komi Republic, Russia

Key words: Komi Republic, middle taiga, primary soil formation, humus-accumulative horizon, soil carbon.

Abstract: The studies were carried out in the European North-East of Russia (Komi Republic) in the middle taiga subzone on the territory of building-sand quarries and in the background areas around. The study concerned the primary soil formation on different substrates (fluvioglacial sands and sandy loams, moraine loams and ancient alluvial sands). It analyzed the morphological structure of soil profiles, the main physical and chemical properties of mature and young soils. The authors formulated the principles of formation of humus-accumulative horizons and accumulation of soil organic matter. Under the automorphic conditions, the accumulation rate of $C_{орг.}$ in sandy and sandy-sandy loam soils of quarries was 0,07–0,16, in loam – 0,37 t/ha/year. Along with the increasing soil moisture content, we clearly saw the regularities being characteristic of background soils as an increasing content of silt fraction and carbon. The excessive soil water content increases the rate of $C_{орг.}$ accumulation up to 0,53–0,60 t/ha/year due to conservation of plant material in the form of peat. The reserves of $C_{орг.}$ in the upper 20-cm soil layer of young soils are less than those of background soils by several times. In case of well soil drainage, the leading soil formation processes are litter formation and podzol formation. In case of high soil moisture content, they are litter formation, gley and nodule formation. The excessive moisture content favors peat and gley

formation.

Введение. Почвообразование на начальных стадиях восстановления лесных экосистем на посттехногенных территориях привлекает внимание многих исследователей, поскольку позволяет изучать педогенез за сравнительно короткий срок – в первые десятки лет. Выявлено достаточно быстрое формирование молодых почв не только после рекультивационных мероприятий, но и при самовосстановлении. Выделены две основные группы процессов, участвующих в начальном почвообразовании: педогенное изменение минеральной части [1, 2] и процессы биогенной аккумуляции и трансформации органического вещества [3–5]. В отечественных и зарубежных работах [6, 7] показано, что состав органического вещества почвы на разных стадиях сукцессии во многом определяется видовым составом растительного сообщества.

Объекты и методы исследований. Наши исследования процесса первичного образования проводились в подзоне средней тайги (Республика Коми) на разных субстратах (флювиогляциальные пески и супеси, моренные суглинки и древнеаллювиальные пески) в ходе восстановительной сукцессии. Особое внимание обращалось на изучение особенностей формирования почвенного органического вещества. Объектами послужили три карьера по добыче полезных ископаемых (строительного песка) после их отработки, в качестве фоновых выбраны участки в окрестностях карьеров с ненарушенным почвенно-растительным покровом.

Результаты исследований. На территории двух карьеров – «Даса» (супесчано-песчаном) и «Важель-Ю» (суглинистом), расположенных в 4–5 км от г. Сыктывкар, около 20 лет назад была проведена биологическая рекультивация. Почвы на фоновых участках: вблизи карьера «Даса» в сосняке бруснично-зеленомошном – подзол иллювиально-гумусово-железистый, вблизи карьера «Важелью» в сосново-еловом травяно-чернично-зеленомошном лесу – почва подзолистая грубогумусовая потечногумусовая.

Третий карьер «Язель» (песчаный) находится в 35 км от г. Сыктывкар на боровой террасе р. Вычегды с мощными древнеаллювиальными песками. Здесь в ходе самовосстановительной сукцессии около 50 лет формируются сосняки. Планировка поверхности днища карьера в пределах его контура после окончания антропогенного воздействия не проводилась, что обусловило неоднородность рельефа (перепад высот от 80 до 86 м над ур. м) и соответственно наличие различных экотопов. Это позволило провести наблюдения за формированием почв на субстратах, различающихся между собой условиями увлажнения. На фоновой территории почвы в ряду возрастания гидроморфизма занимают следующие позиции: подзол иллювиально-железистый под сосняком лишайниковым → подзол иллювиально-железистый глееватый под сосняком зеленомошным → торфяно-подзол глеевый под сосняком сфагновым → торфяная олиготрофная почва сфагнового верхового болота.

Рекультивационные мероприятия на территории карьеров «Даса» и «Важель-Ю» после их отработки были проведены с использованием 2-летних семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). К концу второго десятилетия сукцессии высота сосны на обоих карьерах составила 5–7 м при сомкнутости крон 0,4–0,5 и густоте 2,3–2,9 тыс. шт./га. В напочвенном покрове появились лесные травянистые виды и мохообразные, уменьшилось проективное покрытие растений под кронами, что свидетельствует об усилении эдификаторной роли сосны. Наиболее активную роль в формировании растительных сообществ играют местные виды-апофиты. Формирование почвы на карьерах неразрывно связано с процессом восстановления растительности. Во втором десятилетии формирующиеся на карьерах «Даса» и «Важель-Ю» почвы можно отнести к отделу слаборазвитых. В автоморфных условиях на песчано-супесчаном субстрате – это псаммозем гумусовый грубогумусированный оподзоленный глееватый, на суглинках – пелозем гумусовый грубогумусированный элювиированный глееватый. В профиле почв под подстилкой выделяется гумусово-слаборазвитый горизонт. Его мощность на песчано-супесчаном карьере составляет около 3 см, на суглинках – до 5 см.

Накопление органического вещества на песчано-супесчаном субстрате происходит менее активно по сравнению с суглинком в связи со слабым формированием напочвенного покрова, обусловленного в свою очередь низким содержанием мелкодисперсных частиц. К концу второго десятилетия в слое 0–20 см песчано-супесчаных почв аккумулируется до 2,7 т/га органического углерода, суглинистых – 6,3 т/га. Скорость накопления $C_{орг}$ в почве песчано-супесчаного карьера достигала 0,16, суглинистого – 0,37 т/га/год. В составе почвенного органического вещества отмечены по сравнению с подзолистыми почвами фоновых участков более высокое содержание водорастворимых и лабильных компонентов гумуса, низкая степень конденсированности гуминовых кислот.

Минеральная часть формирующихся почв на обоих карьерах преобразована незначительно: во втором десятилетии сукцессии отмечены слабо выраженные процессы элювиирования и иллювиирования, о чем свидетельствовали морфологические признаки (наличие в верхнем слое белесых отмытых кварцевых зерен) и перераспределение фракции физической глины в профиле.

На песчаном субстрате карьера «Язель» с первых лет самовосстановительного процесса начинается внедрение сосны обыкновенной и к пятому десятиетию в автоморфных условиях формируется сосняк лишайниковый. Высота сосны 2–3 м при сомкнутости крон <0,1 и густоте 0,5–0,6 тыс. шт./га. В ходе сукцессии изменение субстрата в основном затрагивает верхние несколько сантиметров в связи с началом обособления подстилки и гумусово-слаборазвитого слоя. Подстилку мощностью до нескольких миллиметров образует опад из хвои, листьев, отмерших остатков лишайников. Под подстилкой выделяется гумусово-слаборазвитый органоминеральный горизонт мощностью до 2 см. Ниже минеральная часть профиля дифференцирована слабо. Почва – псаммозем гумусовый оподзоленный глееватый.

К концу четвертого десятилетия в слое 0–20 см песчаной почвы под сосняком лишайниковым аккумулируется до 4,5 т/га органического углерода. Скорость накопления $C_{орг}$ составляет 0,07 т/га/год, что ниже в 2 раза скорости накопления $C_{орг}$ в почве под сосняком лишайниковым, формирующимся на флювиогляциальных песчано-супесчаных отложениях в условиях управляемой сукцессии (после лесной рекультивации карьеров).

На территории карьера «Язель» почвы в ряду увеличения увлажнения (от автоморфных условий к гидроморфным) к пятому десятиетию самовосстановительной сукцессии можно расположить следующим образом: псаммозем гумусовый оподзоленный глееватый под сосняком лишайниковым → псаммозем гумусовый оподзоленный глееватый под сосняком полиево-политриховым → псаммозем гумусовый грубогумусированный оподзоленный глееватый под сосняком мертвопокровным → псаммозем глеевый иловато-перегнойный потечно-гумусовый под осоковником.

С возрастанием гидроморфизма в почвах отмечается увеличение запасов углерода в расчете на слой 0–20 см. Под сосняком лишайниковым запасы минимальны, они экспоненциально возрастают и достигают максимальных значений в почве осоковника – 25,2 т/га. Скорость накопления C минимальна в почве под сосняком лишайниковым. В почве под сосняком полиево-политриховым этот показатель составляет 0,19 т/га/год. В полугидроморфных и гидроморфных условиях карьера скорость депонирования значительно увеличивается: в почве сосняка мертвопокровного – до 0,53 т/га/год, в почве осоковника – 0,60 т/га/год.

В почвах карьера «Язель» в ряду увеличения гидроморфизма выявлены закономерности, характерные для фоновых почв: возрастание содержания илистой фракции, запасов углерода. По сравнению с фоном запасы углерода в формирующихся почвах карьера, как правило, в 2–5 раз меньше.

Заключение. Таким образом, в биоклиматических условиях таежной зоны европейского северо-востока России (Республика Коми) формирование почвенного органического вещества в процессе первичного почвообразования детерминировано особенностями состава формирующегося в ходе сукцессии растительного сообщества и условиями увлажнения (степенью гидроморфизма) почв.

Сравнительная характеристика формирования почв и растительности в ходе восстановительной сукцессии на различных техногенных субстратах показала, что на суглинках в связи с более благоприятными физико-химическими свойствами процесс их восстановления протекает значительно быстрее, чем на супесчано-песчаном и песчаном субстратах. Биологическая рекультивация, ускоряя сукцессию, способствует более интенсивному проявлению биогенно-аккумулятивных процессов в почвах по сравнению с почвами участков самозарастания. Уже во втором десятилетии после лесной рекультивации на карьерах формируются слаборазвитые почвы, в верхнем слое которых происходит накопление органического материала и соответственно элементов-биогенов.

По результатам исследований морфологического строения и физико-химических свойств почв установлено, что в дренированных условиях ведущими процессами являются подстилкообразование и подзолообразование, в условиях повышенной влажности – подстилкообразование, глее- и конкрециеобразование, избыточной влажности – оторфовывание и глееобразование.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы НИР отдела почвоведения на 2022–2024 гг. «Криогенез как фактор формирования и эволюции почв арктических и бореальных экосистем европейского Северо-Востока в условиях современных антропогенных воздействий, глобальных и региональных климатических трендов», регистрационный номер: 122040600023-8.

Список литературы

1. Трофимов С. С., Таранов С. А. Особенности почвообразования в техногенных экосистемах // Почвоведение. 1987. № 11. С. 95–99.
2. Соколов Д. А., Андроханов В. А., Кулижский С. П., Доможакова Е. А., Лойко С. В. Морфогенетическая диагностика процессов почвообразования на отвалах каменноугольных разрезов Сибири // Почвоведение. 2015. № 1. С. 106–117.
3. Махонина Г. И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. 356 с.
4. Абакумов Е. В., Гагарина Э. И. Почвообразование в посттехногенных экосистемах карьеров на северо-западе Русской равнины. СПб: Изд-во СПбГУ, 2006. 208 с.
5. Арчегова И. Б., Кузнецова Е. Г., Лиханова И. А., Панюков А. Н., Хабибуллина Ф. М., Виноградова Ю. А. Формирование лесных экосистем на посттехногенных территориях в таежной зоне. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2015. 140 с.
6. Emmer I. M. Humus form and soil development during a primary succession of monoculture *Pinus sylvestris* forests on poor sandy substrates. Amsterdam, 1995. 135 p.
7. De Kovel C. G. F, Van Mierlo A. J. E. M., Wilms Y. J. O., Berendse F. Carbon and nitrogen in soil and vegetation at sites differing in successional age // Plant Ecology. 2000. V. 149(1). P. 43–50.

**ВЛИЯНИЕ РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ
БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС У *LISTERA OVATA*
(ORCHIDACEAE) В УСЛОВИЯХ ЗОЛОТВАЛА**

*Малева М. Г., Чукина Н. В., Борисова Г. Г., Новиков П. Е.,
Раева Я. Ю., Воропаева О. В., Филимонова Е. И.*
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
maria.maleva@mail.ru

Ключевые слова: орхидея, азот, фосфор, зольный субстрат, биомасса, фотосинтез.

Аннотация: Исследовано влияние рекультивационных мероприятий на содержание биогенных элементов (азота и фосфора) в различных органах *Listera ovata* (L.) R. Br и зольных субстратах, а также на параметры роста редкого вида орхидеи и скорость ассимиляции CO₂. Проведена оценка общего количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в субстратах и способности ризобактерий к фиксации молекулярного азота и солюбилизации фосфатов. Отбор проб проводили на самозарастающем нерекультивированном и рекультивированном участках золоотвала Верхнетагильской ГРЭС (г. Верхний Тагил, Свердловская область). Рекультивация золоотвала способствовала не только увеличению микробиологической активности субстрата, улучшению его питательного режима, а, следовательно, повышению обеспеченности *L. ovata* макроэлементами, но и накоплению сырой надземной биомассы. Кроме того, скорость поглощения углекислоты в расчете на единицу площади листа и ассимиляционное число были достоверно выше у растений на рекультивированном участке. Сделано заключение, что рекультивационные мероприятия оказывают благоприятное влияние на продукционный процесс у *L. ovata*, что способствует ее успешной натурализации в трансформированной экосистеме.

**EFFECT OF RECULTIVATION ON BIOGENIC ELEMENT CONTENT
AND PRODUCTION PROCESS IN *LISTERA OVATA* (ORCHIDACEAE)
UNDER FLY ASH DUMP CONDITIONS**

*Maleva M. G., Chukina N. V., Borisova G. G., Novikov P. E.,
Raeva Ya. U., Voropaeva O. V., Filimonova E. I.*
Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Key words: orchid, nitrogen, phosphorus, fly ash substrate, biomass, photosynthesis.

Abstract: The influence of recultivation on the content of biogenic elements (nitrogen and phosphorus) in various organs of *Listera ovata* (L.) R. Br and fly ash substrates, as well as on the rare orchid growth parameters and the rate of CO₂ assimilation, was studied. Additionally, the total number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms in the substrates and the ability of rhizobacteria to fix molecular nitrogen and solubilize phosphates were evaluated. Sampling was carried out in a self-overgrowing non-reclaimed and reclaimed sites of the fly ash dump of the Verkhnetagilskaya Thermal Power Station (Verkhny Tagil, Sverdlovsk region). The reclamation of the fly ash dump contributed not only to the increase in the microbiological activity of the substrate and improvement in its nutritional regime, and, consequently, to the increase in the supply of *L. ovata* with macronutrients, but also to the accumulation of fresh aboveground biomass. In addition, the rate of carbon dioxide absorption per unit leaf area and the assimilation number were significantly higher in plants from the reclaimed site. It was concluded that recultivation activities have a beneficial effect on the production process in *L. ovata*, which contributes to its successful naturalization in the transformed ecosystem.

Введение. Представители сем. Orchidaceae Juss., произрастающие на территории Урала, в большинстве случаев относятся к редким и исчезающим видам растений, нуждающимся в дополнительной охране [1]. В то же время среди них встречаются виды, способные колонизировать техногенно измененные субстраты [2–4]. Так, например, в Свердловской области, являющейся одним из центров горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, на серпентинитовых отвалах после добычи асбеста, отвалах доломитового месторождения и мраморизированного известняка, а также на гидро- и золоотвалах обнаружено 11 видов семейства Orchidaceae, принадлежащих 8 родам, и 1 межвидовой гибрид [3]. Одним из таких видов является *Listera ovata* (L.) R. Br (син. *Neottia ovata* (L.) Bluff & Fingerh. или тайник овальный), обнаруженный на золоотвале Верхнетагильской ГРЭС (ВТГРЭС, г. Верхний Тагил, Свердловская область) [3, 4]. Этот редкий вид орхидеи (категория III), внесенный в Красные книги 34 регионов России, в том числе Свердловской области [1]. *L. ovata* – короткокорневищный поликарпик, мезофит, опушечно-лесной, европейско-западноазиатский бореально-неморальный вид [4].

Известно, что «чистые» зольные субстраты отличаются низкой микробиологической активностью, недостаточной обеспеченностью биогенными элементами, особенно доступным азотом, при избыточном количестве некоторых токсичных металлов, и неблагоприятными физико-химическими свойствами [5], поэтому процесс естественного самозарастания таких территорий существенно замедлен. Проведение рекультивационных мероприятий ускоряет формирование фитоценозов на золоотвалах. Цель работы – оценить содержание азота и фосфора в различных органах *L. ovata* и зольных субстратах, а также сравнить некоторые характеристики продукционного процесса в условиях нерекультивированного и рекультивированного участков золоотвала. Дополнительно была проведена оценка общего количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) в субстратах и выявлена способность ризобактерий к фиксации молекулярного азота и солюбилизации фосфатов.

Методы исследования. Отбор проб проводили на двух участках золоотвала ВТГРЭС: самозарастающем нерекультивированном (НРЗ, 57°20'46"N; 59°56'45"E) и рекультивированном (РЗ, 57°20'19"N; 59°56'30"E). Возраст растительного сообщества на НРЗ составляет около 35 лет. Фитоценоз характеризуется сомкнутостью крон деревьев в диапазоне 0,5–0,6. Суммарное проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составляет 20–25 %. На РЗ биологическая рекультивация была проведена в конце 60-ых годов прошлого века путем нанесения глины полосами шириной 8–10 м и толщиной 15–20 см [5]. Возраст данного сообщества составляет около 45 лет. Сомкнутость крон – 0,6–0,7, проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса – 35–40 %.

Отбор растений и ризосферных субстратов на исследованных участках проводили на протяжении 2-х лет (середина июля 2019–2020 гг.). С каждого участка было рандомно отобрано по 4 генеративных особи (на стадии цветения). Растения были аккуратно извлечены вместе с корневой системой и частью субстрата, помещены в отдельные стерильные пакеты для минимизации обезвоживания и доставлены в лабораторию, для дальнейшего анализа. КМАФАнМ в ризосферном субстрате определяли методом Коха [6]. Способность бактериальных изолятов к азотфиксации оценивали по их росту на безазотистой питательной агаризованной среде Эшби [6]. Солюбилизацию неорганических фосфатов изолятами определяли после инкубации в течение 10 суток на жидкой среде NBRIP [7]. Массовую долю щелочно-гидролизруемого азота в высушенных ризосферных субстратах изученных участков определяли по методу Корнфилда [8]. Содержание подвижного фосфора определяли в соответствии с ГОСТ Р 54650-2011 по методу Кирсанова. Анализ содержания биогенных элементов в наземной и подземной (корневища и корни) биомассе растений орхидеи проводили после мокрого озоления растительного материала смесью кислот: H_2SO_4 и $HClO_4$ (в соотношении 10:1). Определение общего азота проводили с помощью реактива Несслера, а общего фосфора – с молибдатом аммония в кислой среде [9]. Скорость ассимиляции CO_2 измеряли на пор-

тативном инфракрасном газовом анализаторе LI-6400XT («LI-COR», США) при насыщающей интенсивности света 1200 мкМ/(м² с), температуре в камере – 23 °С и влажности – 50 %.

Статистическую достоверность различий параметров оценивали с помощью непараметрического критерия Манна–Уитни при уровне значимости $p < 0,05$. В таблице и на рисунках представлены среднеарифметические значения и их стандартные ошибки. Звездочкой отмечены достоверные различия между участками.

Результаты и их обсуждение. Общее содержание ризобактерий (КМАФАнМ) в субстрате РЗ было на порядок выше, чем на НРЗ ($2,0 \times 10^6$ и $7,9 \times 10^5$ КОЕ/кг сухого субстрата, соответственно). При этом доля азотфиксаторов от общего количества ризобактерий на обоих участках была достаточно высокой и составляла 85 % для НРЗ и 92 % для РЗ.

Как известно, почвенный азот по степени доступности для растений подразделяется на три группы: первая представлена минеральными соединениями азота, служащими непосредственным источником питания растений. Ко второй группе относятся легкогидролизуемые органические соединения азота, минерализующиеся, в первую очередь, с образованием доступных для растений форм. И, наконец, основную часть составляют негидролизуемые органические соединения, с трудом поддающиеся минерализации [10]. Отличительной чертой летучей золы является очень низкое содержание всех форм азота [5]. Исследования показали, что рекультивация повышала содержание щелочногидролизуемого азота в зольном субстрате: на РЗ его количество было в 3,2 раза выше, чем на НРЗ (табл.). При этом по содержанию подвижного фосфора субстраты с исследованных участков золоотвала достоверно не различались.

Основными эндогенными факторами, определяющими продукционный процесс у растений, являются их ростовые характеристики и параметры газообмена [11]. При этом продукционный процесс также во много определяется и факторами внешней среды, такими как освещенность, влажность, температура. На накопление биомассы растением влияет также особенности минерального питания, а именно обеспеченность биогенными веществами, такими азот и фосфор, а также оптимальное соотношение макро- и микроэлементов в почве.

Оценка общего содержания биогенных элементов, в частности азота и фосфора, в различных органах *L. ovata* показала, что на РЗ накопление азота происходило более интенсивно (как в листьях, так и в подземной биомассе), в то же время как в стеблях и соцветиях достоверных отличий не наблюдалось (рис. 1, а). Фосфор в основном накапливался в надземных органах *L. ovata* на обоих участках золоотвала примерно в равной степени (рис. 1, б). Достоверные различия наблюдались только в случае подземной биомассы: на РЗ содержание фосфора было выше на 17 %. В целом накопление азота и фосфора в надземных и подземных органах орхидеи *L. ovata*, колонизирующей зольные субстраты, было на уровне средних значений для наземных растений в естественных условиях произрастания [12]. По-видимому, это связано с особенностями физиологии орхидей и их активном взаимодействии с ассоциативными почвенными микроорганизмами, повышающими доступность этих элементов.

Таблица – Содержание щелочногидролизуемого азота и подвижного фосфора в субстрате исследованных участков

Участки	Щелочногидролизуемый азот, мг N/кг субстрата	Подвижный фосфор, мг P ₂ O ₅ /кг субстрата
НРЗ	30,60±6,50	304,00±39,40
РЗ	96,60±16,80*	272,60±54,50

Отмечено, что рекультивационные мероприятия способствовали не только улучшению питательного режима зольного субстрата, а, следовательно, повышению обеспеченности растений *L. ovata* макроэлементами, но и накоплению сырой надземной биомассы (рис. 2, а). На РЗ сырой вес надземных органов орхидеи (особенно стеблей с соцветием) возрастал в среднем на 40 % по сравнению с растениями из НРЗ. Достоверных отличий по весу подземных органов обнаружено не было. Кроме того, наблюдались существенные различия по ве-

личине площади верхних и нижних листьев у *L. ovata*: на РЗ она была в 1,3 раза выше в сравнении с НРЗ (рис. 2, б).

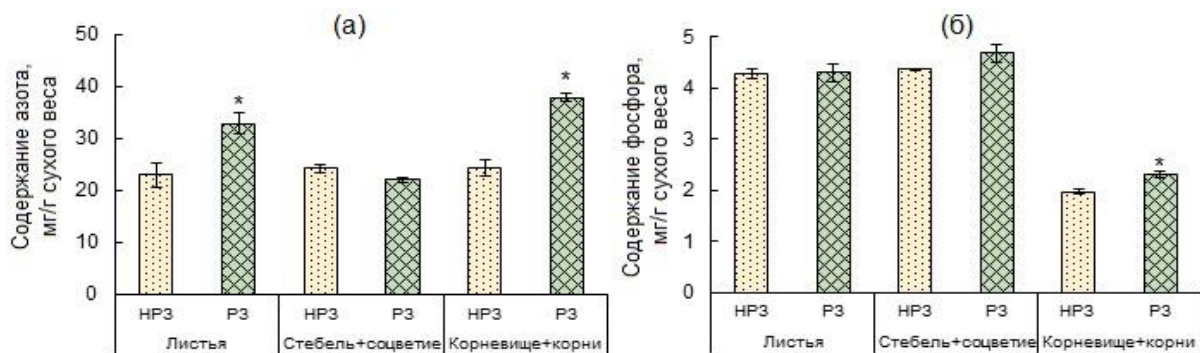


Рисунок 1 – Содержание общего азота (а) и фосфора (б) в различных органах *L. ovata* на некультивируемом (НРЗ) и культивируемом (РЗ) участках золоотвала ВТГРЭС

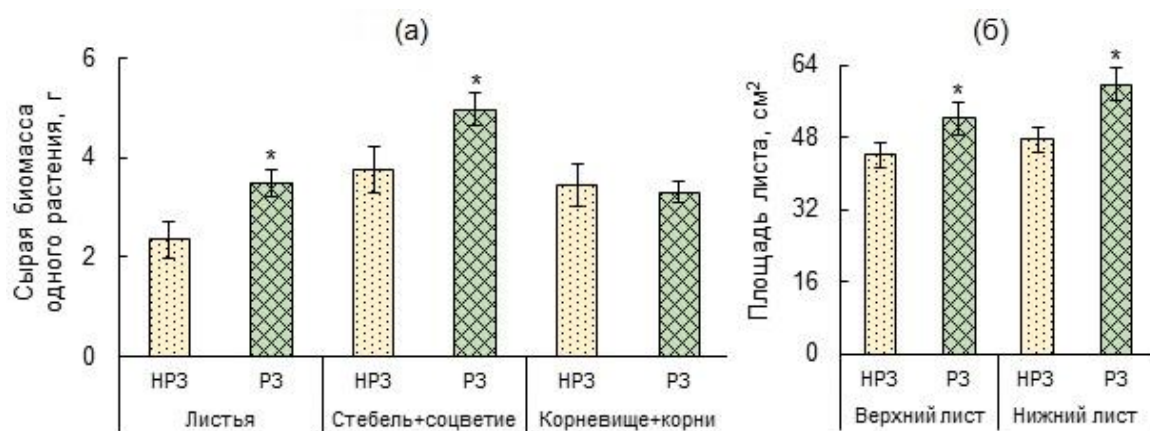


Рисунок 2 – Сырая биомасса (а) и площадь листьев (б) у *L. ovata* на некультивируемом (НРЗ) и культивируемом (РЗ) участках золоотвала ВТГРЭС

Фотосинтез является одним из главных процессов, обеспечивающих растения органическими веществами и энергией [12]. Скорость поглощения углекислого газа у *L. ovata* в расчете на единицу площади листа была в 1,3 раза выше на РЗ, по сравнению с НРЗ (рис. 3, а). Расчет ассимиляционного числа (моль CO_2 на моль хлорофилла в час) позволил оценить фотобиохимическую активность хлорофилла, которая также была выше на культивируемом участке (рис. 3, б).

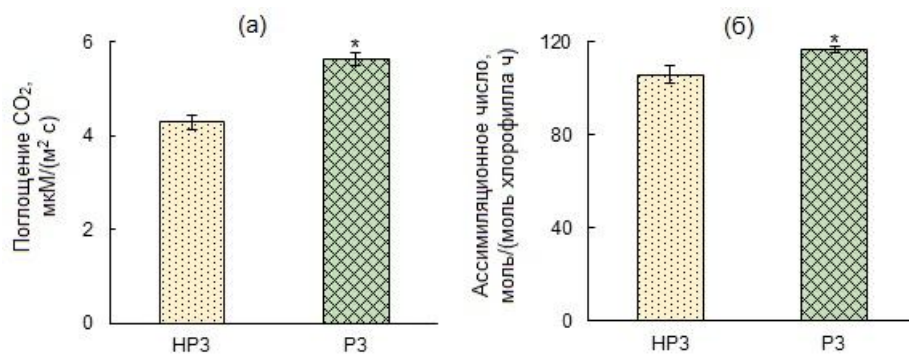


Рисунок 3 – Скорость поглощения CO_2 в расчете на единицу площади листа (а) и ассимиляционное число (б) у *L. ovata* на некультивируемом (НРЗ) и культивируемом (РЗ) участках золоотвала ВТГРЭС

Заключение. Участки золоотвала ВТГРЭС, особенно нерекультивированный, представлены малопродуктивным субстратом, содержащим низкое количество азота. Рекультивационные мероприятия ускоряют восстановление естественного растительного покрова за счет улучшения питательного режима субстрата и повышения микробиологической активности, что благоприятно отражается на продукционном процессе у орхидеи *L. ovata* и способствует ее успешной натурализации в трансформированной экосистеме.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Программы развития Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина в соответствии с программой стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Список литературы

1. Красная книга Свердловской области: животные, растения, грибы. Екатеринбург: ООО «Мир», 2018. 450 с.
2. Pavlović P., Mitrović M., Djurdjević L. An ecophysiological study of plants growing on the fly ash deposits from the «Nikola Tesla–A» thermal power station in Serbia // *Environmental Management*. 2004. V. 33(5). P. 654–663.
3. Филимонова Е. И., Лукина Н. В., Глазырина М. А. Орхидные на нарушенных промышленностью землях Урала // *Экология и география растений и растительных сообществ: Материалы VI Междунар. науч. конф.* Екатеринбург, 2018. С. 986–991.
4. Филимонова Е. И., Лукина Н. В., Глазырина М. А. Орхидные в техногенных системах Урала // *Экосистемы, их оптимизация и охрана*, 2014. Вып. 11. С. 68–75.
5. Экологические основы и опыт биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель / Т. С. Чибрик, Н. В. Лукина, Е. И. Филимонова, М. А. Глазырина. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2011. 268 с.
6. Нетрусов А. И., Егорова М. А., Захарчук Л. М. Практикум по микробиологии: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 608 с.
7. Методические указания по определению щелочногидролизующего азота по методу Корнфилда. М.: Центральный институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства МСХ СССР (ЦИНАО), 1985. 9 с.
8. Ribeiro C. M., Cardoso E. J. Isolation, selection and characterization of root-associated growth promoting bacteria in Brazil Pine (*Araucaria angustifolia*) // *Microbiological Research*. 2012. V. 167(2). P. 69–78.
9. Биохимия: практикум: учебно-метод. пособие // Г. Г. Борисова [и др.]; под общ. ред. Г. Г. Борисовой. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. 116 с.
10. Практикум по агрохимии / Б. А. Ягодин [и др.]. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.
11. Фотосинтез: Физиолого-экологические и биохимические аспекты: Учебник для студ. вузов // А. Т. Мокроносов, В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова; под ред. И. П. Ермакова. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 448 с.
12. Мусиенко Н. Н., Тернавский А. И. Корневое питание растений: Учеб. пособие. Киев: Выща шк. Головное изд-во, 1989. 203 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Мартынюк А. А., Коженков Л. Л., Жидков А. Н.

*Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, г. Пушкино Московской области, Россия
vniilm_martinuk@mail.ru*

Ключевые слова: осадки сточных вод, рекультивация отвалов, фосфогипс.

Аннотация: Изложены результаты научных исследований по разработке технологии рекультивации нарушенных земель, занятых полигоном складирования фосфогипса с использованием осадка сточных вод местных очистных сооружений в качестве искусственного плодородного почвогрунта. Дано описание основных технологических приемов и предложен ассортимент деревьев, кустарников и трав для облесения отвалов, создания растительного покрова на них. Разработанная технология позволяет снизить отрицательное влияние полигона на окружающую среду, решить проблемы утилизации осадков бытовых и промышленных сточных вод, накапливающихся на очистных сооружениях, что в целом обеспечивает улучшение экологической ситуации на территории.

THE USE OF SEWAGE SLUDGE FOR THE RECLAMATION OF TECHNOGENICALLY DISTURBED LANDS

Martyniuk A. A., Kozhenkov L. L., Zhidkov A. N.

*All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Pushkino,
Moscow region, Russia*

Keywords: sewage sludge, landfill reclamation, phosphogypsum.

Abstract: The results of scientific research on the development of technology for recultivation of disturbed lands occupied by a landfill for storing phosphogypsum using sewage sludge from local treatment facilities as an artificial fertile soil are presented. The description of the main technological techniques is given and an assortment of trees, shrubs and grasses for afforestation of dumps, creation of vegetation cover on them is proposed. The developed technology makes it possible to reduce the negative impact of the landfill on the environment, to solve the problems of disposal of domestic and industrial wastewater accumulating at sewage treatment plants, which generally improves the environmental situation on the territory.

Введение. Проблемы образования, складирования и утилизации промышленных отходов весьма актуальны, поскольку требуют неизбежного отчуждения продуцирующих земель, увеличивают опасность загрязнения окружающей природной среды и накопления экологического ущерба. На территории Российской Федерации в 2020 г. масса отходов на хранении достигла 2,9 млрд т, при этом за последний десятилетний период их объем увеличился на 75,8 % [1].

Одним из таких промышленных отходов является фосфогипс, который образуется при производстве минеральных фосфорных удобрений на базе экстракционной фосфорной кислоты путем сернокислотного разложения фосфатного сырья. Основной химический компонент (до 80–90 % состава) фосфогипса – сернокислый кальций (гипс – $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$), также присутствуют примеси соединений фосфора, тяжелых металлов, редкоземельных элементов. Фосфогипс относится к крупнотоннажным отходам, поскольку при получении 1 т фосфорной кислоты выходит, в среднем, около 5 т сухого дигидрата кальция. Из-за наличия большого количества неотмытых кислот, загрязненных фтором, стронцием и барием, а также ряда других неблагоприятных химических свойств, фосфогипс до настоящего времени склади-

руется в отвалах на специально подготовленных полигонах, которые не только требуют исключения из оборота хозяйственно-ценных земель, но и зачастую, вследствие загрязнения атмосферного воздуха, подземных и поверхностных вод, почвенно-растительного покрова вредными веществами, ухудшают экологическую обстановку промышленных территорий [2].

Объекты и методы исследований. Наши исследования проводились в Московской области на полигонах складирования фосфогипса, принадлежащих АО «Воскресенские минеральных удобрения».

Объектами работ являлись два полигона: один из них, более тридцатилетней давности отсыпки, естественным путем покрыт древесно-кустарниковой и травянистой растительностью; второй представлял собой отвалы 10–15 летней давности с сильноокислой реакцией субстрата ($pH_{KCl}=1,5-2,8$ единиц), практически полным отсутствием органического вещества ($C_{орг.}=0,14-0,17\%$) и растительного покрова.

Результаты исследований. Исследования, на «старом» полигоне показали, что естественный процесс его зарастания продолжителен и фрагментарен. Вследствие неблагоприятных для живых организмов свойств фосфогипса, заносимые ветром на полигоны складирования семена растений погибают, не давая всходов в течение первых 15 лет складирования. Эти особенности стали теоретической предпосылкой для разработки технологии, ускоряющей процесс зарастания отвалов путем их лесобиологической рекультивации.

Суть технологии состоит в том, что свежие отвалы фосфогипса, непригодные для произрастания растений, покрывают слоем искусственного почвогрунта из смеси осадка сточных вод (ОСВ) местных очистных сооружений и песка. На период исследований осадки сточных вод не находили рационального практического применения.

Использованные осадки представляют собой ил, осаждающийся из сточных вод при их очистке. В свежем виде это темно-серое или серо-бурое, вязкое вещество, имеющее неприятный гнилостный запах. Химический состав ОСВ колеблется в широких пределах. Многочисленные исследования показывают, что в ОСВ находится значительное количество элементов минерального питания растений. Например, содержание общего азота в различных видах осадков колеблется от 0,6 до 7 % сухого вещества (наибольшее количество отмечается в активном иле), а валового фосфора – от 0,3 до 8 % сухого вещества. Благодаря наличию органических и зольных веществ, ОСВ способны улучшать химические и физические свойства почв, повышая в них содержание органического вещества, улучшая влагоемкость, водопроницаемость и почвенную структуру, нейтрализуя кислотность, увеличивая емкость обмена катионов минерального питания растений, биохимическую и биологическую активность [2–4].

Технология рекультивации включает в себя следующие приемы: обследование территории; подготовка искусственного почвогрунта и покрытие им рекультивируемой площади бERM и склонов отвалов; выбор, приобретение и доставка посадочного и посевного материала; посадка саженцев деревьев и кустарников, посев семян растений на склонах и террасах отвала; уход за формируемыми зелеными насаждениями.

Покрытие поверхности искусственным почвенным субстратом (почвогрунтом) из смеси ОСВ и песка в пропорции 2:1 или 1:1 по объему производили после полной или частичной отсыпки отвала путем равномерного сдвигания бульдозером на склоны, образуя сплошной покровный слой толщиной 25–30 см на склонах и 15–20 см на горизонтальных поверхностях. Положительный эффект достигнут при смешивании ОСВ с золошлаковыми отходами, древесными опилками и другими местными материалами, а также при приготовлении компостной смеси с торфом или верхним гумусированным слоем почвы, небольшим количеством минеральных удобрений, прежде всего калийных (около 3–5 кг калийной соли на 10 т сухой массы осадка).

Экспериментальные испытания показали целесообразность использования смешанного зарастивания отвалов деревьями, кустарниками и травяно-моховым покровом. Для посадки рекомендовано применять 3–5-летние саженцы деревьев из лесных питомников (возмож-

но также использование естественного возобновления из лесных насаждений): осины (*Populus tremula* L.) или тополя серебристого (*Populus alba* L.), березы повислая (*Betula pendula* Roth), ивы козьей (*Salix caprea* L.), облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.), клена американского (*Acer negundo* L.), рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.). Из кустарников можно высаживать розу морщинистую (*Rosa rugosa* Thunb.), снежноягодник белый (*Symphoricarpos albus* (L.) S.F. Blake), дерен красный (*Cornus sanguinea* L.), бузину травянистую (*Sambucus ebulus* L.), спирею звероболистную (*Spiraea hypericifolia* L.), лох серебристый (*Elaeagnus commutata* Bernh. ex Rydb.), акацию желтую (*Caragana arborescens* Lam.).

Опыт проведения работ показывает, что на склоне отвала посадку следует начинать сверху вниз и производить горизонтальными рядами. Первый ряд саженцев высаживают на бровке, второй и следующие: через каждые 3–4 м вниз по склону, шаг посадки 1–2 м. Посадочные работы удобно выполнять бригадой из 3 человек: первый готовит посадочные лунки в слое осадка сточных вод; второй обеспечивает посадочный материал, временно размещенный на берме; третий погружает в посадочную лунку корни саженцев, засыпает их почвогрунтом и уплотняет его вокруг стволика саженца. Перед посадкой корни саженцев деревьев и кустарников необходимо окунуть в густую водную суспензию («болтушку»), приготовленную из смеси растительного грунта и осадков сточных вод.

Размещение саженцев по породам удобно производить отдельными посадочными рядами, чередуя ряды деревьев и ряды кустарников. На части склонов (с низкой приживаемостью деревьев и кустарников, с тонким (меньше 15 см) слоем осадка и т. п.) желательно делать подсадку деревьев и кустарников на месте погибших и подсев семян трав на оголенных участках поверхности.

После посадки на склоне аналогичные работы выполняются на горизонтальной поверхности бермы отвала. В целях лучшей приживаемости растений рекомендуется в первые дни производить их полив с помощью автоцистерны, который проводят методом дождевания сверху вниз по склону с бермы. Поливы могут потребоваться и впоследствии на протяжении вегетационного периода, в засушливую погоду. Однако опыт показывает, что, вследствие высокой гигроскопичности фосфогипса и сильной водоудерживающей способности осадков сточных вод, сильного пересыхания искусственного почвогрунта, как правило, не наблюдается.

Травянистый покров на покрытых искусственным почвогрунтом отвалах фосфогипса может формироваться за счет семян травянистых растений (лебеды раскидистой (*Atriplex patula* L.), сурепки (*Barbarea vulgaris* W. T. Aiton) и др.), которые, как показали исследования, содержатся в достаточном количестве в почвогрунте, приготовленном из осадков сточных вод. В результате этого зарастание рекультивируемых участков происходит быстро, начиная уже с первого года проведения работ. Возможен также налет семян трав с прилегающих территорий. При необходимости ускоренного залужения отвалов проводят искусственный посев семян разнотравья (кипрея волосистого (*Epilobium hirsutum* L.), одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* F. H. Wigg.), осота огородного (*Sonchus oleraceus* L.), пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.), мать-и-мачехи обыкновенной (*Tussilago farfara* L.), ноготков лекарственных (*Calendula officinalis* L.), нивяника обыкновенного (*Leucanthemum vulgare* Lam.)), а также злаков (овсяницы луговой (*Festuca pratensis* Huds.), вейника наземного (*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth), мятлика лугового (*Poa pratensis* L.)). Суммарная норма высева семян ориентировочно составляет не менее 50 кг/га.

В продолжение работ по совершенствованию технологии ускоренной лесобиологической рекультивации отвалов фосфогипса начаты исследования по возможности использования для этих целей саженцев с закрытой корневой системой, включая адаптивный посадочный материал сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) H. Karst.). На основе полученных данных можно сделать вывод, что по приживаемости и текущему линейному приросту наиболее приемлемые показатели отмечаются у лиственных пород (осины и дуба (*Quercus*)). Несмотря на незначительный прирост по высоте в вариантах

с сосной обыкновенной, в целом высаженные саженцы выглядят достаточно жизнеспособными.

Проект рекультивации полигона прошел все необходимые согласования, одобрен экологической экспертизой и активно реализуется заказчиком. Данный научно-производственный опыт можно тиражировать, рекомендуя для более широкого внедрения, поскольку в стране имеются значительные площади техногенно нарушенных земель, мало пригодных для естественного зарастания древесно-кустарниковой растительностью.

При разработке технологий рекультивации авторами было запатентовано несколько способов повышения плодородия почв [5–7], а экологический проект по рекультивации признавался важным для решения задач экологической безопасности и был удостоен награды губернатора Московской области по направлению «Ресурсосбережение и внедрение природоохранных технологий».

Список литературы

1. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М. В. Ломоносова, 2021. 864 с.
2. Лесобиологическая рекультивация полигонов складирования фосфогипса / А. А. Мартынюк, В. Н. Кураев, Л. Л. Коженков [и др.]. Пушкино: ВНИИЛМ, 2006. 120 с.
3. Мартынюк А. А., Кураев В. Н. Использование органических отходов в лесном хозяйстве. Пушкино: ВНИИЛМ, 2012. 126 с.
4. Жидков А. Н., Коженков Л. Л., Мартынюк А. А. Опыт совершенствования лесомелиоративных технологий рекультивации полигонов складирования вторичных материалов промышленности // Биологическая рекультивация нарушенных земель: Материалы X Всерос. науч. конф. с междунар. участием, г. Екатеринбург, 4–7 сентября 2017 г. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2017. С. 99–107.
5. Патент № 2186474 Способ облесения отвалов промышленных отходов / А. А. Мартынюк, Л. Л. Коженков, В. Н. Кураев. М.: Гос. реестр изобретений РФ., 2002. 6 с.
6. Патент № 2407261 Способ повышения плодородия лесных почв / А. А. Мартынюк, Л. Л. Коженков, В. Н. Кураев [и др.]. М.: Гос. реестр изобретений РФ., 2010. 8 с.
7. Патент № 2509457 Способ рекультивации отвалов и полигонов промышленных отходов / Е. В. Богач, В. Е. Миронов, А. А. Мартынюк [и др.]. М.: Гос. реестр изобретений РФ., 2014. 9 с.

СОСТОЯНИЕ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ УЧАСТКОВ, ПЕРЕДАННЫХ В ЛЕСНОЙ ФОНД МИНЛЕСХОЗА

¹Машков И. А., ¹Потапенко А. М., ¹Толкачева Н. В., ²Митин Н. В.

¹Институт леса НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь
formelior@tut.by

²Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, г. Гомель, Беларусь
mitin9@mail.ru

Ключевые слова: торфяники, гидромелиорация, деградация, почвы, лесные насаждения.

Аннотация: в настоящее время большинство гидроресомелиоративных систем республики находятся в нерабочем состоянии и представляют собой заболоченную и естественно зарастающую древесно-кустарниковой растительностью местность. В то же время в лесное хозяйство передаются выработанные мелиорированные торфяные участки. Таких торфяников только 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. Интенсивное сельскохозяйственное и промышленное использование осушенных торфяных почв сопровождается сокращением их площади, изменением качественного состава, ускоренным разложением органического вещества, что в дальнейшем приводит к разрушению всего торфяного слоя.

TRANSFERRED TO THE FORESTRY FUND OF THE MINISTRY OF FORESTRY

¹Mashkov I. A., ¹Potapenko A. M., ¹Tolkacheva N. V., ²Mitin N. V.

¹Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus

²Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus

Key words: peatlands, hydro-reclamation, degradation, soils, forest plantations.

Abstract: currently, most of the hydroforestry systems of the republic are inoperable and represent a swampy and naturally overgrown with woody and shrubby vegetation area. At the same time, the developed reclaimed peat plots are transferred to forestry. Only for the period from 2008 to 2018 inclusive, 1550,7 hectares of such peatlands were transferred, withdrawn from agricultural turnover and 4444,5 hectares of developed peat deposits from industrial enterprises. The peatlands transferred to the forest fund are characterized as low-productive and inefficiently used peat lands in agriculture. Intensive agricultural and industrial use of drained peat soils is accompanied by a reduction in their area, a change in the qualitative composition, accelerated decomposition of organic matter, which further leads to the destruction of the entire peat layer.

Введение. 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 результате гидромелиорации и последующего сельскохозяйственного использования торфяники интенсивно разрушаются минерализацией органического вещества торфа, а почвы со временем полностью деградируют [1]. В Республике Беларусь площадь деградированных торфяников в 2000 году составляла 190,2 тыс. га. За 5 лет она увеличилась до 217,4 тыс. га и по предварительным расчетам к 2020 г. составила 325,6 тыс. га [2–4].

В настоящее время в лесном фонде Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь (далее – Минлесхоз) насчитывается 304,0 тыс. га осушенных земель, из них 95,4 тыс. га находится в стадии заболачивания, а 79,3 тыс. га списаны по причине неэффективной работы мелиоративных систем.

В Беларуси наиболее существенное влияние на природу, оказала гидротехническая осушительная мелиорация болот, проведенная в период с 1950 по 1990 гг. Планирование осушения и использования болот, проходило без достаточной координации между различными ведомствами. Отдельно разрабатывались программы по мелиорации болот в сельском, лесном хозяйствах и для добычи торфа.

При промышленном и сельскохозяйственном использовании, обусловленном осушением болот или выработкой торфяного месторождения, нарушаются и прерываются все экологические функции. Интенсивно используемые торфяники преобразуются в антропогенно нарушенные территории, развитие которых определяется не естественными процессами, а антропогенными изменениями: осушением, выработкой торфа, вторичными воздействиями (пожары, минерализация, деградация).

В соответствии с Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 361 от 29 апреля 2015 г. «О некоторых вопросах предотвращения деградации земель (включая почвы)» [5] производится передача низко бальных (ниже 22 баллов) земель сельскохозяйственного назначения для ведения лесного хозяйства предприятиям Минлесхоза. Согласно принятых Постановлений [5, 6] 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.

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.

Объекты и методы исследований. 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.

В Республике Беларусь в настоящее время в силу экономических и ряда других причин лесоосушение практически не проводится. Большинство лесоосушительных систем либо вышли из строя, либо находятся в неудовлетворительном состоянии. При этом сведены к минимуму (или отсутствуют) объемы капитального ремонта и реконструкции лесоосушительных систем. Увеличиваются мелиорированные площади, нуждающиеся в проведении всех видов ухода и ремонта на каналах осушительной сети.

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 м (63 %) и менее 1 м (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 [7].

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 г. в лесном фонде Минлесхоза имелось 140,5 тыс. га выработанных торфяников.

Учитывая специфику торфяников, их подверженность к воздействию природных и антропогенного происхождения пожаров, первоочередной задачей возникла необходимость установления фактического состояния переданных торфяных участков и оценка степени их пожароопасности, определение по каждому переданному с 2008 г. в лесхозы участку торфяника, выбывшему из сельскохозяйственного оборота, или промышленной добычи торфа комплекс требуемых мероприятий по эффективному их использованию и обеспечению на них пожарной безопасности.

Результаты исследований. 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.

Пример оценки состояния переданных торфяников в лесной фонд приведен в таблице.

Таким образом, обследование переданных торфяных участков показало, что на их территории идет процесс естественного зарастания древесно-кустарниковой растительностью и заболачивание местности. Гидролесомелиоративная сеть не обслуживается и находится в нерабочем состоянии. Отмечается жизнедеятельность бобров.

Учитывая комплекс показателей, полученных при проведении исследований, были определены основные направления использования торфяных месторождений:

- сохранение в естественном состоянии болот, подлежащих особой и (или) специальной охране;
- сохранение торфяных месторождений и болот (их участков), включенных в фонд особо ценных видов торфа, и их использование для добычи верхового малоразложившегося торфа и битуминозного торфа для биотермохимической переработки, а также в качестве сырья для лечебных целей;

- использование торфяных месторождений (их участков), включенных в разрабатываемый фонд, для промышленной добычи торфа;
- использование торфяников, включенных в земельный фонд, для ведения сельского хозяйства, лесного хозяйства и других видов экономической деятельности;
- защита торфяников от пожаров.

Таблица – Фрагмент оценки состояния мелиорированных торфяных участков, переданных в лесхозы

Лесхоз	Лесничество	Остаток торфа, м	Общее описание состояния переданных участков
рановичский	Малаховское	0,8–1,0	Развиваются процессы повторного заболачивания. Участок зарастает тростником, ивой кустарниковой, березой и местами сосной. Мелиоративная сеть не обслуживается и находится в стадии заиления и зарастания каналов. В основном каналы зарастают ивой, тростником и камышом. На осушительной площади выявлены поселения бобров.
Барановичский	Родяловичское	0,3–0,8	Участки заболочены и заросли древесно-кустарниковой растительностью. Часть участка – сработанный до минерального грунта торфяник. Каналы заросли древесно-кустарниковой и травянистой растительностью. Мост на границе двух лесничеств через реку Бобрик. Мелиоративная сеть находится в аварийном состоянии. Отмечается жизнедеятельность бобров.
Ганцевичский	Ганцевичское	0,5–0,6	На всем участке идут процессы заболачивания местности. Территория в начальной стадии зарастания древесно-кустарниковой растительностью. В основном произрастает ива кустарниковая, береза. На части участка с полной минерализацией торфа созданы лесные культуры. Осушительные каналы заросли древесно-кустарниковой растительностью и находятся в нерабочем состоянии. На мелиоративной сети отмечается поселение бобров.
Лесхоз	Лесничество	Остаток торфа, м	Общее описание состояния переданных участков
Ивацевичский	Орлянское	0,5–1,0	Бывшая промышленная торфодобыча. На участках поросль березы высотой 1,5–2 м, в напочвенном покрове преобладает пушица, злаковые. Развивается подтопление и заболачивание территории. По границе проходит действующая узкоколейная железная дорога, на соседних участках продолжается торфоразработка.

Ляховичский	Ляховичское	1,5–2,0	Участок бывшей торфоразработки, зарастающий древесно-кустарниковой растительностью. Развиваются процессы подтопления и заболачивания территории. Участок в основном зарос ивовой кустарниковой, тростником и местами мелкой березой. Мелиоративная сеть зарастает ивой, тростником и камышом.
-------------	-------------	---------	---

Заключение. Проведенное исследование по изучению состояния мелиорированных торфяных почв, переданных из сельскохозяйственных угодий и после промышленной добычи, подверженных интенсивному антропогенному использованию показало, что долговременная выработка торфа может вызывать негативные экологические последствия с необратимыми процессами.

Происходящие в настоящее время климатические изменения и антропогенная нагрузка на мелиорированные торфяники и лесные болота, ведут к существенному сокращению их площади, изменению качественного состава почв в результате ускоренных процессов их деградации, вследствие биохимического разложения органического вещества. Все это усугубляет проблему формирования болот и накопления торфа и превращает торфяники в антропогенно преобразованные низко плодородные почвы.

Список литературы

1. Экологический бюллетень № 1 за 2008 г. Минск, 2008.
2. Стратегия сохранения и рационального (устойчивого) использования торфяников / утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 30.12.2015, № 1111. Минск. 11 с.
3. Козулин А. В., Тановицкая Н. И., Бамбалов Н. Н. Болота Беларуси: на пути к устойчивому использованию. Брест: [б. и.], 2017. 105 с.
4. Стратегия сохранения и рационального использования избыточно увлажненных земель лесного фонда Беларуси // Основные положения и план действий. Т. II. Минск, 2001. 75 с.
5. О некоторых вопросах предотвращения деградации земель (включая почвы) / Постановление совета министров Республики Беларусь от 29 апреля 2015 г. № 361 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docplayer.ru/35982366-O-nekotoryh-voprosah-predotvrashcheniya-degradacii-zemel-vklyuchaya-pochvy.html> (дата обращения: 21.01.2019).
6. 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.
7. Машканова А. С., Подхватилина С. С. Последствия антропогенного воздействия на состояние сельскохозяйственных земель в Республике Беларусь // Экология и управление. 2011. № 3. С. 120–125.

**ДИАГНОСТИКА НЕГАТИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И МЕТОДЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ**

¹Менщиков С. Л., ²Мухин В. А., ³Ташев А. Н.

¹Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

³Лесотехнический университет, г. София, Болгария

Ключевые слова: предтундровые леса, леса таежной зоны Урала, аэротехногенные выбросы, техногенное загрязнение, тяжелые металлы.

Аннотация. Нами проведены комплексные исследования воздействия аэротехногенного загрязнения на предтундровые леса на севере Центральной Сибири в районе г. Норильска и в очагах повреждения лесов таежной зоны Урала в районах 6-ти наиболее крупных промузлов. Физико-географические условия регионов играют значительную роль в специфике ответной реакции лесной среды на загрязнение. Установлено, что в более жестких природно-климатических условиях Субарктики на севере Сибири в районе Норильска масштабы и глубина деградации лесной растительности под воздействием аэротехногенного загрязнения значительно больше, чем в регионе Урала. Темпы деградации древостоев в районе Норильска были в 3-8 раз выше, чем на Среднем Урале. В таежной зоне Урала границы очагов повреждения лесов формировались в течение 30-50 лет после начала деятельности промышленных предприятий и пространственная структура их в основном стабилизировалась. Часть древостоев полностью погибла еще в 60-е 70-е годы прошлого века, остальные повреждены в различной степени.

DIAGNOSIS OF NEGATIVE CHANGES IN FOREST ECOSYSTEMS UNDER THE INFLUENCE OF TECHNOGENIC POLLUTION AND METHODS OF RECLAMATION OF DISTURBED LANDS

¹Menshchikov S. L., ²Mukhin V. A., ³Tashev A. N.

¹Russian Academy of Sciences, Ural branch: Institute Botanic Garden, Yekaterinburg, Russia

²Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

³University of Forestry, Sofia, Bulgaria

Key words: pre-tundra forests, forests of the taiga zone of the Urals, aerotechnogenic emissions, technogenic pollution, heavy metals.

Abstract: We have carried out comprehensive studies of the impact of aerotechnogenic pollution on pre-tundra forests in the north of Central Siberia near the city of Norilsk and in the centers of forest damage in the taiga zone of the Urals in the areas of 6 largest industrial hubs. The physical and geographical conditions of the regions play a significant role in the specific response of the forest environment to pollution. It has been established that in the more severe natural and climatic conditions of the Subarctic in the north of Siberia in the Norilsk region, the scale and depth of degradation of forest vegetation under the influence of aerotechnogenic pollution is much greater than in the Ural region. The rates of forest stand degradation in the Norilsk region were 3-8 times higher than in the Middle Urals. In the taiga zone of the Urals, the boundaries of the centers of forest damage were formed within 30-50 years after the start of the activity of industrial enterprises, and their spatial structure was basically stabilized. Part of the forest stands completely died back in the 60s and 70s of the last century, the rest were damaged to varying degrees.

Введение. Одним из значимых проявлений общего процесса антропогенной трансформации лесов является их повреждение под воздействием техногенного загрязнения. На современном этапе развития промышленного производства радикальное решение данной проблемы связано со значительными трудностями экономического и технологического характера, требует коренной модернизации оборудования и внедрения безотходных технологий. Особенно большой ущерб природным комплексам наносят горнодобывающая и металлургическая отрасли, а также сопутствующие им предприятия энергетики.

Цель работы – изучение закономерностей динамики трансформации лесных биогеоценозов в условиях аэротехногенного загрязнения на основе многолетних натуральных исследований в очагах повреждения и разработка методов биологической рекультивации нарушенных земель.

Результаты исследований. Результаты химического анализа почвенных и снеговых образцов взятых в зоне действия комбината «Магнезит» показали значительные изменения химизма почвы в очаге загрязнения, которое заключается в повышении показателя рН на 2-3 единицы, накоплении магния и некоторых тяжелых металлов в почве [1]. Все эти изменения негативно отражаются на росте и жизненном состоянии растений, а в импактной зоне приводят к гибели лесообразующих видов. Уровень загрязнения почвы, характеризует накопленное воздействие аэротехногенного загрязнения, поскольку загрязняющие вещества сорбируются в почвенный поглощающий комплекс на протяжении более 50 лет.

В эколого-геохимическом аспекте аэротехногенное загрязнение в регионах Урала и севера Сибири влияет на содержание и миграцию ряда химических элементов в почвах, что, в свою очередь, вызывает изменение биологических параметров состояния лесных насаждений и обуславливает особенности их жизнедеятельности. В процессе изучения очагов поражения установлено, что на Урале и в районе Норильска основная часть газообразных выбросов – кислые газы, твердых – тяжелые металлы и щелочно-земельные элементы (калий натрий, кальций, магний). Значительный вклад в загрязнение лесов на Урале вносят также теплоэлектростанции, работающие на угле (самая крупная – Рефтинская ГРЭС), которые выбрасывают в воздух кислые газы (в основном, двуокись серы) и сильнощелочную золу (рН около 9 – 10). Сравнительный анализ степени загрязнения геохимического фона показал, что она в очаге поражения лесов в районе Норильска на порядок выше, чем в очагах поражения лесов на Среднем Урале. Содержание основных элементов аэротехногенных выбросов в зонах сильного загрязнения изученных очагов поражения лесов в несколько раз (зачастую в десятки раз, а в районе Норильска - в сотни раз) превышает фоновые и пороговые концентрации данных элементов в почвах и в растениях [2]. Исследования пространственно-временной структуры лесных насаждений на постоянных пробных площадях (ППП) в очагах аэротехногенного загрязнения показали, что главным негативным последствием загрязнения воздуха в настоящее время следует считать не быструю гибель древостоев и образование техногенных пустошей в импактной зоне (острое воздействие), что особенно ярко наблюдалось 30-40 лет назад, а постепенное ухудшение жизненного состояния древостоев (хроническое воздействие). На Среднем Урале высоковозрастные сосновые древостои, примыкающие к импактной зоне, из категории средне поврежденных переходят в категорию сильно поврежденные за 9-10 лет (тип выбросов - кислые газы + тяжелые металлы). В условиях загрязнения воздуха кислыми газами + щелочная зола процесс деградации идет медленнее.

Изучение динамики отпада показало, что в очагах поражения лесов в период их формирования на Среднем Урале под воздействием аэротехногенных выбросов крупных медеплавильных комбинатов в спелых и приспевающих сосновых древостоях усыхало в среднем от 0,3 до 1% деревьев в год. В районе г. Норильска в предтундровых елово-лиственничных лесах в этот же период усыхало от 1 до 10% деревьев в год (в зависимости от стадии деграда-

ции древостоя). Изучение пространственной структуры повреждённых древостоев на ППП на различном удалении от Норильска показало, что на территории очага поражения не наблюдается четких границ зон повреждения. Наблюдается мозаичность в распределении древостоев по степени повреждения, что связано с различным уровнем загрязнения территории (аэротехногенной нагрузкой), рельефом местности и различной устойчивостью древостоев в зависимости от возраста, условий произрастания и ряда других факторов.

В процессе исследований на ППП в регионе Среднего Урала установлено падение радиального прироста и по площади сечения стволов деревьев, которое зависит от степени повреждения деревьев. Коэффициент вариации прироста в контроле составил 11,6 %, а в зоне сильного загрязнения – 18,8%. То есть, наблюдается большая вариабельность прироста в зоне сильного загрязнения по сравнению с фоном. Дисперсионный анализ подтвердил достоверность различия радиального прироста в зоне контроля и в зоне сильного загрязнения. В целом падение прироста в древостое колеблется в пределах 11-50%. В целом по древостою для укрупненной его оценки можно использовать среднюю величину индекса падения прироста, который составляет $\approx 0,72$.

В результате исследований в районе Норильска выявлены аномалии в приросте деревьев в пределах значительных территорий, как у деревьев, имеющих визуальные признаки повреждений, так и у внешне совершенно здоровых деревьев. Имеются различия между средними значениями фактических и прогнозируемых приростов, снижается связь с климатом. Начало аномальных изменений в приросте относится к 1965-1970 гг.

Установлена связь морфологических параметров состояния кроны деревьев сосны обыкновенной (дефолиации хвои) с текущим приростом. Получены коэффициенты снижения текущего прироста в зависимости от степени повреждения кроны. Полученные коэффициенты имеют большое прикладное значение и позволяют при инвентаризации лесов в очагах повреждения, выявлять участки леса с потерей их ресурсного потенциала. Снижение объема аэротехногенных выбросов наблюдающееся в последние 10-15 лет требует разработки новых технологий рекультивации ранее нелесопригодных, нарушенных и загрязненных земель промышленных регионов.

Научный и практический интерес к теме рекультивации определяется масштабами нарушенных земель, возникших за более чем 300-летнюю историю развития металлургии и в целом промышленности в России. Исследования по биологической рекультивации территорий на Урале имеют многолетнюю историю. С конца 50-х годов 20-го века начали активно разрабатываться способы биологической рекультивации нарушенных земель, которые оказались более эффективными по сравнению с технической рекультивацией.

Нами созданы в таежной зоне Урала на посттехногенных территориях два полигона для опытов по лесной рекультивации: 1 – на Южном Урале в очаге загрязнения отходами магнетитового производства (1981 – 1983 гг.); 2 – на Среднем Урале золоотвал крупной тепловой электростанции работающей на угле – на золоотвале № 1 Рефтинской ГРЭС (1992 – 1994 гг.).

Исследованиями установлены основные факторы, лимитирующие создание устойчивых лесных культур в очаге загрязнения выбросами магнетитового производства: высокие показатели рН почв (в зоне сильного загрязнения рН от 8,7 до 9,0; среднего – от 7,8 до 8,6 и слабого – от 6,9 до 7,7) и перенасыщенность почвенного поглощающего комплекса катионами магния. Опытные работы по лесовосстановлению с помощью различных мелиорантов и способов подготовки почвы на 6 участках (высажены сосна обыкновенная, лиственница Сукачёва и береза повислая) площадью по 2 га показали возможность лесовосстановления в зонах среднего и слабого загрязнения где рН почвы не превышает 8,6. Здесь в возрасте 40 лет опытные культуры сосны, лиственницы и березы находятся в удовлетворительном состоянии. При рН близком 9,0 и более посадки гибнут. В зоне сильного загрязнения успешным можно считать только вариант березы с внесением в полосы торфа – состояние 40-летних культур удовлетворительное. Остальные варианты Почвы насыщенные магнетитовой пылью (накопленное воздействие) даже после значительного снижения аэротехногенных выбросов,

остаются нелесопригодными на расстояние от 0,5 до 2,5 км от источника выбросов содержат большое количество загрязняющих веществ.

Анализ за 30-летний период результатов опытов по рекультивации золоотвала позволяет сделать вывод о возможности лесной рекультивации с помощью нанесения почвогрунта (смесь суглинка с торфом) как траншейным методом, так и сплошным покрытием и последующей посадки 2-х летних саженцев основных лесообразующих видов. Оценка состояния опытных посадок лесообразующих видов на площади 6,1 га: сосны обыкновенной, березы повислой и пушистой, ели сибирской, лиственницы сибирской, показала положительные результаты.

Одним из возможных перспективных направлений по рекультивации, на наш взгляд, может быть связано с использованием фитомелиоративных свойств продуктов глубокого разложения древесины - бурой и белой гнили. В хвойных лесах они составляют значительную часть органического вещества почвы и определяют их многие важные характеристики [3]. Экспериментально было установлено, что при внесении в почву 25-50 объемных процентов белой гнили прорастание семян сосны обыкновенной активизируется в 1,6-2,5 раза. Такой же эффект наблюдается и при внесении в почву 50 объемных процентов бурой гнили. Если внесение продуктов разложения древесины в почву оказывает положительное влияние на прорастание семян сосны, то на прорастание овсяницы оно, либо не оказывает ни какого влияния, либо подавляет его на 30% [4]. Этот феномен можно использовать для лесовосстановления на отвалах фитотоксичных техногенных субстратов.

Выбранное направление биологической рекультивации техногенных территорий – лесохозяйственное с ориентировкой в первую очередь на искусственное лесовосстановление вполне обоснованно, поскольку в данном случае соответствующий процесс ускоряется и при этом восстанавливаются лесные экосистемы, которые становятся саморегулирующиеся, что весьма важно в эколого-экономическом и социальном отношениях.

Заключение. Проведенные исследования показали следующее. Для диагностики повреждений в очагах повреждения лесов необходим ретроспективный анализ экологической ситуации используя показатели состояния видов эдификаторов в данной природно-климатической зоне. В таежной зоне необходимо базироваться на динамике деградации древесного яруса, а в зоне лесотундры возрастает эдифицирующая роль мохово-лишайникового покрова. Среди биологических методов рекультивации нарушенных земель наиболее перспективным в таежной зоне, является лесохозяйственное. В настоящее время в условиях значительного снижения выбросов в атмосферу фитотоксикантов основным негативным фактором, влияющим на успешность лесовосстановления, является накопленное воздействие – загрязнение почвы. С помощью нетрадиционных способов подготовки почвы и внесения в почву мелиорантов, возможно лесовосстановление на ранее нелесопригодных территориях.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада УрО РАН.

Список литературы

1. Menshikov S., Kuzmina N., Ayan S., Ozel H.B. Effects of Mining, Thermal, Industrial Plants on Forests Land and Rehabilitation Practices in Ural Region, Russia // Fresenius environmental bulletin, 2019, Vol. 28, № 2A, pp.1511-1521.
2. Менщиков С. Л., Ившин А. П. Закономерности трансформации предтундровых и таёжных лесов в условиях аэротехногенного загрязнения. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 295 с.
3. Мухин В.А., Доценникова О.А. Влияние древесины ели, разрушенной бурой и белой гнилью, на прорастание семян сосны обыкновенной и овсяницы красной / Проблемы ботаники на рубеже XX–XXI веков: Тезисы докладов, представленных II (X) съезду Русского ботанического общества (26-29 мая 1998 г., Санкт-Петербург). Том 2. СПб.: Ботанический институт РАН, 1998. С. 28.
4. Gilbertson, R.L. Wood-rooting fungi of North America. Mycologia. 1980. Vol. 72. P. 1–54.

ЗАТОПЛЕННЫЕ ПОЧВЫ ЛОЖА ВОДОХРАНИЛИЩ: ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

¹Миннегалиев А. О., ²Дорогая Е. С., ^{2,3}Сулейманов Р. Р., ^{3,4}Асылбаев И. Г.

¹Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

²УИБ УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

³Уфимский государственный нефтяной университет, г. Уфа, Россия

⁴Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия

minnegaliev.aleksandr@rambler.ru

Ключевые слова: почвы водохранилищ, зона периодического затопления, Нугушское водохранилище.

Аннотация: Рассмотрены почвы зоны периодического затопления Нугушского водохранилища, расположенного в Республике Башкортостан. На участках с различным гипсометрическим уровнем и степенью затопления выполнена оценка агрохимических характеристик, морфологического строения и гранулометрического состава затопленных почв. Дополнительно для всего участка определено распределение уклона, вероятность трансформации стока, степень накопления подстилки и вероятность зарастания. Исследуемые почвы ложа имели отдельные признаки гидроморфизма и дигрессии, однако характеризовались более высокими агрохимическими показателями по сравнению с незатопленными почвами близлежащих фоновых участков. Установлено, что обследованный участок имел незначительные уклоны и не имел признаков зарастания растительностью береговых сообществ в период осушения. С учетом выделенных особенностей затопляемых почв даны основные рекомендации по рекультивации при демонтаже плотины.

FLOODED SOILS OF RESERVOIR: FEATURES OF FORMATION AND PROSPECTS OF RESTORATION

¹Minnegaliev A. O., ²Dorogaya E. S., ^{2,3}Suleymanov R. R., ^{3,4}Asylbaev I. G.

¹Bashkir State University, Ufa, Russia.

²Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia.

³Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia.

⁴Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia.

Keywords: reservoir soils, periodic flooding areas, Nugush reservoir.

Abstract: The soils of the area of periodic flooding of the Nugush reservoir located in the Republic of Bashkortostan are considered. The assessment of agrochemical characteristics, morphological structure and granulometric composition of flooded soils was carried out in sites with different hypsometric level and degree of flooding. Additionally, the slope distribution, the probability of runoff transformation, the degree of litter accumulation and the probability of plant were determined for the entire site. The studied soils of the reservoir had separate signs of hydromorphism and digression, however, they were characterized by higher agrochemical indicators compared to the non-flooded soils of nearby background sites. It was found that the surveyed area had slight slopes and had no signs of vegetation coastal during the drainage period. Considering the highlighted features of flooded soils, the main recommendations for reclamation during the dismantling of the dam were given.

Введение. Оценка изменений, произошедших в почвах, отчужденных водохранилищами, позволяет выявить как возможности их последующего восстановления, так и особенности частичной рекультивации водоемов. Мелиорация водоемов, в том числе водохрани-

лиц является дорогостоящей и не всегда эффективной мерой [1, 2] и наметившийся в настоящее время альтернативный тренд на демонтаж гидроузлов [3, 4] возможно приведет к необходимости разработки специальных мероприятий по полной рекультивации участков, занятых ложем демонтируемых водохранилищ.

С целью выявления характерных особенностей затопленных почв ложа и выделения последующих проблем, связанных с гипотетической возможностью их рекультивации выполнено исследование подводных почв, формирующихся в зоне периодического затопления Нугушского водохранилища, расположенного на территории Республики Башкортостан.

Объекты и методы исследований. Нугушское водохранилище – крупный искусственный водоем на р. Нугуш (правый приток р. Белая), расположенный на территории Мелеузовского района Республики Башкортостан в предгорной зоне Южного Урала. Объем водохранилища составляет 400 млн. м³, площадь зеркала – 25 км², нормальный подпорный уровень (НПУ) – 217 м БС. В связи с особенностями морфометрии долины р. Нугуш на участке размещения, водохранилище имеет характерную озеровидную форму, сравнительно малые глубины (средняя глубина – 2,0 м, наибольшая – 15 м) и площадь мелководий, занимающую 20 % ложа.

Изыскания выполнены в ноябре 2020 г. в период осушения на крупном участке периодического затопления, приуроченном к юго-западной части ложа (так называемый западный залив Полуострова). Участок расположен в пределах затопленного склона долины р. Нугуш, площадь осушения до отметок уровня мертвого объема составляет 0,9 км². Почвенные разрезы закладывались с учетом наибольшего охвата участков, расположенных на разных гипсометрических уровнях. Заложено 4 разреза: 3 в пределах ложа и 1 контрольный за пределами береговой линии и зоны затопления.

Агрохимические исследования отобранных образцов выполнены методами общепринятыми в почвоведении [5], определено валовое количество органического вещества, рН (КСИ), содержание азота щелочногидролизуемого и подвижного фосфора. Определение гранулометрического состава для крупных фракций выполнено по ГОСТ 12536-2014, илистых и глинистых фракций – лазерным дифракционным анализатором Ласка-Т (Д).

Анализ характеристик поверхности ложа выполнен по крупномасштабным топографическим картам, составленным до создания водохранилища. Оценка уклонов поверхности произведена с использованием инструментов ArcGIS 10.8. Дополнительные характеристики поверхности ложа, такие как наличие участков с возможной сменой стока с плоскостного на русловой, степень покрытия поверхности растительными остатками и возможность зарастания в период осушения, оценивались в ходе рекогносцировочного обследования и анализа спутниковых снимков высокого разрешения.

Результаты исследований и их обсуждение. Почвы имеют выраженные признаки гидроморфизма и дигрессии. Участки, прилегающие к мелководной береговой зоне, в условиях полного наполнения водохранилища до НПУ подвергаются существенному ветроволновому воздействию и характеризуются полным или частичным разрушением верхних горизонтов. Гидроморфизм почв выражается в накоплении органического вещества в форме грубого гумуса и подстилки. В почвенных горизонтах наблюдаются отдельные железистые образования конкреционного и неконкреционного типа, при этом признаки ожелезнения выражены слабо, а признаки оглеения не выделяются.

Агрохимические свойства почв сильно зависят от степени затопления и положения участков по отношению к зоне переработки берегов. Фоновый участок, располагающийся за границами зоны затопления, имеет высокую обеспеченность щелочногидролизуемым азотом, среднее содержание органического углерода и нейтральную реакцию среды и близок по агрохимическим показателям к схожим почвам региона. При переходе к участку, располагающемуся в прибрежной зоне и подвергающемуся воздействию волноприбойной деятельности, горизонт А сильно размывается, а содержание элементов питания резко падает: валовый фосфор в 2,4 раза, щелочногидролизуемый азот в 3,3 раза и органический углерод в 2,8 раз относительно фоновой незатапливаемой почвы. По мере движения к центральной части

залива водохранилища, происходит постепенное накопление элементов питания, что вероятно указывает на смыв и накопление с увеличением глубины. При этом наблюдается увеличение кислотности почв от нейтральной до среднекислой. Скорость смыва и накопления элементов в затопляемых почвах падает в ряду валовый фосфор – щелочногидролизующий азот – органическое вещество.

Анализ результатов определения гранулометрического состава показывает наличие выраженной закономерности, заключающейся в увеличении среднего диаметра частиц при повышении гипсометрического уровня и приближении к берегу. Средний диаметр частиц изменяется от 20,20–20,30 мкм в зоне уровней 211–214 м БС (соответствует глубине затопления при НПУ 6–3 м) до 130,46 мкм в зоне абразии (глубина при НПУ до 1 м). При этом средний диаметр частиц для фонового незатопляемого участка, расположенного на отметке 218,5 м БС, не превышает 22,06 мкм.

По результатам рекогносцировочного обследования участка ложа, установлено, что степень накопления слабо разложившегося органического вещества в пределах исследованного залива незначительна, толщина подстилки не превышает 10 см, а в осушенный период затопленные почвы не зарастают растительностью. Это связано, по нашему мнению, с особенностями сработки водохранилища: осушение залива наблюдается в осенние и зимние месяцы при низких температурах воздуха и почвы. Установленные по картографическим материалам значения уклонов рельефа в пределах залива не превышают 4,5°, уклон увеличивается до 6,5° на границе, соответствующей уровню мертвого объема.

Предполагалось, что периодически затопляемые почвы ложа водохранилища подверглись существенному изменению. Однако выявленные на исследованных участках изменения незначительны, исследованные почвы (исключая участки ветроволнового воздействия) сохранили морфологический профиль и характеризуются повышенным по сравнению с незатопляемыми почвами содержанием органического вещества и щелочногидролизующего азота, а также высоким содержанием валового фосфора.

В агрохимическом отношении периодически затопляемые почвы не уступают почвам прилегающих незатопленных участков, однако выявлены отличия в гранулометрическом составе. Увеличение количества глинистых и илистых фракций при движении к центральной части, отсутствие зарастания растительностью и слабое покрытие поверхности ложа растительными остатками, наряду с уменьшением количества сильных дождей [6] являются основными факторами активизации водной эрозии.

Заключение. В связи с этим в качестве основных рекомендаций по рекультивации ложа исследованного водохранилища следует выделить меры по борьбе с водной эрозией, в частности постепенную сработку с учетом эрозионной опасности склонов и выполнение специальных противоэрозионных мероприятий. Кроме того, в случае проведения фитомелиорации следует учитывать повышенную кислотность почвы и высокое содержание фосфора.

Список литературы

1. Dąbrowska J. Methods of reclamation of water reservoirs // *Acta Sci. Po. Formatio Circumiectus*. 2008. V. 7(1). P. 63–79.
2. Rabajczyk A. Reservoir recultivation versus forms of heavy metals in sediment the case of the Kielce City Lake // *Central European Journal of Chemistry*. 2011. V. 9(2). P. 357–366. DOI: 10.2478/s11532-011-0013-y
3. Habel M., Mechkin K., Podgorska K., Saunes M., Babiński Z., Chalov S., Absalon D., Podgórski Z., Obolewski K. Dam and reservoir removal projects: a mix of social-ecological trends and cost-cutting attitudes // *Scientific reports*. 2020. V. 10: 19210. DOI: 10.1038/s41598-020-76158-3
4. Jørgensen D., Renöfält B. M. Damned if you do, dammed if you don't: debates on dam removal in the Swedish media // *Ecology and Society*. 2013. V. 18(1). P. 18. DOI: 10.5751/ES-05364-180118
5. Соколов А. В. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.

6. Камалова Р. Г., Курбанова Л. А., Нигматуллина Р. Р. Особенности распределения случаев сильных дождей в равнинной и горной частях территории Республики Башкортостан // Вестник Удмуртского государственного университета. Сер. Биология. Науки о Земле, 2021. Т. 31, вып. 3. С. 311–318.

УДК 504

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ПЫЛЬЦЕВЫХ ЗЕРЕН НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ДОНЕЦКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Мирненко Н. С.

*Донецкий национальный университет, г. Донецк, ДНР
natalya_zaharenkova@mail.ru*

Ключевые слова: палиноиндикация, урбанофлора, Донецк, антропогенное воздействие.

Аннотация: В работе представлены данные о стерильности и жизнеспособности пыльцевых зерен древесных растений городской агломерации Донецка. Установлено, что на исследуемых площадках стерильность пыльцевых зерен составляет от 16 % до 44 %, а жизнеспособность – от 49 % до 96 %, что является критическим показателем, указывающим на неспособность к восстановлению репродуктивной функции у ряда исследуемых видов. Статистически установлено, что корреляция исследуемых параметров (точка отбора, стерильность, жизнеспособность) характеризует Донецкую агломерацию как неблагоприятную среду для жизнедеятельности растений.

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF POLLEN GRAINS OF SOME SPECIES OF WOODY PLANTS OF THE DONETSK AGGLOMERATION

Mirnenko N. S.

Donetsk National University, Donetsk, DPR

Keywords: palinoindication, urban flora, Donetsk, anthropogenic impact.

Abstract: The paper presents data on the sterility and viability of pollen grains of woody plants of the urban agglomeration of Donetsk. It was found that at the sites studied, the sterility of pollen grains ranges from 16 % to 44 %, and viability ranges from 49 % to 96 %, which is a critical indicator indicating the inability to restore reproductive function in a number of the studied species. It is statistically established that the correlation of the studied parameters (selection point, sterility, viability) characterizes the Donetsk agglomeration as an unfavorable environment for the vital activity of plants.

Введение. Растительный покров сформирован непрекращающимся ходом растекания жизни, что связано с безостановочным процессом размножения [1–3]. Стремясь заполнить свободные экологические ниши, все живые организмы адаптируются к условиям среды, конкурируя за трофические уровни с другими видами. В повышении способности к адаптации заключается стратегия выживания, лежащая в основе видового распространения [1–3].

Донбасс – это регион с явно выраженной техногенной нагрузкой, где антропогенный фактор, воздействуя на развитие и распространение растительных организмов, привёл к устойчивой трансформации всей флоры [1–3]. В результате интенсивного развития промышленности, сельского хозяйства, а также из-за высокой степени урбанизации местности, был сформирован ряд антропогенных объектов (карьеры, терриконы, промышленные площадки, рудеральные полигоны и др.), которые полностью трансформировали природную флору. Природная флора была сформирована преимущественно степными растительными формациями, а также лесостепными участками естественного (пойменные, байрачные) и антропогенного (искусственные леса) происхождения, при этом биоразнообразие существующей

растительности в Донбассе не уступает по уникальности ряду мировых биосферных заповедников [4–7].

По состоянию на 2022 г. общая площадь лесов в Донецкой Народной Республике составляет порядка 204,1 тыс. га., при этом более 70 % лесных насаждений сформированы за счет искусственных насаждений, прежде всего, на территориях, исторически не адаптированных для лесной местности вследствие водной и ветровой эрозии. Естественный лесной фонд образован пойменными и байрачными лесами и составляет не более 7,7 % [8].

Следовательно, определение фертильности растений является перспективным и актуальным в разработке систем биологического мониторинга состояния окружающей среды Донбасса. Исследования в области палинологии, палиноиндикации и экологического мониторинга проводятся сотрудниками и студентами кафедры ботаники и экологии Донецкого национального университета [9–13].

Объекты и методы исследований. Объектом исследования послужили пробы пыльцы видов древесных растений, используемых в озеленении г. Донецка: тополь черный (*Populus nigra* L.), ива белая (*Salix alba* L.), каштан конский (*Aesculus hippocastanum* L.), береза повислая (*Betula pendula* Roth). Выбор объектов определялся обширностью ареалов распространения и устойчивостью к природно-климатическим особенностям Донецкой агломерации [14–17].

В ходе работы была определена фертильность и жизнеспособность пыльцевых зерен [18, 19]. Пыльники фиксировали со зрелой пыльцой в растворе Карнуа. Фертильные зерна определяли реакцией на КJ и идентифицировали по окрашиванию, стерильные не имели окраски, либо она была частичной [18, 19]. Жизнеспособность пыльцы определяли методом проращивания на 10 %-м растворе глюкозы (*in vitro*) на искусственной питательной среде, что позволяло оградить пыльцевые зерна от негативных воздействий во время прорастания.

Исследуемые древесные растения представлены одноствольными деревьями с хорошо выраженным штамбом (стволом), обитающими в местах с различным световым, водным и трофическим режимом. Все исследуемые деревья высажены для озеленения городской агломерации.

Результаты исследований. В ходе исследований было установлено, что наибольшее угнетение качества мужского гаметофита наблюдали у *B. pendula* (оценка стерильности ~50 %), что является крайне негативным показателем. Также стоит выделить *S. alba*, которая имела, в отдельных точках, стерильность пыльцевых зерен до 50 % от всех исследуемых образцов. Прочие виды по параметру стерильности не имели превышения 40 %.

По анализу пробных площадок было установлено, что наиболее нагруженными являются площадки № 2 и № 5 (с показателями стерильности 32 % и 33 %), а менее нагруженная – № 3 (с показателем стерильности 25 %).

Коэффициент Пирсона, по показателю стерильности пыльцевых зерен в корреляции с точкой отбора, показал положительную значимость (0,69), при $p=0,05$ табличный коэффициент составил 0,73, что можно характеризовать как значительную связь между параметрами: точка отбора и стерильность пыльцевых зерен. Установленная корреляция характеризует городскую среду как крайне неблагоприятный фактор для произрастания растений. Учитывая, что практически все виды были высажены искусственно, и их жизнеспособность также искусственно поддерживается, то считаем, что полученные данные указывают на низкую степень адаптации в городской среде.

Оценка пролификации пыльцевых зерен показала, что на питательной среде в термостате жизнеспособность пыльцы имеет колебания от 46 % до 96 %, среднее значение составляет 74,8 %. Высокую степень жизнеспособности показали пробы пыльцы вида *P. nigra*. Практически во всех наблюдаемых точках жизнеспособность варьировала от 66 % до 96 %, что указывает на наиболее высокую степень адаптации к техногенной нагрузке. Наиболее низкая степень жизнеспособности характерна для видов *B. pendula* и *S. alba*. На графике отчетливо наблюдается уменьшение количества проросшей пыльцы в точках отбора № 2 и № 3. В данных точках развиваются укороченные, либо расширенные пыльцевые трубки, что

свидетельствует об устойчивых генетических нарушениях, приводящих к уменьшению репродуктивной способности.

Заключение. Таким образом, наблюдаемые показатели стерильности и пролификации пыльцевых зерен в корреляции с точкой отбора показали значительную связь. Показано, что древесные растения испытывают ряд неблагоприятных факторов, приводящих к уменьшению репродуктивной способности. Полученные данные могут быть дополнением к имеющейся в Донбассе информационной базе растительных организмов, используемых для проведения экологического мониторинга.

Список литературы

1. Ипатов В. С., Кирикова Л. А. Фитоценология: учебник. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 1997. 316 с.
2. Вернадский В. И. Химическое строение Земли и ее окружение. М.: Наука, 1987. 339 с.
3. Раменский Л. Г., Цаценкин И. А., Чижиков О. Н., Антипов Н. А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз., 1956. 472 с.
4. Жуков С. П. Флористическое разнообразие антропогенных экосистем центральной части Донбасса // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2018. Т. 27, № 4(1). С. 118–122.
5. Safonov A. I. Phytoindicational monitoring in Donetsk // World Ecology Journal. 2016. V. 6(4). P. 59–71.
6. Сафонов А. И. Эколого-палинологическая ситуация в Донбассе (2014–2020 гг.) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 1–2. С. 32–38
7. Сафонов А. И., Мирненко Н. С. Палинологический скрининг в мониторинговой программе Центрального Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2019. № 3–4. С. 43–48.
8. Государственный комитет по экологической политике и природным ресурсам при Главе Донецкой Народной Республики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gkesoroldnr.ru/>. – Загл. с экрана.
9. Мирненко Н. С. Диагностика состояния экотопов Донецка по палинологическим данным *Betula pendula* Roth // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 1–2. С. 20–24.
10. Сафонов А. И. Динамика фитомониторинговых показателей антропогенеза в Донбассе (2000–2019 гг.) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020. № 1–2. С. 31–36.
11. Сафонов А. И., Захаренкова Н. С. Диагностика воздуха в г. Донецке по спектру скульптур поверхности пыльцы сорно-рудеральных видов растений // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2016. № 1–2. С. 66–72.
12. Safonov A., Glukhov A. Ecological phytomonitoring in Donbass using geoinformational analysis // BIO Web of Conferences. 2021. V. 31: 00020. DOI: 10.1051/bioconf/20213100020
13. Мирненко Н. С. Фертильность и жизнеспособность пыльцы *Salix alba* L. в условиях г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020. № 1–2. С. 6–12.
14. Бурмистров А. Н., Никитина В. А. Медоносные растения и их пыльца: справочник. М.: Росагропромиздат, 1990. 192 с.
15. Антонова Е. В., Морозова И. М. Ботаника: анатомия и морфология растений. Витебск: ВГУ им. П. М. Машерова, 2014. 236 с.
16. Ковылин Н. В., Ковылина О. П., Сухенко Н. В. Особенности взаимоотношения древостоя и напочвенного покрова в искусственных фитоценозах *Populus balsamifera* L. и *Populus nigra* L. // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2016. № 3(351). С. 31–41.
17. Барыкина Р. П. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. М.: Изд-во МГУ, 2004. 312 с.

18. Методы экологических исследований. Основы статистической обработки данных: учебно-методическое пособие / Р. М. Городничев [и др.]. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2019. 94 с.

19. Bayouli I. T., Bayouli H. T., Dell'Oca A., Meers E., Sun J. Ecological indicators and bioindicator plant species for biomonitoring industrial pollution: Eco-based environmental assessment // Ecological Indicators. 2021. V. 125(6): 107508. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107508

УДК 502.5:504.5

РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ АТОМНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Михайловская Л. Н., Гусева В. П., Михайловская З. Б.

*Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
mila_mikhaylovskaya@mail.ru*

Ключевые слова: радионуклиды, выпадения из атмосферы, АЭС, пространственное распределение, Урал.

Аннотация: Белоярская АЭС (БАЭС) и расположенный рядом Институт реакторных материалов (ИРМ) – предприятия, определяющие радиоэкологическую ситуацию на Среднем Урале. В зоне наблюдения БАЭС плотность загрязнения автоморфных почв $^{239,240}\text{Pu}$ 0,013–0,216 кБк/м² соответствует уровню глобального фона, а ^{90}Sr 0,8–4,5 кБк/м² и ^{137}Cs – 0,4–9,2 кБк/м² обусловлены выпадениями радионуклидов различного генезиса из атмосферы. Впервые оговорена территория приземления факела газоаэрозольных выбросов БАЭС и ИРМ. Она ограничена радиусами 3–6 км и азимутальными направлениями от С до ЮВ. Вклад предприятий в ее загрязнение ^{90}Sr составляет 0,8 кБк/м², ^{137}Cs – 2,7 кБк/м². Анализ вертикального распределения радионуклидов в почвах показал, что формирование загрязнения зоны приземления факела выбросов произошло на ранних этапах эксплуатации ядерных предприятий.

RADIATION MONITORING OF SOIL COVER IN THE NUCLEAR ENTERPRISES INFLUENCE ZONE

Mikhailovskaya L. N., Guseva V. P., Mikhailovskaya Z. B.

*Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Ekaterinburg, Russia*

Key words: radionuclides, precipitation from the atmosphere, nuclear power plants, the Urals

Abstract: Beloyarsk NPP (BNPP) and the nearby located Institute of Reactor Materials (IRM) are enterprises that determine the radioecological situation in the Middle Urals. In the observation zone of the BAES, the pollution density of automorphic soils of $^{239,240}\text{Pu}$ is 0,013–0,216 kBq/m² that corresponds to the level of the global background, and ^{90}Sr – 0,8–4,5 kBq/m² and ^{137}Cs – 0,4–9,2 kBq/m² that corresponds to the level of the regional background formed due to precipitation from the atmosphere of radionuclides of various genesis. The touchdown area of the gas-aerosol emissions torch of the BNPP and the IRM was outlined for the first time. It is limited to radii of 3–6 km and azimuthal directions from N to SE. The contribution of enterprises to its ^{90}Sr pollution is 0,8 kBq/m², ^{137}Cs – 2,7 kBq/m². The analysis of the vertical distribution of radionuclides in soils showed that the formation of contamination of the touchdown area of the emission flare occurred at the early stages of nuclear enterprises activity.

Введение. Загрязнение почв Урала долгоживущими радионуклидами формировалось в течение длительного времени. Источники загрязнения – глобальные радиоактивные выпа-

дения из атмосферы, сбросы многочисленных промышленных предприятий ядерного топливного цикла (штатные или аварийные), мирные ядерные взрывы, хранилища ядерных отходов [1, 2]. Белоярская атомная электростанция им. И. В. Курчатова (БАЭС) – один из крупных ядерных объектов Уральского региона. В непосредственной близости к БАЭС находится Институт реакторных материалов (ИРМ). Разделить их вклад в загрязнение окружающей среды невозможно. Штатная работа предприятий сопровождается контролируемые радиоактивными газоаэрозольными выбросами.

Цель наших исследований – оценка многолетнего влияния Белоярской АЭС и ИРМ на загрязнение радионуклидами почвенного покрова наблюдаемой зоны.

Объекты и методы исследований. Исследования проводили на территории Свердловской области в соответствии с концепцией радиозоологического мониторинга, разработанного ранее [2]. Реперные участки закладывали в 13-километровой зоне наблюдения БАЭС, работающей в штатном режиме с 1964 г. Учитывали преимущественное направление ветров (от южного до северо-западного) и расстояние от БАЭС и ИРМ (рис. 1). Используя полученные ранее данные [2, 3], на обследованной территории мы выделили вероятную зону приземления факела газоаэрозольных выбросов двух предприятий – сектор, ограниченный радиусами 3–6 км. Все реперные площадки имели однородный рельеф и почвенно-растительный покров, располагались в наиболее распространенных экосистемах на автоморфных элементах ландшафта. Гидроморфные элементы ландшафта, в том числе находящиеся в зоне воздействия жидких сбросов БАЭС, не включали в исследование. Контрольные участки закладывали за пределами наблюдаемой зоны. Пробы почв отбирали слоями по 5 см с учетом площади из разрезов, расположенных в вершинах равностороннего треугольника с длиной стороны 10 м.

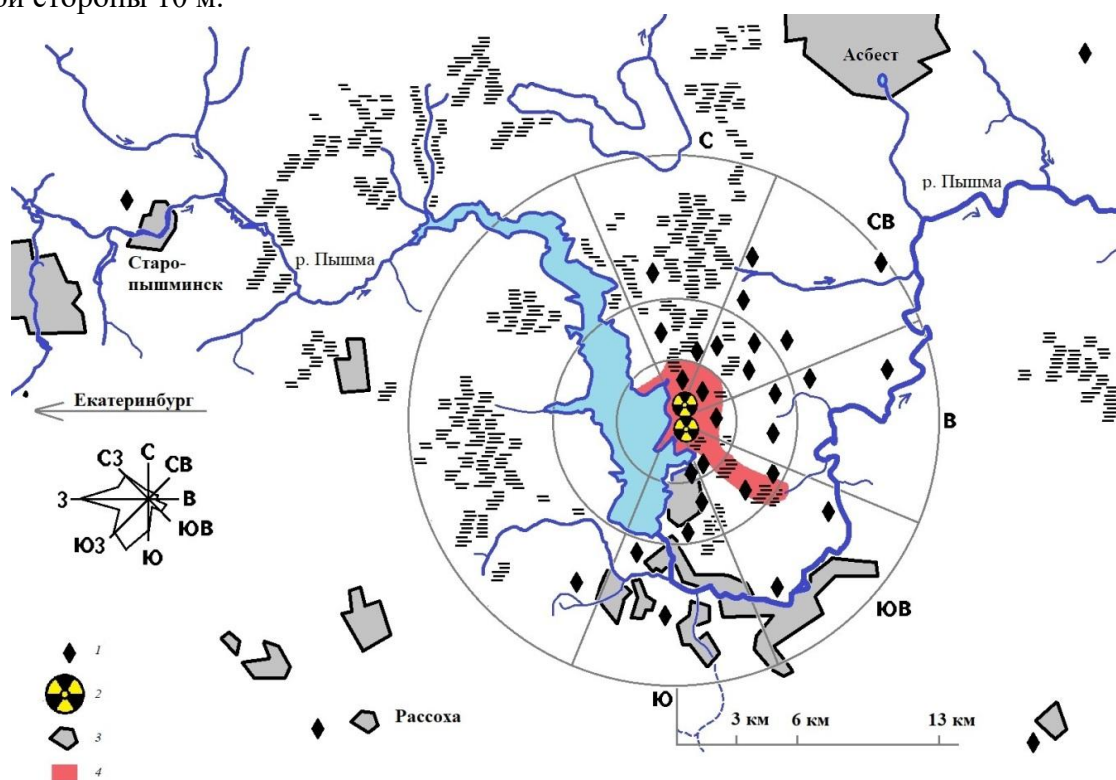


Рисунок 1 – Схема района исследований: 1 – реперные точки; 2 – предприятия ядерного топливного цикла; 3 – населенные пункты; 4 – санитарно-защитная зона БАЭС

^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$ из почвенных образцов выделяли радиохимическим способом. Измерение β -активности препаратов проводили на радиометре «УМФ-2000» (Россия) с нижним пределом обнаружения 0,2 Бк. Определение изотопов Pu проводили на многоканальном α -спектрометре «Ortec» (США) с поверхностно-барьерными детекторами, и программным

обеспечением «Alpha Vision-32». Нижний предел определения составлял 0,001 Бк. Содержание ^{137}Cs определяли на низкофоновом полупроводниковом гамма-спектрометре рентгеновского и гамма-излучения «DSPTC-jr» фирмы «Ortec» (США) с нижним пределом обнаружения 0,1 Бк. Статистическая обработка данных выполнена с использованием непараметрического критерия Манна–Уитни в программе STATISTICA.

Результаты исследований. Проведенные исследования показали, что обследованная территория отличается гетерогенностью пространственного распределения радионуклидов (табл. 1). В зоне наблюдения БАЭС диапазон значений плотности загрязнения почв $^{239,240}\text{Pu}$ поддерживается на уровне глобального фона и составляет 0,013–0,216 кБк/м² [1, 2]. Для ^{90}Sr 0,8–4,5 кБк/м² и ^{137}Cs 0,4–9,2 кБк/м² он в большинстве случаев не превышает уровня регионального фона, сложившегося за счет выпадений из атмосферы радионуклидов различного генезиса [2, 3]. Достоверно значимое отличие среднего уровня загрязнения обследованной территории от контрольных участков наблюдается только для ^{137}Cs в зоне вероятного приземления факела выбросов, ограниченной радиусами 3–6 км.

Таблица 1 – Плотность загрязнения радионуклидами почвенного покрова окрестностей БАЭС

Сектор, км	кБк/м ²						$^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$	
	^{90}Sr		^{137}Cs		$^{239,240}\text{Pu}$			
	min–max	M±δ	min–max	M±δ	min–max	M±δ	min–max	M±δ
0–3	0,8–2,0	1,3±0,4	0,4–7,7	4,4±2,4	0,036–0,145	0,099±0,047	1,9–7,2	4,7±1,8
3–6	0,9–4,2	2,2±0,8	3,1–9,2	5,9±1,5*	0,013–0,167	0,091±0,044	1,0–11,0	3,5±2,7
6–13	0,9–4,5	2,4±0,9	0,5–7,8	4,4±1,9	0,013–0,216	0,101±0,064	0,1–4,3	1,9±1,1
0–13	0,8–4,5	2,1±0,8	0,4–9,2	5,1 ±1,9	0,013–0,216	0,095±0,049	0,1–11,0	2,9±2,3
Контроль	0,9–2,1	1,4±0,6	2,0–5,7	3,2±1,2	0,053–0,175	0,096±0,052	1,5–6,5	3,1±1,7

Примечание: * – Значимые различия.

Анализ частотного распределения плотности загрязнения почв $^{239,240}\text{Pu}$ показал, что в зоне наблюдения БАЭС и на контрольных участках все значения не превышают фонового уровня, образованного глобальными выпадениями (рис. 2). Что касается ^{90}Sr и ^{137}Cs в зоне наблюдения диапазон уровней загрязнения шире, чем на контрольных участках [4].

Анализ вертикального распределения радионуклидов в почвах показал, что за период функционирования БАЭС и ИРМ (>50 лет) фронт загрязнения сместился вглубь профиля почв. На автоморфных элементах рельефа максимум загрязнения наблюдается на глубине 10–15 см, а все исследованные радионуклиды находятся в пределах 0–25 см слоя почв [4].

Детальное исследование зоны приземления факела выбросов по 5 азимутальным направлениям провели для ^{90}Sr и ^{137}Cs , так как для $^{239,240}\text{Pu}$ не было обнаружено какого-либо вклада выбросов станции. Из таблицы 2 видно, что максимальная вариабельность загрязнения наблюдается в подстилках. Загрязнение индикаторных компонентов почв (подстилка и слой 0–5 см) не отличается от контрольного уровня. Повышенный в 1,6 раз уровень загрязнения ^{90}Sr наблюдается в 0–25 см слое почв в секторе СВ, а ^{137}Cs в 1,8 раз в секторах от С до ЮВ, что соответствует преимущественному направлению ветров. Характер пространственного распределения радионуклидов свидетельствует о формировании загрязнения зоны приземления факела выбросов, на ранних этапах эксплуатации ядерных предприятий.

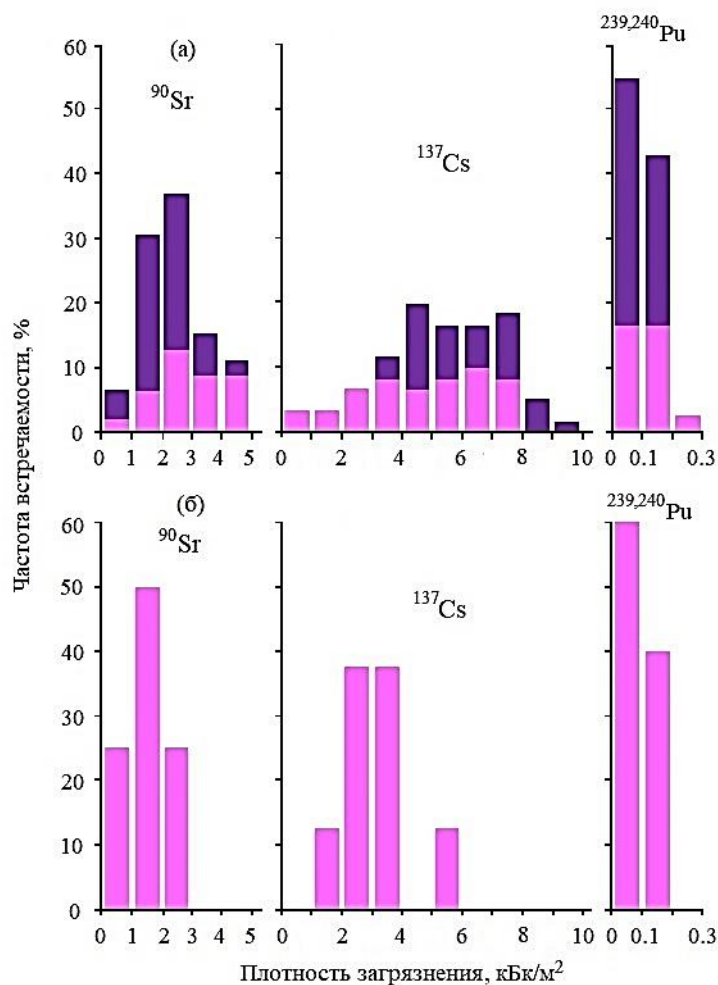


Рисунок 2 – Частотное распределение плотности загрязнения почв радионуклидами: а – наблюдаемая зона (темная заливка – зона приземления факела выбросов), б – контроль

Таблица 2 – Распределение ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в зоне вероятного приземления факела выбросов Белоярской АЭС в зависимости от азимутального направления (плотность загрязнения, кБк/м²)

Сектор	⁹⁰ Sr			¹³⁷ Cs		
	A0	0–5 см	0–25см	A0	0–5 см	0–25см
С	0,12±0,07	0,72±0,38	2,10±0,79	0,073±0,043	0,94±0,44	5,98±1,18*
СВ	0,09±0,07	0,58±0,14	2,28±0,56*	0,050±0,036	2,78±1,56	5,84±1,54*
В	0,07±0,08	0,73±0,24	2,30±0,67	0,079±0,077	3,17±1,04	6,05±1,84*
ЮВ	0,11±0,14	0,66±0,35	2,11±1,26	0,059±0,071	2,46±1,79	5,96±1,92*
Ю	0,04±0,03	0,47±0,22	1,39±0,56	0,025±0,037	1,61±0,11	3,97±0,75
Контроль	0,09±0,06	0,73±0,35	1,44±0,58	0,036±0,035	2,35±0,61	3,22±1,23

Примечание: * – Значимые различия.

Закключение. На основании проведенных исследований, в зоне наблюдения БАЭС впервые оконтурена территория приземления факела газоаэрозольных выбросов БАЭС и ИРМ. Она ограничена радиусами 3–6 км и азимутальными направлениями от С до ЮВ. Суммарный вклад ядерных предприятий в ее загрязнение ⁹⁰Sr составляет 0,8 кБк/м², ¹³⁷Cs – 2,7 кБк/м². Формирование загрязнения зоны приземления факела выбросов произошло на ранних этапах эксплуатации ядерных предприятий.

Список литературы

1. Атлас Восточно-Уральского и Карачаевского радиоактивных следов, включая прогноз до 2047 года / Под ред. Ю. А. Израэля. М.: ИГКЭ Росгидромета и РАН, Фонд «Инфосфера» – НИИ-Природа, 2013. 140 с.
2. Миграция радионуклидов в пресноводных и наземных экосистемах / А. В. Трапезников, И. В. Молчанова, Е. Н. Караева, В. Н. Трапезникова. В 2-х т. Т. 2. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2007. 399 с.
3. Molchanova I. V., Karavaeva E. N., Mikhailovskaya L. N. Radioecological research on ecosystems of Beloyarsk NPP on the Ural. Saarbrücken: LAMBERT Academic Publishing, 2013. 56 p.
4. Михайловская Л. Н., Гусева В. П., Рукавишников О. В., Михайловская З. Б. Техногенные радионуклиды в почвах и растениях наземных экосистем в зоне воздействия атомных предприятий // Экология. 2020. № 2. С. 110–118.

**ОСОБЕННОСТИ РОСТА ПОБЕГОВ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА
СОСНОВЫЕ (PINACEAE LINDL.) В УСЛОВИЯХ КУЛЬТУРЫ В БОТАНИЧЕСКОМ
САДУ УРФУ**

Михалищев Р. В., Валдайских В. В., Симонян Р. С.

¹Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
rmichalishczew@gmail.com, v_vald@mail.ru

Ключевые слова: Pinaceae, линейный рост побегов.

Аннотация: В 2021 году в условиях ботанического сада изучали линейный рост и развитие побегов у 20 видов. Наибольшей интенсивностью линейного роста побегов и величиной годовичных приростов характеризовались представители рода *Pinus* (секции *Pinus* и *Trifoliae*). По началу и окончанию роста побегов все виды можно разделить на группы. В систематическом отношении в группу видов с ранними сроками начала роста попали представители рода *Pinus*, а в группу с поздними сроками начала роста побегов отнесены *Larix* и *Pseudotsuga*. В группах с ранними и средними сроками окончания роста оказалась большая часть видов из северной части общего ареала семейства *Pinaceae* Lindl., соответственно виды из более теплых регионов заканчивали рост побегов позже. На начало и окончание роста побегов оказывали влияние особенности вида. Также виды различались по продолжительности роста побегов и величине годовичных приростов. Влияния продолжительности роста на величину годовичного прироста не выявлено, тогда как влияние видовых особенностей существенно. На динамику роста побегов оказывали влияние суточные максимумы температур в начале вегетации, а также суммы положительных температур в течение всего периода роста побегов. Снижение интенсивности роста побегов во второй половине вегетации связано с началом одревеснения побегов.

**THE FEATURES OF STEMS GROWTH OF PINE FAMILY SPECIES (PINACEAE LINDL.)
UNDER CONDITIONS OF BOTANICAL GARDEN URFU**

Mikhailishchev R. V., Valdayskikh V. V., Simonyan R. S.

¹Ural Federal University, Eekaterinburg, Russia

Keywords: Pinaceae, linear growth of shoots

Abstract: The linear growth of shoots was studied in 2021 under agricultural conditions in botanical garden of Ural Federal University. The higher rate of linear growth and size of annual shoots had the species of genus *Pinus* (*Pinus* and *Trifoliae* sections). The species can be divided by beginning and ending of growth to three groups. The species of *Pinus* included to cluster with early beginning of growth and species of *Larix* and *Pseudotsuga* included to cluster with late beginning of shoots growth. The species of *Abies* and *Picea* had a mean beginning of growth. The most of species from northern part of Pine family geographic range included to clusters with early and mean term ending of growth and species from more southern part of natural habitat had a late term ending of shoots growth. The species were different by duration of shoots growth and length of shoots. The duration of shoots growth has not effect on length of shoots and biology specific of species has it. The daily temperature maximums in the beginning of vegetation and amount of effective temperatures during the growth had effect on growth rate of shoots. The growth rate of shoots decreases by lignification in second half of vegetation.

Введение. В рамках Парижского соглашения по климату (2015 г.) были определены правила учета совокупных выбросов парниковых газов, согласно которым на уровне государств, в зачет пойдет т. н. нетто-эмиссия, являющаяся результирующей потоками между

выбросами от наземных источников и поглощающей способностью наземных экосистем [1]. Поэтому для оценки степени выполнения обязательств по сокращению выбросов необходимо количественно учитывать не только эмиссию, но и поглощение углерода парниковых газов природными сообществами, прежде всего управляемыми лесами. Более того, стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года [2] предполагает достижение взятых РФ обязательств по уменьшению выбросов парниковых газов прежде всего за счет максимального учета стока, и увеличения его за счет реализации климатических проектов.

С выполнением задачи по верификации учета стока углерода связано появление в РФ сети карбоновых полигонов, при этом отмечается, что основная углероддепонирующая роль в нашей стране принадлежит лесам [3, 4], существуют расчетные оценки величины углеродного пула в лесах различных регионов страны [5, 6]. Что касается реализации климатических проектов по увеличению стока углерода – предполагается, что основываться они будут, прежде всего, на принципах культивирования высокопродуктивных древесных растений на т. н. карбоновых фермах. В связи с этим представляется важной задача по анализу продуктивности аборигенных и инорайонных древесных видов в каждом конкретном регионе.

Во флоре Среднего Урала представлено небольшое число видов сосновых (Pinaceae Lindl.) в связи с чем, интродукция новых видов представляет практический интерес. Наряду с аборигенными видами растений, инорайонные виды могут быть использованы для озеленения, в лесной промышленности, а также в решении экологических проблем, в частности, при создании карбоновых ферм.

Цель исследований: изучение роста и развития аборигенных и инорайонных видов с последующим отбором высокопродуктивных растений.

Объекты и методы исследований. В 2021 г. в условиях ботанического сада УрФУ изучали линейный рост и развитие побегов у 20 видов сем. Pinaceae, выращиваемых в коллекции сада. Фенологические наблюдения проводили по методике ГБС (1975). При обработке полученных данных использовали пакет программ Excel и Statistica 13.

Результаты исследований и их обсуждение. Вегетационный период 2021 года характеризовался ранней, экстремально теплой и засушливой весной, малым количеством осадков в первую половину лета, большим числом ясных дней в течение всего сезона. В мае и июне были обновлены температурные рекорды. Максимумы температур составили соответственно 34,7 и 36,0 °С, отклонение от средних многолетних значений – на 6,3 и 2,4 °С в большую сторону. Средняя температура летних месяцев составила 19,6 °С, что на 2,3 °С выше климатической нормы.

Линейный рост побегов у различных представителей Pinaceae в 2021 г. начинался в период с 25 апреля по 18 мая. По началу роста побегов в 2021 г. все виды посредством кластерного анализа можно разделить на три группы: раноотрастающие, среднеотрастающие и поздноотрастающие. В группу с ранними сроками начала роста побегов попали большая часть видов рода *Pinus* L., кроме *Pinus mugo* Turra и *Pinus strobus* L. Два вида аборигенных, один вид восточноазиатских и два американских вида сосен. Начало роста побегов этих видов приходилось с 25 по 27 апреля при суммах температур выше 0 °С равной 191,7–206,8 °С. У *P. mugo* и *P. strobus*, а также у *Abies* Mill. и большей части *Picea* A. Dietr. рост побегов начинался в средние сроки с 12 по 16 мая при суммах температур выше 0 °С равной 406,8–502,7 °С. В поздние сроки начинался рост побегов у *Picea omorika* (Pancic) Purk., *Picea pungens* Engelm., *Larix sibirica* Ledeb. и *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (17–18 мая при суммах температур выше 0 °С равной 528,2–523,7 °С.). В систематическом отношении в группу раноотрастающих попали только представители рода *Pinus*, среди которых оба вида из секции *Trifoliae*, а в группу с поздними сроками начала роста побегов отнесены оба вида из подсемейства *Laricoidea* (*Larix*, *Pseudotsuga*). Все представители рода *Abies* имеют средние сроки начала роста побегов, так же, как и большая часть видов рода *Picea*. По географическому происхождению заметная связь с группами не прослеживается.

Окончание роста побегов наблюдалось в период с 15 июня по 25 июля. По окончании роста побегов все виды также можно разделить на три группы. В группу с ранним окончанием роста побегов попали два аборигенных вида сосен (*Pinus sylvestris* L. и *Pinus sibirica* Du Tour.) и два таксономически близких американских вида сосен (*Pinus banksiana* Lamb. и *Pinus contorta* var. *latifolia* Engelm.). Эти же виды сосен отличаются ранним началом роста побегов. Из других таксонов в эту группу отнесены такие американские виды как *Abies lasiocarpa* (Hook.) Nutt. и *Picea engelmannii* Parry ex Engelm., а также местный вид *Picea obovata* Ledeb. и близкий к ней таксон *Picea abies* (L.) H. Karst. Рост побегов этих видов заканчивался с 15 по 25 июня при суммах температур выше 0 °С равной 1064,5–1256,9 °С. Группу со средними сроками окончания роста побегов составляют практически те же виды, что и в группе со средними сроками начала роста, за исключением *Pinus densiflora* Siebold et Zucc. у которой раннее начало роста, а также *L. sibirica* и *P. pungens* с поздним началом роста побегов. Линейный рост побегов в этой группе заканчивался с 29 июня по 13 июля при суммах температур выше 0 °С равной 1351,9–1695,8 °С. В группу с поздними сроками окончания роста побегов попали два вида из группы с поздним началом роста: *P. omorika* и *P. menziesii*. Линейный рост побегов в этой группе заканчивался с 16 по 25 июля при суммах температур выше 0 °С равной 1737,3–1881,0 °С. Для двух видов *P. omorika* и *Picea glauca* (Moench) Voss для отдельных растений было характерно наличие вторичного роста побегов в конце августа (26–30 августа).

Анализ полученных в 2021 г. данных показал, что на начало линейного роста ($F=39,63$; $p=0,0000$) и окончание линейного роста ($F=6,24$; $p=0,000007$) побегов оказывали влияние особенности вида. На сроки наступления данных фенофаз также оказывают влияние погодные условия [7, 8]. Средняя продолжительность роста побегов составила $51,4 \pm 2,04$ дня. Наименьшая продолжительность роста побегов была у *P. abies* и *A. lasiocarpa* – 33 дня, наибольшая у *P. menziesii* – 68,3 дня и *P. densiflora* – 63 дня. Наименьший годичный прирост побегов наблюдался у *A. lasiocarpa* – 6,4 см, а наибольший у *P. contorta* var. *latifolia* – 32,8 см. Различия в величине годичного прироста связаны с интенсивностью роста побегов и не связаны с продолжительностью роста [7, 9, 10]. По данным дисперсионного анализа полученных в 2021 г. данных на величину годичного прироста побегов оказывали влияние видовые особенности ($F=8,182$; $p=0,00000$), тогда как влияния продолжительности роста не выявлено ($F=1,3409$; $p=0,281$). Величина годичного прироста положительно коррелирует с суммами эффективных температур во время роста побегов [11, 12].

Начало и скорость роста побегов в значительной степени зависят от температуры воздуха [10] при этом интенсивность роста побегов коррелирует с температурой только в первой половине вегетации [13]. Анализ данных не обнаружил достоверных корреляционных связей с минимальными ($r=0,0878$; $p=0,786$) и средними ($r=0,2124$; $p=0,508$) суточными температурами во время роста побегов. Положительная корреляция обнаружена только между максимальными суточными температурами и динамикой роста побегов в первой части вегетации до середины июня ($r=0,7783$; $p=0,039$). Между динамикой роста побегов и суммами положительных температур существует достоверная отрицательная связь ($r=-0,6088$; $p=0,036$), следовательно, при накоплении сумм положительных температур происходит снижение интенсивности роста побегов. В то же время на начало одревеснения существенное влияние оказывают сумма положительных и эффективных температур, а также показатель ГТК [12]. Снижение интенсивности роста побегов вероятно связано с началом их одревеснения. Между началом одревеснения и окончанием роста побегов существует положительная корреляционная связь ($r=0,4983$; $p=0,018$).

Заключение. Таким образом, в вегетационный период 2021 г. наибольшей интенсивностью линейного роста побегов и величиной годичных приростов характеризовались представители рода *Pinus* (секции *Pinus* и *Trifoliae*). По началу и окончанию роста побегов все виды можно разделить на группы. В систематическом отношении в группу раноотрастающих попали представители рода *Pinus*, а в группу с поздними сроками начала роста побегов отнесены *Larix* и *Pseudotsuga*. В группах с ранними и средними сроками окончания роста оказа-

лась большая часть видов из северной части общего ареала семейства *Pinaceae*, соответственно виды из более теплых регионов заканчивали рост побегов позже. По фенологическим фазам начало и окончание роста побегов виды достоверно различались. Также виды различались по продолжительности роста побегов и величине годичных приростов. Влияния продолжительности роста на величину годичного прироста не выявлено, тогда как влияние видовых особенностей существенно. На динамику роста побегов оказывали влияние суточные максимумы температур в начале вегетации, а также суммы положительных температур в течение всего периода роста побегов. Снижение интенсивности роста побегов во второй половине вегетации связано с началом одревеснения побегов.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема Государственного задания FEUZ-2021-0014.

Список литературы

1. Романовская А. А., Трунов А. А., Коротков В. Н., Карабань Р. Т. Проблема учета поглощающей способности лесов России в Парижском соглашении // Лесоведение. 2018. № 5. С. 323–334.
2. Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года (2021).
3. Замолодчиков Д. Г. Системы оценки и прогноза запасов углерода в лесных экосистемах // Устойчивое лесопользование. 2011. № 4 (29). С. 15–22.
4. Замолодчиков Д. Г., Грабовский В. И., Краев Г. Н. Динамика бюджета углерода лесов России за два прошедших десятилетия // Лесоведение. 2011. № 6. С. 16–28.
5. Усольцев В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 636 с.
6. Моисеев Б. Н., Филипчук А. Н. Методика МГЭИК для расчета годичного депонирования углерода и оценка ее применимости для лесов России // Лесное хозяйство. 2009. № 4. С. 11–13.
7. Кищенко И. Т. Рост и развитие интродуцированных видов *Larix Mill.* в таежной зоне (Карелия) // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Биология. 2021. Т. 14, № 1. С. 61–83. DOI: 10.17516/1997-1389-0341
8. Кищенко, И. Т. Рост и развитие интродуцированных видов *Picea L. (Karst.)* в таежной зоне (Карелия) // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Биология. 2021. Т. 14, № 2. С. 238–258. DOI: 10.17516/1997-1389-0348
9. Кищенко И. Т. Сезонный рост видов *Abies Mill.*, интродуцированных в бореальной зоне (Карелия) // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2021. № 1. С. 1–11. DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-1-11
10. Kishchenko I. T. The effect of air temperature on seasonal growth of shoots in some species of genus *Abies* (Pinaceae) under conditions of introduction // Russ J Ecol. 2000. No. 31. P. 359–361. DOI:10.1007/BF02828452
11. Потапова С. А. Динамика роста побегов интродуцированных видов сосны // Бюллетень ГБС. 1983. Вып. 137. С. 28–31.
12. Рязанова Н. А., Путенихин В. П. Клены в Башкирском Предуралье: биологические особенности в условиях интродукции. Уфа: Изд-во «Гилем», 2012. 224 с.
13. Кищенко И. Т. Влияние климатических факторов на рост представителей рода *Pinus* (Pinaceae) в условиях интродукции // Экология. 2004. № 4. С. 249–254.

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЗНАКОВ ГЕНЕРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ
PINUS SYLVESTRIS L. В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
СРЕДЫ**

¹Мохначев П. Е., ^{1,2}Махнева С. Г., ¹Менищиков С. Л., ¹Терехов Г. Г.,
³Потапенко А. М., ¹Клеткин А. А.

¹Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия,
mohpnachev74@mail.ru

²Российский государственный профессионально-педагогический университет,
г. Екатеринбург, Россия,
makhniovasg@mail.ru

³ГНУ «Институт леса Национальной академии наук Беларуси», г. Гомель,
Республика Беларусь
anto_ha86@mail.ru

Ключевые слова: аэротехногенное загрязнение, сосна обыкновенная, генеративная система, изменчивость, факторный анализ.

Аннотация: Проведено исследование сопряженной изменчивости признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в условиях загрязнения окружающей среды аэротехногенными выбросами магнезитового производства. Выявлены признаки с устойчивой системой связей и признаки, взаимосвязь которых изменяется в условиях загрязнения. Так, взаимосвязь признаков, характеризующих размеры и массу шишек, жестко генетически детерминирована и не нарушается в условиях загрязнения. Семенная продуктивность древостоев сосны вне зависимости от условий произрастания более тесно связана с показателями выживаемости семян в гаметофитный период, чем в период эмбрионального развития. Ослабление деревьев в условиях сильного уровня загрязнения обуславливает усиление отрицательной взаимосвязи между семенной продуктивностью и массой семян до достоверно значимого уровня. Стратегия деревьев в условиях сильного загрязнения направлена на формирование мелких семян с высокими показателями качества.

**VARIABILITY OF FEATURES OF THE GENERATIVE SYSTEM OF SCOTS PINE L.
IN CONDITIONS OF AEROTECHNOGENIC POLLUTION OF THE ENVIRONMENT**

¹Mokhnachev P. E., ^{1,2}Makhneva S. G., ¹Menshchikov S. L., ¹Terekhov G. G., ³Potapenko A. M.,
¹Kletkin A. A.

¹Botanical Garden Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

²Russian State Vocational Pedagogical University, Ekaterinburg, Russia

³SSE «Institute of Forestry of the National Academy of Sciences of Belarus», Gomel,
Republic of Belarus

Key words: aerotechnogenic pollution, scots pine, generative system, variability, factor analysis.

Abstract: The study of the conjugate variability of the characteristics of the female generative system of the common pine (*Pinus sylvestris* L.), growing in conditions of environmental pollution by aerotechnogenic emissions of magnesite production. Signs with a stable system of connections and signs whose interrelation changes in the conditions of pollution are revealed. Thus, the interrelation of features characterizing the size and mass of cones is rigidly genetically determined and is not violated in pollution conditions. The seed productivity of pine stands, regardless of the growing conditions, is more closely related to the survival rates of ovules in the gametophytic period than in the period of embryonic development. The weakening of trees in conditions of a strong level of pol-

lution causes an increase in the negative relationship between seed productivity and seed weight to a significantly significant level. The strategy of trees in conditions of heavy pollution is aimed at the formation of small seeds with high quality indicators.

Введение. Одним из направлений популяционно-биологических исследований является изучение изменчивости и структуры взаимосвязей количественных признаков. Влияние внешних факторов, в том числе аэротехногенного загрязнения, может привести к изменению этих взаимосвязей [1, 2].

Целью настоящей работы является изучение сопряженной изменчивости признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях аэротехногенных выбросов магнитового производства.

Объекты и методы исследований. Для исследований выбраны опытные участки (ОУ), созданные в условиях аэротехногенных выбросов комбината «Магnezит» (г. Сатка, Челябинская обл.): ОУ-2 заложен в зоне сильного загрязнения на расстоянии 1 км от источника выбросов, ОУ-К в фоновых условиях на расстоянии 20 км [3].

Изученные признаки женской генеративной системы сосны, произрастающей в условиях сильного уровня магнитового загрязнения и фоновых условий (табл.), были обработаны методом факторного анализа с использованием пакета программ Statistica 6.0.

Результаты исследований. В условиях фона 1-й фактор (Ф1) вносит существенно больший вклад в изменчивость показателей (34,89 %) (рис.). В его составе положительно сопряжены между собой и отрицательно с фактором, такие признаки как размеры и масса шишек (признаки 1, 2 и 4), размеры семенных чешуй и крылаток (признаки 6, 7 и 12, 13), число стерильных и общее число семенных чешуй (признаки 15, 16), число фертильных и опыленных семяпочек (признаки 17, 18), общее число семян (признак 21), число выполненных и пустых семян (признаки 22, 23), выживаемость семяпочек в 1-й, 2-й и весь гаметофитный период (признаки 24, 25, 26), итоговая выживаемость семяпочек (признак 28), длина корешка проростка (признак 33).

Таблица – Количественные признаки женской генеративной системы сосны обыкновенной

№	Признак	ОУ-2	ОУ-К
1	Длина шишки, мм	3,57±0,12	3,82±0,10
2	Ширина шишки, мм	1,78±0,05	1,90±0,05
3	Форма шишки (2-й / 1-й признаки)	0,51±0,01	0,50±0,01
4	Масса шишки, грамм	4,90±0,31	5,65±0,42
5	Форма апофиза семенных чешуй [5]	3,09±0,19	2,60±0,23
6	Длина семенной чешуи в средней части шишки, мм	1,89±0,05	2,00±0,04
7	Ширина семенной чешуи в средней части шишки, мм	0,80±0,02	0,86±0,03
8	Форма семенной чешуи (7-й / 6-й признак)	0,43±0,01	0,43±0,01
9	Высота щитка в средней части шишки, мм	0,83±0,02	0,85±0,01
10	Ширина щитка в средней части шишки, мм	0,70±0,01	0,69±0,02
11	Форма щитка (10-й / 9-й признаки)	0,85±0,02	0,82±0,02
12	Длина крылатки в средней части шишки, мм	1,20±0,04	1,23±0,04
13	Ширина крылатки в средней части шишки, мм	0,37±0,01	0,40±0,02
14	Форма крылатки (13-й / 12-й признаки)	0,31±0,01	0,33±0,01
15	Число семенных чешуй, шт.	65,35±1,74	64,51±1,95
16	Число стерильных семенных чешуй, шт.	48,64±1,37	46,89±1,38
17	Число семяпочек потенциально фертильных, шт.	33,43±1,09	35,25±1,40
18	Число семяпочек, доживших до начала 2-й вегетации (число опыленных семяпочек) (20-й + 21-й признак), шт.	22,16±1,06	25,37±1,69
19	Число семяпочек, погибших в 1-й вегетационный период (число неопыленных семяпочек) (17-й – 18-й признаки), шт.	11,27±0,45	9,88±0,82

20	Число семяпочек, погибших во 2-й вегетационный период (число неоплодотворенных семяпочек), шт.	4,52±0,87	5,24±0,97
21	Общее число семян (22-й + 23-й признак) (число оплодотворенных семяпочек), шт.	17,64±1,29	20,13±1,67
22	Число полнозернистых семян, шт.	15,14±1,1	16,58±1,46
23	Число пустых семян, шт.	2,49±0,42	3,55±0,45
24	Выживаемость семяпочек в 1-й вегетационный период (18-й / 17-й признаки), %	64,61±1,82	70,69±2,94
25	Выживаемость семяпочек во 2-й вегетационный период (21-й / 18-й признаки), %	78,69±3,8	78,14±3,96
26	Выживаемость семяпочек за весь гаметофитный период (21-й / 17-й признаки), %	51,09±2,96	55,86±3,56
27	Выживаемость семяпочек в эмбриональный период (22-й / 21-й признак) (доля выполненных семян), %	86,56±1,63	81,93±2,07
28	Общая выживаемость семяпочек за гаметофитный и эмбриональный периоды (22-й / 17-й признаки), %	44,58	46,06
29	Масса 1000 шт. семян, грамм	5,41±0,23	6,31±0,20
30	Энергия прорастания семян, %	87,29±2,48	85,50±2,68
31	Абсолютная всхожесть семян, %	91,74±1,91	90,67±1,67
32	Доля проростков, имеющих семядоли на момент определения всхожести, %	75,84±3,73	64,37±6,35
№	Признак	ОУ-2	ОУ-К
33	Длина корешка проростков с семядолями, мм	14,44±0,78	15,60±1,08
34	Длина гипокотеля проростков с семядолями, мм	28,49±0,56	31,39±0,79
35	Число семядолей, шт.	5,58±0,07	5,80±0,07

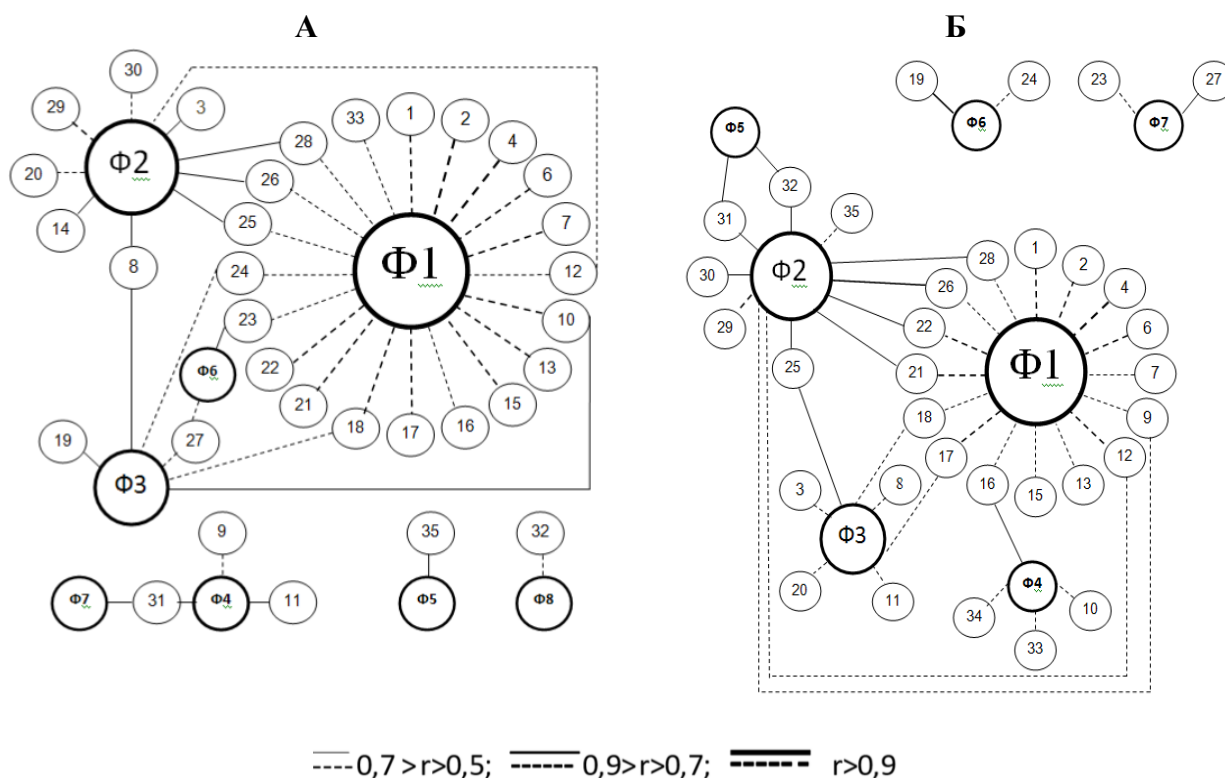


Рисунок – Факторная структура признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной (обозначение признаков см. в таблице): А – в фоновых условиях; Б – в условиях сильного загрязнения; — положительная связь; ---- отрицательная связь

Таким образом, в данных условиях произрастания размеры и масса шишек (признаки 1, 2 и 4) взаимосвязаны с размерами семенных чешуй (признаки 6, 7), так и их количеством (признаки 15, 16). Размеры крылаток (признаки 12, 13) связаны с размерами семенных чешуй (признаки 6, 7). Достоверная корреляция между потенциально фертильными (признак 17), опыленными (признак 18) и оплодотворенными (признак 21) семяпочками, числом выполненных семян (признаки 22) позволяет заключить, что потенциальные возможности шишек к формированию семян в условиях фона (ОУ-К) реализуются в полной мере. Выход семян (признаки 21, 22) прямо пропорционально связан с размерами шишек. Однако, масса семян (признак 29) и показатели качества семян (ПКС) (признаки 30, 31) не зависят от количества семян в шишках (признаки 21, 22) и размеров шишек (признаки 1, 2 и 4). Общая выживаемость семяпочек (признак 28) и выход семян (признаки 21, 22) определяются в большей степени выживаемостью семяпочек на стадии гамет (признаки 24–26), чем на стадии эмбрионов (признак 27). Аналогичная система связей частично продублирована в Ф2 и дополнена признаками, характеризующими массу семян (признак 29) и их энергию прорастания (признак 30): чем интенсивнее отбор на стадии гамет, тем крупнее семена и выше энергия прорастания.

Выживаемость семяпочек в эмбриональный период развития (признак 27) имеет малое количество связей с остальными признаками женской генеративной системы, может зависеть от выживаемости семяпочек в 1-й вегетационный период (Ф3) и определять длину гипокотила проростка (Ф6). Всхожесть семян (признак 31) также достаточно обособлена от других признаков и взаимосвязана с энергией прорастания (Ф4) или варьирует независимо (Ф7). Признак, характеризующий число семядолей (признак 35) достоверно не связан ни с одним из изученных признаков (Ф5). В целом высокодостоверные связи между показателями, характеризующими развитие проростков и массу семян и их ПКС, не выявлены, т. к. данные признаки с высокими значениями факторных нагрузок (ФН) входят в состав разных факторов, что позволяет предположить несбалансированность постэмбрионального периода развития семени.

В условиях сильного загрязнения (ОУ-2) в составе 1-го фактора (28,99 % от общей дисперсии) положительно сопряжены между собой и отрицательно с фактором такие признаки как: размеры и масса шишек (признаки 1,2 и 4); размеры семенных чешуй, щитков и крылаток (признаки 6, 7, 9, 10, 12, 13); число стерильных и общее число семенных чешуй (признаки 15, 16); число фертильных и опыленных семяпочек (признаки 17, 18); общее число семян (признак 21); число выполненных семян (признак 22), выживаемость семяпочек за весь гаметофитный период (признак 26), итоговая выживаемость семяпочек (признак 28) (табл.).

В условиях сильного загрязнения (ОУ-2) как и в фоновых условиях (ОУ-К) размеры шишек и их масса (признаки 1, 2 и 4) взаимосвязаны с размерами семенных чешуй (признаки 6, 7), а также и с их количеством (признаки 15, 16). Размеры крылаток (признаки 12, 13) связаны с размерами семенных чешуй (признаки 6, 7). Число опыленных, оплодотворенных (общее число семян), а также число выполненных семян связаны с числом фертильных семяпочек, т. е. потенциальные возможности деревьев по формированию семян в данных условиях реализуются в полной мере. Признак, характеризующий число фертильных семяпочек входит в состав 2-х факторов (Ф1 и Ф3) и в обоих с числом опыленных семяпочек коррелирует прямо пропорционально, т. е. все деревья ОУ имеют однонаправленную связь данных показателей. Однако при увеличении числа опыленных семяпочек может увеличиваться как число оплодотворенных (выживаемость во 2-й вегетационный период увеличивается) (Ф1), так и неоплодотворенных семяпочек (выживаемость во 2-й вегетационный период уменьшается) (Ф3). Связь опыленных и оплодотворенных семяпочек более прочная (Ф1), вероятно у большинства деревьев ОУ семяпочки успешно прошедшие процесс опыления в большинстве своем будут оплодотворены. Однако в обоих случаях результат отбора неопределенный – нет связи с качеством семян. Для части показателей, характеризующих число семян и выжи-

ваемость семян состав Ф1 и Ф2 дублируется. Система связей не противоречит указанной выше, но набор показателей дополняется показателями характеризующими массу семян и их качество. Таким образом, в зоне сильного загрязнения отрицательная связь между семенной продуктивностью (числом полнотельных семян и общим числом семян) и массой семян выходит на достоверно значимый уровень (Ф2). Это можно объяснить недостатком питательных веществ для деревьев, так как в данных условиях произрастания они сильно ослаблены, крона имеет высокую степень дефолиации, срок жизни хвои сокращен. Семена малой массы (она может составлять 2,38 г/1000 шт., что в 2,65 раза меньше чем средняя на ОУ-К) имеют высокие ПКС и формируют в лабораторных условиях к 15 дню развитые проростки с высокой долей «семядольных» растений и малым числом семядолей. Связь показателей массы семян с числом семян и ПКС не повторяется в составе других факторов, что позволяет предположить однонаправленную реакцию деревьев по данным показателям на условия произрастания. Длина сформированных проростков варьирует, однако, соотношение длины корешка и гипокотилия прогнозируемо: чем больше длина корешка, тем больше длина гипокотилия, что следует из положительной корреляции этих показателей в составе Ф4. Вне зависимости от массы семени, имеющие высокие ПКС, формируют проростки большей длины, чем семена с малыми значениями ПКС (Ф5).

В данных условиях произрастания выживаемость семян в 1-й вегетационный период не связана с какими-либо параметрами женской генеративной системы и находится в составе 6-го фактора, с которым связана отрицательно. Выживаемость семян в эмбриональный период также обособлена от других признаков и находится в составе фактора 7.

Заключение. Таким образом, взаимосвязь признаков, характеризующих размеры и массу шишек сосны, жестко генетически детерминирована, т. к. не нарушается в условиях сильного уровня загрязнения. Семенная продуктивность сосны древостоев находится в более тесной взаимосвязи с показателями выживаемости семян в гаметофитный период, чем в период эмбрионального развития. Следует отметить, что в фоновых условиях выживаемость семян в 1-й вегетационный и эмбриональный периоды сопряжены положительно, а в условиях загрязнения связь данных признаков отрицательная, что позволяет предположить существование эффективной элиминации аномальных гаметофитов и освобождение древостоя от них в условиях загрязнения. В условиях сильного загрязнения выявлена отрицательная взаимосвязь между семенной продуктивностью и массой семян сосны. Причиной этого может быть сильное ослабление деревьев и малая доступность минеральных ресурсов в условиях высокой Рн среды произрастания. Изменяется структура связи показателей массы семян и их посевных качеств. Связь массы семян с энергией прорастания и всхожестью в фоновых условиях положительная, а в условиях сильного загрязнения выявлена достоверно значимая отрицательная связь данных признаков. У проростков семян, сформированных в условиях загрязнения, изменяется структура связей между их морфометрическими показателями и показателями массы и качества семян. Так, длина корешка и гипокотилия проростков семян, сформированных в фоновых условиях, не связаны с их энергией прорастания, всхожестью и массой, семян, а в условиях сильного загрязнения положительно связаны с основными показателями качества и отрицательно – с их массой.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада УрО РАН.

Список литературы

1. Аникеев Д. Р., Бабушкина Л. Г., Зуева Г. В. Состояние репродуктивной системы сосны обыкновенной при аэротехногенном загрязнении. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад., 2000. 81 с.
2. Махнева С. Г., Бабушкина Л. Г., Зуева Г. В. Состояние мужской генеративной сферы сосны обыкновенной при техногенном загрязнении среды. Екатеринбург: УГЛТА, Изд-во Урал. ун-та, 2003. 154 с.

3. Меншиков С. Л. Исследование экологических особенностей роста и обоснование агротехники создания культур хвойных пород в условиях магнетитовых запылений: дисс.... канд. с.-х. наук: 06.03.01. Свердловск, 1985. 210 с.
4. Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae). М.: Наука, 1973. 284 с.

УДК 631.4

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗОЛЬНОГО СУБСТРАТА НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

Некрасова О. А., Радченко Т. А., Бетехтина А. А., Учаев А. П., Петрова Т. А.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
o_nekr@mail.ru

Ключевые слова: зола, техногенный субстрат, эмбриозем, южная тайга, Средний Урал.

Аннотация: Данная работа посвящена выявлению особенностей физико-химических свойств золы «молодого» золоотвала, находящегося в процессе самозарастания, и их изменениям. Выявлено, что некоторые параметры зольного субстрата благоприятны для произрастания растений (степень обеспеченности общим азотом – высокая, обменным магнием – средняя, подвижными формами фосфора – не ниже средней), в то время как другие не находятся в оптимуме (степень обеспеченности обменным кальцием и подвижным калием – низкая, а реакция среды – сильнощелочная). Почвообразовательный процесс, идущий на поверхности золоотвала в условиях южной тайги Среднего Урала в течение 3–7 лет, проявляется в формировании морфологически различного маломощного гумусового горизонта, а также в подкислении в нем среды и увеличении содержания органического углерода, общего азота, обменных катионов кальция и подвижных форм калия. Накопление сведений об аккумуляции в золе углерода при разном содержании основных макроэлементов в процессе самозарастания золоотвалов будет способствовать решению проблемы повышения секвестрационной способности техногенных субстратов по отношению к углероду, что соответствует современным вызовам.

CHANGES IN PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF ASH SUBSTRATE AT THE INITIAL STAGES OF SOIL FORMATION

Nekrasova O. A., Radchenko T. A., Betekhtina A. A., Uchaev A. P., Petrova T. A.
Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Key words: ash, technogenic substrate, Technosols, southern taiga, Middle Urals.

Abstract: This work is devoted to identifying the features of the physico-chemical properties of the ash of a young ash dump in the process of spontaneous succession, and their changes. It was revealed that some ash substrate parameters are favorable for plant growth (the degree of total nitrogen provision is high, exchange magnesium is medium, mobile forms of phosphorus is not lower than average), while others are not in the optimum (the degree of exchange calcium and mobile potassium provision is low, and the reaction of the medium is strongly alkaline). The soil-forming process occurring on the surface of the ash substrate in southern taiga of the Middle Urals for 3–7 years manifested itself in the formation of a morphologically distinguishable low-thickness humus horizon, as well as in the acidification of the medium in it, an increase in the content of organic carbon, total nitrogen, exchangeable calcium cations and mobile forms of potassium. The accumulation of information on the accumulation of carbon in the ash with different contents of the main macronutrients in the process of ash dump overgrowing will contribute to solving the problem of

increasing the sequestration capacity of technogenic substrates in relation to carbon, which corresponds to modern challenges.

Введение. Известно, что молодые почвы за счет активно протекающего процесса гумусообразования аккумулируют углерод [1] и, следовательно, снижают углеродный след человечества. Однако в современных условиях почвообразование протекает не только на поверхности горных пород, но и на техногенных субстратах, например, на золе, образующейся при сжигании угля и занимающей большие площади как на Среднем Урале, так и в мире. Зола разных электростанций может отличаться вещественным составом ввиду того, что ее свойства обусловлены свойствами сжигаемого угля, а также технологическими факторами [2–4]. Интенсивность запасаения органического углерода во многом зависит от заселенности зольного субстрата живыми организмами, для жизнедеятельности которых необходим определенный диапазон рН и оптимальное содержание макроэлементов, в первую очередь азота, фосфора и калия. Вследствие этого информация о физико-химических свойствах разных зольных субстратов, находящихся на начальных этапах почвообразования, представляет существенный интерес, поскольку не только способствует выявлению закономерностей почвообразования на техногенных субстратах, но также позволит в конечном счете повысить эффективность секвестрации углерода формирующимися на поверхности золоотвалов почвами.

Настоящее исследование посвящено выявлению физико-химических свойств зольного субстрата «молодого» золоотвала, на котором протекают начальные этапы почвообразования в условиях южной тайги Среднего Урала (на примере золоотвала Верхнетагильской государственной районной электростанции – ВТГРЭС).

Объекты и методы исследований. Золоотвал ВТГРЭС находится в окрестностях г. Верхний Тагил (Свердловская область), в предгорьях Среднего Урала. Климат территории расположения золоотвала умеренно-континентальный: среднегодовая температура воздуха равна 1,9 °С, сумма температур выше 10 °С – 1600 °С, среднегодовое количество осадков – 570 мм, высота снежного покрова – 80–100 см. Коренная растительность представлена южно-таежными сосновыми или сосново-еловыми лесами, вторичные леса – березовыми и березово-сосновыми насаждениями.

Золоотвал ВТГРЭС представляет собой гидроотвал золы уноса бурого угля Челябинского и Богословского месторождений с выровненной поверхностью и техногенным водоемом в центральной части, который постепенно высыхает. Для исследования процессов почвообразования на «молодом» золоотвале были заложены почвенные разрезы на освободившейся от воды 3–7 лет назад территории с пионерными группировками растений, возникшими в процессе самозарастания. Разрезы 1-20 и 2-20 расположены на расстоянии 10–12 м от уреза воды техногенного водоема. Растительный покров ближайшей к водоему зоны зарастания разрежен, его проективное покрытие составило от 5 до 17 %, наиболее обильны виды *Puccinella Hauptiana* (V. I. Krecz.) Kitag. и *Puccinella distans* (Jacq.) Parl., *Erysimum cheiranthoides* L., *Artemisia vulgaris* L. и *Artemisia absinthium* L., *Rorippa palustris* (L.) Besser. Проективное покрытие мхов составляет 70 %. Разрезы 3-20 и 4-20 заложены на расстоянии 40–50 м от уреза воды. Растительный покров этой второй зоны зарастания более развит, его общее проективное покрытие составляет до 50 %, богаче видовой состав. В дополнение к приведенным видам отдельными куртинами обильны *Agrostis gigantea* Roth, *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Melilotus officinalis* (L.) Lam. и *Melilotus albus* Medik., *Oxybasis rubra* (L.) S. Fuentes, Uotila & Borsch. Также развит моховой покров. Характеристика зон зарастания согласуется с полученными ранее данными о поэтапном зарастании отвалов [5].

На основании более темной окраски по сравнению с нижележащей серой рыхлой бесструктурной, не вскипающая от 10 % HCl толщей во всех разрезах был выделен гумусовый горизонт, имеющий мощность около 2 см, диагностирующий протекание процесса почвообразования на поверхности золоотвала и формирование молодых почв – эмбриоземов [6].

Результаты исследований. Ранее было показано, что зола ВТГРЭС имеет супесчаный состав и состоит преимущественно из алюмосиликатов [7, 8].

О физико-химических свойствах исходной золы можно судить по характеристикам зольного субстрата на глубине 7–40 см, где он претерпел наименьшие трансформации (табл.). Зола имеет сильнощелочную реакцию среды со значениями рН в пределах 8,1–8,5, содержит 2,9–4,9 % органического углерода, как правило присутствующего в несгоревших частицах угля [2], 0,05–0,08 % общего азота, 3–5 мг-экв/100 г и 0,8–2 мг-экв/100 г обменных ионов кальция и магния соответственно, а также 5–17 мг/100 г и 3–7 мг/100 г подвижных форм фосфора и калия.

Оценка степени обеспеченности изученными макроэлементами золы показала, что она характеризуется высокой степенью обеспеченности азотом, низкой – обменным кальцием, средней – обменным магнием, повышенной или средней – подвижными соединениями фосфора и низкой – калия.

Таким образом, содержание общего азота, обменного магния и подвижных форм фосфора в зольном субстрате оптимально для произрастания растений, в то время как содержание обменного кальция и подвижного калия – недостаточное, неблагоприятной также является сильнощелочная реакция среды.

За 3–7 лет в верхней 7-см толще золоотвала по сравнению с нижележащим зольным субстратом (табл.) произошло подкисление среды до значений рН менее 8, при этом на участке золоотвала, освободившемся от воды раньше, этот процесс идет более интенсивно. В гумусовом горизонте по сравнению с горизонтом С1 увеличилось содержание органического углерода, варьирующее от 4,6 до 6,5 % и общего азота, составляющее 0,10–0,14 %. В горизонте А также произошло накопление обменных катионов кальция (5,5–6,2 мг-экв/100 г) по сравнению с нижележащим горизонтом, в отличие от обменных катионов магния, которые не перераспределились по профилю. На участке золоотвала, находящемся дальше от воды, наблюдается снижение содержания подвижных фосфатов с глубиной, возможно связанное с их поглощением растениями в верхнем, корнеобитаемом слое. В гумусовом горизонте эмбриоземов по сравнению с зольным субстратом наблюдается накопление подвижных форм калия (3,9–5,6 мг/100 г). В ходе перераспределения элементов зольного субстрата по профилю в гумусовом горизонте произошло изменение степени обеспеченности некоторыми элементами: для обменного кальция она повысилась до средней, в то время как для подвижных фосфатов – уменьшилась до очень низкой на участке, который раньше освободился от воды.

Таблица – Физико-химические характеристики эмбриоземов молодого золоотвала ВТГРЭС

Разрез	Горизонт, глубина, см	рН _{Н2О}	С _{орг.}	N _{общ.}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	P ₂ O ₅	K ₂ O
			%		мг-экв/100 г		мг/100 г	
P 1-20	A, 0–2	7,90	4,91	0,10	5,5	1,5	14,9	5,2
	C1, 2–7	7,86	3,98	0,08	4,5	1,3	12,6	4,7
	C2, 7–20	8,23	3,40	0,08	3,8	1,3	10,3	3,6
	C3, 20–30	8,23	4,61	0,07	4,0	2,0	12,6	3,8
	C4, 30–40	8,17	4,47	0,07	4,7	0,8	14,9	4,8
P 2-20	A, 0–2	7,93	6,50	0,13	5,5	1,7	11,4	3,9
	C1, 2–7	7,97	3,66	0,07	4,2	1,7	13,0	3,0
	C2, 7–20	8,10	4,85	0,09	4,2	1,2	12,5	3,0
	C3, 20–30	8,04	4,94	0,08	3,7	1,7	16,9	3,8
	C4, 30–40	8,17	2,86	0,05	3,0	2,0	15,6	4,0
P 3-20	A, 0–2	7,71	4,64	0,14	6,2	1,0	2,0	5,6
	C1, 2–7	7,76	4,07	0,08	4,4	1,3	4,7	2,1
	C2, 7–20	8,23	4,27	0,07	4,2	1,3	7,0	2,7
	C3, 20–30	8,27	3,92	0,07	4,8	1,2	12,7	3,6
	C4, 30–40	8,46	4,10	0,07	4,3	1,5	12,1	3,6

P 4-20	A, 0–2	7,13	5,13	0,10	5,5	1,7	1,3	4,9
	C1, 2–7	7,58	3,41	0,08	4,7	1,2	3,5	2,7
	C2, 7–20	8,25	4,15	0,07	5,0	1,0	4,9	6,7
	C3, 20–30	8,05	4,74	0,07	3,8	1,5	6,1	3,0
	C4, 30–40	8,35	4,33	0,07	3,5	1,8	7,4	3,5

Заключение. Изучение зольного субстрата верхней толщи «молодого» самозарастающего золоотвала Верхнетагильской ГРЭС на Среднем Урале позволило оценить его физико-химические свойства и их изменение в ходе начального почвообразования. Зольный субстрат содержит достаточные количества общего азота, обменного магния и подвижных форм фосфора, однако недостаток обменного кальция, подвижного калия и высокие значения рН могут лимитировать произрастание растений. В результате начавшегося 3–7 лет назад заселения живыми организмами поверхности золоотвала и, соответственно, процесса почвообразования, в условиях южной тайги Среднего Урала начал формироваться гумусовый горизонт, отличающийся от зольного субстрата меньшими значениями рН среды, большим содержанием органического углерода, общего азота, обменных катионов кальция, а также подвижных форм калия.

Поскольку различия золоотвалов по содержанию доступных соединений основных макроэлементов (N, P, K, Ca, Mg) в золе, а также реакции среды могут обуславливать разную интенсивность накопления С в молодых почвах, формирующихся в процессе самозарастания, новые сведения о содержании и накоплении в зольном субстрате С и связанных с его круговоротом биогенных элементов могут послужить в том числе для выявления закономерностей накопления углерода техногенными субстратами и управлением этим процессом, что крайне актуально в связи с глобальной проблемой увеличения концентрации углекислого газа.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования (тема № FEUZ-2021-0014).

Список литературы

1. Махонина Г. И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. 356 с.
2. Пасынкова М. В. Зола углей как субстрат для выращивания растений // Растения и промышленная среда. Свердловск: УрГУ, 1974. Сб. 3. С. 29–44.
3. Shaheen S. M., Hooda P. S., Tsadilas C. D. Opportunities and challenges in the use of coal fly ash for soil improvements – A review // J. of Environmental Management. 2014. Т. 145. P. 249–267.
4. Uzarowicz L., Zagorski Z., Mendak E., Bartminski P., Szara E., Kondras M., Oktaba L., Turek A., Rogozinski. Technogenic soils (Technosols) developed from fly ash and bottom ash from thermal power stations combusting bituminous coal and lignite. Part. Properties, classification, and indicators of early pedogenesis // Catena. 2017. V. 157. P. 75–89.
5. Экологические основы и методы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций на Урале / А. К. Махнев, Т. С. Чибрик, М. Р. Трубина, Н. В. Лукина [и др.]. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 356 с.
6. Андроханов В. А., Овсянникова С. В., Курачев В. М. Техноземы: свойства, режимы, функционирование. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. 200 с.
7. Nekrasova O., Radchenko T., Filimonova E., Lukina N., Glazyrina M., Dergacheva M., Uchaev A., Betekhtina A. Natural forest colonization and soil formation on ash dump in southern taiga // Folia Forestalia Polonica. Series A-Forestry. 2020. V. 62(4). P. 306–316. DOI: 10.2478/ffp-2020-0029

8. Dergacheva M., Trunova V., Nekrasova O., Siromlya T., Uchaev A., Bazhina N., Radchenko T., Betekhtina A. Assessment of the Macro- and Microelement Composition of Fly Ash from 50-Year-Old Ash Dumps in the Middle Urals (Russia) // Metals. 2021. V. 11: 1589. DOI: 10.3390/met11101589

УДК 712

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СХЕМАМ ПОСАДКИ ЖИВЫХ ИЗГОРОДЕЙ ДЕКОРАТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Никитина Е. С., Сродных Т. Б.

*Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург, Россия
kantien99@gmail.com, tanya.srodnykh@mail.ru*

Ключевые слова: *живые изгороди, городское озеленение, схемы посадки.*

Аннотация: *В статье представлены предложения по посадке декоративных живых изгородей простой и сложной конструкции на основании обследованных живых изгородей в г. Екатеринбурге. Приведена классификация живых изгородей по высоте. Схемы посадки живых изгородей простой конструкции – однорядные однопорядные представлены для разной высоты насаждений. Предложено пять вариантов живых изгородей сложной конструкции: двухъярусная, ритмичная, со сменным ритмом, комбинированная, массив из кустарника. Представлены схемы посадки для каждого вида конструкции с описанием шага посадки, расстояния между рядами. Предложены виды для использования в конкретных конструкциях. Приведено обоснование расстояний в ряду и между рядами при устройстве живых изгородей.*

SUGGESTIONS FOR PLANTING SCHEMES OF HEDGES FOR DECORATIVE PURPOSE

Nikitina E. S., Srodnykh T. B.

Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

Key words: *hedges, urban landscaping, planting patterns.*

Abstract: *The article presents proposals for planting decorative hedges of simple and complex design based on surveyed hedges in Yekaterinburg. The classification of hedges by height is given. Planting schemes for hedges of a simple design - single-row single-species are presented for different planting heights. Five variants of hedges of a complex design are proposed: two-tiered, rhythmic, with a changeable rhythm, combined, and an array of shrubs. Planting schemes are presented for each type of construction with a description of the planting step, the distance between rows. Species for use in specific structures are proposed. The rationale for the distances in a row and between rows in the construction of hedges is given.*

Введение. Живые изгороди (ЖИ) – важный элемент озеленения в урбанизированной среде. Живые изгороди – это свободнорастущие или формованные кустарники (реже деревья), высаженные в один или более рядов, выполняющие декоративную, ограждающую и маскировочную функции [1]. Они активно используются в городских парках, скверах, бульварах, а также в уличном озеленении. В нашей статье мы подробно рассмотрим декоративные ЖИ.

Целью работы является разработка предложений по схемам посадки декоративных ЖИ разных конструкций.

Результаты исследований. Наши предложения основаны на изучении 30 ЖИ в г. Екатеринбурге в период с 2018 по 2022 гг. По конструкции ЖИ делятся на простые и сложные. Простые ЖИ представляют собой однорядную посадку из одного вида. Одноряд-

ные изгороди подразделяются по высоте на низкие (до 1 м), средние (1–2 м) и высокие (выше 2 м). Особенно декоративны в такой конструкции красивоцветущие и пестролистные кустарники. В зависимости от вида растения и предполагаемой высоты шаг посадки в ряду различается (рис. 1).

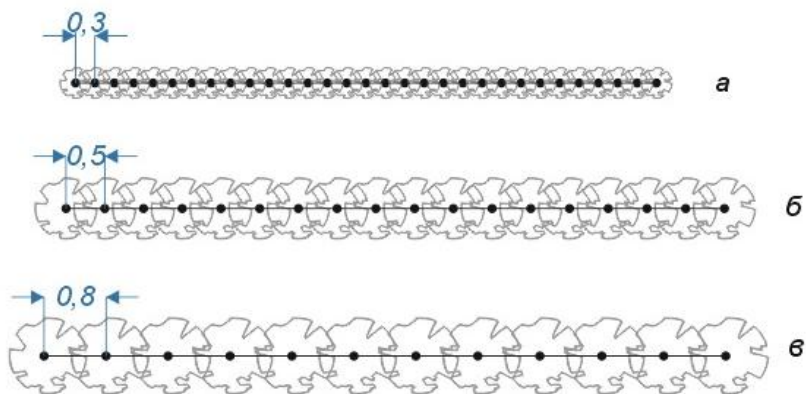


Рисунок 1 – Схемы посадки однорядных живых изгородей:
а – низкие, б – средние, в – высокие

Для низких ЖИ шаг посадки составляет 0,25–0,40 м. Это, как правило, декоративные бордюрные насаждения из низкорослых кустарников, например, *Spiraea japonica* «Little Princess». Шаг посадки средних по высоте составляет 0,50–0,70 м. Эта группа наиболее распространена в озеленении и представлена широким ассортиментом видов: *Cotoneaster lucidus*, *C. melanocarpus*, *Physocarpus opulifolius*, *Rosa rugosa*, *Cornus alba*, *Ribes alpinum*, *R. aureum*, *Lonicera tatarica*, *Berberis vulgaris*, *Salix purpurea* «Nana», различные виды рода *Spiraea*. Для высоких ЖИ могут использоваться как кустарники (*Caragana arborescens*, *B. vulgaris*, *Crataegus sanguinea*, *Aronia melanocarpa*, *Aronia melanocarpa*), так и деревья (*Ulmus pumila*, *Malus baccata*, *Picea obovata*), в таком случае шаг посадки составляет соответственно 0,8–1,5 м.

Далее мы предлагаем схемы посадки изгородей сложной конструкции. Двухъярусные ЖИ состояются из двух разновысотных рядов (рис. 2).

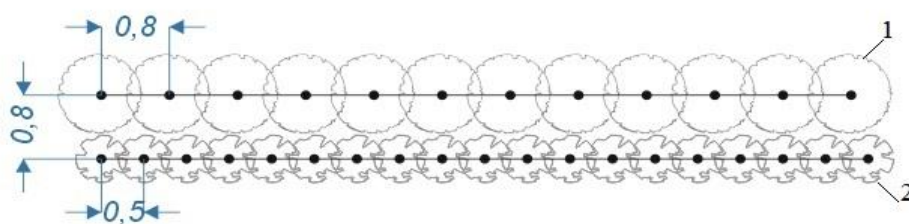


Рисунок 2 – Схема посадки двухъярусной живой изгороди:
1 – *P. opulifolius* «Diabolo», 2 – *S. betulifolia*

Один из вариантов сложной конструкции – ритмичное чередование видов в ряду. Декоративность можно обеспечить разной формой стрижки, например, *C. lucidus* стрижется в форме параллелепипеда, а *S. × vanhouttei* – в форме шара (рис. 3).

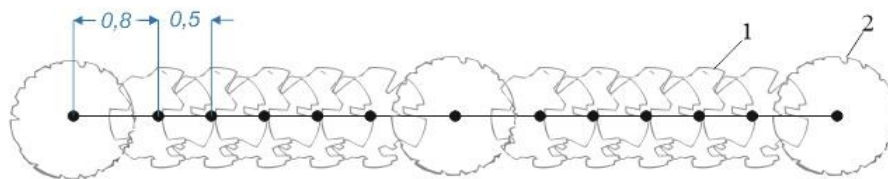


Рисунок 3 – Схема посадки ритмичной живой изгороди:
1 – *C. lucidus*, 2 – *S. × vanhouttei*

Эстетически привлекательна двухрядная ЖИ, в которой растения высажены в разных ритмах сближенными рядами (рис. 4).

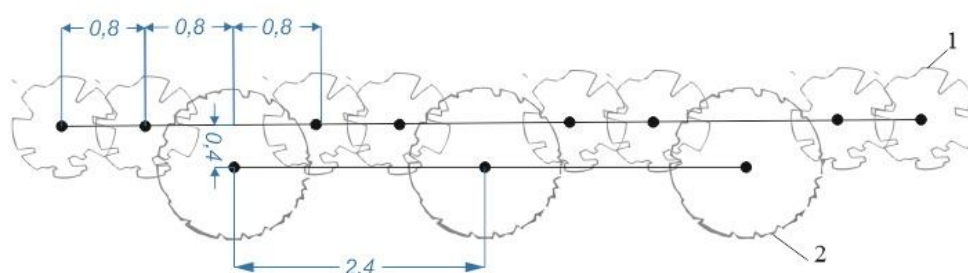


Рисунок 4 – Схема посадки живой изгороди со сменой ритмов:
1 – неформованный *C. alba* «*Elegantissima*», 2 – *M. hybride Rudolph*

Пятый, предложенный нами, вариант является комбинацией, где в высоком ярусе представлена двухрядная посадка сближенными рядами, а в нижнем обычный ряд. Угол размещения 55° позволит обеспечить большую плотность посадки (рис. 5).

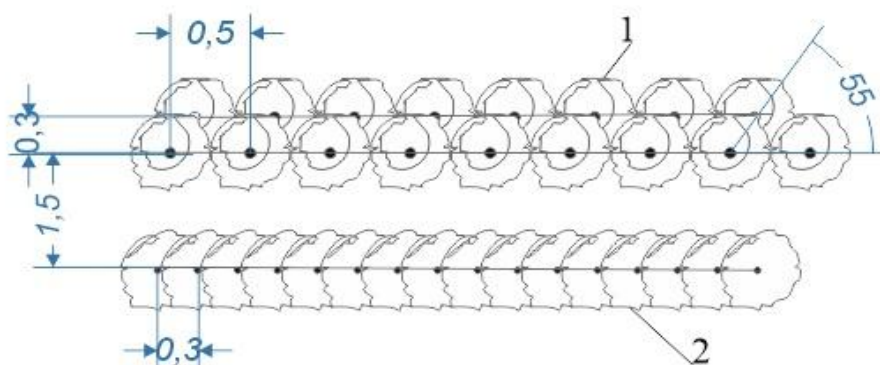


Рисунок 5 – Схема посадки комбинированной живой изгороди:
1 – *B. vulgaris*, 2 – *C. lucidus*

Интересна посадка кустарников в форме геометрических фигур в виде стриженных массивов. Этот тип ЖИ в последнее время набирает популярность. При такой посадке нужно обеспечить высокую плотность, а для этого кустарники должны высаживаться на расстоянии 0,25–0,30 м в шахматном порядке (рис. 6).

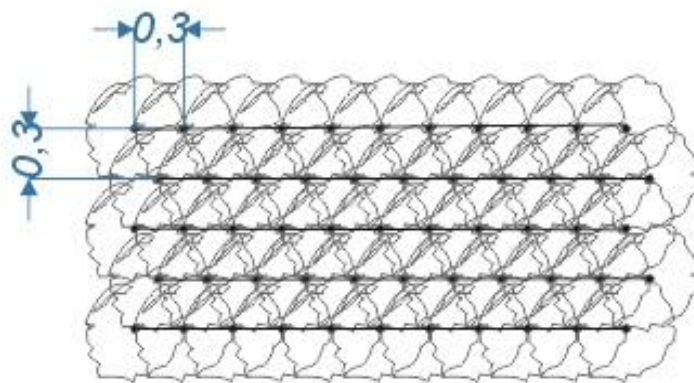


Рисунок 6 – Схема посадки живой изгороди в виде массива

Правильный шаг посадки – залог декоративности ЖИ. В среднем расстояние между кустарниками в ряду составляет 0,50 м для однорядных и 0,70 м для двухрядных однопорядных. Но всегда нужно помнить о параметрах используемых видов, ведь нужно сформировать плотную полосу. На практике часто уменьшают расстояние между кустами для обеспечения высокой плотности. Часто для определения шага посадки используют пропорцию 2:3, где 2 – шаг посадки, 3 – максимальная высота кустарника, но, например, *S. purpurea* «Nana» высаживается на расстоянии 0,45 м из-за раскидистой формы кустарника.

Для того, чтобы ЖИ были декоративны, нельзя забывать про правильный уход, регулярную стрижку формованных и санитарную обрезку неформованных посадок.

Список литературы

1. Гостев В. Ф., Юскевич Н. Н. Проектирование садов и парков: Учебник. 4-е изд., стер. СПб: Лань, 2017. 344 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://e.lanbook.com/book/93763> (дата обращения: 15.05.2022).

РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНИХ МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЛИЦЕНЗИОННЫХ УЧАСТКОВ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ ЯНАО

Опекунова М. Г., Опекунов А. Ю., Кукушкин С. Ю.

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
m.opekunova@mail.ru*

Ключевые слова: почвы, донные отложения, тяжелые металлы, север Западной Сибири.

Аннотация: По результатам исследований установлен региональный фон химических элементов в компонентах ландшафтов. Природные воды, донные отложения, почвы и растения отличаются низким уровнем содержания металлов. Исключение составляют Fe, Cu, Mn в воде, что обусловлено их подвижностью в тундровых ландшафтах. В донных осадках техногенное загрязнение проявляется в концентрации НУ, ПАУ, Fe, Cr, Cu, Ni; в органогенном горизонте почв – в повышении рН, сульфатов, хлоридов, фосфатов, Cd, Zn, Pb, Cu, НУ, ПАУ; в растениях – Mn, Ba, V, Sr. Латеральная миграция поллютантов не превышает 100 м. Загрязнение носит локальный характер: на долю загрязненных почв приходится 7–10 % от общей площади лицензионных участков.

THE RESULTS OF LONG-TERM MONITORING STUDIES ON THE TERRITORY OF LICENSED AREAS OF OIL AND GAS PRODUCTION IN THE YAMALO-NENETS AUTONOMOUS OKRUG

Opekunova M. G., Opekunov A. Yu., Kukushkin S. Yu.

St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Key words: soils, bottom sediments, heavy metals, north of Western Siberia

Abstract: The values of the regional background for soils, bottom sediments and plants have been determined. Natural waters, bottom sediments, soils and plants are characterized by low metal content. The exception is Fe, Cu, Mn in water, which is due to their mobility in tundra landscapes. Anthropogenic pollution of bottom sediments is indicated by high concentrations of HC, PAH, Fe, Cr, Cu, Ni; in the organogenic horizon of soils by an increase in pH, sulfates, chlorides, phosphates, Cd, Zn, Pb, Cu, OHC, PAHs; in plants by a high content of Mn, Ba, V, Sr. Lateral migration of pollutants does not exceed 100 m. Pollution is local in nature: polluted soils account for 7–10 % of the total area of licensed areas.

Введение. В Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО) в настоящее время добывается более 80 % российского природного газа, 77 % газоконденсата и 7 % нефти. Общее количество месторождений углеводородного сырья 238, из которых 100 находятся в разработке. В ряде публикаций указывается на существенное загрязнение окружающей среды нефтяных месторождений [1–3]. Исследования, проведенные на территории 40 лицензионных участках нефтегазоконденсатных месторождений (НГКМ), позволяют говорить, что существенное загрязнение компонентов ландшафта носит локальный характер и наблюдается, в основном, при проведении буровых работ, а уровень загрязнения окружающей среды существенно ниже, чем на нефтяных месторождениях [4, 5]. Однако, эксплуатация НГКМ может приводить к малозаметным изменениям в окружающей среде, которые сложно определить физико-химическими методами анализа.

Материалы и методы исследования. Исследования проведены в период 1993–2022 гг. на территории 40 НГКМ. Осуществлялся отбор проб воды, донных осадков, почв, почвенных вод и индикаторных видов растений *Cladonia alpestris* и *Ledum decumbens*. Анализ общего содержания металлов в почве, донных отложениях и растениях (Na, K, Ca, Cu, Zn, Fe,

Pb, Cd, Ni, Co, Cr, Ba, Sr, Cd и Mn), а также в воде (без Sc, Zr, Al) был проведен методом ICP-MS во ВСЕГЕИ им. А. П. Карпинского. Определение содержания нефтяных углеводородов (НУ) осуществлялось методом ИК-спектроскопии, анализ полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) выполнялся методом ВЭЖХ в НПО «Тайфун».

Результаты исследования. Исследования показали, что основными факторами, определяющими химический состав компонентов природной среды региона, служат почвообразующие породы и зонально-азональная ландшафтно-геохимическая дифференциация, выражающаяся в интенсивности торфонакопления [5]. Химический состав поверхностных вод формируется, в основном, под влиянием природных факторов и отличается высокой концентрацией Fe, Cu и Mn. При антропогенном воздействии происходит трансформация анионно-катионного состава. Увеличение содержания в природных водах концентрации Ba, Cu и V характерно для малых водоемов, расположенных рядом с производственными объектами месторождений. На крупных водотоках и озерах техногенное воздействие практически не сказывается.

Фоновое содержание химических элементов существенно различается в донных осадках разных типов: илах (торфянистых илах), илистых песках (алевритах) и в мелкозернистых песках. Среднее содержание в илах Fe и Mn в 11 раз, Ni – в 8,5, Co – в 6,5, Zn, Cu, Cr, V – в 5 раз выше, чем в мелкозернистых песках (табл. 1). Региональным индикатором техногенного воздействия при освоении месторождений являются НУ, а также ПАУ, в составе которых доминирует нафталин (от 50 до 80–95 %).

Таблица 1 – Региональный фон ТМ в донных осадках водных объектов Надым-Пур-Тазовского междуречья, мг/кг [6]

Элементы	Илы, торфянистые илы (n=98)	Илистые пески и алевриты (n=96)	Пески (n=54)
V	43,2±3,3	20,9±2,5	7,86±0,82
Cr	37,4±3,2	17,8±2,2	7,661,25
Mn	382±52	159±27	507,9
Co	8,7±1,1	2,88±0,46	1,44±0,22
Ni	13,3±1,4	4,60±0,58	1,83±0,25
Cu	8,4±0,9	3,50±0,36	1,79±0,15
Zn	30,9±2,7	13,6±1,46	6,18±0,57
Cd	0,15±0,02	0,055±0,006	0,045±0,005
Ba	452±28	339±27	178±23
Pb	8,8±0,4	5,94±0,45	3,31±0,37
Hg	0,012±0,001	<0,015	<0,015
Fe	21530±2370	7580±880	2670±330
Sc	5,51±1,19	2,45±0,58	1,45±0,41
Sr	117±23	83,1±15,9	55±12

Почвы Надым-Пур-Тазовского региона характеризуется относительно низкими природными концентрациями химических элементов. Содержание микроэлементов варьируют в зависимости от физических характеристик почв. Поэтому значения регионального геохимического фона почв установлены отдельно для органогенных горизонтов и минеральных горизонтов легкого и тяжелого гранулометрического составов, а также торфяников. Максимальные значения большинства микроэлементов отмечаются в глинистых и суглинистых иллювиальных горизонтах почв; концентрация их в 2–8 раз выше, чем в торфяниках (табл. 2). Исключение составляют Hg и Cd, уровень которых в торфяниках в 3–4 раза выше, чем в иллювиальных горизонтах. Рядом с объектами НГКМ отмечается локальное загрязнение поверхностных горизонтов почв. При воздействии бурового шлама отмечается высокий уровень концентрации хлоридов, фосфатов, общего азота, НУ, Na, Sr, Ba и V; пластовые воды являют-

ся источником поступления также ПАУ, фенолов, хлоридов, Na^+ и Ва. Техногенное воздействие сопровождается увеличением доли подвижных форм металлов: Mn – 68 %, Zn – 19 %, Ва – 17 %, Со – 23 %, Cd – 30 %, Sr – 38 %, Na – 20 %, Cu – 25 %.

Таблица 2 – Региональный фон ТМ в различных горизонтах почв Надым-Пур-Тазовского междуречья, мг/кг [6]

Элементы	Горизонт О	Горизонт В		Торфяники (n=211)
	На легких и тяжелых породах (n=346)	Легкий гранулометрический состав (n=113)	Тяжелый гранулометрический состав (n=267)	
Ba	224±12,0	379±29,8	473±11,3	65,1±5,2
Mn	275±31,5	205±26,3	309±22,4	56,8±10,7
Zn	34,9±1,4	19,7±1,83	32,9±1,6	17,4±1,53
Cu	7,92±0,33	5,54±0,64	9,11±0,50	6,24±0,58
Ni	8,89±0,54	7,05±0,97	12,9±0,84	6,34±0,50
Co	4,09±0,32	4,68±0,60	8,50±0,62	2,07±0,16
Pb	13,5±0,5	8,13±0,73	10,6±0,35	4,93±0,45
Cd	0,352±0,023	0,049±0,004	0,077±0,006	0,248±0,024
Cr	18,6±1,41	26,1±3,03	46,0±2,47	7,92±0,92
Hg	0,083±0,006	0,015±0,002	0,020±0,0012	0,076±0,016
Fe	11070±1900	14255±1617	25457±1228	6146±834
V	20,7±1,7	37,4±4,36	65,2±3,03	7,84±0,95
Sc	3,76±0,28	6,16±0,76	7,25±0,42	0,90±0,16
Sr	72,6±3,91	110±10,1	121±7,4	20,5±0,23

При химическом загрязнении радиальная миграция поллютантов ограничена действием геохимических барьеров. Латеральная миграция хорошо выражена в геохимических сопряжениях по ложбинам стока, а на субгоризонтальной поверхности она определяется микрорельефом. Распространение поллютантов носит ограниченный характер и по нашим данным не превышает 150 м. Оттайка мерзлых пород усиливает, прежде всего, миграционную способность Na, K, Ni, Sr, Zn, Cu и в меньшей степени Ca, Ba, Fe, Mn, Cd, Co. При воздействии буровых шламов отмечается загрязнение почвенных вод: Zn – 99 мкг/л, Ni – 32,9, Co – 11,5, Cr – 23, Pb – 25,8, V – 94,2, Mn – 206, Fe – 2120 мкг/л [7]. В грунтовых водах содержание микроэлементов значительно ниже, за исключением Mn (3640 мкг/л), Co (47), Ni (194 мкг/л). Характер распространения металлов в почвенных водах позволяет выделить три группы: повышенное содержание Co в растворе наблюдается до 50 м от источника загрязнения: Cr, Ni, Pb – до 100 м; V, Zn, Fe, Ba, Sr – до 150 м (табл. 3).

В органогенном горизонте почв, вблизи источников загрязнения, максимальное содержание металлов превышает фоновые значения: Mn в 12,5 раз, Sr – 8,9, Cr – 6,1, Ba в 3,4 раза, Cu – 2,9, Ni – 2,6, Fe – 2,5, Co – 2,3, V в 1,8 раза. Латеральная миграция основной части металлов распространяется не далее 50 м. Исключение представляют V, Sr, Ba, Cr, Mn, латеральная миграция которых прослеживается до 100 м. При этом Cl^- , NO_3^- в силу высокой подвижности распространяются в пределах вторичного ореола на расстояние до 150 м [7].

Содержание НУ в поверхностном слое почв зависит от их типа (табл. 3). Более высокие концентрации отмечаются в торфяно-глеевых почвах, они не зависят от степени удаленности от источника. В поверхностном слое иллювиально-железистых подбуров концентрация НУ значительно ниже и характеризуется постепенным снижением по мере удаления от места разлива буровых отходов. Уже на расстоянии 50 м содержание НУ достигает фоновых значений.

Таблица 3 – Содержание химических веществ в поверхностном горизонте почв

Показатель	Расстояние от источника загрязнения (м)								
	Иллювиально-железистые подбуры				Торфяно-глеевые почвы				
	0	50	100	200	0	50	100	150	200
pH, ед.	4,2	4,8	4,9	-	6,43	5,97	4,69	4,17	4,08
Na, %	0,34	0,89	0,88	0,25	1,22	0,95	0,30	0,23	0,38
Ca, %	2,01	0,507	0,35	0,329	0,115	1,18	0,16	0,21	0,19
Al, %	2,70	3,94	3,36	2,21	2,80	1,53	1,31	0,79	2,64
Fe, %	1,81	1,37	1,32	1,29	1,96	1,74	0,364	1,23	1,69
Mn, мг/кг	1937	170	178	372	155	271	49	101	101
Ba, мг/кг	527	468	408	217	798	465	123	130	278
Sr, мг/кг	131	116	101	53,3	706	589	63,6	36,7	54,9
Zn, мг/кг	49,8	29,2	26,8	50,1	54,2	37	14,3	30,9	32,4
Ni, мг/кг	21,9	10,9	11,7	27,1	22,2	11,9	7,47	14,7	11,7
Co, мг/кг	8,39	3,68	4,41	6,41	8,64	4,86	2,33	4,26	4,69
Pb, мг/кг	16,5	18,5	19	12,8	14,9	9,22	9,32	9,69	23,8
Cu, мг/кг	27,2	10,2	8,01	13,4	15,2	14,3	7,02	6,5	10,7
Cr, мг/кг	87,2	41,9	34,9	29,4	40,7	21,2	12,3	8,58	36,5
V, мг/кг	54,3	62,8	54	42,9	65,4	30,4	17,4	10,8	50,4
Cd, мг/кг	0,29	0,10	0,24	0,18	0,15	0,14	0,13	0,21	0,18
Sc, мг/кг	5,36	6,80	5,79	4,69	5,9	3,13	3,86	1,27	5,18
HУ, мг/кг	420	34	27	-	2400	540	620	2100	280

Индикаторные виды растений характеризуются низким содержанием ТМ (табл. 4). Исключение составляют Ba, Sr, Pb, Cd и Ni, уровень которых близок или немного выше кларка [5]. Антропогенное воздействие проявляется в увеличении концентрации металлов в индикаторных видах растений, росте вариабельности их содержания и значения коэффициентов биологического поглощения. Анализ химического состава растений показал, что выделяется группа металлов, содержание которых варьирует в зависимости от удаленности от источника загрязнения. Набор металлов, индицирующих загрязнение почв, для лишайника и багульника идентичен и включает Na, V, Cr, Fe, и Sr. При этом наиболее контрастные содержания характерны для Fe и Sr. Максимальная протяженность техногенного ореола рассеяния элементов в растениях достигает 150 м от источника загрязнения.

Таблица 4 – Региональный фон ТМ в индикаторных видах растений Надым-Пур-Тазовского междуречья, мг/кг сухого вещества [5]

Вид	Ba	Mn	Zn	Cu	Ni	Co	Pb	Cd	Cr	V	Fe
Лишайник <i>Cladonia alpestris</i> , n=111	16,5± 2,5	87± 29	14,0± 0,84	1,69± 0,15	2,12± 0,3	0,63± 0,18	1,72± 0,17	0,05± 0,01	2,94± 0,47	1,49± 0,24	410± 92
Багульник <i>Ledum decumbens</i> , n=171	85,4± 4	1100± 94	21,4± 1,16	3,77± 0,18	1,7± 0,17	0,16± 0,02	0,74± 0,11	0,05± 0,01	1,01± 0,1	0,57± 0,05	91± 28

Заключение. Проведенные исследования показали, что загрязнение изученных лицензионных участков ЯНАО характеризуется в целом низким уровнем. Для поверхностных вод отмечается относительно низкий природный фон содержания ТМ. Исключение составляет Fe, Cu и Mn, что обусловлено высокой подвижностью этих металлов в тундровых ландшафтах. Состав донных отложений, преимущественно, зависит почвообразующих пород (петро-

генный фактор). Он же оказывает большое влияние и на химический состав почв. Техногенное загрязнение проявляется в незначительном увеличении в органогенном горизонте рН и концентрации сульфатов, хлоридов, фосфатов, НУ, а также халькофилов (Cd, Zn, Pb, Cu). Отмечается локальный рост концентрации НУ и ПАУ. Латеральная миграция поллютантов в целом не превышает 100 м, и она более активна на легких по гранулометрическому составу почвах северной тайги с глубокой сезонной оттайкой. В индикаторных видах растений увеличивается содержание Mn, Ba, V и Sr. В целом на долю загрязненных почв приходится порядка 7–10 % от общей площади.

Благодарности. *Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ 19-29-05081.*

Список литературы

1. Доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Ямало-Ненецком автономном округе в 2016 году». Салехард, 2017. 237 с.
2. Лаверов Н. П., Богоявленский В. И., Богоявленский И. В. Фундаментальные аспекты рационального освоения ресурсов нефти и газа Арктики и шельфа России: стратегия, перспективы и проблемы // Арктика экология и экономика. 2016. № 2(22). С. 4–13.
3. Свириденко С. П., Питерских А. С. Экологическое состояние почвенного покрова на территории Приуральяского района Ямало-Ненецкого автономного округа // Вестник КрасГАУ. 2012. № 4. С. 67–80.
4. Кукушкин С. Ю., Опекунова М. Г., Опекунов А. Ю. Экологический мониторинг районов нефтегазодобычи в Ямало-Ненецком автономном округе // Научные труды Северо-Западного института управления РАНХиГС. 2019. Т. 10, № 4(41). С. 70–76.
5. Опекунова М. Г., Опекунов А. Ю., Кукушкин С. Ю., Арестова И. Ю. Оценка трансформации природной среды в районах разработки углеводородного сырья на севере Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. 2018. № 1. С. 122–138.
6. Опекунова М. Г., Опекунов А. Ю., Кукушкин С. Ю., Ганул А. Г. Фоновое содержание химических элементов в почвах и донных осадках севера Западной Сибири // Почвоведение. 2019. № 4. С. 422–439.
7. Opekunova M. G., Opekunov A. Y., Kukushkin S. Y. Environmental Pollution by Drilling Waste in the Arctic // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. V. 666: 032074.

ОСНОВЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

Пермитина В. Н.

*РГП на ПХВ «Институт ботаники и фитоинтродукции» КЛХЖМ МЭГПР РК, г. Алматы,
Казахстан
v.permitina@mail.ru*

Ключевые слова: антропогенное воздействие, биологическая рекультивация, нарушенные земли, плодородный слой, почвенный покров, Северный Казахстан.

Аннотация: В работе дан анализ исследований нарушенных и нарушаемых земель в условиях антропогенного воздействия, связанного с добычей полезных ископаемых и интенсивным земледелием лесостепной зоны Северного Казахстана. Представлены результаты комплексных исследований нарушенных земель, почвенно-мелиоративных условий контрактной территории с определением потенциальной пригодности участков для проведения биологической рекультивации. На примере колкового лугово-степного равнинного района выявлено разнообразие почв с преобладанием зонального подтипа черноземов обыкновенных среднегумусных, интразональные типы представлены лугово-черноземными почвами, солодами лесными, луговыми, лугово-болотными и болотными почвами. Приведена краткая морфогенетическая характеристика почв, занимающих различные позиции в ландшафтах, отличающихся по родовым и видовым признакам и испытывающих различное антропогенное воздействие. Проведена дифференциация по видам нарушения с целью оценки степени деградации и возможности восстановления земель. Территория подразделена на группы земель по пригодности для снятия плодородного слоя почв и проведения мероприятий по биологической рекультивации с учетом землепользования. Предложены разработанные мероприятия по биологической рекультивации с определением методов и способов восстановления нарушенных земель.

FUNDAMENTALS OF BIOLOGICAL RECLAMATION OF DISTURBED LANDS OF ORE DEPOSITS IN NORTHERN KAZAKHSTAN

Permitina V. N.

*RSE «Institute of Botany and Phytointroduction» of the Committee of Forestry and Wildlife of the
Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan, Almaty,
Kazakhstan*

Key words: anthropogenic impact, biological reclamation, disturbed lands, fertile layer, soil cover, Northern Kazakhstan.

Abstract: The paper analyzes the studies of disturbed and disturbed lands under the conditions of anthropogenic impact associated with mining and intensive agriculture in the forest-steppe zone of Northern Kazakhstan. The results of comprehensive studies of disturbed lands, soil and reclamation conditions of the contract area with the determination of the potential suitability of sites for biological reclamation are presented. On the example of a kolkovy meadow-steppe plain region, a variety of soils was revealed with a predominance of a zonal subtype of ordinary chernozems of medium humus, intrazonal types are represented by meadow-chernozem soils, forest solods, meadow, meadow-marsh and marsh soils. A brief morphogenetic description of soils occupying different positions in landscapes, differing in generic and species characteristics and experiencing various anthropogenic impacts, is given. A differentiation was made by types of disturbance in order to assess the degree of degradation and the possibility of restoring lands. The territory is subdivided into groups of lands according to suitability for removing the fertile soil layer and carrying out activi-

ties for biological reclamation, taking into account land use. The developed measures for biological reclamation with the definition of methods and means of restoring disturbed lands are proposed.

Антропогенная трансформация почв в пределах обследованной территории носит многофакторный и комплексный характер, степень и формы проявления которой различаются в зависимости от вида воздействия, определяемого разработкой рудного месторождения и сельскохозяйственное использование под пашню, сенокосы и пастбища. Восстановление продуктивности и народно-хозяйственной ценности нарушенных земель предполагает комплекс рекультивационных работ, направленных на улучшение условий формирования почв и почвенного покрова.

Контрактная территория входит в состав Казахстанской провинции черноземов обыкновенных среднемощных и черноземов южных средне и маломощных [1]. Провинция включает южную окраину Западносибирской низменности с полого-наклонным или местами грядово-равнинным рельефом, которая сложена древнеаллювиальными глинистыми отложениями, перекрывающие более древние морские, нередко засоленные отложения. По природному районированию территория относится к степной зоне с равнинным рельефом, подзоне умеренно влажных разнотравно-злаковых степей на черноземах обыкновенных среднегумусных.

Поверхность представляет слабо дренированную равнину с характерным западным мезорельефом, представляющим чередование плоских или слабо всхолмленных поверхностей с небольшими понижениями, более мелкими западинами и более крупными падинами с плоским дном. Абсолютная высота над уровнем моря изменяется в пределах 185–280 м. Грунтовые воды сильно минерализованы, залегают на глубине 4–6 м от поверхности. Растительность типчаково-полынная, формирующаяся в комплексе с ковыльно-типчаковой растительностью с примесью лугового разнотравья. По повышенным позициям слабоволнистой равнины распространены черноземы обыкновенные среднегумусные нормальные, местами солонцеватые, формирующиеся на бурых лессовидных суглинках и засоленных глинах. Плоскодонные замкнутые западины занимают осиново-березовые колки, местами с ивняковыми зарослями в центральной части с луговым и лугово-болотным травяным покровом, где формируются: солоды лесные, осолоделые и заболоченные почвы. Приподнятые широкие понижения и периферию колков с лугово-степной растительностью занимают луговые обыкновенные и засоленные, и лугово-черноземные обыкновенные, местами солонцеватые почвы [2–4].

Представленные почвы имеют высокое потенциальное и эффективное плодородие, характеризуются определенной урожайностью и качеством сельскохозяйственной продукции (пашни на черноземах обыкновенных) и продуктивностью (пастбищные и сенокосные земли на лугово-черноземных и луговых почвах) с развитием разнотравно-злаковой растительности. Анализ проведенных морфогенетических исследований показал, что мощность плодородного слоя выделенных почв варьирует от 20 до 40 см. Содержание гумуса находится в пределах от 4–9 (черноземы обыкновенные) до 4,6–6,6 (лугово-черноземные почвы) и 4–7,5 % (луговые почвы). Реакция почвенного раствора плодородного слоя почв варьирует от слабокислой (рН=6,3–6,8) до щелочной (рН=8,0–9,4). Преобладают не солонцеватые почвы, содержащие незначительное количество обменного натрия (1,3–3,0 % от суммы поглощенных оснований). Почвы не засолены, не содержат в своем составе токсичные соли, обладают глинистым или тяжелосуглинистым гранулометрическим составом с содержанием глинистых фракций от 53 до 73 %.

Экологические последствия техногенного воздействия, связанного с разработкой месторождения рудных ископаемых выражаются в трансформации и деградации почв, потере естественных компонентов структуры почвенного покрова [5], которые выражаются в образовании техногенных ландшафтов с разнообразными формами макро- и мезорельефа, дифференцированные по различным видам нарушения. Выделены наиболее распространенные: полигоны отвальных почвогрунтов с материнскими и подстилающими породами на поверх-

ности, карьерные выемки, каналы, хвостохранилища отходов обогащения полезных ископаемых, строительные объекты и пр. Для территории рудника выделены виды трансформированных почв, разделяющиеся по типам техногенных воздействий на: механогенно-трансформированные и гидрогенно-трансформированные (подтопленные). Механическое нарушение почв сопровождается изъятием генетических горизонтов и почвообразующих пород или разрушением профиля. При изменении условий поверхностного и подземного стока с образованием мелководных водоемов техногенного происхождения возникают процессы застойного режима увлажнения, вызывающие заболачивание с развитием признаков обесструктурирования, оглеения горизонтов, изменением величины рН в сторону подкисления.

Земельный фонд контрактной территории использовался как основные сельскохозяйственные угодья – пашни, пастбища, сенокосы и земли лесного фонда. Часть пахотных земель была переведена в категорию залежей. Пахотные земли определяются очень сильной степенью нарушения, распашка относится к необратимым изменениям свойств почв с потерей их потенциального плодородия, основным из которых является дегумификация. Под влиянием агротехнических приемов возникают антропогенно преобразованные почвы с разрушенным гумусовым горизонтом с пониженным содержанием в нем гумуса и элементов питания [6].

В составе проектов на производство горнодобывающих, строительных и других работ, разрабатывался проект по снятию, хранению и использованию плодородного слоя, проект рекультивации нарушенных и нарушаемых земель. На основании анализа проведенных исследований почвенно-мелиоративных условий, оценки степени трансформации и деградации почвенного покрова, почвенной карты контрактного участка территория была подразделена на три основные агропроизводственные группы земель по степени пригодности для снятия плодородного слоя почв и проведения мероприятий по биологической рекультивации с учетом землепользования, составлена картограмма снятия плодородного слоя почв.

Группа I – Земли, пригодные для снятия плодородного слоя и потенциально плодородных пород, и биологической рекультивации. К I группе земель отнесены территории с распространением черноземов обыкновенных, лугово-черноземных и луговых почв земледельческого и пастбищного назначения, которые по комплексу физико-химических свойств (генетическая сформированность профиля, содержание гумуса, реакция среды, гранулометрический состав) подлежат снятию плодородного слоя и проведению биологической рекультивации с использованием мероприятий по залужению.

Группа II – Земли, малопродуктивные для снятия плодородного слоя и потенциально плодородных пород, и биологической рекультивации. Ко II группе земель относятся территории с распространением солодей лесных и лугово-болотных почв, которые по комплексу физико-химических свойств (маломощность органогенных горизонтов, кислая реакция почвенного раствора, избыточное увлажнение) выборочно подлежат снятию плодородного слоя и потенциально плодородных пород. Рекомендовано проведение биологической рекультивации с использованием мероприятий по лесомелиорации.

Группа III – Земли, не пригодные для снятия плодородного слоя и потенциально плодородных пород, выборочно пригодные для биологической рекультивации. Группа объединяет земли с признаками техногенного нарушения (карьеры, отвалы, хвостохранилища, промышленные, строительные объекты и площадки). Рекомендовано проведение мероприятий по биологической рекультивации с использованием мероприятий по лесомелиорации, созданию водоемов.

Группировка почв проведена по потребности проведения мелиоративных мероприятий. Целесообразность снятия плодородного слоя почв устанавливалась в зависимости от уровня плодородия, определяемого по основным показателям: содержание гумуса, показатель концентрации водородных ионов, содержание поглощенного натрия, сумма токсичных солей, сумма глинистых фракций.

К группе пригодных для землевания с использованием снятого плодородного слоя отнесены участки пашни, залежей и пастбищ. Мероприятия по возврату плодородного слоя

включают землевание в один прием без перемешивания при незначительном различии гранулометрического состава наносимого слоя и почв рекультивируемых земель, планировку поверхности с использованием боронования и прикатывания. Предложены схемы по залужению многолетними дерновинными злаками (*Elytrigia repens* (L.) Desv. Ex Nevski) или зернобобовыми (*E. repens*, *Medicago falcate* L.) смесями для стабилизации поверхности, включая варианты посева, нормы высева и ассортимент видов растений.

На участках выпавшего или вырубленного колкового леса с солодами лесными рекомендуется использование снятого плодородного слоя для увеличения его природной мощности и создания многолетних лесных насаждений с типовыми агротехническими мероприятиями. После осушительных мелиораций с использованием дренажной системы (или без них), внесение органических и минеральных удобрений. После проведения планировки и разбивки участка на посадочные полосы предлагается использовать варианты мероприятий с кольцевой посадкой древесно-кустарниковых пород, состоящей из шиповника, осины, березы, ивы (*Salix triandra* L., *Salix caprea* L., *Salix rosmarinifolia* L., *Betula pendula* Roth, *Betula pubescens* Ehrh., *Populus tremula* L., *Rosa acicularis* Lindl., *Rosa spinosissima* L.) и залужение междурядий злаками (*E. repens*). Технологические показатели вариантов посадок включают количество рядов, ширину междурядий, размещение саженцев в ряду, размеры посадочных ям для древесных и кустарниковых пород. Центральная пониженная часть участков оставляется для самозарастания. Данные участки могут быть возвращены в оборот как восстановленные земли лесного фонда.

При наличии комплекса негативных признаков (уменьшение мощности плодородного слоя, снижение запасов органического вещества и элементов питания растений) и характеристик (загрязнение, защебнение, каменистость, засоление, эродированность и пр.) земель сильной степени техногенного нарушения рекомендовано проведение технического этапа рекультивации с планировкой нарушенной территории, выравниванием поверхности вскрышных и отвальных пород и определением их пригодности к биологической рекультивации, нанесением плодородного слоя, проведением мероприятий по созданию защитных лесонасаждений из древесно-кустарниковых пород и залужению с целью восстановления почвенно-растительного покрова.

Список литературы

1. Почвенно-географическое районирование СССР (в связи с сельскохозяйственным использованием земель). М.: АН СССР, 1962. 422 с.
2. Пачикина Л. И., Рубинштейн М. И. Почвы Кокчетавской области // Почвы Казахской ССР. Алма-Ата: Наука, 1960. Вып. 2. 136 с.
3. Федорин Ю. В. Почвы Северо-Казахстанской области // Почвы Казахской ССР. Алма-Ата: Наука, 1960. Вып. 1. 174 с.
4. Пермитина В. Н. Структура почвенного покрова и почвенное разнообразие колковой степи Северного Казахстана // Степи Северной Евразии: Материалы восьмого Междунар. симпозиума, Оренбург, 9–13 сентября 2018 г. Оренбург, 2018. С. 747–750.
5. Пермитина В. Н. Процессы трансформации почвенного покрова рудных месторождений Северного Казахстана // Экосистемы Центральной Азии в современных условиях социально-экономического развития: Материалы Междунар. науч. конф., Улан-Батор, 8–10 сентября 2015 г. Монголия, Улан-Батор, 2015. С. 428–432.
6. Пермитина В. Н. Процессы трансформации почв в зоне интенсивного земледелия Северного Казахстана // Материалы Междунар. конф., посвященной 50-летию СРМКБЭ РАН и АНМ, Москва, 23–25 октября 2019 г. М., 2019. С. 169–174.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ДРЕВОСТОЕВ *BETULA PENDULA* ROTH В 30-КИЛОМЕТРОВОЙ ЗОНЕ ЧАЭС

¹Потапенко А. М., ¹Машков И. А., ¹Толкачева Н. В., ²Митин Н. В., ³Шабалева М. С.

¹Институт леса НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь
formelior@tut.by

²Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, г. Гомель, Беларусь
mitin9@mail.ru

³Гомельский государственный медицинский университет, г. Гомель, Беларусь

Ключевые слова: состояние насаждений, береза повислая, радиоактивное загрязнение, зона отчуждения.

Аннотация: Площадь березовых насаждений в лесном фонде Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, расположенного в 30-километровой зоне Чернобыльской атомной станции за последние 10 лет, увеличилась. В то же время отмечается уменьшение площади молодняков и значительное увеличение площади средневозрастных, приспевающих, спелых и перестойных насаждений. В настоящее время березовые насаждения, произрастающие в 30-километровой зоне, относятся ко 2 классу биологической устойчивости, т.е. характеризуются нарушенной устойчивостью и характеризуется преобладанием сильно ослабленных по санитарному состоянию насаждений. Максимальный отпад деревьев березы повислой (30–40 % от общего запаса насаждений) отмечается в насаждениях 6 класса возраста. в березняках 5 класса возраста отпад составляет 10,1 %, в 6 классе возраста – 35,9 %, в 7 классе возраста – 28,8 % и в 8 классе возраста – 17,1 %. В основном отпад характеризуется наличием сухостойных деревьев.

BIOLOGICAL STABILITY OF BIRCH STANDS IN THE 30-KILOMETER ZONE OF THE CHERNOBYL NPP

¹Potapenko A. M., ¹Mashkov I. A., ¹Tolkacheva N. V., ²Mitin N. V., ³Shabaleva M. S.

¹Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus

²Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus

³Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

Key words: state of stands, silver birch, radioactive contamination, exclusion zone.

Abstract: The area of birch plantations in the forest fund of the Polessky State Radiation and Ecological Reserve located in the 30-km zone of the Chernobyl Nuclear Power Plant has increased for the last 10 years. At the same time, a decrease in the area of young stands and a significant increase in the area of middle-aged, mature, mature and overmature stands have been noted. At present birch plantations growing within the 30-km zone belong to the 2nd class of biological stability, i.e., they are characterized by broken stability and are characterized by the prevalence of strongly weakened plantations in sanitary condition. The maximum drop-out of trees of birch trees (30–40 % of the total plantation stock) is noted in stands of age class 6. In birch forests of age class 5 the drop-out is 10,1 %, in age class 6–35,9 %, in age class 7–28,8 % and in age class 8–17,1 %. Most of the decay is characterized by the presence of dead trees

Введение. В 30-километровой зоне ЧАЭС, расположенной в пределах Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ), на протяжении последних 30 лет и более лет мягколиственные насаждения не эксплуатируются. При этом, насаждения теряют свою биологическую устойчивость, происходит постепенная их деградация [1], нарушается лесовозобновительная способность. В производных от сосновых и дубовых на-

саждений березняках зоны отчуждения отмечается неудовлетворительное естественное возобновление деревьев главных лесобразующих пород [2].

По состоянию на 1 января 2020 г. общая площадь земель лесного фонда ПГРЭЗ составляла 216,9 тыс. га, из них покрытые лесом земли – 139,6 тыс. га. В породном составе лесов преобладали сосняки (39,3 %), березняки (30,9 %) и черноольшаники (10,6 %).

За последние 10 лет площадь березовых насаждений ПГРЭЗ увеличилась на 6953,2 га (19,2 %). В то же время отмечается уменьшение на 37,0 % площади молодняков. Выявлено значительное увеличение площади средневозрастных, приспевающих, спелых и перестойных насаждений, соответственно на 4412,5; 3879,1; 3428,5 га. В настоящее время возрастная структура березовых насаждений характеризуется следующим образом: молодняки составляют 18,8 %, средневозрастные – 63,4 %, приспевающие – 9,6 %, спелые и перестойные насаждения – 8,2 %.

Целью данной работы является изучение биологической устойчивости березовых насаждений в 30-километровой зоне ЧАЭС спустя 33 года после аварии.

Материалы и методы. Исследования проводились на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника в чистых и смешанных березовых насаждениях 30-километровой зоны ЧАЭС на 9 пробных площадях. Пробные площади были заложены в преобладающих в заповеднике типах леса: крапивном, черничном, приручейно-травяном, осоково-травяном и осоковом.

В камеральных условиях для каждой пробной площади по общепринятым методикам определялись таксационные характеристики насаждений (диаметр, высота, сумма площадей поперечного сечения, запас, полнота, бонитет).

Исследование биологической устойчивости березовых насаждений в 30-километровой зоне ЧАЭС проводилось в соответствии с Санитарными правилами в лесах Республики Беларусь [3].

Результаты исследований. Результаты исследования березовых насаждений ПГРЭЗ в преобладающих типах леса показали, что, исходя из полученных данных, по запасу текущего отпада и доли деревьев 1 категории состояния из всего объема обследованных насаждений 77,7 % относятся ко 2 классу биологической устойчивости, т. е. характеризуются нарушенной устойчивостью [4].

Анализ долевой структуры общего запаса исследованных березовых насаждений показал, что в березняках 5 класса возраста отпад составляет 10,1 %, в 6 классе возраста – 35,9 %, в 7 классе возраста – 28,8 % и в 8 классе возраста – 17,1 % (рис.).

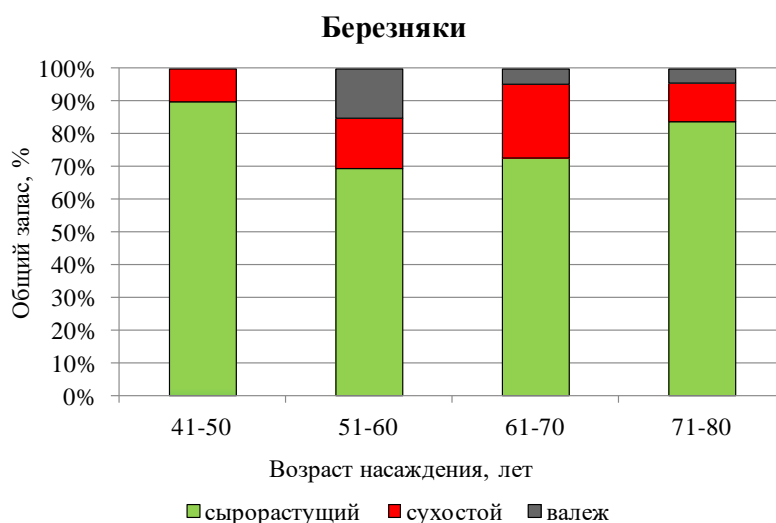


Рисунок – Структура общего запаса в березовых насаждениях 30-километровой зоны ЧАЭС разного возраста

Как видно из рисунка, отпад преимущественно характеризуется наличием сухостойных деревьев, что вероятнее всего указывает на негативное влияние отсутствия лесохозяйственных мероприятий в насаждениях в условиях режима заповедности.

Заключение. Таким образом, из всего объема обследованных березовых насаждений 77,7 % относятся ко 2 классу биологической устойчивости, т. е. характеризуются нарушенной устойчивостью. Максимальный отпад деревьев березы повислой (30–40 % от общего запаса насаждений) отмечается в насаждениях 6 класса возраста. В березняках 5 класса возраста отпад составляет 10,1 %, в 6 классе возраста – 35,9 %, в 7 классе возраста – 28,8 % и в 8 классе возраста – 17,1 %. В основном отпад характеризуется наличием сухостойных деревьев. Наличие низкой доли отпада в насаждениях 8 класса возраста свидетельствует о том, что это могли быть насаждения, которые существовали на момент аварии, а потом вошли в зону отчуждения.

Список литературы

1. Кудин М. В., Углянец А. В., Гарбарук Д. К. Предварительное естественное возобновление леса в высоковозрастных черноольшаниках зоны отчуждения Чернобыльской АЭС // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. Минск: БГТУ, 2017. № 2(198). С. 64–72.
2. Кудин М. В., Углянец А. В., Гарбарук Д. К. Предварительное естественное возобновление леса в производных березняках повислых зоны отчуждения Чернобыльской АЭС // Проблемы лесоведения и лесоводства: Сб. науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т леса. Гомель, 2018. Вып. 78. С. 151–164.
3. Санитарные правила в лесах Республики Беларусь: утв. Постановлением Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь от 19 декабря 2016 г. № 79. Минск: Минлесхоз, 2016. 21 с.
4. Изучить состояние лесов в 30-километровой зоне ЧАЭС и разработать рекомендации по повышению их устойчивости: отчет о НИР (закл.) / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т леса; рук. темы Н. И. Булко. Гомель, 2020. 109 с. № ГР 20190362.

ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ ОБ АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ *ACER NEGUNDO* В ЭКСПЕРИМЕНТАХ РАЗНОГО ДИЗАЙНА

Рафикова О. С., Веселкин Д. В.

*Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
rafikova_os@mail.ru*

Ключевые слова: инвазивные растения, аллелопатия, всхожесть, *Acer negundo*.

Аннотация: Для оценки аллелопатической активности инвазивного клена ясенелистного в 2016–2021 гг. провели серию экспериментов разного дизайна: лабораторные в чашках Петри и в рулонных культурах, вегетационные (тепличные) и полевые. Установлено только слабое влияние клена на прорастание и развитие проростков горчицы белой, овсяницы красной и клевера ползучего. Ингибирующее влияние инвазивного клена было не сильнее, чем аналогичное влияние местных деревьев. В экспериментах разного дизайна не получено подтверждения, что аллелопатия может быть реальным механизмом, объясняющим экологический успех клена во вторичном ареале. Это означает, что сообщества и почвы, трансформированные в результате инвазии клена ясенелистного, имеют хороший потенциал восстановления при снятии прямого средообразующего влияния живых особей клена.

TESTING THE HYPOTHESIS OF THE ALLELOPATHIC ACTIVITY OF *ACER NEGUNDO* IN DIFFERENT EXPERIMENTAL DESIGNS

¹*Rafikova O. S., ¹Veselkin D. V.*

¹*The Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia*

Key words: invasive plants, allelopathy, seed germination, *Acer negundo*.

Abstract: we conducted a series of experiments of different design to assess the allelopathy of the invasive ash-leaved maple (*Acer negundo* L.): biotests in Petri dishes and in roll cultures, greenhouse and field experiments. Experiments were performed in 2016–2021. Only a weak effect of *A. negundo* on seed germination and development of seedlings of *Sinapis alba*, *Festuca rubra*, and *Trifolium repens* was established. The inhibitory effect of *A. negundo* was no stronger than one of native trees. Experiments of different design have not provided evidence that allelopathy could explain the invasive success of *A. negundo* in its secondary range. Therefore, communities and soils transformed by ash-leaved maple have a potential for restoration when the direct environment-transforming influence of maple specimen are removed.

Введение. Аллелопатия и близкие экологические феномены, такие как почвоутомление и plant-soil feedback, активно исследуются как вероятные механизмы успеха инвазивных растений во вторичных ареалах [1–4]. Но предположение об аллелопатической активности не является универсальным объяснением экологического успеха инвазивных растений. Для надежного суждения об аллелопатических эффектах конкретного чужеродного вида необходимо накопление методически строгих результатов экспериментов разного дизайна.

Методика исследований. Клен ясенелистный или американский (*Acer negundo* L.) – листопадное дерево семейства Sapindaceae. Его первичный ареал находится в Северной Америке; занесен в Черную книгу флоры Средней России и Сибири [5, 6]; во вторичном ареале представляет угрозу биологическому разнообразию [7, 8]. Растения-реципиенты: овсяница красная (*Festuca rubra* L.); горчица белая (*Sinapis alba* L.); клевер ползучий (*Trifolium repens* L.). Все виды выращивали из покупных семян, соответствующих ГОСТ 52325–2005

[9]. Растения-доноры для приготовления вытяжек из листьев: рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.); черемуха обыкновенная (*Prunus padus* L.); ива козья (*Salix caprea* L.).

Для проверки гипотезы об аллелопатической активности инвазивного дерева клена ясенелистного провели эксперименты разного дизайна: лабораторные эксперименты в чашках Петри и рулонных культурах, вегетационные тепличные и полевые эксперименты. В качестве отрицательных контролей с вариантами вытяжек из листьев клена ясенелистного, суспензий или почв из-под него, использовали местные растений и почву, отобранную под ними. Все эксперименты проводили в повторностях, достаточных для обработки результатов методом дисперсионного анализа.

Результаты исследований. В экспериментах с водными вытяжками листьев в чашках Петри и рулонных культурах в 2020–2021 гг. установлено только слабое влияние инвазивного клена на прорастание семян горчицы, овсяницы и клевера [10, 11]. В экспериментах в чашках Петри с водными вытяжками листьев максимальная всхожесть в среднем не различалась в зависимости от варианта вытяжки: вода – 87 ± 2 %; ива – 85 ± 3 %; черемуха – 87 ± 2 %; рябина – 83 ± 2 %; клен – 86 ± 2 %. Ингибирующее влияние клена на прорастание было не сильнее, чем аналогичное влияние местных деревьев.

В эксперименте с почвенными суспензиями в рулонных культурах в 2021 г. ни выживаемость, ни морфологические параметры развития тест-растений на суспензии почв из зарослей клена не были минимальными, по сравнению с другими вытяжками. Средняя выживаемость при выращивании на суспензиях почвы из окрестностей Среднеуральского медеплавильного завода, загрязненных тяжелыми металлами, была 74 ± 3 %, в зарослях клена 76 ± 2 %, в отсутствие клена в местообитании 75 ± 2 %, на почве из загородного луга 74 ± 4 %, на воде 69 ± 5 %. Надземные и подземные части растений были наименьшей длины на почве, загрязненной тяжелыми металлами.

В вегетационном эксперименте 2016 г. установлено небольшое снижение всхожести овсяницы при выращивании на почве из зарослей инвазивного клена [12, 13]. И на 6 сутки, и на 10 сутки учета наибольшие средние значения (4 ± 2 % и 55 ± 6 % соответственно) принимали показатели всхожести в вариантах без клена. Масса особей овсяницы не изменялась в зависимости от присутствия или отсутствия клена в месте отбора почвы. Наиболее заметное влияние со стороны клена ясенелистного проявилось при анализе микоризообразования, которое угнеталось в его присутствии. В варианте с почвой из куртин клена встречаемость арбускул была в диапазоне до 4 %, при выращивании на почве из местообитаний без зарослей клена встречаемость арбускул составляла до 18 %.

В вегетационном эксперименте 2018 г. гипотеза о подавлении всхожести аборигенных растений в почвах из зарослей клена ясенелистного не подтверждена [14]. Есть слабая тенденция: в среднем наименьшая доля проросших семян была в почвах из-под клена (31 ± 3 %), больше – в вариантах без него (33 ± 3 %), наибольшая – в отрицательном контроле (загородный луг) (35 ± 4 %). Однако эти контрасты, по-видимому, очень малы и экологически мало значимы.

В ходе полевого эксперимента 2019 г. выявлено, что в инвазивных зарослях всхожесть и выживаемость проростков горчицы, овсяницы, сосны и самого клена были выше по сравнению с сообществами с доминированием других видов деревьев [15]. Средняя всхожесть горчицы под кленом и без него отличалась в 0,8–2,7 раз. Всхожесть овсяницы была выше в инвазивных зарослях в 1,1–1,4 раза, клена в его собственных зарослях – в 1,2–2,4 раза. Наиболее сильные контрасты наблюдались для сосны – в 2,3–9,0 раз. Полевой эксперимент 2021 г. подтвердил эти выводы (растения реципиенты: горчица, овсяница и клевер).

Заключение. Не получено убедительных подтверждений, что аллелопатия может быть механизмом, объясняющим экологический успех клена ясенелистного во вторичном ареале. Передающееся через почву воздействие клена на аборигенные травы не сильное. Это позволяет понять перспективы рекультивации сообществ после удаления биомассы клена с территории. Способность к восстановлению сообществ, трансформированных чужеродным кленом, вероятно, качественно не отличается от способности к восстановлению сообществ,

нарушенных в силу иных причин. Это дополнительно подтверждается несильным влиянием инвазивного клена на почвенный банк семян [16].

Благодарности. Авторы выражают благодарность: А. А. Бетехтиной, О. А. Киселевой, Д. И. Дубровину, Д. П. Дубровиной, Ю. А. Липихиной. Эксперименты выполнены в рамках государственного задания ИЭРиЖ УрО РАН и при поддержке РФФИ (20-34-90084).

Список литературы

1. Klironomos J. N. Feedback with soil biota contributes to plant rarity and invasiveness in communities // *Nature*. 2002. V. 417(6884). P. 67–70.
2. Callaway R. M., Ridenour W. M. Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability // *Front. Ecol. Environ.* 2004. V. 2(8). P. 436–443.
3. Anacker B. L., Klironomos J. N., Maherali H., Reinhart K. O., Strauss S. Y. Phylogenetic conservatism in plant-soil feedback and its implications for plant abundance // *Ecol. Lett.* 2014. V. 17(12). P. 1613–1621.
4. Brouwer N. L., Hale A. N., Kalisz S. Mutualism-disrupting allelopathic invader drives carbon stress and vital rate decline in a forest perennial herb // *AoB Plants*. 2015. V. 7: plv014.
5. Виноградова Ю. К., Майоров С. Р., Хорун Л. В. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М.: ГЕОС, 2009. 494 с.
6. Черная книга флоры Сибири / А. Л. Эбель, А. Н. Куприянов, Т. О. Стрельникова [и др.]. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2016. 440 с.
7. Веселкин Д. В., Дубровин Д. И. Разнообразие травяного яруса урбанизированных сообществ с доминированием инвазивного *Acer negundo* // *Экология*. 2019. № 5. С. 323–331.
8. Веселкин Д. В., Дубровин Д. И., Рафикова О. С., Липихина Ю. А., Золотарева Н. В., Подгаевская Е. Н., Пустовалова Л. А., Яковлева А. В. Затенение и перехват света в зарослях инвазионных видов *Acer negundo* и *Sorbaria sorbifolia* // *Российский журнал биологических инвазий*. 2021. № 4. С. 30–42.
9. ГОСТ Р 52325-2005 Национальный стандарт Российской Федерации семена сельскохозяйственных растений сортовые и посевные качества. Общие технические условия. Дата введения: 2006–01–01. М.: Стандартинформ, 2009. 20 с.
10. Веселкин Д. В., Рафикова О. С. Влияние водных вытяжек из листьев клена ясенелистного и листьев местных видов деревьев на раннее развитие растений // *Экология*. 2022. № 2. С. 87–95.
11. Рафикова О. С. Водные вытяжки из листьев инвазивного *Acer negundo* не подавляют прорастание семян больше, чем вытяжки из листьев местных видов // *Экология: факты, гипотезы, модели: Материалы конф. молодых ученых, г. Екатеринбург, 12–15 апреля 2021 г.* Екатеринбург: ООО Универсальная Типография «Альфа Принт», 2021. С. 135–145.
12. Рафикова О. С., Екшибаров Е. Д. Развитие *Festuca rubra* L. при выращивании на почве из куртин инвазивного *Acer negundo* L. // *Экология: факты, гипотезы, модели: Материалы конф. молодых ученых, г. Екатеринбург, 27–31 марта 2017 г.* Екатеринбург: ИД «ЛИСИЦА», 2017. С. 102.
13. Веселкин Д. В., Рафикова О. С., Екшибаров Е. Д. Почва из зарослей инвазивного *Acer negundo* неблагоприятна для образования микоризы у аборигенных трав // *Журнал общей биологии*. 2019. Т. 80, № 3. С. 214–225.
14. Рафикова О. С. Всхожесть местных растений не подавляется в почвах из зарослей инвазивного *Acer negundo* // *Экология: факты, гипотезы, модели: Материалы конф. молодых ученых, г. Екатеринбург, 1–5 апреля 2019 г.* Екатеринбург: «Реэкшен», 2019. 123 с.
15. Рафикова О. С., Дубровин Д. И. Всхожесть семян местных растений в зарослях инвазивного *Acer negundo* не подавляется // *Проблемы антропогенной трансформации природной среды: Материалы Междунар. конф., г. Пермь, 14–15 ноября 2019 г.* Пермь, 2019. С. 21–24.

16. Veselkin D. V., Kiseleva O. A., Ekshibarov E. D., Rafikova O. S., Korzhinevskaya A. A. Abundance and diversity of seedlings of the soil seed bank in the thickets of the invasive species *Acer negundo* L. // Russian Journal of Biological Invasions. 2018. V. 9(2). P. 108–113.

УДК 581.15:574:001.8

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФИТОМОНИТОРИНГА В ТЕХНОГЕННО ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ РЕГИОНАХ

Сафонов А. И., Глухов А. З.

*Донецкий национальный университет, г. Донецк, ДНР
andrey_safonov@mail.ru*

Ключевые слова: фитомониторинг, Донбасс, диагностика трансформированной среды.

Аннотация: Рассмотрены примеры реализации мониторинговой программы с использованием данных о состоянии растений-индикаторов. Методологические подходы фитомониторинга в техногенном регионе представлены в следующих группах: 1) экспресс-диагностические; 2) первичные инструментально-аналитические с разделением на ботанико-структурные, функционально-физиологические; 3) статистически-интерпретационные с учетом частоты встречаемости или регистрации фитоиндикационных признаков; 4) вторичные аналитические по расчету экологических амплитуд, индикаторных шкал, установлению валентности видов и их характеристик к факторам, режимам и условиям среды в промышленном регионе; 5) интеграционные и визуализационные подходы как способы получения картографической продукции.

METHODOLOGICAL ASPECTS OF PHYTOMONITORING IN TECHNOGENICALLY TRANSFORMED REGIONS

Safonov A. I., Glukhov A. Z.

Donetsk National University, Donetsk, DPR

Key words: phytomonitoring, Donbass, diagnostics of the transformed environment.

Abstract: Examples of the implementation of a monitoring program using data on the state of indicator plants are considered. Methodological approaches of phytomonitoring in the technogenic region are presented in the following groups: 1) express diagnostic, including field, background, signals for emergency registration of changes; 2) primary instrumental and analytical, divided into structural, functional and physiological, biochemical, physical and combined (for example, light microscopy); 3) statistical and interpretive, taking into account the frequency of occurrence or registration of phytoindicative traits and the specifics of their manifestations under the conditions of anthropogenic transformation of ecotopes, the construction of correlation matrices in the «indicator-indicated object» system, verification of the indicator significance according to reliability criteria; 4) secondary analytical ones for calculating ecological amplitudes, indicator scales, determining the valence of species and their characteristics to factors, modes and environmental conditions in an industrial region; 5) integration and visualization approaches as methods for obtaining cartographic products, analysis of GIS data for large arrays, correlation processes for planar, volumetric, dynamic and strategic options for modeling and phytoquantification. For the listed approaches, examples of plant species and informative features are given in conjunction with the characteristics and reasons for their formation. The results obtained are based on the use of both generally accepted classical methods and patented original developments that represent innovative technologies for implementation in environmental monitoring programs for industrial regions.

Введение. Успех любой восстановительной работы в условиях техногенных трансформаций среды на всех рекультивационных этапах должен быть определен по специфической процедуре квантификации, т. е. иметь количественную оценку эффективности используемых технологий. Поэтому внедрение методов ботанической индикации и фитомониторинга необходимо как постоянный контролирующий инструмент в корректирующих и диагностических целях, что особо актуально для нарушенных ландшафтных систем [1–5].

Цель работы – на основании 25-летнего опыта по поиску и определению информативных индикаторных единиц в проведении фитомониторинга промышленных экотопов Донбасса [6, 7] выделить группы методических подходов при реализации диагностических мероприятий для разных форм воздействия и трансформации локальных геосистем.

Методы исследований. В инструментально-методологическом аспекте использовали авторские технологии фитоиндикационного содержания [8–11], а также принципы мониторинговых исследований на промышленных и(или) антропогенно трансформированных территориях [2, 4, 12–14]. Для предложенных групп (технологических блоков) приведены соответствующие примеры видов растений и информативных признаков в сопряжении с характеристиками и некоторыми выявленными причинами их проявления.

Результаты исследований. Группы методов фитомониторинга в техногенных регионах представлены по скорости получения и обработки данных. Выделено пять групп применяемых в Донбассе методологических подходов фитомониторинга:

1. Экспресс-диагностические методы, в том числе полевые, фоновые, экспедиционные, сигнальные для экстренной регистрации изменений, например, по габитуальным особенностям строения растений (механическая трансформация, тератологические признаки побегообразования на уровне всей особи), появление специфического налета на трихомах или изменение структуры поверхности листового аппарата под воздействием разных загрязнителей, имеющих локально-эндемичное распространение, – такие группы методов важны для диагностических мероприятий в супер-контрастных геохимических условиях, в первую очередь для территорий, занятых под размещение промышленных и бытовых отходов:

– диагностированы локальные очаги загрязнения соединениями кадмия при проявлении треугольной анастомозной сети в листовом аппарате *Echium vulgare* L. (признак установлен в полевых условиях санитарно-защитной зоны и учетной площадке максимального импакта Енакиевского металлургического завода);

– высокие концентрации соединений ртути (по-видимому, при складировании разбитых или вышедших из строя осветительных элементов на центрально-городском рудеральном полигоне (пгт. Кировское) в июне 2019 г. установлены по специфическому окрашиванию жилок второго порядка на нижней стороне листовой пластинки *Plantago major* L., что ранее наблюдалось (1999–2000 гг.) как фенотипический маркерный признак для особей этого вида, произрастающих на территории Никитовского карьера (Донецкая область) по открытому способу добычи ртутьсодержащих полезных ископаемых;

– залповые выбросы Донецкого металлургического комбината 27 июня 2011 г. и 15 августа 2013 г. были зарегистрированы по резкой механической габитуальной трансформации соцветий и частей цветка (отгибов венчика) *Cichorium intybus* L.; 92 % из числа поврежденных особей на учетной площадке промзоны были восстановлены через 8 суток.

2. Первичные инструментально-аналитические подходы в экологическом фитомониторинге по сути разделяются на ботанико-структурные, функционально-физиологические, химико-аналитические, физико-химические и комбинированные (например, оптико-ботанические). В этой группе методов квантификации основной акцент сделан на поиск и выявление закономерных структурных трансформаций видов-индикаторов таким образом, чтобы можно было в лабораторных условиях подтвердить функциональную разницу между состоянием растений из зон с разным уровнем трансформации и(или) токсической нагрузки на природные среды, в которых проявляются изменения диагностической значимости. В анализируемой группе метрических манипуляций и данных отнесены все факты, которые

имеют конечный цифровой результат по первичным замерам (также с учетом частоты встречаемости индикационного признака или процентного значения выявляемых показателей):

- тератологическая форма цветка и соцветий *Reseda lutea* L. преимущественно вызвана высокими концентрациями соединений серы, что характерно для большинства первичных эдафотопов на террикониках Донбасса;

- учет проявления признака полимеризации листового аппарата нижних розеточных листовых пластинок *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik. указывает на общую токсичность и почвенную агрессивность в тех экотопах, где вид не испытывает фитоценотического барьера и проявляет все признаки структурной пайноморфности как варианта ксерофитизации в условиях техногенной трансформации среды;

- регистрация тератных плодов у *Berteroa incana* (L.) DC. по типу синкарпии и фасциации как правило спровоцирована недостатком азота и кальция в почвенном субстрате, что характерно для олиготрофных эдафотопов, например, на обочинах дорог центральных улиц г. Донецка, а также экстраполируется для других городов Донбасса и доказано эмпирическим способом для Макеевки и Горловки в 2015–2019 гг.;

- важный функционал можно выделить из использования данных о статусе пыльцевых зерен растений-индикаторов, что было опубликовано ранее [6, 7];

- количественная оценка репродуктивного успеха по анализу визуальной оценки качества семенного материала, например, для видов *Tanacetum vulgare* L., *Centaurea diffusa* Lam. и *Tragopogon major* Jacq. в условиях техногенно трансформированных экотопов дает важные результаты при опосредованном определении динамики валовых выбросов предприятий и общей промышленной нагрузки (регистрировали в сравнении данных в контрастные годы по интенсивности промышленных мощностей с 1996 по 2021 гг. в донецком экономическом регионе). В большинстве случаев установить причинно-следственные связи между показателями первичной метрики и факторами среды не удастся, поскольку интерпретация нуждается во вторичном приближении с использованием разнообразных статистических методов.

3. Статистически-интерпретационные технологии с учетом частоты встречаемости или регистрации фитоиндикационных признаков и специфики их проявлений в условиях антропогенной трансформации экотопов, построение корреляционных матриц и плеяд взаимодействия в системе «индикатор – индикат», проверка индикационной значимости по критериям достоверности. Разнообразие таких методических приёмов с точки зрения математического аппарата велико, однако на практике выделены методы по целесообразности в работе с массивами данных, моно- и полифакторном корреляционном анализе.

В перечне возможных фитоиндикационных задач реализация системы корреляционных плеяд наиболее часто оправдана для анализа растительных сообществ и определения экологических режимов на разных сукцессионных стадиях существования неотехногенного экотопа (на примере отвалов угольных шахт), – были получены оригинальные данные по ассоциациям бриобионтов на террикониках Донецко-Макеевской агломерации: I – *Bryum argenteum* Hedw., *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid, *Bryum caespiticium* Hedw., *Leskea polycarpa* Hedw., *Orthotrichum speciosum* Nees, *Brachythecium campestre* (Müll.Hal.) Bruch et al., *Bryum capillare* Hedw.; II – *Plagiomnium cuspidatum* (Hedw.) T. Kop., *Grimmia pulvinata* (Hedw.) Sm., *Brachythecium salebrosum* (F.Weber & D.Mohr) Bruch et al., *Syntrichia ruralis* (Hedw.) F. Weber & Mohr, *Platygyrium repens* (Brid.) Schimp.; III – *Homomallium incurvatum* (Schrad. ex Brid) Loeske, *Brachythecium albicans* (Hedw.) Bruch et al., *Dicranella cerviculata* (Hedw.) Schimp., *Campyliadelphus chrysophyllus* (Brid.) R.S.Chopra, *Niphotrichum canescens* (Hedw.) Bednarek-Ochyra & Ochyra, *Ditrichum pussilum* (Hedw.) Hampe.

4. Вторичные методические приемы фитомониторинга, например, аналитические по расчету экологических амплитуд, индикаторных шкал, установлению валентности видов и их характеристик к факторам, режимам и условиям среды в промышленном регионе. Наиболее приемлемой была определена технология расчетной конструкции аддитивных 10-балльных индикаторных шкал на основе морфологической пластичности видов таким обра-

зом, чтобы учесть весь диапазон пластичности отдельных признаков в строении растения и эмпирично выделить значимые интервальные ступени для характеристики каждого диапазона.

5. Интеграционные и визуализационные подходы как способы получения картографической продукции, анализ ГИС-данных для больших массивов, корреляционные процессы для плоскостного, объемного, динамического и прогнозно-стратегического вариантов моделирования и фитоквантификации. Из используемых параметров успешно апробированы способы выделения ядер биоразнообразия, что важно в реконструкции экологических коридоров сетей направленной миграции и сохранения флористического богатства региона.

Заключение. Полученные результаты основаны на использовании как общепринятых классических методов [2, 4, 5, 13], так и на запатентованных оригинальных разработках [6–11], представляющих инновационные технологии для внедрения в программы экологического мониторинга промышленных регионов. Доказано, что индикационная значимость, формирующая базу фитомониторинга в техногенно трансформированном территориальном конгломерате, востребована на всех стадиях восстановления биотопа как инструмент квантификационной диагностики, анализа для реализации дальнейших направленных технологий оптимизации локальных геосистем.

Список литературы

1. Уразгильдин Р. В., Кулагин А. Ю. Повреждения, адаптации, стратегии древесных видов в условиях техногенеза: структурно-функциональные уровни реализации адаптивного потенциала // *Успехи современной биологии*. 2022. Т. 142, № 1. С. 52–69.
2. Опекунова М. Г. Биоиндикация загрязнений. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2016. 300 с.
3. Епринцев С. А., Клепиков О. В., Шекоян С. В., Жигулина Е. В. Формирование очагов экологически обусловленной заболеваемости как критерий «отклика» на качество окружающей среды // *Наука Юга России*. 2019. Т. 15, № 3. С. 70–80.
4. Bayouli I. T., Bayouli H. T., Dell’Oca A., Meers E., Sun J. Ecological indicators and bioindicator plant species for biomonitoring industrial pollution: Eco-based environmental assessment // *Ecological Indicators*. 2021. V. 125: 107508.
5. Hancock G. R., Martin Duque J. F., Willgoose G. R. Mining rehabilitation – Using geomorphology to engineer ecologically sustainable landscapes for highly disturbed lands // *Ecological Engineering*. 2020. V. 155: 105836.
6. Safonov A., Glukhov A. Ecological phytomonitoring in Donbass using geoinformational analysis // *BIO Web of Conferences*. 2021. V. 31: 00020. DOI:10.1051/bioconf/20213100020
7. Сафонов А. И., Глухов А. З. Фитомониторинг в техногенно трансформированной среде: методология и практика // *Экосистемы*. 2021. № 28. С. 16–28.
8. Патент на изобретение № 53375 (UA) 15.01.2003. Способ определения мутагенного эффекта тяжелых металлов / А. З. Глухов, Н. А. Хижняк, А. И. Сафонов. 8 с.
9. Патент на изобретение № 36844 (UA) 10.11.2008. Способ фитоэкологического картирования техногенно загрязненных территорий / А. З. Глухов. 9 с.
10. Патент на изобретение № 5845 (UA). 15.03.2005. Способ фитоиндикационной оценки токсичности почв антропогенно трансформированных экотопов / А. И. Сафонов. 8 с.
11. Патент на изобретение № 70512 (UA) 11.06.2012. Способ фитотестирования техногенных экотопов / А. З. Глухов. 10 с.
12. Massante J. C. Mining disaster: restore habitats now // *Nature*. 2015. V. 528. P. 39.
13. Wang S., Huang J., Yu H., Ji C. Recognition of landscape key areas in a coal mine area of a semi-arid steppe in China: a case study of Yimin open-pit coal mine // *Sustainability*. 2020. V. 12: 2239.
14. Zhang P., Ye Q., Yu Y. Research on farmers’ satisfaction with ecological restoration performance in coal mining areas based on fuzzy comprehensive evaluation // *Global Ecology and Conservation*. 2021. V. 32: 1934.

ПОДЗОЛИСТЫЕ ПОЧВЫ ПОСТПИРОГЕННЫХ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА И ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИБИРИ

Старцев В. В., Яковлева Е. В., Кутявин И. Н., Дымов А. А.
Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия
vik.startsev@gmail.com

Ключевые слова: Бореальные леса, ПАУ, пожары, органическое вещество почвы, запасы углерода и азота.

Аннотация: Представлены результаты изучения подзолистых почв, формирующихся в старовозрастных ельниках, подверженных пожарам 100–204 лет назад. Участки располагались на географически удаленных территориях Красноярского края и Республики Коми. Изучение почв старовозрастных еловых лесов позволило выявить закономерности влияния пирогенеза и сохранения изменений основных морфологических и химических свойств почв с течением времени после пожара. Выявлено, что пирогенные морфологические особенности прослеживаются в виде формирования специфических пирогенных горизонтов $O(H)_{\text{pyr}}$ и E_{pyr} . Выявлено, что почвы Республики Коми содержат от 5,7 до 15,7 кг/м² запасов углерода, почвы Красноярского края накапливают 6,9–12,5 кг м² углерода. Установлено, что вклад пирогенного горизонта E_{pyr} в общие запасы углерода и азота составляет 9–45%. Анализ содержания ПАУ показал их высокие концентрации в верхних горизонтах изученных почв (от 24 до 605 нг/г).

SOILS OF POST-PYROGENIC SPRUCE FORESTS OF THE MIDDLE TAIGA OF THE EUROPEAN NORTH AND CENTRAL SIBERIA

Startsev V. V., Yakovleva E. V., Kutyavin I. N., Dymov A. A.
Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the RAS, Syktывkar, Russia

Key words: Boreal forest, PAHs, fire, soil organic matter, carbon and nitrogen stocks.

Abstract: The results of the study of soils formed in old-age spruce forests exposed to fires 100–204 years ago are presented. The plots were located in the Krasnoyarsk region and the Komi Republic. The study of the soils of old-age spruce forests revealed the regularities of the influence of pyrogenesis and the preservation of changes in the basic morphological and chemical properties of soils over time after a fire. It was revealed that pyrogenic morphological features are traced in the form of the formation of specific pyrogenic horizons O_{pyr} and E_{pyr} . We have revealed that soils of the Komi Republic contain from 5,7 to 15,7 kg/m² of carbon stocks, soils of the Krasnoyarsk region accumulate 6,9–12,5 kg/m² of carbon. It is established that the contribution of the pyrogenic horizon E_{pyr} to the total carbon and nitrogen stocks is 9–45 %. The analysis of PAHs content showed their high concentrations in the upper horizons of the studied soils (24 to 605 ng/g).

Введение. Бореальные леса концентрируют в своих биомах до 60 % углерода планеты [1]. В то же время почвы бореальных лесов являются важнейшим пулом, содержащим до 30 % углерода экосистем [2]. Известно, что большинство лесов подвержены влиянию пожаров. Подсчитано, что ежегодно пожары затрагивают примерно 1 % бореальных лесов [3]. Несмотря на большое количество исследований, оценивающих влияние пирогенного фактора на бореальные экосистемы, работы, посвященные воздействию пожаров на почвы и почвенное органическое вещество в еловых сообществах, единичны. Вероятно, это связано с тем, что еловые леса горят в меньшей степени по сравнению с сосновыми и лиственничными лесами. В большинстве случаев пирогенные эффекты изучаются исследователями в почвах только в первые годы после пожара. Практически отсутствуют работы, описывающие долго-

срочную динамику постпирогенных еловых сообществ и пирогенного углерода. Анализ послепожарных сукцессий важен для понимания динамики бореальных лесов и того, как она влияет на органическое вещество почвы.

Целью работы является изучение почв коренных постпирогенных еловых лесов Республики Коми и Красноярского края.

Объекты и методы исследований. Объекты исследования в Красноярском крае находились в окрестностях Средне-Енисейского стационара Института Леса им. В. Н. Сукачева. В Республике Коми участки располагались на территориях национального парка «Койгородский», Печоро-Илычского биосферного заповедника и Максимовского стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Всего было исследовано шесть почвенных разрезов в ельниках черничных. Количественные основные химические анализы почв проводились в аккредитованной Экоаналитической лаборатории и отделе почвоведения Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (сертификат РОСС RU).0001.511257 от сентября 2019 года). Кроме этого, были определены концентрации полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), выделены денсиметрические фракции почв [4], рассчитаны запасы углерода и азота [5].

Результаты исследований. Показано, что исследованные подзолистые почвы Республики Коми и Красноярского края характеризуются близким генезисом, морфологическими и химическими свойствами, позволяющими достоверно сравнивать их, несмотря на географическую удаленность регионов. Важным диагностическим признаком выявления прохождения пожара на участке является наличие углистых включений различного размера в нижней части почвенной подстилки ($O(H)_{pyr}$) и верхней части минерального профиля (EL_{pyr}) [6, 7]. В исследованных почвах угли были обнаружены, что, согласно дендрохронологическим исследованиям, подтверждает наличие пожара. Исследуемые почвы можно отнести к типичным подзолистым [8] или Glossic Stagnic Retisol (Siltic, Cutanic) [9], а вследствие наличия углистых включений в нижних органогенных и верхних минеральных горизонтах к пирогенным [7].

По гранулометрическому составу установлено, что почвы формируются на суглинистых и глинистых отложениях. Распределение обменных оснований по профилям почв носит регрессивно-аккумулятивно-элювиальный тип с максимальными концентрациями в подстилках и резким уменьшением содержания в срединных минеральных горизонтах и увеличением в нижних. Распределение содержания органического углерода и азота в почвах носит регрессивно-аккумулятивный характер. Исследованные почвы Республики Коми и Красноярского края характеризуются близкими значениями. Основное количество углерода сосредоточено в подстилке (22,0–48,0 %) и верхних пирогенных минеральных горизонтах (0,91–4,8 %).

Денсиметрическое фракционирование позволило выявить преобладание тяжелой фракции $TF_{>1,6}$ для всех исследованных почв в верхних пирогенных горизонтах. Содержание тяжелых фракций варьировало от 94,4 до 98,7 %. Содержание легких фракций свободного $COB_{<1,6}$ и окклюдированного $ООВ_{<1,6}$ органического вещества существенно ниже. Пирогенные горизонты почв содержали 0,2–2,9 % фракций $COB_{<1,6}$ и 0,6 до 2,7 % фракций $ООВ_{<1,6}$. Установлено, что денсиметрические фракции существенно различаются по содержанию общего органического углерода. Максимальные концентрации характерны для легких фракций $COB_{<1,6}$ (17,7–44,4 %) и $ООВ_{<1,6}$ (25,2–48,4 %), минимальные – для фракции $TF_{>1,6}$ (0,28–3,1 %). Вероятно, это может быть связано с дополнительным поступлением углерода пирогенного происхождения, который, согласно литературным данным, может входить в состав легких фракций [10].

Были рассчитаны запасы углерода и азота (рис.). Установлено, что запасы углерода в почвах Республики Коми варьируют в диапазоне от 5,7 до 15,7 кг/м² и от 6,9 до 12,5 кг/м² в почвах Красноярского края. Запасы азота характеризуются существенно меньшими значениями: от 0,47 до 0,92 кг/м². Вклад органогенных горизонтов в запасы углерода варьирует от 14 до 52 %. Основная часть запасов углерода и азота сосредоточена в минеральных горизон-

тах (48–86 %). Важным показателем является вклад пирогенного горизонта $EL_{\text{пуг}}$ в общие запасы, который составляет от 7 до 45 %, что сопоставимо с вкладом органогенных горизонтов.

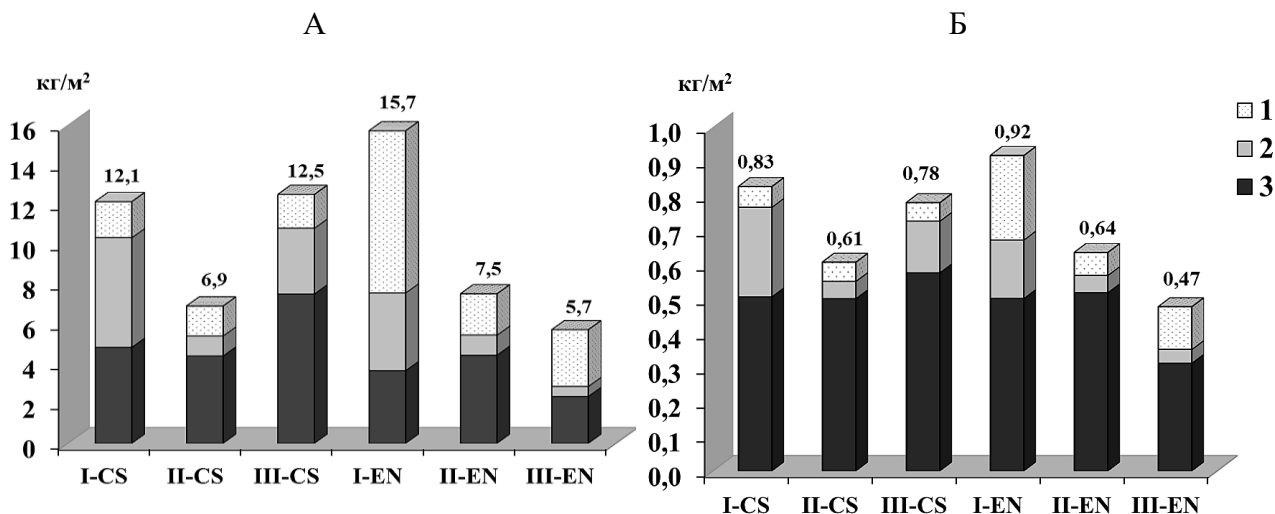


Рисунок – Запасы углерода (А) и азота (Б) в исследованных почвах. 1 – подстилка, 2 – $EL_{\text{пуг}}$, 3 – минеральные горизонты. EN – почвы Республики Коми, CS – почвы Красноярского края

Известно, что лесные пожары признаны основным естественным источником ПАУ [11]. Установлено, что высокие значения характерны для пирогенных подгоризонтов подстилок (311–605 нг/г) и верхних минеральных горизонтов (24–109 нг/г). В исследованных почвах преобладают легкие ПАУ, их доля варьирует от 58 % в подстилках до 100 % в верхних минеральных горизонтах (табл.). Преобладающими соединениями являются нафталин и фенантрен (12–41 %). В подзолистых почвах Республики Коми содержание ПАУ выше, чем в почвах Красноярского края в 1,5–3 раза, что может быть связано с более высокой интенсивностью пожаров и различиями в характеристиках биомассы и видового разнообразия.

Были рассчитаны диагностические коэффициенты ПАУ, которые позволяют определить происхождение ПАУ в почве. Коэффициент ФЛА/(ФЛА+ПИР) указывает на доминирующее влияние сжигания растительной биомассы при образовании ПАУ [12]. Согласно этому соотношению, все исследованные горизонты имеют пирогенное происхождение ПАУ, что также подтверждается дендрохронологическими исследованиями на этих участках.

Выводы. Таким образом, можно утверждать, что пирогенные признаки в почвах еловых лесов через 100–200 лет отражаются не только на морфологических изменениях почв (наличие углей, сажи, и т. д.), но и на увеличении содержания ПАУ, которое долгое время остается критерием для определения пирогенные изменения в почвах после пожаров.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 19-29-05111 мк. Авторы выражают благодарность А. С. Прокушкину за помощь в организации работ на территории Красноярского края.

Таблица – Содержание ПАУ в исследованных пирогенных горизонтах

Разрез	Горизонт	2-яд.			3-яд.			4-яд.			5-яд.			6-яд.		ΣЛП	ΣТП	
		НАФГ	АЦЕ	ФЛУ	ФЕН	АНТ	ФЛА	ПИР	БаАНТ	ХРИ	БьФЛА	БкФЛА	БаПИР	ДБаАНТ	БghiПЕР			ИПИР
I-EN	O(H) _{pyr}	192	-	14	151	6	22	10	3	12	14	5	6	3	6	30	410	63
	EL _{pyr}	22	-	4	6	7	3	3	-	1	-	-	-	-	-	-	46	-
II-EN	O(H) _{pyr}	141	-	27	256	5	40	5	1	37	36	-	8	-	-	50	512	93
	EL _{pyr}	83	-	13	55	2	7	4	-	0	-	4	-	-	-	-	165	4
III-EN	O(H) _{pyr}	160	-	14	140	6	43	24	7	16	14	6	10	-	4	30	411	65
	EL _{pyr}	25	-	10	45	1	4	4	-	1	-	-	1	-	-	-	89	1
I-CS	O(F+H) _{pyr}	90	40	3	37	2	19	10	6	27	28	7	7	3	9	22	234	77
	EL _{pyr}	29	-	1	7	-	3	3	-	2	3	-	1	1	2	-	45	7
II-CS	O(F+H) _{pyr}	55	8	3	56	2	29	14	7	23	44	8	9	3	28	49	196	141
	EL _{pyr}	15	-	1	6	0	2	1	1	1	2	-	-	-	-	-	28	2
III-CS	O(F+H) _{pyr}	57	106	2	96	2	22	12	5	16	29	5	6	2	13	24	316	78
	EL _{pyr}	13	-	1	4	-	2	1	-	1	-	-	-	-	-	-	23	1

Примечание: НАФГ – нафталин, АЦЕ – аценафтен, ФЛУ – флуорен, ФЕН – фенантрен, АНТ – антрацен, ФЛА – флауорантен, ПИР – пирен, БаАНТ – бенз[а]антрацен, ХРИ – хризен, БьФЛА – бенз[б]флуорантен, БкФЛА – бенз[к]флуорантен, БаПИР – бенз[а]пирен, ДБаАНТ – дибенз[а,н]антрацен, БghiПЕР – бенз[ghi]перилен, ИПИР – индено[1,2,3-сд]пирен. EN – почвы Республики Коми, CS – почвы Красноярского края, ΣЛП – сумма легких ПАУ, ΣТП – сумма тяжелых ПАУ. Прочерк – не обнаружено.

Список литературы

1. Dixon R. K., Brown S., Houghton R. A., Solomon A. M., Trexler M. C., Wisniewski J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems // *Science*. 1994. V. 263. P. 185–191.
2. Scharlemann J. P. W., Tanner E. V. J., Hiederer R., Kapos V. Global Soil Carbon: Understanding and managing the largest terrestrial carbon pool // *Carbon Management*. 2014. V. 5(1). P. 81–91. DOI: 10.4155/cmt.13.77
3. Ward D. S., Shevliakova E., Malyshev S., Rabin S. Trends and variability of global fire emissions due to historical anthropogenic activities // *Global Biogeochemical Cycles*. 2018. V. 32. P. 122–142. DOI: 10.1002/2017gb005787
4. Grünewald G., Kaiser K., Jahn R., Guggenberger G. Organic matter stabilization in young calcareous soils as revealed by density fractionation and analysis of lignin-derived constituents // *Organic Geochemistry*. 2006. V. 37. P. 1573–1589. DOI: 10.1016/j.orggeochem.2006.05.002
5. Hiederer R., Köchy M. Global soil organic carbon estimates and the harmonized world soil database // EUR 25225 EN. Publications Office of the European Union. 2011. 79. DOI:10.2788/13267
6. Старцев В. В., Дымов А. А., Прокушкин А. С. Почвы постпирогенных лиственничников Средней Сибири: морфология, физико-химические свойства и особенности почвенного органического вещества // *Почвоведение*. 2017. № 8. С. 912–925. DOI: 10.7868/S0032180X17080111
7. Дымов А. А. Почвенные сукцессии в бореальных лесах Республики Коми. М.: ГЕОС, 2020. 336 с. DOI: 10.34756/GEOS.2020.10.37828
8. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 2008. 182 с.
9. World reference base for soil resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps // *World Soil Resources Reports*. 2015. V. 106. 192 p.
10. Maksimova E., Abakumov E. Soil organic matter quality and composition in a postfire Scotch pine forest in Tolyatti, Samara region // *Biological Communications*. 2017. V. 62(3). P. 169–180. DOI: 10.21638/11701/spbu03.2017.303
11. Campos I., Abrantes N., Pereira P., Micaelo A. C., Vale C., Keizer J. J. Forest fires as potential triggers for production and mobilization of polycyclic aromatic hydrocarbons to the terrestrial ecosystem // *Land Degradation & Development*. 2019. V. 30(18). P. 2360–2370. DOI: 10.1002/ldr.3427
12. Rongguang S., Mengmeng X., Aifeng L., Yong T., Zongshan Z. Characteristics of PAHs in farmland soil and rainfall runoff in Tianjin, China // *Environ Monit. Assess.* 2017. V. 189: 558. DOI: 10.1007/s10661-017-6290-y

ПРИМЕНЕНИЕ АБОРИГЕННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ОТВАЛОВ МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Суюндуков Я. Т., Исанбаева Г. Т., Хасанова Р. Ф.

*ГАНУ «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан», Сибайский филиал, г. Сибай, Республика Башкортостан, Россия
yalil_s@mail.ru*

Ключевые слова: отвалы, рекультивация, тяжелые металлы, аборигенная растительность.

Аннотация: В Зауральской зоне Республики Башкортостан накоплено множество нерекультивированных отработанных объектов горнорудного производства, которые наряду с действующими предприятиями продолжают загрязнять окружающую среду тяжелыми металлами. В статье представлены результаты полевых опытов по биологической рекультивации отвалов медноколчеданного месторождения «Юбилейное» на территории Хайбуллинского района Республики Башкортостан. Приведены данные, показывающие высокую эффективность георешеток и фиторекультивации с использованием аборигенных видов растений, включая сорно-полевые и степные виды, позволяющие закрепить грунты и предотвратить дальнейшее развитие эрозионных процессов на отвалах.

APPLICATION OF NATIVE VEGETATION FOR BIOLOGICAL RECLAMATION OF DUMPS OF COPPER PYRITE DEPOSIT

Suyundukov Ya. T., Isanbayeva G. T., Khasanova R. F.

Institute for Strategic Studies of the Republic of Bashkortostan, Sibay Branch, Sibay, Republic of Bashkortostan, Russia

Key words: blades, reclamation, heavy metals, local vegetation.

Abstract: In the Trans-Ural zone of the Republic of Bashkortostan, a lot of uncultivated waste mining facilities have been accumulated, which, along with operating enterprises, continue to pollute the environment with heavy metals. The article presents the results of field experiments on the biological recultivation of the dumps of the Yubileynoye copper-crusted metrogenition on the territory of the Khaibullinsky district of the Republic of Bashkortostan. Data are presented showing the high efficiency of geogrids and phytorecultivation using native plant species, including weed-field and steppe species, allowing to consolidate soils and prevent further development of erosion processes on dumps.

Введение. Освоение месторождений медноколчеданных руд и развитие горнорудной промышленности в Зауралье Республики Башкортостан (РБ) привело к образованию огромных по площади и объемам карьеров, отвалов и хвостохранилищ, являющихся мощными источниками техногенного загрязнения окружающей среды. Развитие эрозионных процессов, протекающих под влиянием дождя и ветра, способствует распространению мелкодисперсных частиц, содержащих токсические вещества, в том числе тяжелых металлов.

Наиболее распространенным природоохранным мероприятием по снижению негативного воздействия отвалов вскрышной породы является их рекультивация. В большинстве горнорудных объектов работы по рекультивации практически не проводятся по экономическим и технологическим причинам. Одними из важных задач при этом являются укрепление склонов и создание растительного покрова. На склонах с малым уклоном (до 8 %) с этой целью используют посевы многолетних злаковых трав с развитой корневой системой [1, 2], которые успешно выполняют эти задачи. Для укрепления более крутых склонов возникает не-

обходимость обеспечения устойчивости наклонных рекультивируемых поверхностей и качественного закрепления почвенно-растительного слоя, что достигается путем использования современных искусственных конструкций [3, 4]. Геосинтетические материалы могут иметь тканевую или не тканевую основы, при изготовлении часто используется полиэтилен, поливинилхлорид, различные полимеры, стекловолокно с полимерной обработкой, битум, а также в их составе могут содержаться глина, лен, джут, кокос. Они бывают в форме геотекстиля, георешеток, геокомпозитов, геоболочек, геомембран, геоплит, в виде полимерных растворов, застывающих на воздухе [3, 5]. Современные технологии рекультивации отвалов позволяют сократить затраты и время проведения работ на горнотехническом этапе.

Немаловажным вопросом для выполнения биологического этапа рекультивации является подбор видов растений для создания устойчивого растительного покрова санитарно-гигиенического назначения. Как правило, с этой целью используют виды многолетних растений, которые способны к интенсивному формированию травостоя с устойчивой дерниной, способствующей прекращению дефляции и смыва субстратов. По данным Т. С. Чибрик и Г. И. Батурина [6] культурфитоценозы из посева многолетних трав уже на третий год жизни дают прочную дернину, сомкнутый травостой и пригодны для сенокосения. Для этих целей авторами рекомендован достаточно большой список видов злаковых и бобовых трав, которые дали положительный результат на отвалах.

Однако, зачастую субстраты, на которые высеваются травосмеси, имеют неблагоприятные водно-физические, агрохимические и микробиологические свойства и, как правило, содержат повышенные концентрации тяжелых металлов, которые снижают приживаемость посеянных растений на рекультивируемых землях. Кроме того, более важным лимитирующим фактором в условиях степного Зауралья РБ выступает засушливость климата. В связи с этим, на наш взгляд, одним из перспективных направлений в подборе видов в целях рекультивации отвалов является изучение возможности использования видов аборигенной растительности, произрастающей непосредственно на отвалах и в его окрестностях с повышенным содержанием тяжелых металлов в почве.

Целью данной работы было выявление возможности применения аборигенной растительности для биологической рекультивации рыхлых отвалов медноколчеданного месторождения.

Объекты и методы исследований. Исследования проводились на месторождении «Юбилейное» ООО «Башкирская медь», расположенного на территории Хайбуллинского административного района РБ. Климат резко континентальный с колебаниями температуры от -40°C (зимой) до $+38^{\circ}\text{C}$ (летом). В зимний период под действием антициклонов на большей части территории наблюдается преимущественно ясная и холодная погода. Характерна суровая ветреная зима с частыми метелями. Лето жаркое и сухое с пыльными бурями.

Участок месторождения представляет собой относительно ровную приводораздельную поверхность (равнинное степное плато) с пологими увалами и локальными суффозионно-эрозионными заболоченными понижениями размером в десятки метров (абсолютные отметки поверхности – около 420 м и превышают долины дренирующих месторождение рек на 50–60 м).

Обнаженность рельефа отсутствует. Более 95 % участка работ перекрыто мощным чехлом песчано-глинистых мезокайнозойских отложений и лишь в 5–8 км к ЮВ от месторождения, в береговых уступах р. Таналык, обнажаются коренные отложения, имеются также единичные скальные выходы туфопесчаников улутауской свиты на вершинах и склонах холмов.

Почвенный покров обследованной территории представлен черноземами обыкновенными карбонатными малогумусными щебнистыми и черноземами южными карбонатными солонцеватыми щебнистыми, намытыми почвами овражно-балочных комплексов, а также аллювиальными почвами поймы рек.

Исследования проводились в два этапа. Первый этап включал в себя изучение видового состава флоры и растительности на отвалах и в их окрестностях, выявление доминирующих видов растений, второй этап – закладка и проведение полевого опыта.

На первом этапе выполнено более 20 геоботанических описаний. Способ закладки площадок типический: описывались участки с растительностью, характерной для каждого типа местообитаний. Определение растений проводилось по определителям высших растений Башкирской АССР [2, 7]. Описание растительных сообществ с исследуемыми видами проводили согласно общепринятым геоботаническим методикам [8, 9].

На втором этапе исследований с целью подбора аборигенных видов растений, наиболее эффективных для фиторекультивации, был заложен мелкоделяночный опыт на подготовленных рыхлых отвалах месторождения «Юбилейное», где проводились инженерно-технические работы по террасированию и выполаживанию крутых откосов. Была установлена каркасная георешетка. Георешетка – ячеистая конструкция из пластиковых лент, скрепленных между собой сварными швами. Данный каркас фиксировался на поверхности склона с помощью железных прутьев, которые забивались непосредственно в грунт. В качестве наполнителя использовали складированный плодородный слой (ПС) (рис. 1).

Опыты включали в себя 4 варианта с внесением удобрения: 2 на террасированном участке (с нанесением плодородного слоя и без нанесения) и 2 на склоне отвала (установка георешетки с заполнением ее ячеек плодородным слоем и без георешетки, без нанесения плодородного слоя).

Результаты исследований. Изучение пионерной растительности на отвалах выявило то, что разнообразие видов в описываемых сообществах варьирует от 9 до 15. Общее проективное покрытие растений на описываемой площади занимает от 20 до 60 %. Показатели средней высоты травостоя колеблются от 20 до 50 см. В составе растительности прилегающей к отвалам территории доминируют виды *Artemisia austriaca* Jacq. и *Ceratocarpus arenarius* L. Видовой состав этого сообщества представлен 25 видами, имеет проективное покрытие, равное 90 %, среднюю высоту травостоя до 50 см. Больше всего выявлено синантропных видов пастбищ класса *Polygono-Artemisietea austriacae* Mirkin, Sakharov et Solomeshch in Mirkin et al. 1986, *Stellarietea mediae* R.Tx., Lohmeyer et Preising 1950 и *Artemisietea vulgaris* Lohmeyer et al. ex von Rochow 1951. Из классов естественной растительности представлены: вид засоленных почв *Limonium gmelinii* (Willd.) Kuntze (класс *Festuco-Puccinellietea* Soo ex Vicherek 1973) и единично – виды класса *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Tx. ex Soó 1947.



Рисунок 1 – Установка георешетки и заполнение ее ПС

В ходе флористических исследований выявлены сообщества с доминированием *Ceratocarpus arenarius* L. Преобладающими в сложении этого сообщества являются виды классов *Stellarietea mediae* R.Tx., Lohmeyer et Preising 1950, которые представляли начальные стадии восстановительных сукцессий после нарушений и виды низкорослых ксерофитных

растений класса *Polygono-Artemisietea austriacae* Mirkin, Sakhapov et Solomeshch in Mirkin et al. 1986, устойчивые к вытаптыванию и выпасу сообщества, а также вид засоленных почв *L. gmelinii* (Willd.) Kuntze (класс *Festuco-Puccinellietea* Soo ex Vicherek 1973).

Выявлены участки с обедненным видовым составом, с преобладанием *Bassia sedoides* (Pall.) Asch., где представлены синантропные виды классов *Stellarietea mediae* R.Тх., Lohmeyer et Preising 1950, *Artemisietea vulgaris* Lohmeyer et al. ex von Rochow 1951 и *Polygono-Artemisietea austriacae* Mirkin, Sakhapov et Solomeshch in Mirkin et al. 1986, а также вид засоленных почв *L. gmelinii* (Willd.) Kuntze (класс *Festuco-Puccinellietea* Soo ex Vicherek 1973).

Описаны сообщества с преобладанием *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth, сформированные на участках со стоячей водой, пересыхающих летом, куда внедряются синантропные виды пастбищ класса *Polygono-Artemisietea austriacae* Mirkin, Sakhapov et Solomeshch in Mirkin et al. 1986 и сорные виды классов *Stellarietea mediae* R.Тх., Lohmeyer et Preising 1950 и *Artemisietea vulgaris* Lohmeyer et al. ex von Rochow 1951. Выявлено сообщество *Polygonum aviculare* L., в его сложении участвуют синантропные классы *Stellarietea mediae* R.Тх., Lohmeyer et Preising 1950, *Artemisietea vulgaris* Lohmeyer et al. ex von Rochow 1951 и *Polygono-Artemisietea austriacae* Mirkin, Sakhapov et Solomeshch in Mirkin et al. 1986. Также имеются единичные виды степных сообществ класса *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Тх. ex Соó 1947 [10].

На подготовленных участках в конце августа был заложен опыт с заделыванием семенной массы, скошенной на территории, прилегающей к отвалам по методу Д. С. Дзыбова [11]. По результатам наблюдений, в течение месяца на всех вариантах отмечалось активное прорастание семян и рост растений, однако в вариантах без внесения плодородного слоя вскоре наблюдалось активное завядание проростков. Через 2 месяца (в октябре) в вариантах с внесением плодородного слоя, как на склоне, так и на ровной террасированной поверхности, наблюдалось наиболее активное зарастание делянок растениями.

На второй год исследования в вариантах с установкой георешетки и нанесением почвенно-растительного грунта было выявлено полное зарастание делянок как сорно-полевой растительностью, так и многолетними травами с общим проективным покрытием 100 % (рис. 2). В вариантах отвала без внесения плодородного слоя проективное покрытие составило не более 10 %.



Рисунок 2 – Опытный участок на отвалах на второй год

Заключение. Полученные результаты показывают высокую эффективность георешеток и возможность использования аборигенных видов растений, включая сорно-полевые и степные виды, для биологической рекультивации рыхлых пород. Это способствует быстрому закреплению грунтов и предотвращению дальнейшего развития эрозийных процессов на отвалах.

Благодарности. Публикация подготовлена в рамках государственного задания ГАНУ «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан».

Список литературы

1. Агроэкология / В. А. Черников, Р. М. Алексахин, А. В. Голубев [и др.]; под ред. В. А. Черникова, А. И. Черкеса. М.: Колос, 2000. 536 с.
2. Определитель высших растений Башкирской АССР / Ю. Е. Алексеев, Е. Б. Алексеев, К. К. Габбасов [и др.]. М.: Наука, 1988. 316 с.
3. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
4. Дмитраков Л. М., Мудрик В. А., Князева И. В., Злобина А. И., Переломов Л. В., Лапшина Л. А., Пинский Д. Л., Пигулевская Т. К. Физико-химические аспекты поведения свинца и цинка в системе почва-растение и их влияние на физиологические и биохимические функции растений // Тезисы докладов III съезда Докучаевского общ-ва почвоведов. Кн. 1. М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева РАСХН, 2000. С. 245.
5. Алексеева-Попова Н. В. Клеточно-молекулярные механизмы металлоустойчивости растений // Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов. Л.: Ленуприздат, 1991. С. 5–15.
6. Чибрик Т. С., Батурин Г. И. Биологическая рекультивация нарушенных промышленностью земель. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. 36 с.
7. Определитель высших растений Башкирской АССР / Ю. Е. Алексеев, А. Х. Галеева, И. А. Губанов [и др.]. М.: Наука, 1989. 375 с.
8. Сегетальные сообщества Башкирии / Б. М. Миркин, Л. М. Абрамова, А. Р. Ишбирдин [и др.]. Уфа: БФАН СССР, 1985. 155 с.
9. Миркин Б. М., Наумова Л. Г. Наука о растительности: (История и современное состояние основных концепций). Уфа: Гилем, 1998. 412 с.
10. Биктимерова Г. Я., Хасанова Р. Ф., Ильина И. В. Флора естественных участков и отвалов месторождения «Юбилейное» // Экологические проблемы Южного Урала и пути их решения: Материалы Всерос. науч.-практ. конф., г. Сибай, 24–25 мая, 2017 г. Сибай: Сибайская гор. тип. – фил. ГУП РБ Издательский дом «Респ. Башкортостан», 2017. С. 28–30.
11. Дзыбов Д. С. Агростепи. Ставрополь: АГРУС, 2010. 256 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

^{1,2}Тихменев Е. А., ²Тихменев П. Е.

^{1,2}Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, г. Магадан, Россия

²Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Россия
etikhmenev@bk.ru

Ключевые слова: рудные месторождения, мерзлота, почва, растительность, нарушенные ландшафты, самозарастание, рекультивация.

Аннотация: Характеризуется воздействия разработки месторождений рудного золота, особенности сукцессионных процессов при естественном восстановлении почвенно-растительных комплексов (ПРК) посттехногенных экосистем Магаданской области и Чукотки. Обосновываются принципы рекультивации нарушенных земель, адекватной условиям природной среды мерзлотных ландшафтах. Выполненные эксперименты и опытно-промышленные испытания разработанной технологии биологической рекультивации показали высокую эффективность восстановительных мероприятий. Полосное формирование корнеобитаемого слоя и использование семян видов местной флоры, вносимых гидросеятелем FINN 90 вместе с растворенными минеральными удобрениями, обеспечивают ускоренную стабилизацию поверхности техногенных образований, обеспечивая экологическую безопасность нарушенных земель.

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF RECLAMATION OF GOLD ORE DEPOSITS CRYOLITHOZONE OF THE NORTH-EAST OF RUSSIA

^{1,2}Tikhmenev E. A., ²Tikhmenev P. E.

^{1,2}Institute of Biological Problems of the North FEB RAS, Magadan, Russia

²North East State University, Magadan, Russia

Key words: ore deposits, permafrost, disturbed landscapes, soil, vegetation, selfhealing, reclamation.

Abstract: The impact of anthropogenic factors on soil and plant complexes of larch forests and light forests of the Magadan region and Chukotka is evaluated. The consequences of the development of useful processes and the features of succession processes in the natural restoration of soil-plant complexes of post-technogenic ecosystems are characterized. The principles of technologically adequate reclamation of disturbed lands in permafrost region the process of development of ore deposits of the Yano-Kolyma gold-bearing province is substantiated. Experiments and trial tests of the developed technology biological reclamation have shown high efficiency of a recovery disturbed area in the specific conditions of permafrost region. Use strip drift on and the local flora seeds of the brought by the hydroseeder FINN 90 together with dissolved mineral fertilizers, is provided the accelerated stabilization of a surface of technogenic formations and ecological safety of disturbed sites.

Введение. Естественное восстановление почвенно-растительных комплексов (ПРК) на техногенных образованиях, сформировавшихся при освоении россышного золота в мерзлотных ландшафтах Северо-Востока России достаточно подробно изучены, разработаны рекомендации по ускорению естественных сукцессионных процессов и рекультивации [1, 2]. В связи с истощением ресурсов россышных месторождений горная промышленность региона в последние годы осуществляет переход на освоение рудного золота и серебра. Разработка технологии восстановления природной среды, нарушенных при разработке рудных месторо-

ждений в горных ландшафтах криолитозоны, только начинается [3, 4]. Освоение запасов рудного золота сопровождается масштабным строительством ГОКов и сопутствующей инфраструктурой, включая транспортные коммуникации, что предопределяет возникновения серьезных экологических рисков.

Суровые климатические условия Северо-Востока Азии, горный рельеф, многолетняя мерзлота и низкий уровень теплообеспеченности территории (годовая температура отрицательная) определяет замедленность процессов естественного восстановления нарушенных экосистем. Сложность возникших проблем усугубляется обедненным флористическим составом природных комплексов, низкий прирост органической массы, широкое развитие криогенных форм рельефа, определяющих невысокий уровень устойчивости экосистем к внешним воздействиям [4, 5]. При разработке рудных месторождений минерального сырья происходит частичное или полное уничтожение биологических компонентов ландшафта, вызывая глубокую деградацию экологических обстановки и активизацию криогенных процессов. Сложившаяся ситуация предопределяет необходимость разработки новых подходов к оптимизации природопользования, предусматривающей биологическую рекультивацию нарушенных элементов горного рельефа.

Материал и методика. Разработке технологических приемов рекультивации в конкретных биоклиматических условиях предшествовал исследования особенностей организации, функционирования и динамики регенерационных экосистем [3–5]. Исследования проводились на россыпных месторождениях золота Комсомольского и Билибинского ГОК (Чукотка), рудных месторождений «Дукат», «Школьное» и «Джульетта», накопителей отходов обогащения (хвостохранилищ) Омсукчанской ЗИФ Дукатского ГОКа (Магаданская область) [6, 8]. Опытные и экспериментальные исследования по созданию технологии биорекультивации рудных месторождений мерзлотных ландшафтов были проведены нами на месторождении «Кубака» и «Биркачан» в бассейне р. Омолон, крупнейшего притока р. Колыма [5]. Высотное расположение техногенных объектов (550–570 м. н. у. м.), большая крутизна горных склонов и дефицит потенциально плодородных грунтов, пригодных для формирования корнеобитаемого слоя (землевание), значительно затрудняют проведение рекультивации традиционными способами.

Площадь разрабатываемых месторождений составляет более 15 км². Исследования выполнялись в ПРК зональных и горных тундр, кедровостланиковых сообществах, лиственных лесах и редколесий. Исследования проводились по общепринятым методикам, подробно ранее описанных [4–6]. При оценке степени трансформации природных растительных сообществ, их чувствительности к различным видам внешнего воздействия использовались та же система параметров, что и при изучении исходного состояния сообществ.

Результаты исследований и их обсуждение. Разработка месторождений рудного золота и серебра в специфических условиях криолитозоны вызывают крупномасштабные нарушения природной обстановки. Всего, согласно статистическим данным, в регионе нарушено свыше 135 тыс. га земель, из них около 30 тыс. га – на Чукотке. В основном это долины водотоков, обычно занятые наиболее продуктивными пойменными лесами. Такие участки ландшафта, на которые приходится около 4 % площади, являются важными энергетическими узлами экосистем и эффективными стабилизаторами природной обстановки территории [9]. Масштаб нарушений рельефа и изменение энергетики в техногенных ландшафтах, демонстрируют значительное возрастание тепловых ресурсов нарушенных земель по сравнению с естественными. В 70–80-е гг. делались вполне успешные попытки создать на рекультивированных техногенных объектах и милиорированных землях сеяных лугов и поля для возделывания кормовых и овощных культур. К сожалению, из-за глубокого кризиса эти работы сейчас приостановлены, обосновывая их экономической нерентабельностью.

При разработке рудных месторождений минерального сырья происходит особенно глубокие нарушения природной среды, вызывая частичное или полное уничтожение биологических компонентов ландшафта, глубокую деградацию экологических систем. Выносятся на дневную поверхность глубоко залегающие породы, формирующие мощные геохимиче-

ские аномалии, часто неблагоприятные для природной среды. Образуются техногенные образования, такие как карьеры, отвалы пустых пород и руды, накопители отходов обогащения (хвостохранилища), которые являются объектами повышенной экологической опасности [2–4]. Разработке технологических приемов рекультивации в конкретных биоклиматических условиях предшествовали исследования особенностей организации, функционирования и динамики ПРК регенерационных экосистем в различных частях Крайнего Северо-Востока [5]. Ранее, впервые для территории Северо-Востока России, были выполнены санитарно-гигиеническая рекультивация (биологическая консервация отходов обогащения) хвостохранилища Омсукчанской ЗИФ [6].

На отработанных месторождениях самовосстановление ПРК протекает замедленно и даже спустя 80 лет, а именно столько ведется золотодобыча в бассейне р. Колыма, нарушенные земли, особенно долины рек, хорошо заметны в ландшафтах на космических снимках [9]. Опытные-экспериментальные эколого-биологические исследования по разработке технологии биорекультивации рудных месторождений ранее на рассматриваемой территории не проводились. Они выполнялись нами в течение 10 лет на месторождениях Кубака и Биркачан в бассейне р. Омолон (рис.). Высотное расположение техногенных объектов, большая крутизна горных склонов и дефицит потенциально плодородных грунтов, пригодных для формирования корнеобитаемого слоя (землевание), значительно затрудняют проведение рекультивации традиционными способами [4]. Площадь разрабатываемых месторождений составляет около 15 км² с географическими координатами 63°40'63°42' с. ш. и 159°56' 160°00' в. д. Отработка названных рудных месторождений осуществлялась открытым способом с формированием карьеров и большего числа породных отвалов. Карьерные выемки расположены преимущественно в горнотундровом и горнолесном поясах. Глубина главной карьерной выемки на месторождении Кубака составляет более 100 м, с углами откоса уступов бортов более 45° (рис.). Отвалы пустых пород внешние, платообразные, Накопитель отходов обогащения (хвостохранилище) ЗИФ «Кубака» расположен в пределах высот 700–750 м. Высота дамбы составляет до 50 м с углом откоса 35°, площадью более 60 м² [1, 4]. Геохимический состав пустых пород характеризуется содержанием нормируемых веществ, таких как свинец, хром, ванадий, никель, марганец, олово, медь, цинк, обычно в концентрациях ниже предельно допустимых значений. Исключение составляет мышьяк, содержание которого превышает предельную нормативную концентрацию более, чем на порядок. Разработанные технологические приемы рекультивации основывались на данных изучения особенностей структурно-функциональной организации нарушенных ПРК, уровня семенной репродукции растительных сообществ, скорости сукцессионных процессов и качества грунтов регенерационных экосистем [1, 7, 8]. Результаты исследований свидетельствуют, что естественное восстановление нарушенных ПРК листовенничных редколесий и кедровостланниковых сообществ на высотных отметках 650–750 м н. у. м. и выше, где в основном расположены техногенные образования, протекает крайне медленно [1, 8, 9]. Полное отсутствие растительных сообществ характерно для основных техногенных объектов – карьерных выемок, отвалов пустых пород, хвостохранилищ, занимающих наибольшие площади в зоне разрабатываемых месторождений. Они отличаются большой сухостью, активной аэрацией, отсутствием мелкозема, слабокислой или щелочной реакцией субстрата, активной ветровой и водной эрозией. Такие техногенные образования на территории месторождений могут стать экологически безопасными только после проведения необходимых горнотехнических мероприятий и направленного восстановления растительного покрова. При проведении рекультивации техногенных образований выполнялась полосная рекультивация, в качестве посевного материала использовались семена местной флоры, вносимых вместе с растворенными удобрениями гидросеятелем FINN 90 [10–11].



Рисунок – Рекультивируемые техногенные образования на золоторудном месторождении Кубака (бассейн р. Омолон)

Заключение. Таким образом, следует отметить, что успешность «самозарастания» нарушенных участков горного ландшафта после снятия техногенной нагрузки на рудных месторождениях в большинстве случаев не происходит. Проведение рекультивации техногенных образований требует продуманных инженерных, мерзлотоведческих и биотехнологических решений, не говоря о дополнительных, значительных по объемам, вложениях на их осуществление и последующий мониторинг. На основании выполненных исследований разработаны новые подходы к решению проблемы рекультивации нарушенных участков горного ландшафта, получен патент [12]. После завершения разработки месторождения Кубака, как и Биркачана, была успешно выполнена полномасштабная рекультивация нарушенных земель. При этом ГОК «Кубака», где было рекультивировано 140 га отвалов пустых пород, хвостохранилища и карьеров, выполнение мероприятий по рекультивации техногенных образований обошлась примерно в 0,04 % стоимости добытого металла при средних затратах 4,4 тыс. долл. США на 1 га отвалов [9]. При этом общая сумма затрат на рекультивацию оказалась беспрецедентно высокой для российской горной промышленности.

Под воздействием техногенных факторов локальные экосистемы легко выводятся из состояния биогеохимического равновесия, в них образуются свободные экологические ниши, где поселяются новые виды и жизненные формы. Нарушается равновесие в конкурентных и аллелопатических отношениях между растениями, что, в конечном счете, реализуется в виде заметных и весьма резких изменений видового состава и структуры фитоценозов. Если действие внешнего фактора приостанавливается и экологический режим стабилизируется, регенерационные сообщества в условиях мерзлотных ландшафтов, даже через серию сукцессионных смен редко возвращается в близкое к исходному состояние.

Список литературы

1. Пугачев А. А., Тихменев Е. А. Структурно-функциональная организация и динамика почвенно-растительного покрова Крайнего Северо-Востока России. Магадан: Изд-во СВГУ, 2011. 198 с.
2. Самозарастание нарушенных земель Севера / Л. П. Капелькина, О. И. Сумина, И. А. Лавриненко [и др.]. СПб: Изд-во ВВМ, 2014. 207 с.
3. Пугачев А. А. Тихменев Е. А., Тихменев П. Е. Региональные особенности восстановления техногенных ландшафтов Северо-Востока Азии // Проблемы региональной экологии. 2004. № 5. С. 55–64.

4. Пугачев А. А., Тихменев Е. А. Состояние, антропогенная трансформация и восстановление почвенно-растительных комплексов Крайнего Северо-Востока Азии: Научно-метод. пособие. Магадан: Изд-во СВГУ, 2008. 182 с.
5. Тихменев Е. А. Опыт и проблемы биологической рекультивации нарушенных земель Крайнего Северо-Востока Азии // Успехи современного естествознания. 2012. № 11. С. 22–24.
6. Тихменев Е. А., Кулавская Л. А., Папернов И. М, Биологическая рекультивация как метод борьбы с пылением хвостохранилищ обогатительных фабрик в криолитозоне СССР // Биологическая рекультивация нарушенных земель: Материалы Всесоюз. совещ. Свердловск: ИЭРЖ Урал. отд. АН СССР, 1988. С. 331–332.
7. Пугачев А. А. Тихменев Е. А., Тихменев П. Е. Естественное восстановление техногенных ландшафтов лиственничных редколесий Северо-Востока России // Экология. 2005. № 6. С. 429–433.
8. Андреев А. В. Эталоны природы Охотско-Колымского края. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2013. 322 с.
9. Антропогенная динамика растительного покрова Арктики и Субарктики: принципы и методы изучения / Под. ред. Б. А. Юрцева // Труды Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН. 1995. Вып. 15. 185 с.
10. Пугачев А. А., Тихменев Е. А., Тихменев П. Е. Антропогенная динамика и естественное восстановление нарушенных почвенно-растительных комплексов Крайнего Северо-Востока Азии // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: Материалы IX Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Екатеринбург; 20–25 августа 2012 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та ИПЦ УрФУ, 2012. С. 253–258.
11. Тихменев П. Е., Тихменев Е. А., Пугачев А. А. Основы восстановления нарушенных земель Крайнего Северо-Востока Азии: учебное пособие. Магадан: СВГУ, 2020. 131 с.
12. Патент на изобретение № 2711926 от 23.01.2020 г. Способ рекультивации земель, нарушенных при освоении рудных месторождений полезных ископаемых / П. Е. Тихменев, Е. А. Тихменев, А. С. Вильк. С. 173–175.

ЛЕСНАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ КУРСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Трещевская С. В., Трещевская Э. И., Князев В. И., Бобрешова А. О.
Воронежский государственный лесотехнический университет, г. Воронеж, Россия
streshchevskaya@mail.ru

Ключевые слова: техногенно нарушенные земли, отвал, субстрат, лесная рекультивация.

Аннотация: Статья посвящена биологической рекультивации нарушенных земель. Экспериментальные работы проводились на отвалах Курской магнитной аномалии (КМА). Она является самым большим и богатым бассейном по добыче железистых кварцитов не только в нашей стране, но и за рубежом. Объекты находятся в Белгородской области, которая относится к Центральному федеральному округу. Создание лесных насаждений на отвалах КМА началось в 1976 году. Подводятся итоги облесения отвалов, сложенных песками и песчано-меловыми смесями, без мероприятий по улучшению их лесорастительных условий и при формировании двухкомпонентных техноземов. Возраст обследованных насаждений составляет от 36 до 43 лет. Выявлены древесные и кустарниковые породы, наиболее перспективные для биологической рекультивации техногенно нарушенных земель.

FOREST RECLAMATION OF TECHNOGENICALLY DISTURBED LANDS OF THE KURSK MAGNETIC ANOMALY: RESULTS AND PROSPECTS

Treshchevskaya S. V., Treshchevskaya E. I., Knyazev V. I., Bobreshova A. O.
Voronezh State University of Forestry and Technologies, Russia

Key words: post-technogenic areas, embankment, substrate, forest reclamation.

Abstract: The article is devoted to the biological reclamation of disturbed lands. Experimental work was carried out on the dumps of the Kursk Magnetic anomaly (KMA). The KMA is the largest and richest basin for the extraction of ferruginous quartzite not only in our country, but also abroad. The objects are located in the Belgorod region, which belongs to the Central Federal District. The creation of forest plantations on the KMA dumps began in 1976. The results of afforestation of dumps stacked with sand and sand-chalk mixtures are summarized, without measures to improve their forest growing conditions and during the formation of two-component technozems. The age of the plantings ranges from 36 to 43 years. Tree and shrub species that are most promising for biological reclamation of technogenically disturbed lands have been identified.

Введение. В связи с развитием промышленности площадь нарушенных земель в нашей стране и за рубежом с каждым годом возрастает [1]. Масштабы добычи полезных ископаемых велики. В расчете на одного жителя Земли в год добывается до 20 т сырья, из которых менее 10 % переходит в конечный продукт, а остальные 90 % – отходы. Эти отходы в большинстве своем складываются в отвалы, в результате чего обеспеченность населения земельными ресурсами быстро уменьшается. Площадь земельных ресурсов, приходящаяся на одного человека, ежегодно сокращается на 2 %, а площадь продуктивных угодий – на 6–7 %. Это происходит из-за растущей антропогенной нагрузки на земельные ресурсы и деградации почвенного покрова.

Одним из самых больших и богатых бассейнов мира по добыче железистых кварцитов является бассейн Курской магнитной аномалии (КМА). Он расположен в Центральном федеральном округе России на территории Курской, Белгородской и Орловской областей. До 70 % объема вскрышных пород представлено песками и песчано-меловыми смесями. Они складываются в гидроотвалы и отвалы рыхлой вскрыши (железнодорожные). Пески гидроот-

валов с небольшим содержанием мела характеризуются худшей обеспеченностью элементами питания. Так, например, в песке на гидроотвале Березовый лог содержание гумуса составляет всего 0,1 %. В толще песчано-меловой смеси отвала рыхлой вскрыши встречаются включения фосфоритов, сланцев, мергеля. По гранулометрическому составу песчано-меловая смесь на отвале рыхлой вскрыши относится к легким супесям, а местами – к легким суглинкам. Содержание гумуса в ней в 2,7 раза выше, чем в песках гидроотвала. Она имеет также большие запасы продуктивной влаги.

Для улучшения лесорастительных условий гидроотвалов одним из приемов признано землевание. На гидроотвал Березовый лог был нанесен плодородный слой, состоящий из смеси нескольких генетических горизонтов чернозема типичного. Мощность плодородного слоя составляет от 30 до 80 см и более. Таким образом был сформирован двухкомпонентный технозем из верхнего гумусированного слоя и подстилающего слоя песка. Несмотря на высокое содержание в плодородном слое гумуса (3,5 %), биологически важных химических элементов, он обладает рядом отрицательных свойств. К основным из них относятся высокая твердость (30 кг/см²), низкая порозность (45 %), высокая доля влажности завядания (12,8 %).

Облесение отвалов началось в 1972 году. Всего было испытано 48 видов древесных и кустарниковых пород. Они высаживались на песках и песчано-меловых смесях без улучшения лесорастительных условий и на двухкомпонентных техноземах. В таблице приводится основной ассортимент деревьев и кустарников, используемых при лесной рекультивации объектов КМА, и их характеристика.

Результаты исследований. Исследования показали, что на песчаных субстратах отвалов Лебединского ГОКа не удалось вырастить устойчивые насаждения сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в связи с сильной дефляцией, вызывающей выдувание и засекание сосны. Особенно сильно это проявляется на гидроотвалах. Сохранившиеся единичные экземпляры сосны имели в возрасте 7–12 лет замедленный рост и росли по IV классу бонитета. В возрасте 13 лет они полностью погибли в связи с плохими водно-физическими и химическими свойствами субстрата [2].

На песчано-меловой смеси отвала рыхлой вскрыши насаждение сосны просуществовало 21 год, характеризуясь также неудовлетворительными показателями состояния, роста и продуктивности. В возрасте 22 лет сосна на опытных участках отвала полностью выпала из-за неблагоприятных почвенно-экологических условий в техногенных ландшафтах.

Основными породами, сохранившимися в защитных насаждениях на отвале рыхлой вскрыши до 38-летнего возраста, являются робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.), облепиха крушиновая (*Hippophaë rhamnoides* L.), клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), береза повислая (*Betula pendula* Roth). К 38 годам сохранность этих пород составляет 44,3–53,4 %. Было отмечено, что в 17 лет продуктивность насаждений на отвалах – максимальная. К 38 годам рост в высоту у всех пород ослабевает, а по диаметру продолжается. Наиболее высокие биометрические показатели отмечаются у березы, робинии и у клена. Ива остролистная (*Salix acutifolia* Willd.), имеющая сохранность в 38 лет 13,3 %, оказалась непригодной породой для облесения отвалов крутизной 35–40°, особенно в средней и верхней частях откосов.

Таблица – Характеристика насаждений на отвалах КМА

Объект	Субстрат	Древесная / кустарниковая порода	Возраст, лет	Сохранность, %	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Бонитет
Отвал рыхлой вскрыши	Песчано-меловая смесь	Береза повислая	38	36,7	14,30±0,01	15,69±0,08	II
		Ива остролистная	38	13,3	5,20±0,01	7,34±0,03	-
		Клен ясенелистный	38	53,4	9,50±0,02	13,41±0,12	IV
		Облепиха крушиновая	38	46,6	5,30±0,01	9,60±0,04	-
		Робиния лжеакация	38	44,3	11,70±0,03	11,61±0,06	III
		Сосна обыкновенная	21	1,2	3,75±0,09	2,31±0,11	IV
Гидроотвал Березовый дог	Песок	Сосна обыкновенная	12	6,8	0,85±0,01	1,64±0,04	IV
	Двух-компонентный технозем	Береза повислая	38	33,0	15,37±0,11	13,32±0,40	I
		Карагана древовидная	43	20,7	3,30±0,03	4,36±0,03	-
		Лох узколистный	36	29,1	5,30±0,02	18,9±0,04	IV
		Облепиха крушиновая	36	51,5	5,00±0,04	5,50±0,04	-
		Робиния лжеакация	41	42,0	10,50±0,04	15,32±0,04	III
		Сосна обыкновенная	36	30,4	12,00±0,06	11,60±0,07	III
		Тополь бальзамический	42	11,0	12,00±0,05	36,61±1,02	III

Таким образом, облепиха, робиния и клен являются наиболее перспективными породами для лесной рекультивации песчано-меловых отвалов. Облепиха образует за счет корневых отпрысков непроходимые заросли, тем самым полностью закрепляя субстрат и предотвращая процессы эрозии [3] и дефляции на отвалах. Клен, хоть и растет в 38-летнем возрасте по IV классу бонитета, имеет самую высокую сохранность (53,4 %) и неплохо возобновляется естественным путем. Из всех древесных пород только береза растет по II классу бонитета, но высокие биометрические показатели характерны лишь для оставшихся в небольшом количестве экземпляров, т. к. сохранность березы к 38 годам снизилась до 36,7 %.

Как видно из таблицы, на песчаных субстратах после улучшения их лесорастительных условий путем землевания, ассортимент деревьев и кустарников, применяемых для лесной рекультивации, значительно богаче.

Кроме выше перечисленных пород на двухкомпонентных техноземах были высажены бузина красная (*Sambucus racemosa* L.), жимолость татарская (*Lonicera tatarica* L.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), смородина золотая (*Ribes aureum* Pursh.), яблоня лесная (*Malus sylvestris* L.), ясень зеленый (*Fraxinus lanceolata* Borkh.) и др. Однако к возрасту 36–43 лет их сохранность составляла менее 10 %. Поэтому эти породы можно считать непригодными для лесной рекультивации песчаных отвалов даже после улучшения их лесорастительных условий.

В возрасте 38 лет береза повислая характеризуется достаточно высокими биометрическими показателями в нижних частях отвалов, что соответствует I классу на двухкомпонентных техноземах с поверхностным плодородным слоем мощностью 30–40 см. Эта порода могла бы подойти для создания на отвалах насаждений эксплуатационного назначения, но ее низкая сохранность, обусловленная неудовлетворительными водно-физическими свойствами насыпного плодородного слоя, говорит о бесперспективности таких насаждений.

Насаждение караганы древовидной (*Caragana arborescens* Lam.) на двухкомпонентных техноземах характеризуется неудовлетворительным ростом и низкой сохранностью – 20,7 % к 43 годам. Ее можно использовать при лесной рекультивации техногенных ландшафтов только при смешении с более ценными породами.

В связи с низкой сохранностью лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia* L.) (29,1 % в 36 лет) его целесообразно применять для создания предварительных насаждений на первом этапе рекультивации. К 40 годам после реконструкции можно будет создавать насаждения из более ценных пород.

Наибольшей продуктивностью в 9-летнем возрасте характеризуются насаждения робинии лжеакации и облепихи крушиновой, в которых сосредоточено 182,2–143,9 ц/га органического вещества. В возрасте 36–41 года более высокая сохранность на двухкомпонентных техноземах отмечается также у этих пород: у облепихи – 51,5 %, у робинии – 42,0 %. Из них можно формировать защитные лесные насаждения на рекультивируемых землях.

При выращивании сосновых насаждений на двухкомпонентных техноземах оказалось, что в первые 7–10 лет мощность поверхностного плодородного слоя не оказывает сильного влияния на сохранность, а также показатели роста и продуктивности сосновых насаждений. В возрасте 36 лет сосна на участке с маломощным плодородным слоем (40 см) имеет сохранность 30,4 % и характеризуется III классом бонитета.

Насаждение тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в возрасте 42 лет имеет сохранность 11,0 %. Оставшиеся экземпляры растут по III классу бонитета, имея среднюю высоту 12,0 м и средний диаметр 36,61 см. Несмотря на то, что тополь является быстрорастущей древесной породой, в условиях нарушенных земель он не формирует долговечных устойчивых насаждений, и не может быть рекомендован для лесной рекультивации отвалов в техногенных ландшафтах.

Выводы. Таким образом, осуществив мониторинг насаждений на песчаных и песчано-меловых отвалах в техногенно нарушенных ландшафтах, мы пришли к следующим выводам:

1) Пески гидроотвалов без проведения мероприятий по улучшению их лесорастительных условий являются непригодными для выращивания даже сосновых насаждений.

2) На песчано-меловых смесях отвалов рыхлой вскрыши возможно выращивание защитных лесных насаждений из облепихи крушиновой, клена ясенелистного и робинии лжеакации.

3) На песчаных гидроотвалах создание рекультивационных насаждений из облепихи крушиновой, робинии лжеакации, сосны обыкновенной и березы повислой возможно только после улучшения их лесорастительных условий, одним из приемов которого является землевание.

4) Азотфиксирующие породы, такие как лох узколистный и карагана древовидная, целесообразнее выращивать на первом этапе рекультивации для повышения запасов питательных веществ в субстратах или вводить в насаждения из более ценных пород, в том числе хвойных.

Список литературы

1. Food and Agriculture Organization [FAO] 2015 Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: <http://www.fao.org/3/a-bc600e.pdf>
2. Трещевская Э. И., Трещевская С. В., Бобрешов К. В. Сосновые насаждения в разных лесорастительных условиях нарушенных земель // Лесотехнический журнал. 2014. № 3(15). С. 76–84.
3. Навалихин С. В. Роль биологической рекультивации в защите отвалов Лебединского горно-обогатительного комбината КМА от эрозии: автореф. дис. ... канд с.-х. наук. Волгоград, 2009. 19 с.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ КАРЬЕРНО-ОТВАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПОСЛЕ ДОБЫЧИ КАРБОНАТНОГО СЫРЬЯ

Филимонова Е. И., Глазырина М. А., Лукина Н. В., Давляев Ф. Д.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия,
elena.filimonova@urfu.ru

Ключевые слова: растительность, фитоценоз, месторождения карбонатных пород.

Аннотация: Восстановление растительного покрова при самозарастании территорий карьерно-отвальных комплексов после добычи известняка и доломита, включая прикарьерные участки, обочины дорог, отвалы вскрышных пород, в основном идет по лесному типу. К 40–45-летнему возрасту на отвалах формируются смешанные лесные фитоценозы с доминированием раннесукцессионных видов *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roch, *Betula pubescens* Ehrh., *Populus tremula* L., появляются позднесукцессионные виды: *Picea obovata* Ledeb. и *Larix sibirica* Ledeb. В составе растительных сообществ выявлены редкие виды семейства *Orchidaceae*: *Malaxis monophyllos* (L.) Sw., *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soó, *Platanthera bifolia* (L.) Rich., *Epipactis helleborine* (L.) Crantz и реликтовый папоротник *Botrychium lunaria* (L.) Sw. На участках с постоянным антропогенным воздействием формируются растительные сообщества с доминированием лугово-сорных и сорно-рудеральных видов. Промышленные отвалы в течение длительного периода могут являться территориями с повышенной концентрацией адвентивных видов.

VEGETATION RESTORATION ON QUARRY-DUMP COMPLEXES AFTER MINING CARBONATE ROCKS

Filimonova E. I., Glazyrina M. A., Lukina N. V., Davljaev F. D.
Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia,

Key words: vegetation, phytocenosis, deposits of carbonate rocks.

Abstract: Restoration of vegetation cover during self-overgrowing of the territories of quarry-dump complexes after limestone and dolomite extraction, including quarry sites, roadsides, overburden dumps, is mainly of the forest type. By the age of 40–45, mixed forest phytocenoses with the dominance of early successional species *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roch, *Betula pubescens* Ehrh., *Populus tremula* L. are formed on the dumps. Postsuccessional species appear in the composition of forest communities: *Picea obovata* Ledeb. and *Larix sibirica* Ledeb. Rare species of the *Orchidaceae* family have been identified in plant communities: *Malaxis monophyllos* (L.) Sw., *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soó, *Platanthera bifolia* (L.) Rich., *Epipactis helleborine* (L.) Crantz and the re-lict fern *Botrychium lunaria* (L.) Sw. In areas with constant anthropogenic impact, plant communities are formed with the dominance of meadow-weed and weed-ruderal species. Industrial dumps for a long period may be territories with an increased concentration of adventitious species.

Введение. Карбонатные породы в пределах Урала развиты довольно широко, из них около 35 % составляют известняки и доломиты. Известно более 15 месторождений доломита и известняка, различающихся качеством и запасами сырья [1]. В Свердловской области (Средний Урал) основная часть промышленной добычи доломитов и известняков осуществляется на Сухореченском (Билимбаевском) месторождении [2].

В результате открытой разработки карбонатных пород сформировались карьерно-отвальные комплексы, на некоторых карьерах горные работы прекращены. Биологической рекультивации нарушенных земель не проводилось. На территории карьерно-отвальных

комплексов растительность восстанавливалась за счет заноса семян с близлежащих лесных массивов, агроценозов, несанкционированных свалок и т. д.

Для разработки способов биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель большое значение имеет изучение флоры и растительности, формирующихся на этих территориях [3–6].

Целью работы было изучение восстановления растительности, формирующейся на Галкинском и Сухореченском карьерно-отвальных комплексах Сухореченского месторождения карбонатных пород, а также выявление адвентивного компонента флоры.

Объекты и методы исследований. Район исследования расположен в пределах Уральской горной физико-географической провинции, в таежной зоне, подзоне южной тайги.

Галкинский карьерно-отвальный комплекс (ГКОК) в состав которого входят карьер мраморизированного известняка и отвалы, находится около поселков Билимбай и Доломитовый. Разработка Галкинского карьера началась в 1942 г. и была завершена в 2012 г. К настоящему времени территория ГКОКа занимает около 70 га. Карьер затоплен грунтовыми водами и используется для целей рекреации. Отвалы № 1 и № 2, имеющие небольшую площадь, заросли лесной растительностью. Основная часть вскрышных пород складировалась автомобильным транспортом в отвал № 3, отходы дробильно-сортировочной установки (ДСУ) поступали в отвал № 4.

Породы вскрыши, в основном, представлены поверхностными карстовыми образованиями, плотными жирными запесоченными глинами, обломками известняка, дресвы, галечниками, песчано-глинистыми отложениями. По гранулометрическому составу субстрат отвалов сильно каменистый (60–80 %).

Сухореченский карьерно-отвальный комплекс (СКОК) расположен вблизи поселков Вересовка и Извездная. СКОК с восточной и южной сторон окружен сельскохозяйственными угодьями. Добыча доломитов на Сухореченском месторождении началась в 1948 г. и была завершена к 1979 г. К 1994 г. карьер был затоплен. К северу и северо-востоку от Сухореченского карьера ведутся горные работы на Чернореченском и Коноваловском участках, при этом отвал Сухореченского карьера частично используется под перегрузку и складирование добываемого из них сырья. Общая площадь СКОКа составляет более 35 га.

Породный состав Сухореченского отвала представлен рассланцованными доломитами, доломитизированными известняками, смесью обломков доломитов с элювиальными глинами; каменистость пород 70–85 %. Содержание карбонатов в составе флюсовых известняков – СаО не менее 50–52 %, в доломитах: СаО – 31–33 %, а также MgO – 17–22 %.

В целом грунтосмеси исследуемых комплексов карбонатные, не содержат фитотоксичных пород и не засолены, реакция субстратов слабощелочная: на участках Галкинских отвалов $pH=7,3-7,5$, на Сухореченском отвале – $pH=7,2-8,4$. В субстратах практически отсутствуют азот и доступные фосфаты, обеспеченность калием очень низкая [6, 7].

Исследования проводили в июне–августе 2019–2021 гг. Территории карьерно-отвальных комплексов обследовали детально-маршрутным методом по общепринятым методикам. На участках самозарастания лугового типа определяли общее проективное покрытие (ОПП) растительности, в лесных фитоценозах (ЛФ) – сомкнутость крон, проективное покрытие по сформированным ярусам. Выявляли видовой состав растительных сообществ, а также обилие видов по шкале Друде. Определяли флористическое богатство (общее количество видов сосудистых растений на участке) и видовую насыщенность (количество видов на площади $0,25 \text{ м}^2$).

Изучены растительные сообщества, формирующиеся на выделенных участках ГКОКа (рис. 1): прикарьерная территория до обваловки (обозначение участка – Г-к), обочины дорог (Г-д), нижний ярус отвала вскрышных пород № 3 (ГЗ-н), верхний ярус отвала № 3 (ГЗ-в), отвал № 4 отходов ДСУ (Г4). На СКОКе были обследованы: прикарьерная территория (С-к), обочины дорог (С-д), участки отвала с разным периодом формирования растительных сооб-

ществ (С-1; С-2; С-3). В качестве контроля обследован участок естественного леса, расположенный в лесном массиве в окрестностях п. Билимбай (К) (рис. 1).

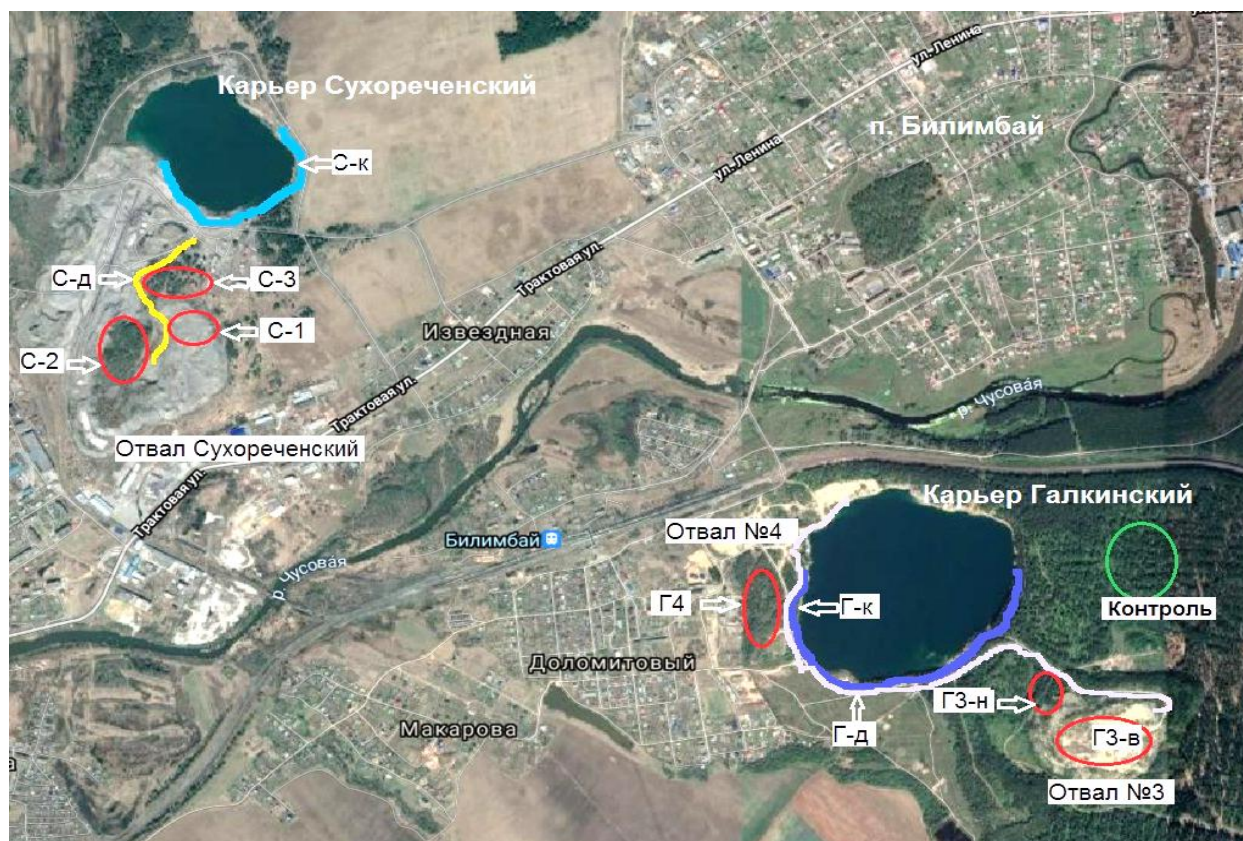


Рисунок 1 – Схема расположения участков на карьерно-отвальных комплексах

Статистическая обработка полученных данных выполнена с помощью стандартного пакета программ Microsoft Excel и StatSoft STATISTICA 12, проведен факторный анализ флористических списков (метод главных компонент).

Результаты исследований. *Галкинский карьерно-отвальный комплекс.* Участок Г-к – прикарьерная территория Галкинского карьера зарастает в основном древесно-кустарниковой растительностью, видовой состав которой определялся ландшафтным окружением и антропогенным воздействием (рекреация, свалки, вырубка деревьев). На восточном и южном бортах формируются смешанные ЛФ с доминированием *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roch, *Populus tremula* L. На остальной территории отмечены заросли кустарников (ОПП 60 %): *Salix caprea* L., *Salix myrsinifolia* Salisb., *Rosa majalis* Herrm. и др., и бурьянистой травянистой растительности (ОПП 30–80 %). На участке выявлено 66 видов растений.

Участок Г-д – обочины автомобильных дорог ГКОКа активно зарастают кустарниковой (*S. caprea*, *S. myrsinifolia*, *R. majalis* и др.) и травянистой растительностью (всего 57 видов). ОПП варьирует от 10 до 60 %. Отмечены всходы *P. sylvestris* и *B. pendula*. На зарастающей обочине дороги выявлены местообитания редких на Урале видов семейства Orchidaceae: *Malaxis monophyllos* (L.) Sw., *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soó.

На участках Г-к и Г-д встречены 2 адвентивных вида: *Artemisia absinthium* L., *Melilotus albus* Medik.

Галкинский отвал № 3 ГКОКа, расположенный к юго-востоку от карьера, состоит из 4-х ярусов. Общая высота отвала достигает 50 м.

Участок Г3-н расположен в северо-восточной и северной части нижнего яруса отвала № 3. Высота яруса 7–13 м. Период формирования растительности составляет 46–50 лет. Здесь сформировался хвойный лес с доминированием *P. sylvestris* (формула состава 10С).

Сомкнутость древесного яруса 0,6–0,7. В подросте встречались *Picea obovata* Ledeb., *Larix sibirica* Ledeb., *P. tremula*, *B. pendula* и др. В подлеске произрастали 10 видов кустарников (*Sorbus aucuparia* L., *Prunus padus* L., *Rubus idaeus* L., *Viburnum opulus* L., *Lonicera xylosteum* L. и др.). ОПП травяно-кустарничкового яруса варьировало от 10 % до 90 %. Из травянистых видов доминировали *Pyrola rotundifolia* L. (cop₂), *Trifolium medium* L. (sp gr–cop₁) и *Pimpinella saxifraga* L. (sp–cop₁), встречались единичные особи орхидеи *Platanthera bifolia* (L.) Rich. Всего на I-м ярусе отмечено 46 видов растений. Видовая насыщенность в среднем составляла 4,4 вида на 0,25 м².

Участок ГЗ-в расположен на верхнем плато отвала № 3. Поверхность участка, большей частью, спланирована, но сильно замусорена несанкционированными свалками бытовых отходов и опила. Период формирования растительности в разных частях участка варьировал от 12 до 35 лет. На поверхности свежих планировок, в центральной и юго-западной частях произрастала травянистая растительность, ОПП которой изменялось от 10 до 85 %. Высокое обилие имели такие адвентивные виды как *Puccinellia hauptiana* (V. I. Krecz.) Kitag., *Erigeron canadensis* L., *M. albus*, *Melilotus officinalis* (L.) Lam., *Chenopodium album* L., *A. absinthium*, и, ранее не встречавшийся во флоре Свердловской области, *Chaenorhinum minus* (L.) Lange.

На участках 15–20-летнего возраста в северо-западной части формируется закустаренный луг (ОПП 30–40 %) с подростом *P. sylvestris*, *B. pendula* и видов рода *Salix* (*S. caprea*, *S. myrsinifolia* и др.), высота которых варьирует от 0,2 до 1,0 м. В травянистом ярусе доминировали *Medicago lupulina* L. (cop₂), *Galium mollugo* L. (cop₁–cop₂), *Pastinaca sylvestris* Mill. (cop₁), *M. officinalis*, *Agrostis gigantea* Roth (sp gr–cop₁).

На неспланированной территории в северо-восточной, северной и центральной частях отвала формируется лесная растительность. Встречались группы *P. sylvestris* и *Betula pubescens* Ehrh. и единичные особи *S. caprea*, *S. myrsinifolia*, *Salix bebbiana* Sarg., *Salix rosmarinifolia* L. Из травянистых видов доминировали *Festuca rubra* L. (cop₂), *M. lupulina* (cop₁ gr), *P. rotundifolia* (sp–cop₁).

Всего на верхнем IV-ом ярусе Галкинского отвала № 3 встречено 119 видов растений, из них 18 видов (15,1 %) относятся к адвентивным. Видовая насыщенность в среднем составляла 3,3 вида на 0,25 м².

Галкинский отвал № 4 расположен к западу от карьера, имеет вытянутую с севера на юг форму, состоит из 2-х ярусов. Высота отвала в южной части достигает 30 м.

На 55–60-летнем участке (Г4) отвала № 4 формируется смешанный лес (8С1Ос+Бб+Бп+Е) с преобладанием *P. sylvestris* с примесью *P. tremula*, *B. pendula*, *B. pubescens* и *P. obovata*. Сомкнутость крон 0,7. В составе подроста, кроме подроста вышеуказанных пород, встречались *L. sibirica*, *Populus laurifolia* Ledeb., *Populus longifolia* Fisch. В составе подлеска отмечены 6 видов: *S. caprea*, *S. myrsinifolia*, *Salix cinerea* L., *Salix phylicifolia* L., *Alnus incana* (L.) Moench, *S. aucuparia*. В травяно-кустарничковом ярусе (ОПП 15–40 %) доминировали *Orthilia secunda* (L.) House. (cop₁ gr), *P. saxifraga* (cop₁–cop₂), *Trifolium montanum* L. (cop₁ gr), *Leucanthemum vulgare* Lam. (sp gr–cop₁), *F. rubra*, *Centaurea scabiosa* L., *Trifolium repens* L. (sp–cop₁), *Trifolium pratense* L., *P. rotundifolia*, *Plantago media* L. и реликтовый на Урале папоротник *Botrychium lunaria* (L.) Sw. (sp gr). Всего на отвале № 4 произрастало 88 видов растений, из них 3 адвентивных вида: *Amelanchier spicata* (Lam.) K. Koch, *Erysimum hieraciifolium* L. f., *Lactuca tatarica* (L.) C. A. Mey. Видовая насыщенность в среднем составляла 5,0 видов на 0,25 м². В целом, флора ГКОКа включала 180 видов, принадлежавших 31 семейству и 125 родам.

Сухореченский карьерно-отвальный комплекс. Участок С-К – незатопленные откосы карьера, имеющие большую крутизну, частично заросшие ивами. На прикарьерной территории (до обваловки) формируется смешанный лес с доминированием *P. sylvestris* и *B. pendula*. Участок со стороны промзоны использовался под автостоянку. На данной территории произрастало 52 вида, из них 6 (11,5 %) адвентивных: *A. absinthium*, *M. albus*, *Ch. album*, *Sonchus arvensis* L., *Lactuca serriola* L., *E. hieraciifolium*.

Участок С-Д включал обочины автодорог, пролегающих на отвале. Придорожная растительность угнетена в результате сильного запыления. Было отмечено 22 вида, в том числе 2 адвентивных (*A. absinthium*, *S. arvensis*).

На 2-х ярусном отвале вскрышных пород Сухореченского месторождения доломитов были обследованы 3 разновозрастных участка. Высота отвала в южной части достигала 30 м.

Участок С-1 – период формирования растительности 10–15 лет. Растительность находилась на стадиях элементарной и сложной группировки [8]. ОПП растительностью варьировало от 2 до 40 %. Отмечен самосев *P. sylvestris*, *B. pubescens* и *P. tremula* и 8 видов кустарников. Группами встречались такие травянистые виды, как *Tussilago farfara* L., *Linaria vulgaris* Mill., *M. lupulina* (sol gr), *M. albus* (un gr), *Aster amellus* L., *P. saxifraga*, *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *T. pratense*, *T. medium*, *Arctium lappa* L. Всего на участке произрастало 16 видов. Видовая насыщенность в среднем составляла 4,4 вида на 0,25 м².

Участок С-2 – здесь за 40–45 лет сформировался смешанный лес (4С3Ос3Б+Е) с доминированием *P. sylvestris*, с примесью *P. tremula*, *B. pubescens* и *B. pendula*, *P. obovata*. Сомкнутость крон 0,5. В составе подлеска встречались 12 видов кустарников (*S. myrsinifolia*, *S. rosmarinifolia*, *S. aucuparia*, *P. padus*, *R. idaeus* и др.). В травяно-кустарничковом ярусе (ОПП 55 %), преобладали *O. secunda* (cop₁ gr), *P. saxifraga* (cop₁), *T. medium* (sp gr–cop₁), *Fragaria vesca* L. (sp gr–cop₁), *Ch. angustifolium* (sol gr–sp). Также были отмечены редкие на Урале орхидеи: *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *P. bifolia*, *M. monophyllos*. Всего на участке произрастал 91 вид растений, из них 6 видов (6,6 %) адвентивных, такие как *S. arvensis*, *M. officinalis*, *M. albus*, *Acer negundo* L. и др. Видовая насыщенность составляла 6,1 вида на 0,25 м².

Участок С-3 – период формирования 50–55 лет. На участке произрастал смешанный ЛФ (5С3ЕБОс) с преобладанием хвойных пород деревьев: *P. sylvestris*, *P. obovata* и *L. sibirica*; из лиственных пород единично встречались *B. pendula*, *B. pubescens*, *P. tremula*, *S. caprea*. Сомкнутость крон варьировала от 0,45 до 0,7. В травяно-кустарничковом ярусе (ОПП 40 %) преобладали *P. rotundifolia* (sp gr–cop₁), *T. repens* (sp gr), *Viola selkirkii* Pursh ex Goldie (sp gr), *P. saxifraga* (sp), *O. secunda* (sol gr–sp), *F. vesca* (sol gr–sp). Отмечены единичные особи орхидеи *E. helleborine* (un–sol). Всего на участке С-3 было встречено 45 видов растений. Видовая насыщенность в среднем составляла 5,5 видов на 0,25 м².

В целом, флора Сухореченского карьерно-отвального комплекса включала 126 видов, принадлежавших 33 семействам и 88 родам.

На контрольном участке (К) произрастает сосняк разнотравный с примесью *B. pendula* (7С3ЕБОс), с сомкнутостью крон 0,4–0,5. В подлеске встречались *S. aucuparia*, *P. padus*, *R. majalis*, *Rosa canina* L. В травяно-кустарничковом ярусе (ОПП 75 %) по обилию преобладали виды лесного и опушечного разнотравья: *Calamagrostis arundinaceae* (L.) Roth (cop₂), *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv. и *Brachipodium pinnatum* (L.) Beauv. (cop₁). *Aegopodium podagraria* L. (cop₂), *F. vesca* и *Rubus saxatilis* L. (cop₁ gr), *Veronica chamaedrys* L. (sp–cop₁), встречались *Vaccinium vitis-idaea* L., *Vaccinium myrtillus* L. (sp gr) и *O. secunda* (sol–sp). Всего на контрольном участке произрастало 88 видов растений, из них 4 адвентивных (4,5 %): *Lonicera tatarica* L., *A. spicata* и др. Видовая насыщенность в среднем составляла 7 видов на 0,25 м².

Индекс видового сходства Серенсена-Чекановского флоры Галкинских и Сухореченского отвалов с контрольным участком леса составлял 0,4 и 0,5 соответственно.

Факторный анализ показал влияние эдафических условий на видовой состав растительных сообществ (рис. 2).

В целом, флора, формирующаяся на территории карьерно-отвальных комплексов, включала 209 видов сосудистых растений, принадлежащих к 139 родам и 44 семействам. Среди ведущих семейств преобладали: Asteraceae (28 видов, 13,4 %), Poaceae (22 вида, 10,5 %), Rosaceae (19 видов, 9,1 %), Fabaceae (17 видов, 8,1 %), Salicaceae (14 видов, 6,7 %).

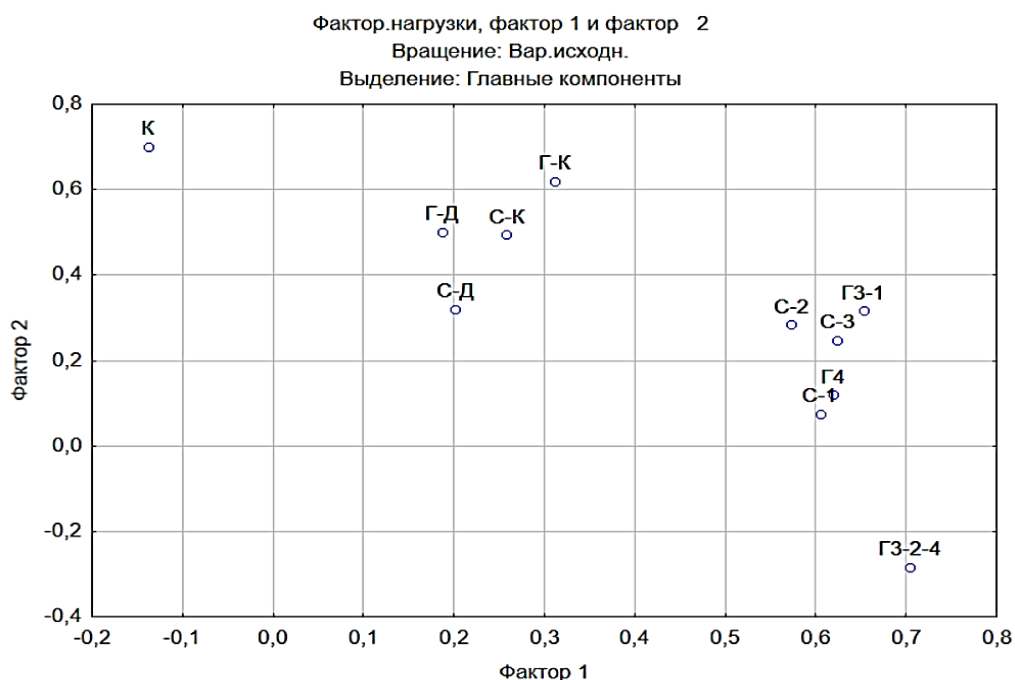


Рисунок 2 – Факторный анализ (метод главных компонент) растительных сообществ по присутствию видов

Распределение по степени агрессивности инвазионных растений [9] показало, что 4 вида (*A. negundo*, *Hippophaë rhamnoides* L., *A. spicata*, *E. canadensis*) относились к видам биоценозотрансформерам; 17 видов (*A. absinthium*, *Caragana arborescens* Lam., *Ch. album*, *Erodium cicutarium* (L.) L'Hér. ex Aiton, *E. hieraciifolium*, *Erysimum marschallianum* Andr., *Galeopsis speciosa* Mill., *Geranium sibiricum* L., *Hordeum jubatum* L., *L. tatarica*, *L. serriola*, *M. albus*, *M. officinalis*, *Myosotis arvensis* (L.) Hill, *P. hauptiana*, *Sisymbrium loeselii* L., *S. arvensis*) – виды фитоценозотрансформеры, активно расселяющиеся и натурализующиеся в нарушенных местообитаниях, 3 вида (*L. tatarica*, *Atriplex hortensis* L., *Ch. minus*) – потенциально инвазионные виды.

Заключение. Восстановление растительного покрова в процессе самозаращения на территории карьерно-отвальных комплексов после добычи карбонатного сырья (известняка и доломита) в основном идет по зональному лесному типу. К 40–45-летнему возрасту на отвалах формируются смешанные лесные фитоценозы с доминированием раннесукцессионных видов: *P. sylvestris*, *B. pendula*, *B. pubescens*, *P. tremula*, *S. caprea*. В составе лесных сообществ появляются позднесукцессионные виды: *P. obovata* и *L. sibirica*. Лесные фитоценозы в целом схожи по сомкнутости и видовому составу лесообразующих пород с окружающим отвалами лесным массивом, но отличаются по сформированности яруса подлеска и травяно-кустарничкового яруса более низкими показателями общего проективного покрытия и видовой насыщенности. Во флоре комплексов выявлены редкие виды семейства Orchidaceae: *M. monophyllus*, *D. fuchsia*, *P. bifolia*, *E. helleborine* и реликтовый папоротник *B. lunaria*.

На процесс естественного зарастания карьерно-отвальных комплексов влияют: рельеф, высота отвалов, экспозиция откосов, удаленность от источников заноса семян и антропогенная деятельность.

Промышленные отвалы в течение длительного периода могут являться территориями с повышенной концентрацией адвентивных видов.

Благодарности. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ и Правительства Свердловской области в рамках научного проекта № 20-44-660011 и Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения государственного задания УрФУ FEUZ-2020-0057.

Список литературы

1. Солодкий Н. Ф., Викторов В. В., Солодкий Е. Н., Солодка М. Н., Погребенков В. М. Минерально-сырьевая база Урала для керамической, огнеупорной и стекольной промышленности. Челябинск: Изд-во Южно-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2018. 332 с.
2. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Свердловской области (на 15.06.2020). <https://www.rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202011/d0e663756fc455b1a4b22a5906177f33.pdf> (дата обращения 20.06.2022)
3. Экологические основы и опыт биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель / Т. С. Чибрик, Н. В. Лукина, Е. И. Филимонова, М. А. Глазырина. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2011. 268 с.
4. Чайкина Г. М., Обьедкова В. А. Рекультивация нарушенных земель в горнорудных районах Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 267 с.
5. Стрельникова Т. О., Манаков Ю. А. Особенности флоры отвалов угольных разрезов Кемеровской области // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2010. № 2(10). С. 44–57.
6. Лукина Н. В., Филимонова Е. И., Глазырина М. А., Чибрик Т. С. Структурная организация лесных фитоценозов на промышленных отвалах Урала // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17, № 6. С. 220–224.
7. Махонина Г. И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала. Екатеринбург: Изд-во Урал, ун-та, 2003. 356 с.
8. Курочкина Л. Я., Вухрер В. В. Развитие идей В. Н. Сукачева о сингенезе // Вопросы динамики биогеоценозов: Докл. На IV ежегодн. чтениях памяти акад. В. Н. Сукачева. М.: Наука, 1987. С. 5–27.
9. Третьякова А. С. особенности распределения чужеродных растений в естественных местообитаниях на урбанизированных территориях Свердловской области // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о земле. 2016. Т. 26, вып. 1. С. 85–93.

СИСТЕМАТИЧЕСКАЯ И БИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРЫ ФЛОРЫ ОТВАЛОВ СУХОРЕЧЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД

Филимонова Е. И., Лукина Н. В., Давляев Ф. Д., Глазырина М. А.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
elena.filimonova@urfu.ru

Ключевые слова: флора, отвалы, месторождения карбонатных пород.

Аннотация: В работе приведен анализ структуры парциальной флоры отвалов Сухореченского месторождения карбонатных пород (доломитов и флюсовых известняков). В структуре флоры отвалов ведущую роль имели семейства *Asteraceae*, *Fabaceae*, *Poaceae*, *Salicaceae* и *Rosaceae*. Выявлено преобладание олиго- и монотипных семейств и родов, что указывает на экстремальные условия формирования флоры отвалов. Анализ биоэкологической структуры показал, что формирование флоры идет за счет многолетних, мезофитных, лесных и луговых видов, относящихся, в основном, к бореальной ареалогической группе евразийского происхождения. Во флоре отвалов высокую долю составляют ксерофильные виды, а также виды известняковых и каменистых обнажений.

VEGETATION RESTORATION ON QUARRY-DUMP COMPLEXES AFTER MINING CARBONATE ROCKS

Filimonova E. I., Lukina N. V., Davljaev F. D., Glazyrina M. A.
Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Key words: flora, dumps, deposits of carbonate rocks.

Abstract: The paper presents an analysis of the flora structure of the Sukhorechenskoye carbonate rocks (dolomites and flux limestones) deposit dumps. The families *Asteraceae*, *Fabaceae*, *Poaceae*, *Salicaceae*, and *Rosaceae* played the leading role in the structure of the dump flora. Analysis of the systematic structure revealed the predominance of oligo- and monotypic families and genera, which indicates extreme conditions for the formation of the dump flora. An analysis of the bioecological structure showed that the formation of the flora is due to perennial, mesophytic, edge, forest and meadow species, mainly belonging to the boreal arealogical group of Eurasian origin. In the flora of dumps, xerophilic species, as well as species of limestone and stony outcrops, make up a high proportion.

Введение. Уральский регион является горнодобывающим и промышленным центром. Среди техногенных ландшафтов в регионе особое место по своему отрицательному воздействию на естественные природные комплексы занимают промышленные отвалы. В настоящее время отвалы после разработки горных пород все чаще рассматриваются как объекты для изучения восстановления техногенных экосистем [1, 2]. Регенерация нарушенных экосистем происходит в результате целенаправленных мероприятий, а также в ходе восстановительных сукцессий, протекающих с разной скоростью и направленностью в зависимости от экологических условий техногенных местообитаний [3–5]. Ценность этих территорий возрастает по мере восстановления биологического разнообразия.

Флору техногенных отвалов мы рассматриваем как парциальную флору мезоэкоотопов (соответствуют урочищам) [6, 7]. Изучение флоры, выделенной по любому признаку, имеет самостоятельное научное, народно-хозяйственное и природоохранное значение [8]. Качественный анализ состава флоры (составление различных спектров) – один из обязательных разделов любого флористического исследования, который позволяет понять историю формирования и современное состояние флоры [9].

Публикаций, посвященных изучению флоры нарушенных территорий на месторождениях карбонатных пород, крайне мало. В то же время, в связи со спецификой физико-химических свойств субстратов таких отвалов, изучение структуры парциальных флор весьма актуально.

Цель работы: изучение структуры парциальной флоры отвалов Сухореченского месторождения карбонатных пород (доломитов и флюсовых известняков).

Объекты и методы исследований. Исследования проводили в июне – августе 2019–2021 гг. на трех отработанных автомобильных отвалах: Сухореченском, Галкинских № 3 и № 4 (Свердловская обл., Средний Урал; подзона южной тайги). Отвалы различались по породному составу вскрышных пород. На Сухореченский отвал складировались преимущественно доломиты и доломитизированные известняки, а также рыхлые вскрышные породы. На Галкинские отвалы поступали обломки известняка, карста в смеси сопутствующих песчано-глинистых отложений. Физико-химическая характеристика субстратов приведена в работах Г. И. Махониной [10], Т. С. Чибрик с соавторами [4] и др.

В качестве контроля был обследован участок лесного массива в окрестностях п. Билимбай. Лесной массив произрастает на карбонатных подстилающих породах.

Территории отвалов и контрольного участка были обследованы детально-маршрутным методом по общепринятым методикам. По результатам полевых и камеральных исследований был составлен список видов сосудистых растений, проведены систематический и биоэкологический анализы флоры. Номенклатура таксонов дана по Системе APG II [11]. Характеристика видов была составлена по литературным данным [12–16] с учетом многолетних личных наблюдений.

Результаты исследований. Проведенные исследования позволили выявить на территории Сухореченского отвала 100 видов сосудистых растений, принадлежащих к 66 родам и 27 семействам. Флористический спектр 10 ведущих семейств парциальной флоры отвала приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Флористический спектр 10 ведущих семейств парциальных флор отвалов

Сухореченский отвал	Галкинский отвал № 3	Галкинский отвал № 4	Контроль*
Fabaceae Lindl.	Asteraceae Bercht. & J. Persl	Asteraceae Bercht. & J. Persl = Rosaceae Juss.	Rosaceae Juss.
Asteraceae Bercht. & J. Persl	Poaceae Barnhart	Poaceae Barnhart	Poaceae Barnhart
Salicaceae Mirb.	Fabaceae Lindl.	Fabaceae Lindl.	Asteraceae Bercht. & J. Persl = Fabaceae Lindl.
Poaceae Barnhart = Rosaceae Juss.	Rosaceae Juss.	Salicaceae Mirb.	Ranunculaceae Juss.
Violaceae Batsch	Salicaceae Mirb.	Apiaceae Lindl. = Ericaceae Juss. = Pinaceae Lindl. = Plantaginaceae Juss. = Ranunculaceae Juss.	Apiaceae Lindl.
Ericaceae Juss. = Orobanchaceae Vent. = Apiaceae Lindl.	Plantaginaceae Juss. = Caryophyllaceae Juss. = Brassicaceae Burnett		Cyperaceae Juss. = Ericaceae Juss. = Betulaceae Gray = Lamiaceae Lindl.
Ranunculaceae Juss.	Apiaceae Lindl. = Pinaceae Lindl.		

Первое место по числу видов во флоре Сухореченского отвала принадлежало семейству Fabaceae Lindl. (14 видов, 14 %), второе – Asteraceae Bercht. & J. Persl (12 видов, 12,0 %), третье – Salicaceae Mirb. (10 видов, 10,0 %), четвертое – Poaceae Barnhart и Rosaceae Juss. (по 9 видов, 9,0 %), пятое – Violaceae Batsch (6 видов, 6,0 %). По первой триаде (Fa–As–Sl) согласно А. П. Хохрякову [17] тип флоры соответствовал Salicaceae-типу и Rosaceae-подтипу. Десять ведущих семейств флоры Сухореченского отвала были представлены 75 видами, что

составляло 75,0 % от общего числа видов. Семейственно-видовой спектр характеризовался высокими долями олиготипных (37,0 %) и монотипных семейств (40,7 %).

Флора Галкинского отвала № 3 включала 130 видов, принадлежавших к 95 родам, 33 семействам. В первую триаду входили семейства: Asteraceae (21 вид, 16,3 %), Poaceae (17 видов, 13,2 %), Fabaceae (15 видов, 11,6 %); во вторую – Rosaceae (10 видов, 7,8 %), Salicaceae (9 видов, 7,1 %), Plantaginaceae Juss. (5 видов, 3,9 %). Тип флоры соответствовал Fabaceae-типу и Rosaceae-Salicaceae-подтипу. Десять ведущих семейств флоры Галкинского отвала № 3 были представлены 90 видами, что составляло 70,4 % от общего числа видов. В спектре семейств в равных долях были олиготипные и монотипные семейства (42,4 %).

Видовое богатство сосудистых растений Галкинского отвала № 4 составляло 86 видов, 68 родов, 23 семейства. В первую триаду входили семейства Asteraceae и Rosaceae (по 12 видов, 13,9 %), Poaceae (10 видов, 11,6 %), Fabaceae (8 видов, 9,3 %), во второй триаде определяющее место принадлежало семейству Salicaceae (7 видов, 8,1 %). Тип флоры соответствовал Fabaceae-типу и Salicaceae-подтипу. Десять ведущих семейств флоры были представлены 64 видами, что составляло 74,4 % от общего числа видов. В семейственном спектре преобладали олиготипные семейства (52,2 %), доля монотипных семейств составляла 26,1 %.

На контрольном участке леса, площадь которого соизмерима с территориями, занимаемыми отвалами, было выявлено 88 видов, принадлежащих 72 родам, 31 семейству. Первое место по числу видов принадлежало семейству Rosaceae (12 видов, 13,7 %), второе – Poaceae (9 видов, 10,3 %), третье – Asteraceae и Fabaceae (по 8 видов, 9,2 %). Во второй триаде в семействах Ranunculaceae Juss. и Apiaceae Lindl. было по 4 вида (4,6 %), в семействе Cyperaceae Juss. – 3 вида (3,4 %). Тип флоры соответствовал Asteraceae-Fabaceae-типу и Ranunculaceae-подтипу. Десять ведущих семейств флоры на контрольном участке были представлены 57 видами, что составляло 65,2 % от общего числа видов. Присутствие в составе 10 ведущих семейств таких как Rosaceae, Ranunculaceae и Cyperaceae характерно для бореальных флор.

Исследования показали, что Сухореченском отвале вскрышных доломитовых пород по первой триаде семейств выявлен Salicaceae-тип флоры, характерный для долинно-лесных аazonальных ценофлор [17]. На карбонатных породах с преобладанием известняка (Галкинские отвалы и контрольный участок) формируется флора Fabaceae-типа, аналогичная по спектру флоре внеарктической Восточной Европы [18], однако Salicaceae-подтип по второй триаде семейств тоже указывает на специфический характер флоры этих отвалов. Большое число видов сем. Salicaceae в составе флоры свидетельствует о продолжительном раннесукцессионном периоде формирования растительности на промышленных отвалах [19].

В структуре флоры отвалов месторождения карбонатных пород ведущую роль имели семейства Asteraceae, Fabaceae, Poaceae, Salicaceae и Rosaceae.

Большинство родов исследуемой флоры, являлись олиготипными (*Viola* L., *Lathyrus* L., *Trifolium* L. и др.) и монотипными. Преобладание маловидовых семейств и родов свидетельствует о миграционном характере изучаемой флоры [20]. К политипным родам во флоре отвалов относился только один род *Salix* L. (до 10 видов).

Биоэкологический анализ флоры отвалов и контрольного участка леса показал, что в структуре жизненных форм растений преобладали травянистые поликарпики, среди которых высокую долю составляли: на Сухореченском отвале – корневищные и стержнекорневые виды; на Галкинских отвалах – стержнекорневые и дерновинные виды; на участке естественного леса – корневищные и длиннокорневищные виды (табл. 2).

В структуре жизненных форм на Галкинских отвалах и в контроле отсутствовала группа полукустарничков. По группам древесных и полудревесных растений показатели в целом соответствовали показателям флоры контрольного участка.

По отношению к фактору увлажнения ведущую роль в структуре флоры отвалов играли виды мезофитных местообитаний. Во флоре Сухореченского отвала доля мезофитных видов составляла 71,0 %, суммарная доля видов ксерофильной группы (ксерофиты, мезоксе-

рофиты и ксеромезофиты) – 17,0 %, суммарная доля видов гигрофильной группы (гигромезофиты, мезогигрофиты и гигрофиты) – 12,0 %.

Таблица 2 – Биоэкологическая структура флоры отвалов

Группа	Сухореченский отвал		Галкинский отвал № 3		Галкинский отвал № 4		Контроль	
	I*	II**	I	II	I	II	I	II
Жизненные формы								
Деревья	8	8,0	8	6,2	10	11,6	8	9,1
Кустарники	14	14,0	16	12,3	12	14,0	12	13,6
Кустарнички	1	1,0	1	0,8	1	1,2	3	3,4
Полукустарнички	1	1,0	–	–	–	–	–	–
Травы монокарпические, в т. ч.:	12	12,0	29	22,3	6	7,0	3	3,4
однолетники	6	6,0	15	11,5	1	1,2	–	–
малолетники	3	3,0	10	7,7	2	2,3	2	2,3
многолетники	3	3,0	4	3,1	3	3,5	1	1,1
Травы поликарпические, в т. ч.:	64	65,0	76	58,5	57	66,3	62	70,5
стержнекорневые	10	10,0	21	16,2	11	12,8	8	9,1
кистекарпические	2	2,0	5	3,8	1	1,2	3	3,4
корневищные	21	21,0	12	9,2	13	15,1	18	20,5
длиннокорневищные	9	9,0	12	9,2	10	11,6	17	19,3
корнеотпрысковые	–	–	3	2,3	3	3,5	–	–
дерновинные	6	6,0	12	9,3	8	9,3	6	6,8
Жизненные формы								
наземно-ползучие	5	5,0	4	3,1	5	5,8	6	6,8
столонные	2	2,0	1	0,8	2	2,3	1	1,1
клубневые	2	2,0	1	0,8	1	1,2	1	1,1
лианы травянистые	6	6,0	5	3,8	3	3,5	2	2,3
сапрофиты	1	1,0	–	–	–	–	–	–
Экологические группы								
Ксерофиты	1	1,0	4	3,1	1	1,2	–	–
Мезоксерофиты	7	7,0	11	8,5	5	5,8	5	5,7
Ксеромезофиты	9	9,0	18	13,8	11	12,8	5	5,7
Мезофиты	71	71,0	80	61,5	60	69,7	67	76,1
Гигромезофиты	8	8,0	7	5,4	3	3,5	8	9,1
Мезогигрофиты	2	2,0	7	5,4	5	5,8	2	2,3
Гигрофиты	2	2,0	3	2,3	1	1,2	1	1,1
Ценотические группы								
Сорные	7	7,0	27	20,8	7	8,1	5	5,7
Луговые	15	15,0	21	16,2	16	18,6	11	12,5
Лесные	22	22,0	19	14,6	16	18,6	25	28,4
Опушечные	24	24,0	26	20,0	26	30,2	27	30,7
Степные	2	2,0	3	2,3	3	3,5	1	1,1
Болотные	4	4,0	6	4,6	4	4,7	3	3,4
Прибрежноводные	3	3,0	4	3,1	1	1,2	1	1,1
Известняковых и меловых обнажений	14	14,0	14	10,8	6	7,0	7	8,0
Каменистых обнажений	6	6,0	4	3,1	2	2,3	3	3,4

Группа	Сухореченский отвал		Галкинский отвал № 3		Галкинский отвал № 4		Контроль	
	I*	II**	I	II	I	II	I	II
Песчаных обнажений	–	–	1	0,8	–	–	–	–
Засоленных местообитаний	1	1,0	2	1,5	–	–	1	1,1
Культурные дичающие	2	2,0	3	2,3	5	5,8	4	4,5

Примечание: * – I – число видов, шт.; ** – II – доля от общего числа видов, %.

Во флоре Галкинских отвалов мезофитные, ксерофильные и гигрофильные виды составляли: на отвале № 3 – 61,5 %, 25,4 %, 13,1 % и на отвале № 4 – 69,7 %, 19,8 %, 10,5 % соответственно. Флора контрольного участка была представлена, преимущественно, мезофитами (76,1 %) и гигрофильными видами (12,5 %).

Среди ценологических групп во флоре Сухореченского отвала, Галкинского отвала № 4 и контрольного участка преобладали опушечные и лесные виды, на Галкинском отвале № 3 – сорные, опушечные и луговые виды.

На Сухореченском и Галкинском № 3 отвалах высокую долю составляли растения известняковых и меловых обнажений (по 14 видов, 14,0 % и 10,8 % соответственно), кроме этого, на Сухореченском отвале выделялась группа каменистых местообитаний (6 видов, 6,0 %).

Заключение. Анализ систематической структуры флоры отвалов Сухореченского месторождения карбонатных пород (доломитов и флюсовых известняков) показал ведущую роль семейств Asteraceae, Fabaceae, Poaceae, Salicaceae и Rosaceae. Выявлено преобладание олиго- и монотипных семейств и родов, что указывает на экстремальные условия формирования флоры. Анализ биоэкологической структуры флоры отвалов показал, что восстановление биоразнообразия идет за счет многолетних, мезофитных, опушечных, лесных и луговых видов, относящихся, в основном, к бореальной ареалогической группе евразийского происхождения. В растительных сообществах, формирующихся на отвалах, высокую долю составляют виды ксерофитных местообитаний, а также виды известняковых и каменистых обнажений. Процесс формирования флоры на промышленных отвалах очень длительный, зависящий от конкретных эдафических условий и антропогенного воздействия.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Программы развития Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина в соответствии с программой стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Список литературы

1. Поисеева С. И. К изучению флоры и растительности города Мирный и его окрестностей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Прикладная экология Севера: проблемы, исследования, перспективы», Якутск, 5–7 июня 2013 г. Якутск, 2013. № 8. С. 159–161.
2. Биктимерова Г. Я., Хасанова Р. Ф. Ильина И. В. Флора естественных участков и отвалов месторождения «Юбилейное» // Экологические проблемы Южного Урала и пути их решения: Материалы Всерос. науч.-практ. конф., Сибай, 24–26 мая 2017 г. Сибай: Изд-во Сибайская городская типография – филиал ГУП РБ Издательский дом «Республика Башкортостан», 2017. С. 28–30.
3. Манаков Ю. А. Парциальные флоры техногенных экотопов Кузбасса // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 9(103). С. 104–109.

4. Экологические основы и опыт биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель / Т. С. Чибрик, Н. В. Лукина, Е. И. Филимонова, М. А. Глазырина. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2011. 268 с.
5. Лукина Н. В., Филимонова Е. И., Глазырина М. А., Чибрик Т. С. Восстановление растительности на нарушенных землях Тургорского месторождения известняков // Биологическое разнообразие и биоресурсы степной зоны в условиях изменяющегося климата: Материалы Междунар. науч. конф., посвященной 95-летию Ботанического сада Южного федерального университета. Ростов-на-Дону – Таганрог: Изд-во Юж. федерального ун-та. 2022. С. 671–676.
6. Юрцев Б. А., Семкин Б. И. Изучение конкретных и парциальных флор с помощью математических методов // Ботанический журн. 1980. Т. 65, № 12. С. 1706–1718.
7. Юрцев Б. А., Камелин Р. В. Очерк системы основных понятий флористики // Теоретические и методические проблемы сравнительной флористики. Л.: Наука, 1987. С. 242–266.
8. Бурда Р. И. Антропогенная трансформация флоры. Киев: Наукова думка, 1991. 168 с.
9. Миркин Б. М., Наумова Л. Г., Соломещ А. И. Современная наука о растительности. М.: Логос, 2001. 262 с.
10. Махонина Г. И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. 356 с.
11. Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II // Botanical Journal of the Linnean Society. 2003. V. 141. P. 399–436.
12. Определитель сосудистых растений Среднего Урала / П. Л. Горчаковский [и др.]. М.: Наука, 1994. 525 с.
13. Иллюстрированный определитель растений Пермского края / С. А. Овеснов, Е. Г. Ефимик, Т. В. Козьминых [и др.] / под ред. С. А. Овеснова. Пермь: Книжный мир, 2007. 744 с.
14. Куликов П. В. Конспект флоры Челябинской области (сосудистые растения). Екатеринбург – Миасс: Геотур, 2005. 537 с.
15. Матвеев Н. М. Биоэкологический анализ флоры и растительности (на примере лесостепной и степной зоны): Учеб. пособие. Самара: Изд-во «Самарский университет», 2006. 311 с.
16. Флора СССР: в 30 т. М.; Л., 1934–1960. Т. 1–30.
17. Хохряков А. П. Таксономические спектры и их роль в сравнительной флористике // Ботанический журнал. 2000. Т. 85, № 5. С. 1–11.
18. Мальшев Л. И. Флористические спектры Советского Союза // История флоры и растительности Евразии. Л.: Наука, 1972. С. 17–40.
19. Чибрик Т. С., Елькин Ю. А. Формирование фитоценозов на нарушенных промышленностью землях (биологическая рекультивация). Свердловск: Изд-во УрГУ, 1991. 219 с.
20. Толмачев А. И. Введение в географию растений. Л.: ЛГУ, 1974. 244 с.

**ПОДХОДЫ К РЕАБИЛИТАЦИИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ
УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПУТЕМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ
(НА ПРИМЕРЕ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА)**

*Чибрик Т. С., Лукина Н. В., Глазырина М. А., Филимонова Е. И.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
natalia.lukina@urfu.ru*

Ключевые слова: нарушенные земли, рекультивация, терриконы, угольная промышленность.
Аннотация: При шахтной добыче угля создаются огромные конусообразные терриконы из отработанной породы, содержащие высокую долю частиц угля и шлака, при этом происходит отторжение больших площадей плодородных земель. В населенных пунктах они значительно ухудшают санитарно-гигиенические условия местности, и представляют определенную опасность для здоровья людей. Для устранения вредного влияния терриконов необходимо проведение рекультивации. Для разработки способов рекультивации терриконов были проведены комплексные исследования агрохимического состава субстратов, а также процессов восстановления растительного покрова естественным путем. Представлена блок-схема биологической рекультивации терриконов на примере Кизеловского угольного бассейна с учетом реальных возможностей предприятий, а также учтены указания по рекультивации нарушенных земель в угольной промышленности РФ.

APPROACHES TO THE REHABILITATION OF ROCK DUMPS OF COAL ENTERPRISES BY
BIOLOGICAL RECULTIVATION (ON THE EXAMPLE OF THE URAL REGION)

*Chibrik T. S., Lukina N. V., Glazyrina M. A., Filimonova E. I.
Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia*

Key words: disturbed lands, recutivation, waste heaps, coal industry.

Abstract: Coal mining creates huge cone-shaped heaps of waste rock containing a high proportion of coal and slag particles, while rejecting large areas of fertile land. In settlements, they significantly worsen the sanitary and hygienic conditions of the area, and pose a certain danger to human health. To eliminate the harmful effects of waste heaps, it is necessary to carry out reclamation. To develop methods for reclamation of waste heaps, comprehensive studies of the agrochemical composition of substrates, as well as the processes of restoring vegetation in a natural way, were carried out. A block diagram of the biological reclamation of waste heaps is presented on the example of the Kizelovsky coal basin, taking into account the real capabilities of enterprises, as well as instructions for the reclamation of disturbed lands in the coal industry of the Russian Federation.

Введение. Топливо-энергетический комплекс России играет важную роль в экономике страны. Уголь – это пятый базовый экспортный продукт России. Российская угольная промышленность – это более 193 млрд т разведанных запасов угля, в том числе месторождения антрацитов, каменного, коксующего и бурого угля. На сегодняшний день идет добыча угля в 16 угольных бассейнах, территория которых охватывает 85 муниципальных образований Российской Федерации [1]. В 2014 г. в стране было добыто 165,1 млн т, что составляет 4,3 % от общемировой добычи и обеспечивает 6-е место по этому показателю после Китая, США, Австралии, Индонезии и Индии. Более половины добываемого угля (56,6 %) потребляется в России, остальное (43,4 %) – экспортируется [2].

Успехам в угледобывающей отрасли в России предшествовала реструктуризация угольной промышленности, начатая в 1994 г. и не имеющая аналогов по масштабам и срокам в отечественной и мировой практике. Реструктуризация характеризуется тем, что в кратчайшие сроки было произведено массовое, единовременное закрытие нерентабельных шахт в

горнопромышленных регионах с критическим состоянием окружающей среды. Работы по ликвидации особо убыточных предприятий выполнялись в 24 субъектах РФ и 78 шахтерских муниципальных образованиях. В программу ликвидации было включено 188 шахт и 15 карьеров [3]. Но несмотря на значительные затраты по ликвидации негативных последствий в районах закрытия угледобывающих предприятий, многие проблемы сохранения и восстановления окружающей среды остаются нерешенными. Одна из таких проблем связана с тем, что работа предприятий в угледобывающей промышленности неразрывно сопряжена с образованием отходов, большая часть которых складывается на поверхности в виде терриконов. На территории РФ в терриконы ежегодно поступает около 50 млн. м³ горных пород, извлеченных на поверхность попутно с углем, а их общее количество в настоящее время превысило 2000. Они занимают потенциально полезные территории, тем самым исключая их из хозяйственного оборота, а также оказывают негативное влияние на экологическую обстановку угледобывающих районов, обусловленное уничтожением почвенных покровов и естественной растительности; нарушением уровня грунтовых вод, загрязнением водоемов, воздушных бассейнов, усилением эрозионных процессов как на самих отвалах, так и на прилегающих к ним площадях.

Устранение вредного влияния терриконов и целесообразное их использование являются важной проблемой, для решения которой проводят их рекультивацию. Но это дорогой, трудоемкий и не всегда возможный процесс. Разработке способов биологической рекультивации предшествует изучение отвальных образований, их агрохимического состава, а также процессов восстановления растительного покрова на отвалах естественным путем.

Урал – старый промышленный район РФ. Здесь имеются разнообразные минерально-сырьевые ресурсы, в том числе каменный и бурый уголь. Но запасы угля на Урале незначительны – менее 1 % от общих запасов страны. Перспектив развития добычи угледобывающие предприятия Урала не имеют. Дальнейшее развитие угольной отрасли может быть связано с использованием ресурса в большей степени не как топливо, а как сырья для производства минеральных удобрений, углещелочных реагентов и другой химической продукции. Добыча угля на Урале на сегодня практически прекращена, уголь используется почти исключительно привозной.

Результаты исследований. Исследования, проведенные на Среднем и Южном Урале в Кизеловском бассейне каменных углей, Челябинском буроугольном бассейне и в Буланашском угольном месторождении, показали, что породы терриконов разных угольных месторождений Урала малопригодны для биологической рекультивации по многим характеристикам: все они сильнокаменистые и мало обеспечены элементами питания. Кроме этого, породы терриконов Кизеловского угольного бассейна чрезвычайно кислые и засоленные (засоление хлоридно-сульфатное). Также засолены и породы терриконов шахт Челябинского буроугольного бассейна, тип засоления – смешанный с преобладанием сульфатов [4].

Интенсивность самозарастания терриконов очень разная. Терриконы Кизеловского угольного бассейна не зарастают, в Челябинском буроугольном бассейне наблюдается их самозарастание, но в большинстве случаев слабое. На Буланашском месторождении терриконы шахт зарастают более интенсивно, но процесс самозарастания не обеспечивает создания связного (плотного) растительного покрова [5–7]. Для успешного озеленения их требуется активное хозяйственное вмешательство и специальная разработка способов их биологической рекультивации в связи с большой спецификой экологических условий. На существующих отвалах повсеместно наблюдается самовозгорание пород.

Резерв плодородного слоя почвы на всех предприятиях отсутствует, а потенциально плодородных и даже малопригодных пород, бедных элементами питания, очень мало. Острая необходимость рекультивации обуславливается требованиями улучшения санитарно-гигиенических условий и охраны окружающей среды.

С учетом реальных возможностей предприятий нами была разработана блок-схема биологической рекультивации отвалов на примере Кизеловского угольного бассейна [8]. При

разработке блок-схемы были учтены указания по рекультивации нарушенных земель в угольной промышленности РФ.

Первоначально проводится переформирование терриконов из конических в плоские или планировка поверхности плоских отвалов. Коническую форму можно оставить отвалам возрастом свыше 50–70 лет, имеющим нейтральную реакцию среды.

Мероприятия технического этапа рекультивации на этих отвалах связаны с изоляцией и перекрытием непригодных для биологической рекультивации пород. Для нейтрализации фитотоксичных пород необходимо перекрытие вновь сформированной поверхности слоем нейтральной тяжелой глины, и ее тщательное уплотнение. Это создает водоупорный слой, а также способствует предохранению нижележащих пород от самовозгорания. Создание изоляционного слоя можно заменить (или совместить с) известкованием сформированной поверхности на глубину 0,5–0,8 м с последующим тщательным уплотнением (с целью раскисления пород). Дозировка извести рассчитывается в зависимости от гидrolитической кислотности пород.

Следующим мероприятием является нанесение на созданный водоупорный слой потенциально плодородных, а при их отсутствии – нетоксичных, малоприспособных и малопродуктивных пород. Мощность наносимого слоя будет зависеть от направления биологической рекультивации: под лесопосадки – 1,0–1,5 м, под многолетние травы – 0,4 м. При отсутствии достаточного количества пригодных для перекрытия пород возможно уменьшение мощности рекультивационного слоя до 0,7 м под посадки деревьев и кустарников санитарно-озеленительного типа, но при условии предварительного глубокого известкования поверхностного слоя.

После переформирования отвалов или при сохранении существующей формы на техническом этапе рекультивации необходимо создание вокруг отвалов направленного стока кислых шахтных вод, что способствует максимальному исключению их отрицательного воздействия на окружающие территории.

При отсутствии или дефиците пригодных пород возможно уменьшение фитотоксичности поверхности старых отвалов не только плоской, но и конической формы путем заиливания их глинистой пульпой. Этот прием широко используется при тушении самовозгорающихся отвалов, технология его отработана.

Техническая подготовка поверхности делает биологическую рекультивацию возможной, но не ликвидирует все неблагоприятные свойства пород отвалов как специфических экотопов. Преодоление или сведение к минимуму неблагоприятных экологических условий возможно в двух направлениях: за счет улучшения свойств субстрата (водно-физических, агрохимических и др.) и подбора, подходящего для этих условий, ассортимента видов.

Меры улучшения свойств субстрата обычно сводятся к внесению комплекса минеральных и органических удобрений. Под многолетние травы рекомендуется внесение минеральных удобрений из расчета азота 90 кг, фосфора 60 кг, калия 60 кг действующего вещества на га при посеве и ежегодные подкормки посевов. Под лесопосадки с хозяйственно-мелиоративным использованием целесообразно одноразовое внесение азота в размере 3 ц/га, фосфора и калия по 2 ц/га (действующего вещества). В качестве сидерата рекомендуется посев *Melilotus albus* Medik. и *Melilotus officinalis* (L.) Pall. в междурядья. При создании насаждений санитарно-гигиенического назначения доза удобрений может быть уменьшена вдвое.

Так как породы терриконов, в основном, бедны элементами питания, положительный эффект может дать нанесение на поверхность ила очистных сооружений.

Был разработан ускоренный способ рекультивации отвалов с применением микробиологического реагента, который опробован на отвалах Кизеловского бассейна и показал хорошие результаты [9].

Мероприятия биологического этапа рекультивации, это посев многолетних трав и посадка деревьев и кустарников. При этом важен подбор ассортимента устойчивых к повышенной кислотности субстрата и загазованности (из-за самовозгорания пород) видов, особенно если рекультивация проводится без перекрытия поверхности отвалов пригодными по-

родами (вариант с глинистым заиливанием). При лесопосадках в таежной зоне в качестве основных пород могут быть рекомендованы: *Pinus sylvestris* L. (при отсутствии загазованности), *Larix sibirica* Ledeb., *Betula pendula* Roth и *Betula pubescens* Ehrh., *Alnus incana* (L.) Moench, *Salix caprea* L., *Populus tremula* L. и др. Из многолетних трав можно рекомендовать *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Festuca rubra* L. и др. Ассортимент многолетних трав может быть расширен при дополнительных испытаниях районированных сортов. При посеве рекомендуется двойная норма высева семян.

Направления использования рекультивированных территорий определяются комплексом мероприятий технического и биологического этапов рекультивации. В любом случае биологическая рекультивация нейтрализует отрицательное воздействие отвалов на окружающую среду и способствует ее оздоровлению или позволяет вернуть отвальным площадям их хозяйственную и экологическую ценность.

Терриконы Буланашского месторождения и Челябинского угольного бассейна также могут быть рекультивированы (озеленены) путем перекрытия их поверхности нетоксичными потенциально-плодородными породами и посевом (посадкой) видов, устойчивых к условиям терриконов. При озеленении крутых склонов хорошие результаты может дать террасирование.

Среди мероприятий, реализуемых в рамках объединенного проекта единовременного закрытия нерентабельных шахт в горнопромышленных регионах, на первый план сегодня выходят экологические программы. Приоритетное значение среди них отводится исследованиям, связанным с изучением неблагоприятных последствий промышленной разработки угольных месторождений, на основе которых вырабатываются рекомендации по их устранению, и ведется проектирование природоохранных объектов.

Исследования с целью изучения и устранения техногенных последствий в настоящее время концентрируются на трех направлениях: 1) геодинамическом мониторинге, 2) мониторинге сдвижения земной поверхности, 3) мониторинге состояния породных отвалов.

Наибольшую опасность представляет провалообразование земной поверхности над горными выработками. Этот процесс с закрытием шахт продолжается еще интенсивнее. Особенно актуальным он является в Кизеловском и Челябинском угольных бассейнах.

Кроме платообразных и конусовидных терриконов от проходческих работ при шахтной добыче возникают такие формы рельефа, как: трещины, оползни, воронки, провалы и др., которые также требуют индивидуального подхода в соответствии с условиями организации территории.

Значение социально-экологического мониторинга состоит не только в реализации на его основе конкретных проектов, но и в сборе данных для прикладной науки. Это дало возможность наряду с рекультивацией шахтных терриконов наметить и реализовать другие направления: 1) использование перегоревших терриконов в дорожном строительстве; использование многотоннажной массы для закладки пустот в шахтах; 3) использование массы терриконов в качестве строительного материала и др.

Кроме того, обосновано создание геохимических барьеров для очистки кислых стоков породных отвалов (терриконов).

Более чем в 70 отвалах складировано свыше 35 млн м³ вмещающих пород, половина которых – не перегоревшие. Они могут быть использованы в качестве вторичного сырья для создания строительного материала (щебня, песка и др.). Весьма перспективной является создание строительной керамики и разработанная консервация терриконов.

Заключение. В конечном счете, несмотря на утраченную продуктивность нарушенных земель и другие отрицательные стороны, их рекультивация – путь к оздоровлению окружающей среды и конструированию нового эстетически наполненного ландшафта.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения государственного задания УрФУ FEUZ-2020-0057.

Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». М.: Минприроды России; НИА-Природа: 2017. С. 256–257.
2. Golitsyn M. V., Vyalov V. I., Bogomolov A. Kh., Pronina N. V., Makarova E. Yu., Mitronov D. V., Kuzevanova E. V., Makarov D. V. Prospects of technological use of coals in Russia // *Georesursy*. 2015. V. 2(61). P. 41–53.
3. Gorbacheva N. V., Sovacool B. K. Pain without gain? Reviewing the risks and rewards of investing in Russian coal-fired electricity // *Appl Energy*. 2015. V. 154. P. 970–986.
4. Махонина Г. И., Чибрик Т. С. Агрехимическая и геоботаническая характеристика терриконов угольных шахт Урала // *Растения и промышленная среда*. Свердловск: УрГУ, 1978. С. 93–126.
5. Глазырина М. А., Лукина Н. В., Чибрик Т. С. К вопросу восстановления фиторазнообразия на террикониках угольных шахт Урала // *Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: Материалы Междунар. науч. конф., г. Екатеринбург, 4–8 июня 2007 г.* Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2007. С. 149–168.
6. Глазырина М. А., Чибрик Т. С., Филимонова Е. И., Лукина Н. В. Восстановление растительности на террикониках Челябинского бурогоугольного бассейна // *Проблемы экологии Южного Урала: Сб. материалов IX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием.* М.: «Дом педагогики», 2019. С. 76–80.
7. Чибрик Т. С., Нагибина Т. И., Рябкова Т. Е. О микотрофности растений на отвалах угольных разработок Урала // *Растения и промышленная среда*. Свердловск: УрГУ, 1980. С. 33–79.
8. Чибрик Т. С., Елькин Ю. А. Формирование фитоценозов на нарушенных промышленностью землях: (биологическая рекультивация). Свердловск: Изд-во Уралу ун-та, 1991. 220 с.
9. Красавин А. П., Сафин Р. Т. Экологическая реабилитация углепромышленных территорий Кизеловского угольного бассейна в связи с закрытием шахт. Пермь: ИПК «Звезда», 2005. 287 с.

**ФОРМИРОВАНИЕ ФЛОРЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ОТВАЛАХ
КЕМПИРСАЙСКОГО НИКЕЛЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
(СЕВЕРНЫЙ КАЗАХСТАН)**

*Чибрик Т. С., Лукина Н. В., Филимонова Е. И., Глазырина М. А.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
natalia.lukina@urfu.ru*

Ключевые слова: нарушенные земли, никелевые отвалы, растительные сообщества, динамика флоры.

Аннотация: В работе представлено изучение формирования флоры и растительности на 14 разновозрастных (1–25-летних) отвалах Кемпирсайского никелевого месторождения, находящегося в Актюбинской области (Республика Казахстан, Южный Урал). Исследование показало, что на отвалах Тайкеткенского, Кемпирсайского и Батамшинского рудников формирование растительности идет от пионерных растительных группировок, представленных сорно-рудеральными видами, к злаково-разнотравным растительным сообществам с преобладанием сорно-рудеральных, лугово-степных и степных видов. На формирование растительности большое влияние оказывают зонально-климатические условия, а также физико-химические свойства субстрата (степень каменистости, содержание элементов минерального питания растений).

**FLORA AND VEGETATION FORMATION ON THE KEMPIRSAI NICKEL DEPOSIT DUMPS
(NORTH KAZAKHSTAN)**

*Chibrik T. S., Lukina N. V., Filimonova E. I., Glazyrina M. A.
Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia*

Key words: disturbed lands, nickel dumps, plant communities, flora dynamics.

Abstract: The study of the flora and vegetation formation on 14 uneven-aged (1–25-year-old) dumps of the Kempirsai nickel deposit, located in the Aktobe region (Republic of Kazakhstan, South Urals) are presented in the article. The study showed that on the dumps of the Taiketken, Kempirsai and Batamshinsky mines, the formation of vegetation proceeds from pioneer plant groups represented by weed-ruderal species to grass-forb plant communities with a predominance of weed-ruderal, meadow-steppe and steppe species. The formation of vegetation is greatly influenced by zonal-climatic conditions, as well as the physicochemical properties of the substrate (the degree of stoniness, the content of elements of the mineral nutrition of plants).

Введение. Добыча полезных ископаемых открытым способом приводит к катастрофическим изменениям экосистем и сопровождается разрушением литологической основы, уничтожением почвенного покрова, растительного и животного мира [1]. В процессе производства какой-либо горной продукции попутно извлекается значительное количество неиспользуемой минеральной массы, складываемой в отвалы. Отвалы пустых пород могут в несколько раз превышать размеры самих карьерных выработок. Восстановление растительности на подобных территориях происходит крайне медленно. Изучение начальных этапов естественного зарастания нарушенных земель представляет большой интерес, так как позволяет с учетом зонально-климатических условий оценить закономерности формирования, особенности и направленность развития растительности.

Целью наших исследований было изучение формирования флоры и растительности в процессе самозарастания на отвалах Кемпирсайского никелевого месторождения.

Объекты и методы исследований. Кемпирсайский гипербазитовый массив – самый большой массив ультрамафитов на юге Урала. Он входит в состав Южно-Уральского ультрамафитового пояса, который служит продолжением мафит-ультрамафитового платиноносного пояса Среднего и Северного Урала. Массив находится в Актюбинской области, общая площадь его более 900 км².

В геологическом строении района принимают участие ультраосновные породы, габброиды, метаморфические образования докембрия, кембрия, ордовика, затем сланцы и эффузивы силура и девона. Ультраосновные породы массива представлены перидотитовыми и дунитовыми серпентинитами [2].

Климат района резко континентальный: зима холодная, лето жаркое и засушливое. Летом часты суховеи и пыльные бури, зимой – метели. Характеризуется большой амплитудой суточных и сезонных температур. Средняя температура июля на северо-западе составляет +22,5 °С, на юго-востоке – +25 °С. Средняя температура января составляет -16 °С и -25,5 °С соответственно.

Растительность района степная и полупустынная. Северо-западная часть области занята ковыльно-разнотравной и полынно-злаковой степью на черноземных и темно-каштановых почвах с пятнами солонцов; по долинам рек – луговая растительность, роши из *Populus* sp., *Populus tremula* L., *Betula* sp., заросли кустарников. Средняя и северо-восточная части заняты злаково-полынной сухой степью на светло-каштановых и сероземных слабосолонцеватых почвах. На юге расположены полынно-солянковые полупустыни и пустыни на бурых солонцеватых почвах с массивами песков и солончаков [3].

На территории Кемпирсайского гипербазитового массива находятся силикатно-никелевые месторождения промышленного значения. Некоторые из них группируются в рудные поля. В западной части Кемпирсайского гипербазитового массива расположено Тайкеткенское рудное поле, на востоке – Кемпирсайско-Батамшинское. Руды содержат в среднем 1,4 % никеля, а в отдельных участках – до 1,5–3,0 % [4]. Добыча ведется открытым способом. При этом из карьеров вынимают много пустой породы, залегающей вблизи или в границах рудного тела (полезного ископаемого). Пустая порода, как правило, не содержит полезного ископаемого, и при разработке месторождения складывается в отвалы. Кроме того, в отвалы попутно складываются так называемые забалансовые руды с меньшим содержанием полезного ископаемого, переработка которых при данном уровне развития техники и технологий считается нецелесообразной.

Породы отвалов никелевых месторождений сильнокаменистые (от 20 до 60 %), тяжело- и среднесуглинистые, незасоленные или слабозасоленные, нейтральные или слабощелочные с удовлетворительной емкостью поглощения и обеспеченностью обменным калием. Подвижных форм фосфора мало. В породах повышенное содержание Co, Ni, Mn, Cr, V, Mo, Pb [5].

Были обследованы 14 разновозрастных (1–25-летних) отвалов пустых пород и забалансовых руд Кемпирсайского, Батамшинского, Тайкеткенского рудников, расположенных на территории Республики Казахстан в пределах Кемпирсайского массива ультрамафитов на юге Урала. Возраст отвалов определялся по маркшейдерским данным. Отвалы не рекультивированы и постепенно зарастали в результате заноса семян с окружающих территорий. Поскольку поселение высших сосудистых растений начинается сразу же после окончания отсыпки, этим же сроком исчисляется возраст формирующихся фитоценозов.

Обследование отвалов проводилось детально-маршрутным методом с описанием растительности по общепринятым методикам. За основной критерий сформированности растительного сообщества принималось проективное покрытие (ПП) растениями [6]. В основу наших исследований положено представление о том, что выстроенные в хроноряд разновозрастные самозарастающие отвалы дают возможность судить об изменениях, которые происходят как в растительном, так и почвенном покровах в период их развития. Таким образом, разновозрастные самозарастающие отвалы могут служить моделями разных временных стадий формирования биогеоценозов.

Результаты исследования. Обследование растительности 6 разновозрастных отвалов забалансовых руд Кемпирсайского рудника показало, что, на всех отвалах наблюдалось формирование сложных растительных группировок. Общее проективное покрытие растительностью (ОПП) на 1- и 4-летних отвалах составляло 10–20 %, на 6-, 11- и 13-летних – 20–30 %, и на 17-летних отвалах достигало 30–40 %. Видовое разнообразие растительных сообществ соответственно варьировало от 6 до 19 видов. Уже в первый год после окончания отсыпки на отвалах с высоким обилием встречались *Bassia prostrata* (L.) Beck и *Polygonum aviculare* L. (cop₁); единично произрастали *Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski, *Brassica elongata* Ehrh., *Silene nutans* L. и др. (sol–un). На 4-летнем отвале в составе сложных растительных группировок также преобладали *B. prostrata* и *P. aviculare*, но обилие их было меньше (sol gr–cop₁). Появлялись группы *Convolvulus arvensis* L. (sol gr–cop₁), *Lactuca tatarica* (L.) С.А. Мей. (sol–sp), *Silene baccifera* (L.) Roth, *S. nutans* (sol gr) и др. На отвале 6-летнего возраста с высоким обилием встречались: *Achillea nobilis* L., *L. tatarica* (sp–cop₁), *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn., *Cirsium arvense* (L.) Scop. (sp), *Melilotus albus* Medik. (sol–sp); редкими группами произрастали полыни: *Artemisia glauca* Pall. ex Willd. и *Artemisia absinthium* L. (sol gr), а также степные и лугово-степные злаки: *Leymus ramosus* (C. Richt.) Tzvelev, *Poa versicolor* Besser, *Poa angustifolia* L., *Stipa capillata* L. (sol). В составе сложных растительных группировках, формирующихся на 11- и 13-летних отвалах преобладали *S. baccifera* (sp), *Alyssum desertorum* Stapf (sol gr–sp), *S. nutans*, *Corispermum orientale* Lam. (sol–sp), *B. prostrata* (sol gr) и др. На отвале 17-летнего возраста доминировала *A. glauca* (sp gr–cop₁), встречались редкие группы *S. baccifera* (sp), *A. nobilis*, *C. orientale* (sol gr–sp), *L. tatarica* (sol gr), *M. albus*, *Puccinellia hauptiana* (V. I. Krecz.) Kitag., *P. aviculare* (sol gr) и др.

Обследование растительности 3-х разновозрастных отвалов пустых пород Батамшинского рудника показало, что на отвалах 16- и 18-летнего возраста сформировались сложные растительные группировки (ОПП 30–40 % и 10–20 % соответственно). Распределение растений равномерно-групповое. Видовое богатство составляло 19 и 22 вида. В травостое преобладали: *A. glauca*, *M. albus* (sp), *A. desertorum* (sol–sp), группами произрастали: *E. repens*, *Dianthus acicularis* Fisch. ex Ledeb., *Polygala vulgaris* L., *P. aviculare* (sol gr) и др.

На отвале 25-летнего возраста сформировался фитоценоз (ОПП 50–60 %) с доминированием *D. acicularis* (sp–cop₁); содоминанты: *A. desertorum* и *M. albus* (sp), *Carduus uncinatus* M. Bieb., *Linaria vulgaris* Mill., *P. versicolor* (sol–sp).

Обследование растительности 5 разновозрастных (1-, 3-, 7-, 13- и 22-летних) отвалов Тайкеткенского рудника, сложенных менее каменистыми пустыми породами, показало, что к концу первого года проективное покрытие растениями достигало 50–60 %, увеличиваясь к 22-летнему возрасту до 80–90 %. Первыми отвалами заселяли, в основном, сорно-рудеральные виды: *B. prostrata*, *P. aviculare*, *C. orientale*, *Atriplex tatarica* L., достигая высокого обилия (sp–cop₁). С увеличением возраста растительных сообществ видовое богатство росло незначительно, достигая 15 и 19 видов на 13- и 22-летних отвалах, но при этом происходила смена видового состава. Так, на отвале 7-летнего возраста с высоким обилием произрастали полыни: *A. glauca* (sp–cop₁) и *A. absinthium* (sp), а также *A. cristatum*, *L. tatarica* (sp), *A. nobilis* (sol gr–sp). На отвалах 13- и 22-летнего возраста кроме *A. glauca* (sp–cop₁), *M. albus*, *C. arvense* (sp), встречались степные злаки: *L. ramosus* (sp gr), *S. capillata* (sol–sp).

Анализ флоры, формирующейся на отвалах Батамшинского, Кемпирсайского и Тайкеткенского рудников показал, что видовое богатство невелико. На 1- и 4-летних отвалах забалансовых руд произрастало всего 6–10 видов сосудистых растений, на отвалах вскрышных пород такого же возраста – 12–15 видов. Видовое богатство растет медленно, достигая к 20-летнему возрасту 18–19 видов. Всего на отвалах разных рудников произрастало от 35 до 37 видов.

Систематический анализ флоры отвалов Кемпирсайских никелевых месторождений показал, что основу флоры составляют виды сем. Asteraceae, их доля на отвалах достигает 22,8–35,1 %; далее следуют виды сем. Poaceae, их доля варьирует от 20,0 % до 16,3 %. Высока доля видов сем. Fabaceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae, Caryophyllaceae. В целом порядок

расположения семейств совпадает со структурой петрофитной флоры, формирующейся на выходах ультраосновных пород на Южном Урале [7]. Систематический анализ флоры, с одной стороны, является отражением географического положения отвалов Кемпирсайского месторождения, с другой стороны экологического своеобразия условий существования (эдафических условий). Высокая доля видов сем. Asteraceae и Poaceae свидетельствует о ксерофильности флоры [8], сем. Fabaceae типично для степных флор, многие виды сем. Brassicaceae и Chenopodiaceae Caryophyllaceae, Polygonaceae характерны для начальных этапов сукцессий на техногенных субстратах.

Биоэкологический анализ флоры, формирующейся на отвалах Кемпирсайского, Батмшинского, Тайкеткенского рудников показал, что с увеличением возраста растительных сообществ (от 1 года до 25 лет) наблюдался устойчивый рост числа и доли многолетних видов: от 50,0 % – в 1-летних, до 66,7 % и 75,0 % – в 22- и 25-летних соответственно.

В структуре экоморф проявлялась зональность: преобладали виды ксерофитных местообитаний (ксерофиты, мезоксерофиты и ксеромезофиты): от 63,3 % до 94,7 %.

В ценотической структуре флоры отвалов выявлен широкий спектр ценотических групп. Формирование флоры шло в сторону увеличения доли степных видов. Для растительных сообществ, формирующихся на отвалах, характерна высокая доля участия сорно-рудеральных видов (рис.).

Доля видов

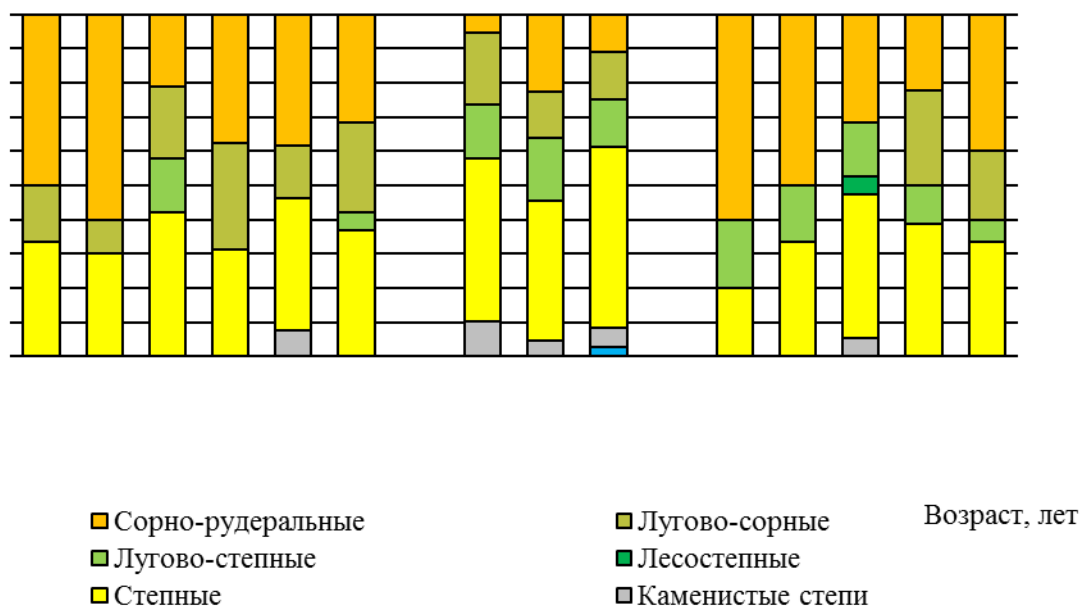


Рисунок – Динамика структуры ценотического спектра флоры разновозрастных отвалов никелевых месторождений

Анализ биоморф (по И. Г. Серебрякову) выявил высокую долю стержнекорневых трав: 66,6 % и 47,4 % – в однолетних растительных сообществах; 60,0 % и 58,3 % – в 17- и 25-летних. Преобладание стержнекорневых трав характерно для злаково-полынных степей [9]. По способам распространения плодов и семян большая часть видов в растительных сообществах являются анемохорами и автохорами.

Анализ географической структуры флоры показал, что на формирование флоры значительное влияние оказывает географическое положение района, характер субстрата и антропогенная деятельность. Флора отвалов формируется в основном за счет видов степной ареалогической группы евразийского происхождения с высокой долей участия полизональных видов.

Заключение. Таким образом, исследования показали, что формирование растительности на отвалах никелевых месторождений Кемпирсайского массива ультраосновных пород происходит медленно и идет от простых растительных группировок с доминированием *V. prostrata* и *P. aviculare* к злаково-разнотравным растительным сообществам с преобладанием сорно-рудеральных видов и высокой долей лугово-степных и степных видов и зависит от физико-химических свойств субстрата (степени каменистости, содержания элементов минерального питания растений).

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения государственного задания УрФУ FEUZ-2020-0057.

Список литературы

1. Куприянов А. Н., Манаков Ю. А. Закономерности восстановления растительного покрова на отвалах Кузбасса // Сибирский лесной журнал. 2016. № 2. С. 51–58.
2. Бакиров А. Г. Тектонические закономерности локализации силикатно-никелевых месторождений Кемпирсайского района // Известия Томск. политехнич. института. 1963. Т. 121. С. 9–17.
3. Топонимика Казахстана: Энциклопедический справочник. Алматы: Аруана, 2010. 816 с.
4. Колесников А. С. Термодинамическое моделирование получения ферроникеля из окисленных никелевых руд Казахстана // Вестник ЮУрГУ. Сер. Металлургия. 2014. Т. 14, № 1. С. 12–18.
5. Махонина Г. И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. 356 с.
6. Курочкина Л. Я., Вухрер В. В. Развитие идей В. Н. Сукачева о сингенезе // Вопросы динамики биогеоценозо: Докл. На IV ежегодн. чтенях памяти акад. В. Н. Сукачева. М.: Наука, 1987. С. 5–27.
7. Тептина А. Ю., Пауков А. Г. Парциальные флоры серпентинитов Урала. Сравнительная флористика: анализ видового разнообразия растений // Проблемы. Перспективы «Толмачевские чтения: Материалы X Междунар. школы-семинара, г. Краснодар, 14–18 апреля 2014 г. Краснодар, 2014. С. 149–152.
8. Мальшев Л. И. Флористические спектры Советского Союза // История флоры и растительности Евразии. Л.: Наука, 1972. С. 17–40.
9. Казакевич Л. И. Материалы к биологии растений Юго-Востока России. I. Главнейшие типы вегетативного возобновления и размножения травянистых многолетников // Известия Саратов. обл. с.-х. опыт. ст. 1922. Т. 3, вып. 3–4. С. 99–117.

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СУБСТРАТОВ И ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ
ПРИБРЕЖНО-ВОДНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ В ОКРЕСТНОСТЯХ
КАРАБАШСКОГО МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО КОМБИНАТА**

¹Ширяев Г. И., ¹Тептина А. Ю., ¹Малева М. Г., ¹Борисова Г. Г., ²Собенин А. В.

¹Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

²Институт горного дела Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия

schiriaev.grisha@yandex.ru

Ключевые слова: фитоценоз, гелофиты, металлы, фитомасса, токсическая нагрузка.

Аннотация: Изучено влияние выбросов Карабашиского медеплавильного комбината (КМК) на геохимические особенности субстратов окружающих его территорий и состояние прибрежно-водных фитоценозов. Получены данные по содержанию тяжелых металлов в поверхностных водах и седиментах. На всех импактных участках в окрестностях КМК отмечено значительное превышение ПДК для таких металлов как Cu, Ni, Zn, Mn, Pb, Cd, Fe, Co и Hg. При этом наблюдалось сильное снижение pH воды и повышение ее удельной электропроводности. Расчет индекса суммарной токсической нагрузки показал, что большинство исследованных участков можно отнести к сильно и экстремально загрязненным. Показано существенное снижение видового разнообразия растительных сообществ с одновременным увеличением их фитомассы на единицу площади. Большую часть видового разнообразия как на импактных, так и на фоновом участках, составляли виды семейств Poaceae и Cyperaceae. Наибольшую устойчивость к загрязнению показал *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. Вероятно, с доминированием этого гелофита связана высокая продуктивность фитоценозов в условиях экстремального техногенного загрязнения. На наиболее загрязненных участках данный вид составлял основную часть растительной биомассы или даже монокультурные сообщества.

**GEOCHEMICAL FEATURES OF SUBSTRATES AND SPECIES DIVERSITY OF COASTAL-
AQUATIC PLANT COMMUNITIES IN THE VICINITY OF THE
KARABASH COPPER SMELTER**

¹Shiryayev G. I., ¹Teptina A. Yu., ¹Maleva M. G., ¹Borisova G. G., ²Sobenin A. V.

¹Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²Institute of Mining of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

Keywords: phytocoenosis, helophytes, metals, phytomass, toxic load.

Abstract: The influence of emissions from the Karabash copper smelter (KCS) on the substrate geochemical features of the surrounding territories and the state of coastal-aquatic phytocoenoses has been studied. Data on the content of heavy metals in surface waters and sediments have been obtained. At all impact sites in the vicinity of KCS, a significant excess of MPC for such metals as Cu, Ni, Zn, Mn, Pb, Cd, Fe, Co, and Hg was shown. At the same time, a strong decrease in the pH of water and an increase in its electrical conductivity were observed. The calculation of the total toxic load index showed that most of the studied sites can be classified as highly and extremely polluted. The significant decrease in the species diversity of plant communities with a simultaneous increase in their phytomass per unit area was shown. Most of the species diversity both in the impact and reference sites were made up of species of the families Poaceae and Cyperaceae. *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. showed the highest resistance to pollution. Probably, the high productivity of phytocoenoses under conditions of extreme technogenic pollution was associated with the dominance of this helophyte. In the most polluted sites, this species constituted the main part of the plant biomass or even monocultural communities.

Введение. Загрязнение тяжелыми металлами (ТМ) водных экосистем является актуальной проблемой во всем мире. Предприятия по обработке цветных металлов, сельскохозяйственная деятельность, выбросы транспорта вносят весомый вклад в повышение концентраций в воде и седиментах таких высокотоксичных металлов, как медь, цинк, никель, свинец и кадмий [1]. Поступление ТМ в водные экосистемы приводит к нарушению структуры гидроценозов, снижению видового разнообразия, а также биологической продуктивности [2]. Кроме того, с пищей и водой ТМ могут попадать в организм человека и вызывать ряд негативных эффектов, в том числе провоцировать развитие аутоиммунных и онкологических заболеваний [3, 4].

Токсическое действие ТМ на экосистемы зависит от их концентрации в окружающей среде, а также формы, в которой они находятся. Металлы в почвах могут находиться в виде ионов или в составе различных органических или минеральных соединений. Известно, что ТМ наиболее токсичны в ионной форме [4]. Подвижность ионов зависит от физико-химических свойства (в частности, рН), а также процессов сорбции и осаждения [5]. Влияние экстремальных доз ТМ может приводить к полному исчезновению растительного покрова и образованию техногенных пустошей. Такие районы характеризуются наличием больших голых пространств с отдельными пятнами растительности, обычно представленной 1–3 металлотолерантными видами растений.

Исследование проводили в окрестностях г. Карабаша (Челябинская область). Город находится под постоянным воздействием выбросов медеплавильного комбината АО «Карабашмедь». Предприятие работает с 1910 г., за это время зона его техногенного влияния распространилась на 30 км вокруг. Несмотря на проведенные мероприятия по усовершенствованию технологий, которые снизили вредные выбросы, предприятие продолжает оказывать сильное техногенное воздействие на окружающую среду. В настоящее время территория вокруг КМК является зоной экологического бедствия [6]. Негативное действие КМК испытывают как наземные, так и водные экосистемы. Особенно сильное воздействие претерпели река Сак-Элга, ручей Рыжий (приток р. Сак-Элги) и ручей Ольховка, в воде которых зарегистрированы уровни ТМ, в десятки и даже в сотни раз превышающие ПДК. Река Сак-Элга является притоком р. Миасс, а ручей Ольховка – притоком р. Аткус. Обе эти реки впадают в Аргазинское водохранилище, которое является частью водохозяйственной системы г. Челябинска [7]. Прибрежно-водная растительность играет ключевую роль в аккумуляции ТМ как из поверхностных вод, так и седиментов, однако эти вопросы до сих пор изучены недостаточно. В связи с этим целью исследования являлось изучение геохимических особенностей субстратов и видового разнообразия прибрежно-водных растительных сообществ на разном удалении от КМК.

Методы исследования. Пробы поверхностных вод, седименты и растительный материал отбирали в районе г. Карабаша на протяжении 3-х полевых сезонов (середина июля 2017–2019 гг.) на пяти участках: уч. 1 (оз. Иртяш; 55 км от КМК, условный «фон»), уч. 2 (р. Ольховка; 5 км от КМК), уч. 3 (р. Сак-Элга; 2,6 км от КМК), уч. 4 (р. Сак-Элга; 5,6 км от КМК, ниже впадения р. Рыжего), уч. 5 (р. Рыжий; 1,6 км от КМК). Определение ТМ (Cu, Ni, Zn, Mn, Pb, Cd, Fe, Co, и Hg) в поверхностной воде и седиментах проводили методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (iCAP 6500 Duo, «Thermo Scientific», США), после мокрого озоления в 70 % азотной кислоте (осч.). Гидрохимические параметры проб воды, такие как рН и удельная электропроводность (ЕС), определяли при помощи рН-метра/кондуктометра («Hanna Instruments», Германия). В качестве показателя уровня загрязнения водного объекта использовали суммарный индекс токсической нагрузки (Si), который вычисляли по содержанию девяти ТМ [7].

Для оценки флористического состава и первичной продукции сообществ были заложены 5 площадок площадью 1 м², с которых была срезана вся надземная фитомасса. Затем ее складировали в пакеты и транспортировали в лабораторию, где закладывали гербарий для дальнейшего определения видового состава. Полученную фитомассу измельчали и затем высушивали до воздушно-сухого состояния и взвешивали.

В таблице 1 и на рисунках 1 и 2 показаны средние арифметические значения и их стандартные ошибки (n=4). Для оценки достоверности различий между исследуемыми участками использовали непараметрический критерий Манна–Уитни; разными буквами отмечены достоверные различия между участками при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Расчет суммарного индекса токсической нагрузки показал, что от участка 1 к участку 5 уровень загрязнения увеличивался, как для поверхностных вод, так и для седиментов (табл. 1). В целом для седиментов Si был гораздо ниже, чем для поверхностных вод. Согласно классификации [8], уч. 2 можно отнести к умеренно загрязненным, уч. 3 – сильно загрязненным, а уч. 4 и 5 – к экстремально загрязненным. Сопоставление уровня загрязнения металлами изученных местообитаний с данными по загрязненным участкам других авторов [9, 10] показало, что, как правило, содержание ТМ в седиментах и поверхностных водах в окрестностях КМК существенно выше (рис. 1, А, Б).

Таблица 1 – Показатели рН и электропроводности (ES) воды и суммарного индекса токсической нагрузки (Si) на изучаемых участках

Участки сбора проб	рН	ES, мСи/см	$Si_{(вод.)}$	$Si_{(седиментов)}$
Уч. 1	6,9±0,1 a	0,39±0,03 e	1	1
Уч. 2	4,9±0,3 b	2,55±0,12 b	61	13
Уч. 3	5,2±0,2 b	0,66±0,02 d	127	26
Уч. 4	4,5±0,2 b	1,38±0,10 c	230	32
Уч. 5	3,3±0,2 c	7,88±0,06 a	706	34

Наиболее высокие концентрации на импактных участках были отмечены для таких металлов как Fe, Zn, Mn и Cu (рис. 1, А, Б). При этом для большинства ТМ концентрация значительно (во много раз) превышала значения ПДК.

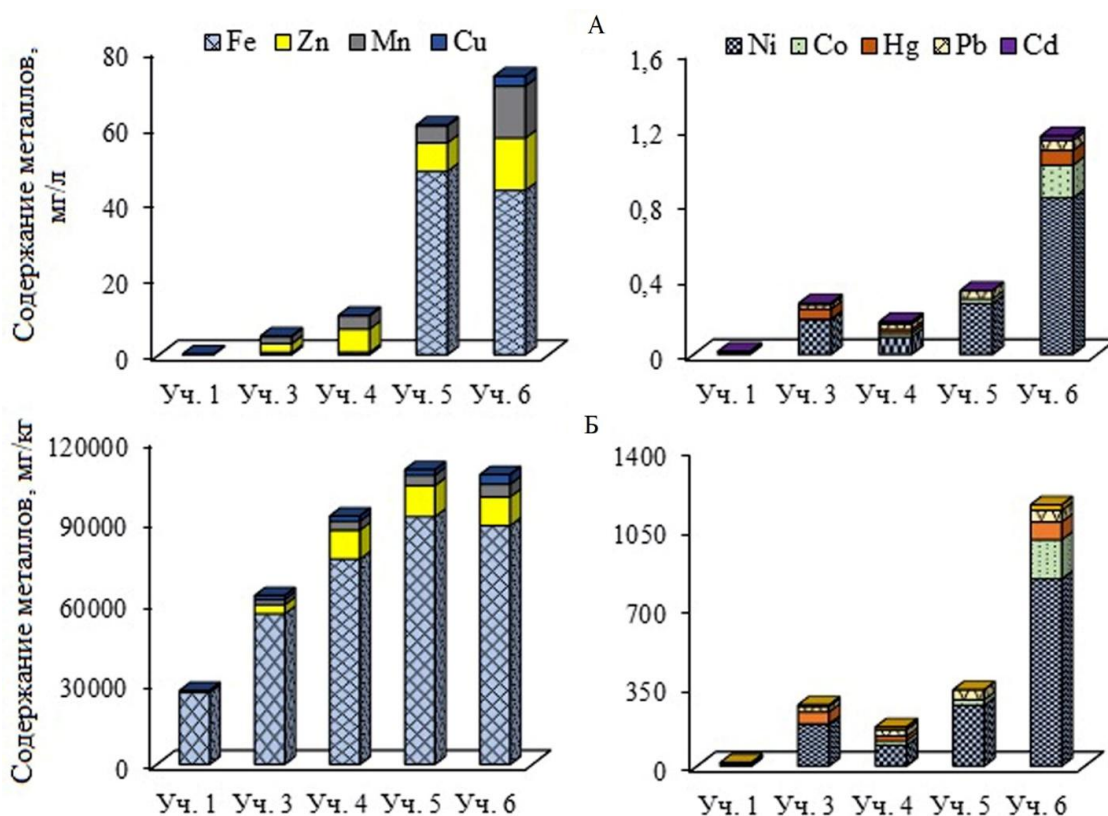


Рисунок 1 – Содержание тяжелых металлов в воде (А) и седиментах (Б) участков с разной степенью токсической нагрузки

Особенно сильное превышение ПДК (более чем в 1000 раз, уч. 5) было обнаружено для Cu, Zn, Mn и Hg. Содержание 4-х из 9 изученных металлов в воде фонового участка (уч. 1) также было выше ПДК. Существенным можно считать превышение ПДК в воде фонового участка для Cu (почти в 20 раз) и Hg (в 40 раз), содержание остальных металлов было или приближено к ПДК, или ниже.

Основными ионами, влияющими на ЕС, являются NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- и Cl^- [11]. Самая высокая концентрация ионов наблюдалась на уч. 5 – в 20 раз выше, чем в фоновом участке (табл. 1). На уч. 2 и 4 значения ЕС также были достаточно высокими – в 6,5 и 3,5 раза выше по сравнению с уч. 1, соответственно. Уч. 3, представленный р. Сак-Элга, расположенной до впадения в нее ручья Рыжего, был наиболее близок фоновому по значению ЕС (отличался лишь в 1,7 раз).

Известно, что чем ниже значения рН, тем выше доступность ТМ для растений [5]. В норме показатель рН в речных системах колеблется в пределах 6,5–8,5 [12]. В отличие от фонового участка, где рН была близка к нейтральной, импактные участки характеризовались низкими значениями рН. Наиболее кислая среда наблюдалась на уч. 5 (табл. 1).

Видовое разнообразие снижалось в той или иной степени на всех загрязненных участках (табл. 2), однако, при этом увеличивался вес наземной воздушно-сухой фитомассы на единицу площади (рис. 2).

Таблица 2 – Число видов и семейств растений, отмеченных на участках с различной техногенной нагрузкой

Таксон	Уч. 1	Уч. 2	Уч. 3	Уч. 4	Уч. 5
Вид	28	5	18	1	3
Семейство	14	5	11	1	3

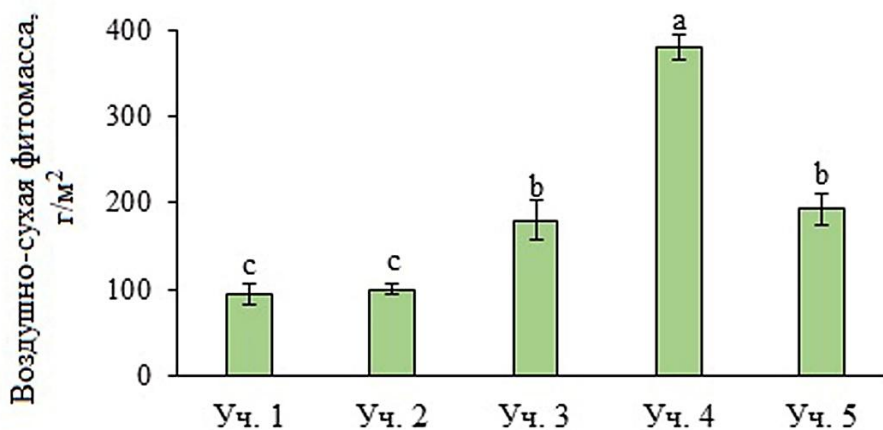


Рисунок 2 – Вес воздушно-сухой фитомассы на единицу площади участков с различной техногенной нагрузкой. Разными буквами отмечены достоверные различия между участками при $p < 0,05$

Фоновый уч. 1 представлял собой резкий склон у берега озера Иртяш. Происхождение озера эрозионно-тектоническое. Ложе озера составляют кристаллические сланцы и парагнейсы. По первичной продуктивности и содержанию биогенных веществ оз. Иртяш относится к мезотрофным водоемам [13]. На участке было найдено 28 видов растений, принадлежащих к 14 семействам (табл. 2). Наибольшее количество видов принадлежало к семействам Poaceae, Cyperaceae, Asteraceae и Polygonaceae; в остальных семействах количество видов не превышало двух. Доминирующими видами были: *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub и *Carex atherodes* Spreng. На фоновом участке воздушно-сухая масса всех растений в среднем составляла 95 г/м^2 (рис. 2). Наибольший вклад в фито-

массу вносили представители семейств Poaceae, Cyperaceae и Fabaceae, составляя 79,2 % от суммарного веса. Общее проективное покрытие (ОПП) на выбранных площадках изменялось от 65 до 100 %.

Уч. 2 был представлен заводью ручья Ольховка, глубина которого не превышала 0,3 м. Согласно региональному реестру объектов размещения отходов производства и потребления Челябинской области, в пределах водоохранной зоны ручья Ольховка располагаются шламы гидрооксидов металлов [10]. На уч. 2 среднее количество сухой растительной биомассы на единицу площади в сравнении с фоном достоверно не изменялось, однако существенно снижалось видовое разнообразие: обнаружено только 5 видов растений, принадлежащих 5 семействам (табл. 2, рис. 2). Большая часть фитомассы приходилась на *P. australis* и поросль *Salix starkeana* Willd. При этом ОПП на участках варьировало от 40 до 70 %.

Уч. 3 был представлен болотистым склоном реки Сак-Элга. Исток р. Сак-Элга находится западней горы Юрма, состоящей из кварцита и других метаморфических горных пород. Река относится к классу самых малых рек. Водосборная площадь составляет 135 км², длина – 19 км. На 532 км от устья р. Сак-Элга заканчивается, впадая в р. Миасс. Река Сак-Элга протекает через Карабашский городской округ, включая окрестности КМК. С 1932 по 1956 гг. КМК сбрасывал в реку отходы обогатительной фабрики. Как результат, на дне образовались пиритовые отложения, площадь которых составляет примерно 100 га, протяженность – 9 км, а глубина залегания – до 1,5 км [10]. Долина р. Сак-Элги является почти безлесной [6, 10]. Несмотря на то, что содержание ТМ как в поверхностных водах, так и в осадках на уч. 3 было выше, чем на уч. 2, видовое разнообразие и фитомасса на нем были больше. На участке было найдено 18 видов растений, принадлежащих к 11 семействам (табл. 2). Наибольшее количество видов принадлежало семействам Poaceae и Cyperaceae. Доминирующими были *Carex* spp. и *Equisetum palustre* L. Фитомасса в расчете на единицу площади достигала почти 180 г/м² (рис. 2). Наибольший вклад в фитомассу вносили представители семейств Equisetaceae и Cyperaceae, что составляло 77 % от суммарного сухого веса. ОПП на выбранных площадках изменялось от 65 до 90 %.

Уч. 4 также был расположен на реке Сак-Элга, однако перед ним в реку попадают стоки хвостов обогащения медьсодержащих руд, что существенно увеличивает загрязнение [10]. На участке образовались техногенные пустоши с глинистой почвой, на которой небольшими пятнами произрастал только один вид гелофитов – *Ph. australis*; при этом на большей части прибрежной зоны не обнаружено никакой другой растительности (табл. 2). Воздушно-сухая надземная фитомасса в местах произрастания тростника в расчете на единицу площади достигала 380 г/м² (рис. 2); ОПП варьировало от 0 до 70 %.

Уч. 5 находился непосредственно на ручье Рыжем, который является представителем так называемых хвостов обогащения [13]. Несмотря на то, что уровень токсической нагрузки на уч. 5 был выше, чем на уч. 4, площадь, занятая растительностью, здесь была больше; при этом растительность также росла пятнами. На участке произрастало три вида растений – *P. australis*, *Typha latifolia* L. и *Juncus atratus* Krock. (табл. 2). Воздушно-сухая надземная фитомасса в расчете на единицу площади достигала 192 г/м² (рис. 2). ОПП варьировало от 0 до 95 %. В местах произрастания *T. latifolia* ОПП в среднем составляло 20 %.

Заключение. Таким образом, можно сделать вывод, что экстремальное техногенное загрязнение привело к деградации прибрежно-водных растительных сообществ, вблизи от медеплавильного комбината, что проявилось, прежде всего, в значительном обеднении видового состава. В то же время происходило увеличение воздушно-сухого веса надземной биомассы на всех загрязненных участках, за исключением уч. 2, представленного заводью ручья Ольховки. Сходные тенденции были отмечены и другими авторами для некоторых видов растительных сообществ [14]. Наибольшее увеличение фитомассы наблюдалось на уч. 4, где она превышала фоновое значение в 4 раза. Однако следует отметить, что при этом не учитывалось наличие значительных оголенных пространств на уч. 4 и 5. Также можно отметить, что наибольшую устойчивость к загрязнению показал гелофит *Ph. australis*. Вклад данного вида в общую биомассу сообществ возрастал с увеличением токсической нагрузки.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Программы развития Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина в соответствии с программой стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Список литературы

1. Mishra S., Bharagava R. N., More N., Yadav A., Zainith S., Mani S., Chowdhary P. Heavy Metal Contamination: An Alarming Threat to Environment and Human Health // *Environmental Biotechnology: For Sustainable Future* / R. C. Solti [et al.]. Singapore: Springer Singapore, 2019. P. 103–125.
2. Hernandez A. J., Pastor J. Relationship between plant biodiversity and heavy metal bioavailability in grasslands overlying an abandoned mine // *Environmental Geochemistry and Health*. 2008. V. 30(2). P. 127–133.
3. Лежнин В. Л., Казанцев В. С., Ползик Е. В. Оценка многофакторного влияния техногенного загрязнения на развитие рака легких у населения // *Гигиена и санитария*. 2014. № 3. С. 26–30.
4. Kumar A., Tripti, Maleva M., Kiseleva I., Maiti S. K., Morozova M. Toxic metal(loid)s contamination and potential human health risk assessment in the vicinity of century-old copper smelter, Karabash, Russia // *Environmental Geochemistry and Health*. 2019. V. 42(12). P. 4113–4124.
5. Grzebisz W., Kocalkowski W. Z., Chudzinski B. Copper geochemistry and availability in cultivated soils contaminated by a copper smelter // *Journal of Geochemical Exploration*. 1997. V. 58(2). P. 301–307.
6. Тацкий Ю. Г. Эколого-геохимическая оценка загрязнения окружающей среды в зоне действия Карабашского медеплавильного комбината // *Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование*. 2012. № 12. С. 90–96.
7. Maleva M. G., Borisova G. G., Shiryaev G. I., Kumar A., Morozova M. V. Adaptive potential of *Typha latifolia* L. under extreme technogenic pollution // *AIP Conference Proceedings*. 2019. V. 206: 030013.
8. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach // *Water Research*. 1980. V. 14, No. 8. P. 975–1001.
9. Manios T., Stentiford E. I., Millner P. A. The effect of heavy metals accumulation on the chlorophyll concentration of *Typha latifolia* plants, growing in a substrate containing sewage sludge compost and watered with metaliferous water // *Ecological Engineering*. 2003. V. 20(1). P. 65–74.
10. Minkina T. M., Linnik V. G., Nevidomskaya D. G., Bauer T. V., Mandzhieva S. S., Khoroshavin V. Y. Forms of Cu (II), Zn (II), and Pb (II) compounds in technogenically transformed soils adjacent to the Karabashmed copper smelter // *Journal of Soils and Sediments*. 2018. V. 18(6). P. 2217–2228.
11. Моисеенко Т. И., Паничева Л. П., Ларин С. И., Пологрудова О. А., Волкова Л. А. Методы исследования химического состава малых озер с целью выявления региональных особенностей его формирования // *Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования*. 2010. № 7. С. 175–190.
12. *Гидрохимические показатели состояния окружающей среды* / Т. В. Гусева, Я. П. Молчанова, Е. А. Заика [и др.]; под ред. Т. В. Гусева. М.: Социально-экологический Союз, 2000. 148 с.
13. Ульрих Д. В. Экологическая нагрузка на окружающую среду предприятиями по добыче и переработке меди в Южно-Уральском регионе // *XXI Век: Техносферная безопасность*. 2016. № 1(1). С. 49–59.
14. Bezel' V. S., Zhuikova T. V., Gordeeva V. A., Meling E. V., Trubyanov A. B., Glotov N. V. Aboveground phytomass and rate of plant debris decomposition in herbaceous communities exposed to soil pollution with heavy metals // *Russian Journal of Ecology*. 2016. V. 47(4). P. 343–348.

КАРБОНОВЫЕ ПОЛИГОНЫ И ЛЕСНАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ

Шишкин А. С.

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск, Россия
shishikin@ksc.krasn.ru**Ключевые слова:** техноген, карбоновые полигоны, лесная рекультивация, рекомендации.**Аннотация:** карбоновые полигоны – новомодное определение старых не завершенных действия по биологической рекультивации. Нанесение плодородного слоя почвы не способствует формированию продуктивных земель для пахотного сельхозпользования. Эксперименты с посадкой овощных культур дали отрицательные результаты. Единственная доходная отрасль сельского хозяйства – пчеловодство. Лесная рекультивация требует меньших затрат и более экологична для нарушенных земель. Создание лесных культур на отвалах и других техногенных землях не сопровождается технологичными картами уходов за этими специфичными насаждениями. Горная рекультивация не учитывает дренированность грунтов, их мерзлотность, эрозионность, т. е. факторы, определяющие развитие зональной растительности. Необходимо разработать зональные и отраслевые нормы биологической рекультивации (формирования карбоновых полигонов), на основании этого разработать ее технологию и контролировать проекты восстановления нарушенных земель.

CARBON POLYGONS AND FOREST RECLAMATION

Shishikin A. S.

V. N. Sukachev Forest Institute SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

Key words: technogen, carbon polygons, forest reclamation, recommendations.**Abstract:** Carbon polygons are a newfangled definition of old incomplete biological remediation activities. The application of a fertile layer of soil does not contribute to the formation of productive land for arable agricultural use. Experiments with planting vegetable crops gave negative results. The only profitable branch of agriculture is beekeeping. Forest reclamation is less costly and more environmentally friendly for disturbed land. The creation of forest crops on dumps and other man-made lands is not accompanied by technological maps of care for these specific plantations. Mountain reclamation does not take into account the drainage of soils, their permafrost, erosion, i.e. factors determining the development of zonal vegetation. It is necessary to develop zonal and sectoral norms for biological reclamation, on the basis of this to develop its technology and monitor projects for the restoration of disturbed lands.**Введение.** Новое или модное понятие, внедряемое извне. Официальная информация (из интернета): «Карбоновый полигон – один или несколько участков земной поверхности с репрезентативными для данной территории рельефом, структурой растительного и почвенного покровов, созданные для реализации мероприятий, направленных на развитие научного, кадрового и инфраструктурного потенциалов в области разработки и испытаний технологий контроля баланса климатических активных газов природных экосистем». Из этого определения не понятно, если территория выбирается репрезентативно, то это заповедники; развитие потенциала и технологий – промышленные земли, т. е. рекультивация. Если ландшафт функционирует в естественном режиме, определяемом природными условиями, зачем его нужно трансформировать и модифицировать? Чем биологическая рекультивация отвалов отличается от карбоновых полигонов, где действительно нужно в кратчайшее время вернуть (сформировать) продуктивную экосистему? Если полигон планируется к промышленному освоению, тогда нельзя обойтись без мониторинга, а про него ни слова.

Цель сообщения – обратить внимание на новое явление (карбоновые полигоны) относительно нерешенных старых проблем (биологической рекультивации).

Материалы и методы. Приводимый материал основан на многолетних комплексных (почвенные, ботанические, зоологические) исследованиях разработок золоторудных, угольных, нефтяных и газовых месторождений, металлургическом производстве цветных металлов, а также разработке рекультивационных мероприятий для этих производств.

Результаты и их обсуждение. В настоящее время биологическая рекультивация предполагает два варианта: лесная и сельскохозяйственная (пахотная или пастбищная). Вторая для Сибири не актуальна, хотя и соответствует требованиям возврата земель для прежнего использования. Пахотная продуктивность (по нашим данным экспериментальной посадки на отвалах Бородинского бурогоугольного разреза картофеля и других овощей) восстанавливается более чем через 30 лет после перевода и соответствующей горной рекультивации (нанесения плодородного слоя почвы – ПСП). Более того, сельское хозяйство в Сибири традиционно развивалось в подтаежной зоне и продолжает быть в упадке, где нет дефицита в пахотных землях и поля зарастают лесом. Кроме того, травяная рекультивация без пастбищной нагрузки провоцирует накопление горючей ветоши и горимость отвалов, при этом фитоопад плохо участвует в почвообразовании (структура почво-грунтов не меняется), а отсыпка ПСП передержанного в отвалах не дает ожидаемого эффекта формирования почвенных горизонтов (возвращение плодородия), поскольку педобионты погибают в буртах [1, 2].

Лесная рекультивация более перспективна, поскольку не требует ежегодного ухода, а деревья реально накапливают и удерживают углерод, т. е. выполняют функции карбоновых полигонов [3]. При этом следует учитывать некоторые негативные явления последствий поспешного лесовозобновления. Наблюдается «распыхивание» верхнего слоя горной породы отвалов бурогоугольных разрезов (пустой и вмещающей), оказавшейся на дневной поверхности. В результате, корневая шейка высаженных древесных пород (механическая посадка в борозды) оказывается погребенной на глубину 10–15 см. Поэтому саженцы древесных пород (как показали наши эксперименты с заглублением арматуры на 1 м) не желательно садить на свежих отвалах и возможна только после подготовки грунтов к лесной рекультивации, т. е. их усадки (через 2–5 лет, как и рекомендовано ранее). При гидромеханической добыче золота наблюдается обратный эффект. При достижении возраста 25–30 лет сосна на песчано-галечных отвалах вываливается, поскольку грунт на отвалах рыхлый и не удерживает массу ствола и кроны в вертикальном положении (р. Б. Мурожная). Выравнивание гидромеханических отвалов (якобы для успешного лесовозобновления) приводит к снижению прироста на 70 %, относительно не выровненных участков (р. Панимба). Провальная влагообеспеченность древесных растений на отвалах приводит к поверхностному расположению сосущих корней и низкой сомкнутости крон. Поэтому скорость формирования водоупорного слоя на отвалах, важная задача лесовозобновления, которая определяет не только сомкнутость крон, но породный состав и технологию посадки древесных пород.

Однако, действует природоохранный закон (ФЗ-172 от 01.03.2022 г.) требующий быстрого возврата нарушенных земель в исходное состояние. При этом не учитывается региональная потребность и продуктивность этих земель после нарушений в результате добычи и транспортировки полезных ископаемых. Практикуются травяные маты, которые дают эффект для быстрого возвращения земель, но мало пригодны даже для сельскохозяйственной рекультивации. Часто затраты на рекультивацию (возврат в исходное состояние) невозможны, вреден для экосистемы или равен стоимости добываемого продукта, что абсурдно при современных экономических условиях. В то же время предлагается серия технологий «травяной» рекультивации (выравнивание, обработка, посев, травяные маты), особенно они не перспективны в тундровой зоне на вечно мерзлых грунтах, когда мелиорация проводится завезенными с юга семенами или растениями. В результате животные не могут адаптироваться к «чужеродным» растениям и провоцируется занос инвазивных видов. Не местные виды образуют фитомассу, участвующую в почвообразовании, но не могут возобновляться и через 2–3 года на рекультивированной, таким образом, площади образуется пятно пустыни, кото-

рое постепенно зарастает аборигенами видами растений. При этом правильное выполнение этапа горной рекультивации дает возможность аборигенным видам осваивать открытую территорию, как это неоднократно происходило естественным путем при вторичных сукцессиях.

Биоценозы высокой продуктивности (карбоновые полигоны) в условиях мерзлоты могут сформироваться только при разрушении растительности ее сохраняющую – мохово-лишайникового покрова (Норильский промрайон). Это мелиоративное действие выбросов сохраняется в условиях дренированной поверхности [4]. Поэтому любое минерализованное рельефное образование с уклоном более 50 (обеспечивающее сток) способствует формированию биоценозов техногенного генезиса. Отступление мерзлоты сдерживается слоем мертвых остатков прежнего напочвенного покрова, который удаляется палом (огнем) или более дорогим, но управляемым способом – фрезерованием (перемешиванием) верхнего слоя мортмассы и минерального горизонта почвы. Следует отметить, что пожары и фрезерование имеют временный эффект, т. к. мерзлота поднимается и вновь обуславливает тип растительности (мохово-лишайниковый) характерный для тундровой природной зоны. Поэтому постоянное промышленное угнетение аборигенной растительности может привести к формированию техногенной растительности, устойчивой к поллютантам и обладающей большей экологической емкостью.

В лесной зоне биологическое восстановление проходит наиболее успешно с частичной заменой аборигенных древесных формаций на сосновую (р. Панимба, р. Кузеева). При этом наблюдается сходная картина, при попытке применить ранее разработанные рекомендации по выполаживанию отвалов сталкиваются с развитием в начале плоскостной, а затем и овражной эрозии. Прежние разработчики не обратили внимание, что в природе нет ровных поверхностей, а микрорельеф хорошо развит.

В связи с созданием контрастных условий даже в сухой степи (Чаданский угольный разрез, Тува), кроме пионерной и рудеральной травянистой растительности (донник) идет заселение деревьями (тополь) и кустарниками (карагана), которые отсутствовали до техногенных нарушений.

Следовательно, в связи с созданием техногенных условий биологическая рекультивация должна направляться на естественное восстановление нарушенных территорий, поскольку это экономически наиболее выгодно и соответствует восстановительному потенциалу окружающего ландшафта. В то же время посттехногенные территории перспективны для плантационного выращивания древесины различных пород и плодово-ягодных растений, что требует создания искусственных насаждений.

При этом посттехногенные территории должны зонироваться по приоритетности использования (сельско- и лесохозяйственной, рыбозаповедной, рекреационной и пр.) по аналогии с планированием использования естественных ландшафтов [4]. К сожалению, отработанные месторождения, несмотря на их доступность, финансовую и техническую обеспеченность оказываются не востребовавшими и остаются заброшенными.

В Институте леса разработана универсальная технология биологической рекультивации, применимая для большинства техногенных поверхностей (патент № 2615538), которая обеспечивает формирование почвогрунтового разнообразия и условий для роста различной растительности, а также препятствует эрозии верхнего горизонта земли [5, 6].

Заключение. Накоплено достаточно знаний и результатов опытных работ, позволяющих кардинально изменить подходы к рекультивации техногенных земель и созданию карбоновых полигонов. В первую очередь необходимо разработать отраслевые и природно-зональные критерии оценки и нормативы экологического, экономического и социального назначения посттехногенных территорий, определить приоритетность их использования. Во вторую – разработать и утвердить технологии проведения рекультивационных работ с учетом специфики географических условий и техногенных нарушений. Это позволяет обосновано организовать и вести мониторинг, предъявлять претензии природопользователям, а также оптимизировать их расходы на рекультивацию с получением большего экологического

эффекта. В третью очередь вернуться к практике рецензирования рабочих проектов рекультивации научными организациями, владеющими тематикой исследований. Проект рекультивации более индивидуален, чем сама разработка месторождения. Доходит до смешного (грустно), например, в Норильском промрайоне рекомендуется на отвалах садить сосну, когда вокруг лиственница, при этом московские товарищи не переубеждаемы (да и кто согласится признать свою ошибку).

Список литературы

1. Трефилова О. В., Гродницкая И. Д., Ефимов Д. Ю. Динамика эколого-функциональных параметров реплантоземов на отвалах угольных разрезов Центральной Сибири // Почвоведение. 2014. № 1. С. 109–119.
2. Махонина Г. И. Начальные процессы почвообразования в техногенных экосистемах Урала: автореф... док. биол. наук. Томск, 2004. 12 с.
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.
4. 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.
5. Шишкин А. С., Абаимов А. П., Онучин А. А. Методология и принципы организации исследований природных экосистем в регионах с экстремальным техногенным воздействием // Сибирский экологический журнал. 2014. № 6. С. 863–871.
6. Шишкин А. С., Мурзакматов Р. Т., Ефимов Д. Ю. Проблемы биологической рекультивации в Средней Сибири // X Всерос. науч. конф. с междунар. участием «Биологическая рекультивация нарушенных земель», г. Екатеринбург, 4–7 сентября 2017 г. Екатеринбург. С. 350–355.

ДРЕВЕСНЫЕ И КУСТАРНИКОВЫЕ РАСТЕНИЯ В ОЗЕЛЕНЕНИИ ДЕНДРОПАРКА В Г. ЕКАТЕРИНБУРГЕ

Юсупов И. А., Голиков Д. Ю.

*Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
usiaz@mail.ru, mit2704@gmail.com*

Ключевые слова: дендрологический парк, озеленение населенных пунктов, изучение состояния растений в городской среде.

Аннотация: Выполнена инвентаризация древесно-кустарниковых пород, произрастающих в дендропарке г. Екатеринбурга. При сплошном перечете растений измерены диаметры (на 1,3 м и у шейки корня для кустарников), высоты, количество стволов, порода, сорт, ширина, форма и плотность кроны (в баллах), высота штамба, возраст, категория санитарного состояния дерева, патологические признаки. Полученные данные имеют научную и практическую ценность для оценки результатов интродукции и акклиматизации растений на Среднем Урале.

TREE AND SHRUB PLANTS IN THE PLANTING GREENERY OF THE ARBORETUM IN YEKATERINBURG

Ysupov I. A., Golikov D. Y.

Russian Academy of Sciences, Ural branch: Institute Botanic Garden, Yekaterinburg, Russia

Key words: arboretum park, planting of settlement, research of plants in cities.

Abstract: An inventory of tree and shrub species growing in the arboretum of Yekaterinburg has been carried out. In a complete enumeration of plants, diameters were measured (by 1,3 m and at the root neck for shrubs), heights, number of trunks, breed, variety, width, shape and density of the crown (in points), trunk height, age, category of the sanitary state of the tree, pathological signs. The data obtained are of scientific and practical value for assessing the results of the introduction and acclimatization of plants in the Middle Urals.

Введение. Дендропарк-выставка на ул. Первомайской в г. Екатеринбурге создан в 1934 г., в качестве Уральской опытной станции зеленого строительства Академии коммунального хозяйства (УОСЗС-АКХ) при СНК РСФСР. В течение 3 лет (1934–1936 гг.) на площади 1,5 га были выполнены посадки древесно-кустарниковой растительности и многолетников [1, 2]. Почвы на отведенной территории дерново-подзолистые суглинистого механического состава, иногда щебенистые, а в западной части – торфянистые. В тридцатых годах 20-го века, коллекционный участок был разделен на два отдела: интродуцированных пород (28) и местной флоры (3 участка). В настоящее время естественные почвы подвергнуты культурной обработке и относятся к агроурбаноземам и реплантоземам [3]. Общая площадь парка составляет 91365 м². Территория дендропарка спроектирована в пейзажном стиле, с чередованием газонов, аллей и куртин древесных и кустарниковых растений, обустроены искусственно организованные два пруда.

С 1934 до 1962 гг. на территории было интродуцировано более 300 видов и сортов растений, привезенных в г. Свердловск из разных регионов России и других континентов, в частности, из Северной Америки. Помимо насаждений, за эти годы в парке появилось несколько отапливаемых помещений для теплолюбивых растений и первый на Урале коллекционный розарий, в котором в настоящее время культивируются сорта роз. Высаженные в дендропарке и прошедшие акклиматизацию древесно-кустарниковые растения в дальнейшем получили применение в озеленении в населенных пунктах Урала. В этом дендропарке находятся самые старшевозрастные деревья (80–90 лет) североамериканских видов – ели колючей

и тополя бальзамического, а также представителей дальневосточной флоры – ореха маньчжурского, бархата амурского и маакии амурской, произрастающие на Среднем Урале.

Объекты и методы исследований. Основная задача исследований заключается в инвентаризации дендрофлоры, изучения видового разнообразия и оценки ее санитарного состояния. Результаты работы позволят разработать и рекомендовать хозяйственные мероприятия по уходу за объектами зеленого строительства в дендропарке, а также провести оценку работ по интродукции древесно-кустарниковой растительности за 80-летний период.

Исследования проводили в сентябре 2020 г. Атмосфера и почвы города сильно загрязнены из-за промышленной деятельности предприятий и эксплуатации автотранспорта [4]. Для региона характерным является континентальный климат, с холодным продолжительным зимним и прохладным летним периодами, неравномерным обилием осадков, пасмурностью в летнее время. Безморозный период составляет 90–115 дней, средняя температура года +1 °С [5]. Район исследований находится в южно-таежной подзоне бореально-лесной зоны.

Для инвентаризации проводили сплошной перепись деревьев и кустарников на всей территории парка. Обследование каждого объекта проводилось по следующему списку признаков: порода, сорт, количество стволов, диаметр на высоте 1,3 м и диаметр у шейки корня для кустарников, высота (табл.), ширина, форма и плотность кроны (в баллах), высота штамба, возраст, категория санитарного состояния дерева, патологические признаки и сопутствующие породы. Подлесок и подрост, произрастающие в радиусе до 1,5 м от основного объекта учета, фиксировали вместе, в качестве сопутствующей породы.

Результаты исследований. В результате проведенной инвентаризации древесно-кустарниковых растений была составлена таблица видового разнообразия с учетом средние высоты и числа экземпляров древесно-кустарниковых растений в дендропарке (табл.). Были предложены рекомендации по уходу и перечень мероприятий по улучшению состояния деревьев и кустарников.

Таблица – Видовое разнообразие, средние высоты и число экземпляров древесно-кустарниковых растений в дендропарке

№	Семейство	Род	Вид	Высота, м	Число экз., шт.
1	2	3	4	5	6
<i>Pinophyta</i>					
1	Pinaceae	<i>Picea</i> (Ель)	<i>P. pungens</i> Engelm. (Е. колючая)	14,2±0,3	259
2			<i>P. abies</i> (L.) Н. Karst. (Е. обыкновенная)	24,1±3,6	4
3			<i>P. obovata</i> Ledeb. (Е. сибирская)	19,7±0,5	155
4			<i>P. glauca</i> (Moench) Voss (Е. сизая)	21,6±1,6	10
5		<i>Larix</i> (Лиственница)	<i>L. occidentalis</i> Nutt. (Л. западная)	26,8±1,5	13
6			<i>L. olgensis</i> A. Henry (Л. ольгинская)	21,1	2
7			<i>L. sibirica</i> Ledeb. (Л. сибирская)	18,6±0,9	114
8		<i>Abies</i> (Пихта)	<i>A. concolor</i> (Gordon & Glend.) Lindl. ex Hindebr. (П. одноцветная)	2,8	2
9			<i>A. sibirica</i> Ledeb (П. сибирская)	15,9±3	3

Окончание таблицы

№	Семейство	Род	Вид	Высота, м	Число экз., шт.
1	2	3	4	5	6
10			<i>A. fraseri</i> (Pursh) Poir. (П. Фразера)	17	2
11		<i>Pseudotsuga</i> (Псевдотсуга)	<i>P. menziesii</i> (Mirb.) Franco (П. Мензиса)	5,5	2
12		<i>Pinus</i> (Сосна)	<i>P. sylvestris</i> L. (С. обыкновенная)	14,4±1,4	14
13			<i>P. sibirica</i> Du Tour (С. сибирская) молодняк	0,8±1,4	14
14			<i>P. sibirica</i> Du Tour (С. сибирская)	12,5±2,3	19
15			<i>P. pumila</i> (Pall.) Regel (С. стланиковая европейская)	1,6	2
16			<i>Tsuga</i> (Тсуга)	<i>T. canadensis</i> (L.) Carrière (Т. канадская)	2
17	Taxaceae	<i>Taxus</i> (Тис)	<i>T. baccata</i> L. (Т. ягодный)	0,7	1
18	Cupressaceae	<i>Microbiota</i> (Микробиота)	<i>M. decussate</i> Kom. (М. перекрестнопарная)	0,5	1
19		<i>Juniperus</i> (Можжевельник)	<i>J. horizontalis</i> Moench (М. горизонтальный)	0,6±0,1	7
20			<i>J. sabina</i> L. (М. казацкий)	0,6±0,1	33
21			<i>J. communis</i> L. (М. обыкновенный)	0,2	3
22			<i>Thuja</i> (Туя)	<i>T. occidentalis</i> L. (Т. западная)	3,6±0,7
		<i>Thuja</i> (Туя)			
<i>Dicotyledones</i>					
23	Adoxaceae	<i>Sambucus</i> (Бузина)	<i>S. racemosa</i> L. (Б. красная)	2,9±0,8	41
24		<i>Viburnum</i> (Калина)	<i>V. lantana</i> L. (К. гордовина)	2,3±1,9	26
25		<i>Viburnum</i> (Калина)	<i>V. opulus</i> L. (К. обыкновенная)	1,3±1,2	39
26	Berberidaceae	<i>Berberis</i> (Барбарис)	<i>V. sargentii</i> Koehne (К. Саржента)	2,3±0,1	3
27			<i>B. vulgaris</i> L. (Б. обыкновенный)	1,9±0,2	45
28		<i>Mahonia</i> (Магония)	<i>B. thunbergii</i> DC. (Б. Тунберга)	0,7±0,1	75
29			<i>M. aquifolium</i> (Pursh) Nutt. (М. падуболистная)	0,5±0,1	76
30	Betulaceae	<i>Betula</i> (Береза)	<i>Betula</i> sp.	13±3	4
31			<i>B. dauurica</i> Pall. (Б. даурская)	12,2±2,3	5
32			<i>B. pendula</i> Roth (Б. повислая)	18,8±0,5	138

Окончание таблицы

№	Семейство	Род	Вид	Высота, м	Число экз., шт.
1	2	3	4	5	6
33			<i>V. pubescens</i> Ehrh. (Б. пушистая)	21,6±2,1	7
34		<i>Corylus</i> (Лещина)	<i>C. avellana</i> L. (Л. обыкновенная)	2,9±0,1	3
35		<i>Alnus</i> (Ольха)	<i>A. incana</i> (L.) Moench (О. серая)	11,8	1
36	Вухáceae	<i>Vixus</i> (Самшит)	<i>A. glutinosa</i> (L.) Gaertn. (О. черная)	13,9±1,5	11
37			<i>V. colchica</i> Rojark. (С. колхидский)	1,1±3	129
38	Caprifoliaceae	<i>Lonicera</i> (Жимолость)	<i>L. caerulea</i> L. (Ж. голубая)	2,2	2
39			<i>L. maackii</i> (Rupr.) Herder (Ж. Маака)	1,5	1
40			<i>L. xylosteuum</i> L. (Ж. обыкновенная)	3±1,1	54
41			<i>L. involucrata</i> (Richardson) Banks ex Spreng. (Ж. покрывальная)	1,7±0,1	9
42		<i>Symphoricarpos</i> (Снежная-годник)	<i>L. tatarica</i> L. (Ж. татарская)	1,8	1
43			<i>S. albus</i> (L.) S.F. Blake (С. белый)	0,9±1,7	20
44	Celastraceae	<i>Euonymus</i> (Бересклет)	<i>Euonymus</i> sp.	2,3	1
45			<i>E. europaeus</i> L. (Бересклет европейский)	1,9±0,3	4
46	Cornaceae	<i>Swida</i> (Дерен)	<i>S. alba</i> (L.) Opiz (Свида . белая)	1,7±0,1	228
47	Elaeagnaceae	<i>Elaeagnus</i> (Лох)	<i>E. commutata</i> Bernh. ex Rydb. (Л. смешиваемый)	0,8±0,1	5
48	Ericaceae	<i>Rhododéndron</i> (Рододендрон)	<i>R. dauricum</i> L. (Р. даурский)	1,4±0,1	25
49	Fabaceae	<i>Caragana</i> (Карагана)	<i>R. catawbiense</i> Michx. (Р. кэтевбинский)	0,9	2
50			<i>R. japonicum</i> (A. Gray) Крон (Р. японский)	0,5±0,1	20
51			<i>C. arborescens</i> Lam. (К. древовидная)	2,4±0,8	38
52		<i>Maackia</i> (Маакия)	<i>M. amurensis</i> Rupr. & Maxim. (М. амурская)	17,5	1
53		<i>Quercus</i> (Дуб)	<i>Q. mongolica</i> Fisch. ex Ledeb. (Д. монгольский)	21,1±0,8	47
54		<i>Quercus</i> (Дуб)	<i>Q. robur</i> L. (Д. черешчатый)	20,2±1,2	18
55	Grossulariaceae	<i>Grossularia</i> (Крыжовник)	<i>G. uva-crispa</i> (L.) Mill. (К. обыкновенный)	0,3	2

№	Семейство	Род	Вид	Высота, м	Число экз., шт.
1	2	3	4	5	6
56		<i>Ribes</i> (Смородина)	<i>R. alpinum</i> L. (С. альпийская)	1,4±0,3	9
57	Hydrangeaceae	<i>Hydrangea</i> (Гортензия)	<i>Hydrangea</i> sp.	0,6±0,1	12
58			<i>H. arborescens</i> L. (Г. древовидная)	1,1±0,3	7
59			<i>H. paniculata</i> Siebold (Г. метельчатая)	0,8±0,1	20
60		<i>Philadelphus</i> (Чубушник)	<i>Ph. coronaries</i> L. (Ч. венечный)	1,9±0,7	123
61	Juglandaceae	<i>Juglans</i> (Орех)	<i>J. mandshurica</i> Maxim. (О. маньчжурский)	8,2±0,1	25
62	Malvaceae	<i>Tilia</i> (Липа)	<i>T. cordata</i> Mill. (Л. сердцевидная)	16,2±0,5	186
63	Oleaceae	<i>Syringa</i> (Сирень)	<i>S. amurensis</i> Rupr. (С. амурская)	4,3±1,1	25
64			<i>S. josikaea</i> J. Jacq. ex Reichenb. (С. венгерская)	3,7±0,8	68
65			<i>S. meyeri</i> C.K. Schneid. (С. Мейера)	0,5±3,6	35
66			<i>S. villosa</i> Vahl (С. мохнатая)	5,7	1
67			<i>S. vulgaris</i> L. (С. обыкновенная)	2,6±0,4	212
68			<i>S. × prestoniae</i> McKelvey (С. Престон)	3,7	1
69		<i>Forsythia</i> (Форзиция)	<i>Forsythia</i> sp.	1,6±3	7
70			<i>F. × intermedia</i> Zabel (Ф. средняя)	2,1±3,6	5
71			<i>F. ovata</i> Nakai (Ф. яйцевидная)	0,7	1
72		<i>Fraxinus</i> (Ясень)	<i>Fraxinus</i> sp.	19,5±0,3	3
73			<i>F. pennsylvanica</i> Marshall (Я. пенсильванский)	10,7±0,6	96
74	Rhamnaceae	<i>Rhamnus</i> (Жостер)	<i>Rh. cathartica</i> L. (Ж. слабительный)	5,2	2
75	Rosaceae	<i>Crataegus</i> (Боярышник)	<i>Crataegus</i> sp.	5,7±1,8	13
76			<i>C. sanguinea</i> Pall. (Б. кроваво-красный)	2,8±0,3	3
77			<i>C. pentagyna</i> Waldst. & Kit. ex Willd. (Б. пятипестичный)	7,5±1,1	29
78		<i>Prunus</i> (Вишня)	<i>Prunus</i> sp.	1,6	2

№	Семейство	Род	Вид	Высота, м	Число экз., шт.
1	2	3	4	5	6
79		<i>Pyrus</i> (Груша)	<i>P. ussuriensis</i> Maxim. (Г. уссурийская)	8±0,8	83
80		<i>Amelanchier</i> (Ирга)	<i>A. canadensis</i> (L.) Medik. (И. канадская)	1,5±5,1	3
81	<i>A. ovalis</i> Medik. (И. овальная)		5,3±1,6	13	
82	<i>A. × lamarkii</i> F.G. Schroed (И. Ламарка)		1,1	2	
83		<i>Cotoneaster</i> (Кизильник)	<i>C. lucidus</i> Schltld. (К. блестящий)	2±0,5	178
84		<i>Prunus</i> (Миндаль)	<i>P. ledebouriana</i> Schltld. (М. Ледебура)	1±0,1	3
85			<i>P. nana</i> L. (М. низкий)	0,7±5,1	15
86		<i>Prinsepia</i> (Принсепия)	<i>P. sinensis</i> (Oliv.) Vean (П. китайская)	1,5±0,3	4
87		<i>Physocarpus</i> (Пузыреплодник)	<i>P. opulifolius</i> (L.) Maxim. (П. калинолистный)	1,7±0,3	70
88		<i>Dasiphora</i> (Пятилистник)	<i>D. fruticosa</i> (L.) Rydb. (П. кустарниковый)	0,6±0,1	160
89		<i>Rosa</i> (Роза)	<i>Rosa</i> sp.	0,7±1,9	77
90			Крупноцветковые плетистые розы, гибриды розы Вишурана	0,6±3,6	129
91			Роза декоративная	0,7±1,6	22
92		<i>Sorbus</i> (Рябина)	<i>Sorbus</i> sp.	7	2
93			<i>S. mougeotii</i> Godr. & Soy.-Will. (Р. Мужо)	10,5	2
94			<i>S. aucuparia</i> L. (Р. обыкновенная)	7,4±0,6	75
95		<i>Sorbaria</i> (Рябинник)	<i>S. sorbifolia</i> (L.) A. Braun (Р. рябинолистный)	1,8±2,3	18
96		<i>Prunus</i> (Слива)	<i>Prunus</i> sp.	2,1±0,6	6
97		<i>Spiraea</i> (Спирея)	<i>Spiraea</i> sp.	1±0,1	36
98			<i>S. betulifolia</i> Pall. (С. березолистная)	0,6±0,1	15
99			<i>S. × billardii</i> Dippel (С. Билларда)	1,4±0,3	65
100			<i>S. × vanhouttei</i> (Briot) Carrière (С. Вангутта)	0,8±0,3	38
101			<i>S. chamaedryfolia</i> L. (С. дубровколистная)	1±0,3	16
102			<i>S. salicifolia</i> L. (С. иволистная)	1,3±0,3	18

№	Семейство	Род	Вид	Высота, м	Число экз., шт.
1	2	3	4	5	6
103			<i>S. nipponica</i> Maxim. (С. ниппонская)	0,7±0,3	52
104			<i>S. × cinerea</i> Zabel (С. серая)	0,8±0,1	73
105			<i>S. japonica</i> L. f. (С. японская)	0,5±0,1	116
106		<i>Prunus</i> (Черемуха)	<i>P. virginiana</i> (L.) Mill. (Ч. виргинская)	5,5	2
107			<i>P. taackii</i> (Rupr.) Kom. (Ч. Маака)	12,6±1	97
108			<i>P. avium</i> Mill. (Ч. обыкновенная)	10,2±0,5	184
109			<i>P. pensylvanica</i> (L.f.) Loisel. (Ч. пенсильванская)	12,8±2,1	43
110		<i>Rosa</i> (Шиповник)	<i>Rosa</i> sp.	0,8	1
111			<i>R. davurica</i> Pall. (Ш. даурская)	2,3	1
112			<i>R. spinosissima</i> L. (Ш. колючейший)	1,8±0,3	4
113			<i>R. cinnamomea</i> L. (Ш. коричный)	2,1	2
114			<i>R. rugosa</i> Thunb. (Ш. морщинистый)	1,4±1,4	140
115			<i>R. canina</i> L. (Ш. собачий)	1±3	12
116		<i>Malus</i> (Яблоня)	<i>Malus</i> sp.	8,5	1
117			<i>M. mandshurica</i> (Maxim.) Kom. (Я. маньчжурская)	5,8±1,7	11
118			<i>M. niedzwetzkyana</i> Dieck (Я Недзвецкого)	2,8±0,5	17
119			<i>M. baccata</i> (L.) Borkh. (Я ягодная)	8±0,5	126
120	Rutaceae	<i>Phellodendron</i> (Бархат)	<i>P. amurense</i> Rupr. (Б. амурский)	3,6±2,1	16
121			<i>P. sachalinense</i> (F. Schmidt) Sarg. (Б. сахалинский)	16	2
122	Salicaceae	<i>Salix</i> (Ива)	<i>Salix</i> sp.	13,7±2,3	8
123			И. «Маяк-2» «Фейерверк»	2,2	1
124			И. «Свердловская блестящая»	14,7±1	29
125			И. «Свердловская Извилистая I»	9,1±2,3	5

№	Семейство	Род	Вид	Высота, м	Число экз., шт.
1	2	3	4	5	6
126			И. гибридная	7,6±0,3	3
127			<i>S. caprea</i> L. (И. козья)	11,9±1,8	17
128			<i>S. ledebouriana</i> Trautv. (И. Ледебура Пендула «Снежный шар»)	2,8±0,1	1
129			<i>S. × fragilis</i> L. (И. ломкая)	10±1,1	23
130			<i>S. babylonica</i> L. (И. вавилонская)	7±2,1	8
131			И. сортовая	1,6±0,1	4
132			<i>Populus</i> (Тополь)	<i>Populus</i> sp.	18,7±1,7
133		<i>P. balsamifera</i> L. (Т. бальзамический)		18,2±0,3	375
134		<i>P. alba</i> L. (Т. белый)		8,7±1,4	52
135		<i>P. × berolinensis</i> К. Koch (Т. берлинский)		1,9±0,1	11
136		<i>P. tremula</i> L. (Т. дрожащий)		8,2±1,7	15
137		<i>P. laurifolia</i> Ledeb. (Т. лавролистный)		26,5±5,1	1
138		<i>P. tremuloides</i> Michx. (Т. осинообразный)	26,3±3	3	
139	Т. Свердловский серебристый пирамидальный	7,2±1	28		
140	Sapindaceae	<i>Acer</i> (Клён)	<i>Acer</i> sp.	12,5	3
141			<i>A. tegmentosum</i> Maxim. et Rupr. (К. зеленокорый)	2,7	1
142			<i>A. mandshuricum</i> Maxim. (К. маньчжурский)	9	1
143			<i>A. mono</i> Maxim. ex Rupr. (К. моно)	12,5	2
144			<i>A. platanoides</i> L. (К. остролистный)	8±0,9	50
145			<i>A. ginnala</i> Maxim. ex Rupr. (К. гиннала)	3,5±0,4	31
146			<i>A. saccharum</i> Marshall (К. сахарный)	2,1	1
147			<i>A. saccharinum</i> L. (К. серебристый)	11,4	1
148			<i>A. tataricum</i> L. (К. татарский)	7,1±1,4	32
149				<i>Acer</i> sp. (К. Шредера*)	11,3
150		<i>A. negundo</i> L. (К. ясенелистный)	12,7±0,6	232	

№	Семейство	Род	Вид	Высота, м	Число экз., шт.
1	2	3	4	5	6
151	Ulmaceae	<i>Ulmus</i> (Вяз)	<i>Ulmus</i> sp.	11,2±2,3	5
152			<i>U. laevis</i> Pall. (В. гладкий)	10±2,1	14
153			<i>U. parvifolia</i> Jacq. (В. мелколистный)	11,5±2,6	4
154			<i>U. pumila</i> L. (В. низкий)	1,2±5,1	48
155			<i>U. glabra</i> Huds. (В. шершавый)	8,8±1,5	12

Примечание. * – согласно данным дендропарка.

Заключение. Анализ данных об инвентаризация древесно-кустарниковых растений и изучение состояния объектов зеленого строительства дендропарка-выставки г. Екатеринбурга свидетельствует о большом разнообразии и декоративном богатстве насаждений. Санитарное состояние растений – удовлетворительное. Определены достоверно растения 158 видов и гибридов, относящихся к 58 родам и 24 семействам.

Список литературы

1. Стельмахович М. Л. Путеводитель по коллекционному участку декоративной растительности. Свердловск: Издание Уральской опытной станции зеленого строительства АКХ при СНК РСФСР, 1940. 90 с.
2. Власенко В. Э., Дорофеева Л. М., Яковлева С. В., Семкина Л. А. Зеленые насаждения дендропарков Екатеринбурга // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. Т. 12, № 1 (5). С. 1376–1378.
3. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева [и др.]. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
4. Антропов К. М., Вараксин А. Н. Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Екатеринбурга диоксидом азота методом Land Use Regression // Экологические системы и приборы. 2011. № 8. С. 47–54.
5. Колесников Б. П., Зубарева Р. С., Смолоногов Е. П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области: практическое руководство. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. 176 с.

CHANGE OF MG CONCENTRATIONS IN SOME FOREST SOILS DEPENDING ON PLANT SPECIES

¹Arıcak B., ²Cetin M., ³Erdem R., ⁴Sevik H.

¹Kastamonu University, Arac Rafet Vergili Vocational School, Department of Forestry, Kastamonu, Turkey

²Kastamonu University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Landscape Architecture, Kastamonu, Turkey

³Bursa Technical University, Faculty of Forestry, Department of Forestry, Bursa, Turkey

⁴Kastamonu University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Environmental Engineering, Kastamonu, Turkey
burak_aricak@btu.edu.tr

Keywords: Soil, Nutrients, Magnesium, Mg.

Abstract: Plants, the most important living group in the world, are directly or indirectly dependent on plants for all living things on earth. Plant growth is mainly shaped under the influence of environmental factors and nutrients in the soil are the most important factors affecting plant growth. For this reason, many studies have been conducted on the effect of nutrients on plant growth. In this study, the concentrations of Mg concentrations in the leaves, bark, wood, roots and cones of *Pinus nigra* Arnold., *Pinus sylvestris* L., *Fagus orientalis* Libsky., and *Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf. species grown in a limited area in similar land structure were determined, and these concentrations were compared with the concentrations at different depth levels of the soil. Because of the study, it was tried to determine how the Mg concentrations changed depending on the species, organ and soil depth.

Introduction. Plants lay the foundation of the food pyramid and, thus, the entire organic life directly or indirectly depends upon the plants [1, 2]. Moreover, plants also fulfill many functions such as cleaning the air [3, 4], preventing erosion [5], balancing the climate [6, 7], providing shelter for wild animals [8], and serving recreational purposes [9, 10]. Moreover, they constitute one of the most important economic sources [11, 12].

In order for plants to fulfill these functions, they need to healthily grow and develop [13]. Plant development is the result of a very complex mechanism operating under the interaction between genetic structure [14] and environmental factors [15, 16]. Environmental factors include soil and the nutrient content of the soil is one of the most important factors directly influencing the plant development [17, 18].

Nutrient elements are among the major factors influencing plant development. Nutrients are the main constituents of plants and, after being taken from the soil, they exist in different organs of plants at different concentrations. Nutrients are among the constituents of plants and, after being taken from the soil in, they accumulate in different organs of plants at different levels. The speciation of nutrients within the body of plants after the intake from the soil, determining their contribution to the plant development, and having knowledge about their transfer between the organs are very important in order to completely understand the factors influencing the plant development [19–22, 13]. Hence, the present study aims to determine to what extent the Mg element accumulates in different organs of different plants, as well as determining the relationship between these accumulations and nutrients in the soil.

Material and Method. Within the scope of this study, it was aimed to determine the change of Mg concentrations in organs of wood-like plants in a place, where the environmental factors influencing the plant development were as homogeneous as possible, by plant species and organ. In this subject, the samples were taken from *Pinus nigra* Arnold., *Pinus sylvestris* L., *Fagus orientalis* Libsky., and *Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf. species, which were grown in a

limited area that had similar soil and climatic conditions on a flat surface within the borders of Araç district of Kastamonu province.

The needle, bark, wood, cone, and root samples were shredded. Since *F. orientalis* has no cone, it wasn't involved in the study. Soil samples were collected from below each of the trees and at the depths of 0–5 cm (upper), 20–30 cm (medium), and 50–60 cm (lower) from the surface by removing the dead layer on the soil. The samples were kept in the laboratory for 2 weeks to room-dry them and dried at 45 °C for two weeks in a drying oven. Samples were then added into the analyses and Mg concentrations were determined in samples using ICP-OES device [23–25]. The data obtained were subjected to variance analysis and Duncan test using SPSS 22.0 package software.

Results. The change of Mg concentration by species and plants and the values obtained from statistical analyses are presented in table 1.

Table 1– Change of Mg concentration in plants by species and organ

Species	ORGAN					F Values	Average
	Leaf	Bark	Cone	Wood	Root		
Ab	727,75 Cb	480,11 Ab	745,66 Cc	UL	527,66 Bab	3,80*	620,30 b
Pn	551,62 Da	299,91 Bab	465,04 CDb	55,91 A	335,08 Ba	13,16***	341,51 a
Ps	584,35 Bab	810,62 Bc	126,93 Aa	53,30 A	733,55 Bb	15,25***	518,92 b
Fo	1544,04 Dc	271,95 Ba	–	90,82 A	688,26 Cb	185,41***	648,72 b
F Values	76,84***	15,68***	67,74***	2,10 ns	3,41*	–	5,64**
Average	851,94 C	465,65 B	485,75 B	68,35 A	571,14 B	23,21***	–

It was determined that the change in Mg concentrations by organs in all the species and by species in all the organs except wood were statistically significant ($p < 0,05$). Examining the mean values, the lowest values were obtained from wood samples. In general, the highest values were found in leaves. Given the mean values, the values obtained from Pn was in the first group, whereas all the other species were in the second groups. The change of Mg concentration in soils by species and depth is presented in table 2.

Table 2 – Change of Mg concentration in soils by species and depth

Species	Soil depth			F Values	Average
	Upper	Medium	Lower		
Ab	3722,13 Aa	3742,22 Aa	5076,36 Ba	3,55*	4180,24 a
Pn	7315,11 b	6027,02 c	6269,19 b	1,21 ns	6537,11 c
Ps	5114,33 a	4959,61 b	4741,25 a	0,42 ns	4938,39 ab
Fo	4533,00 Aa	6421,69 Bc	6295,41 Bb	3,76*	5750,03 bc
F Values	5,25**	16,40***	4,00*	–	12,02***
Average	5171,14	5287,63	5595,55	0,56 ns	–

In table 2 showing the changes in Mg concentration in soils, it can be seen that the change of Mg concentration in soils by depth was not statistically significant in species other than Ab and Fo ($p > 0,05$). In Ab and Fo, the Mg concentration was found to increase with increasing soil depth. It was also determined that the change in Mg concentration by species was statistically significant for all the soil depths ($p < 0,05$). Given the results of the Duncan test, the highest Mg concentrations were obtained from Pn species in all soil depths.

Discussion and conclusion. It was determined that the change of the concentrations of Mg elements by organs in all the species and by species in all the organs except wood were statistically significant. It was also determined that the change in Mg concentration by species was statistically significant for all the soil depths. Mg is a white mineral that exists in the soil in various compounds. It is one of the very important, maybe the most important, among 11 vital minerals. It is found in chlorophyll in plants, and it retains the energy photons coming from the sun. The Mg in the soil is used by the plants, and it can be called the ferrous of the plant kingdom [13].

Also Mg is a heavy metal [26]. In conclusion, it was determined in the present study that Mg concentration changed depending on the plant species in the organs and soil. Mossi [27] reported the Mg concentration increase depending on the traffic density. Mg is examined as heavy metal in some studies [26, 28]. Heavy metals have a specific importance because they tend to bio accumulate and can be toxic for human health even at low concentrations [29–32].

Also, the heavy metals in soil or air significantly influence the plant development. High concentrations of heavy metal in air or soil constitute a stress factor for the plants [33, 34]. Stress factors such as aridity [35–37], frost [38, 39], radiation [6, 7], and pollution [40, 41] affect the structure of plants. Hence, high concentrations of heavy metals cause stress in plants [42]. Also, heavy metals can changed micro-environmental condition and it was reported that micro-environmental conditions are very important for plant development [5, 43, 44]. Hence, soil structure affects and alters plant development and plant structure affects and alters the soil character. This change is shaped by many mutual and interacting factors but these mechanisms couldn't be completely revealed yet [45, 46].

Acknowledgments. *This study is supported by the Kastamonu University Scientific Research Projects Coordination Unit (Project number is KUBAP01/2021-2). We thanks the Kastamonu University Scientific Research Studies Project Management Coordination.*

References

1. Aricak B., Cetin M., Erdem R., Sevik H., Cometen H. The change of some heavy metal concentrations in Scotch pine (*Pinus sylvestris*) depending on traffic density, organelle and washing // *Applied Ecology and Environmental Research*. 2019. V. 17(3). P. 6723–6734.
2. Sevik H., Cetin M., Ozel H. B., Ozel S., Cetin I. Z. Changes in heavy metal accumulation in some edible landscape plants depending on traffic density // *Environmental monitoring and assessment*. 2020. V. 192(2). P. 1–9.
3. Elsunousi A. A. M., Sevik H., Cetin M., Ozel H. B., Uzun Ozel H. Periodical and regional change of particulate matter and CO₂ concentration in Misurata // *Environ Monit Assess*. 2021. V. 193: 707. DOI: 10.1007/s10661-021-09478-0
4. Ghoma W., Sevik H., Isinkaralar K. Using indoor plants as biomonitors for detection of toxic metals by tobacco smoke // *Air Qual Atmos Health*. 2022. V. 15. P. 415–424. DOI: 10.1007/s11869-021-01146-z
5. Yigit N., Mutevelli Z., Sevik H., Onat S. M., Ozel H. B., Cetin M., Olgun C. Identification of Some Fiber Characteristics in *Rosa* sp. and *Nerium oleander* L. Wood Grown under Different Ecological Conditions // *BioResources*. 2021. V. 16(3). P. 5862–5874. DOI: 10.15376/biores.14.3.7015-7024
6. Ozel H. B., Cetin M., Sevik H., Varol T., Isik B., Yaman B. The effects of base station as an electromagnetic radiation source on flower and cone yield and germination percentage in *Pinus brutia* Ten // *Biologia Futura*. 2021. DOI: 10.1007/s42977-021-00085-1
7. Ozel H. B., Abo Aisha A. E. S., Cetin M., Sevik H., Zeren Cetin I. The effects of increased exposure time to UV-B radiation on germination and seedling development of Anatolian black pine seeds // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2021. DOI: 10.1007/s10661-021-09178-9
8. Ozkazanc N. K., Ozay E., Ozel H. B., Cetin M., Sevik H. The habitat, ecological life conditions, and usage characteristics of the otter (*Lutra lutra* L. 1758) in the Balıkdami Wildlife Development Area // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019. DOI: 10.1007/s10661-019-7833-1

9. Cetin M., Sevik H., Aricak B., Ozturk A., Genc C. O., Aisha A. E. S. A., Jawed A. A., Aljama A. M. O., Alrabiti O. B. M. The Investigation of the Changing in Concentration of Some Heavy Metals in Seeds, Leaves, and Branches because of Traffic Density: a Case Study of Acer Platanoides // *Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*. 2019. V. 5(2). P. 83–92.
10. Kalayci Onac A., Cetin M., Sevik H., Orman P., Karci A., Gonullu Sutcuoglu G. Rethinking the campus transportation network in the scope of ecological design principles: case study of Izmir Katip Çelebi University Çiğli Campus // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-14299-2
11. Sevik H. Variation in seedling morphology of Turkish fir (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf) // *African Journal of Biotechnology*. 2012. V. 11(23). P. 6389–6395.
12. Özer Genç Ç., Aricak B. Developing a Harvest Plan by Considering the Effects of Skidding Techniques on Forest Soil Using a Hybrid TOPSIS-Entropy Method // *Forest Science*. 2022. V. 68(3). P. 312–324.
13. Erdem R. Change of Several Plant Nutrient Elements by Plant Species and Organ // *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*. 2021. V. 9(12). P. 2319–2324.
14. Hrivnák M., Paule L., Krajmerová D., Kulaç Ş., Şevik H., Turna İ., Tvauri I., Gömöry D. Genetic variation in Tertiary relics: The case of eastern-Mediterranean *Abies* (Pinaceae) // *Ecology and evolution*. 2017. V. 7(23). P. 10018–10030.
15. Koc I. Using *Cedrus atlantica*'s annual rings as a biomonitor in observing the changes of Ni and Co concentrations in the atmosphere // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-13272-3
16. Isinkaralar K., Koc I., Erdem R., Sevik H. Atmospheric Cd, Cr, and Zn Deposition in Several Landscape Plants in Mersin, Türkiye // *Water, Air & Soil Pollution*. 2022. DOI: 10.1007/s11270-022-05607-8
17. Shults P., Nzokou P., Koc I. Nitrogen contributions of alley cropped *Trifolium pratense* may sustain short rotation woody crop yields on marginal lands // *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2020. V. 117(2). P. 261–272.
18. Cetin M., Aljama A. M. O., Alrabiti O. B. M., Adiguzel F., Sevik H., Zeren Cetin I. Determination and Mapping of Regional Change of Pb and Cr Pollution in Ankara City Center // *Water, Air & Soil Pollution*. 2022. DOI: 10.1007/s11270-022-05638-1
19. Kravkaz Kuscu I. S., Cetin M., Yigit N., Savaci G., Sevik H. Relationship between Enzyme Activity (Urease-Catalase) and Nutrient Element in Soil Use // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2018. V. 27(5). P. 2107–2112.
20. Kravkaz-Kuscu I. S., Sariyildiz T., Cetin M., Yigit N., Sevik H., Savaci G. Evaluation of the soil properties and primary forest tree species in Taskopru (Kastamonu) district // *Fresenius Environmental Bulletin*. 2018. V. 27(3). P. 1613–1617.
21. Karacocuk T., Sevik H., Isinkaralar K., Turkyilmaz A., Cetin M. The change of Cr and Mn concentrations in selected plants in Samsun city center depending on traffic density // *Landscape Ecol Eng*. 2022. V. 18. P. 75–83. DOI: 10.1007/s11355-021-00483-6
22. Cesur A., Zeren Cetin I., Abo Aisha A. E. S., Alrabiti O. B. M., Aljama A. M. O., Jawed A. A., Cetin M., Sevik H., Ozel H. B. The usability of *Cupressus arizonica* annual rings in monitoring the changes in heavy metal concentration in air // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-13166-4
23. Aricak B., Cetin M., Erdem R., Sevik H., Cometen H. The usability of Scotch pine (*Pinus sylvestris*) as a biomonitor for traffic-originated heavy metal concentrations in Turkey // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2020. V. 29(2). P. 1051–1057.
24. Isinkaralar K. Atmospheric deposition of Pb and Cd in the *Cedrus atlantica* for environmental biomonitoring // *Landscape and Ecological Engineering*. 2022. V. 18. P. 341–350.
25. Isinkaralar K. The large-scale period of atmospheric trace metal deposition to urban landscape trees as a biomonitor // *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2022. DOI: 10.1007/s13399-022-02796-4

26. Ozel H. B., Varol H. N., Sevik H. Change of Mg concentration in several plants depending on plant species, washing status, and traffic density // World Journal of Advanced Research and Reviews. 2021. V. 12(1). P. 447–453.
27. Mossi M. M. M. Determination Of Heavy Metal Accumulation In Some Shrub Formed Landscape Plants: Phd Thesis / Kastamonu University Institute of Science Department of Forest Engineering. 2018. 141 p.
28. Turkyilmaz A., Sevik H., Isinkaralar K., Cetin M. Using Acer platanooides annual rings to monitor the amount of heavy metals accumulated in air // Environmental Monitoring and Assessment. 2018. V. 190: 578. DOI: 10.1007/s10661-018-6956-0
29. Ozel H. U., Ozel H. B., Cetin M., Sevik H., Gemici B. T., Varol T. Base alteration of some heavy metal concentrations on local and seasonal in Bartın River // Environmental monitoring and assessment. 2019. V. 191(9). DOI: 10.1007/s10661-019-7753-0
30. Alaçouri H. A. A., Genc C. O., Arıcak B., Kuzmina N., Menshikov S., Cetin M. The possibility of using Scots pine needles as biomonitor in determination of heavy metal accumulation // Environmental Science and Pollution Research. 2020. DOI: 10.1007/s11356-020-08449-1
31. Alaçouri H. A. A., Ozer Genc C., Arıcak B., Kuzmina N., Menshikov S., Cetin M. The Possibility of Using Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Needles as Biomonitor in the Determination of Heavy Metal Accumulation // Applied Ecology and Environmental Research. 2020. V. 18(2). P. 3713–3727.
32. Cetin M., Sevik H., Cobanoğlu O. Ca, Cu, and Li in washed and unwashed specimens of needles, bark, and branches of the blue spruce (*Picea pungens*) in the city of Ankara // Environmental Science and Pollution Research International. 2020. V. 27(17). P. 21816–21825. DOI: 10.1007/s11356-020-08687
33. Turkyilmaz A., Cetin M., Sevik H., Isinkaralar K., Saleh E. A. A. Variation of heavy metal accumulation in certain landscaping plants due to traffic density // Environment, Development and Sustainability. 2020. V. 22(3). P. 2385–2398.
34. Savas D. S., Sevik H., Isinkaralar K., Turkyilmaz A., Cetin M. The potential of using // *Cedrus atlantica* as a biomonitor in the concentrations of Cr and Mn // Environ Sci Pollut Res. 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-14826-1
35. Sevik H., Cetin M. Effects of water stress on seed germination for select landscape plants // Polish Journal of Environmental Studies. 2015. V. 24(2). P. 689–693.
36. Canturk U., Kulac S. The effects of climate change scenarios on *Tilia* ssp. in Turkey // Environmental Monitoring and Assessment. 2021. DOI: 10.1007/s10661-021-09546-5
37. Koç İ., Nzokou P. Do Various Conifers Respond Differently to Water Stress? A Comparative Study of White Pine, Concolor and Balsam Fir. // Kastamonu University Journal of Forestry Faculty. 2022. V. 22(1). P. 1–16.
38. Yildiz D., Nzokou P., Deligoz A., Koc I., Genc M. Chemical and physiological responses of four Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.) provenances to cold temperature treatments // European journal of forest research. 2014. V. 133(5). P. 809–818.
39. Sevik H., Karaca U. Determining the resistances of some plant species to frost stress through ion leakage method // Feb-fresenius environmental bulletin. 2016. V. 25(8). P. 2745–2750.
40. Cesur A., Zeren Cetin I., Cetin M., Sevik H., Ozel H. B. The Use of *Cupressus arizonica* as a Biomonitor of Li, Fe, and Cr Pollution in Kastamonu // Water Air Soil Pollut. 2022. V. 233(193). DOI: 10.1007/s11270-022-05667-w
41. Key K., Kulaç Ş. Proof of concept to characterize historical heavy metal concentrations from annual rings of *Corylus colurna*: determining the changes of Pb, Cr, and Zn concentrations in atmosphere in 180 years in North Turkey // Air Quality, Atmosphere & Health. 2022. P. 1–11.
42. Cetin M., Jawed A. A. Variation of Ba concentrations in some plants grown in Pakistan depending on traffic density // Biomass Conversion and Biorefinery. 2022. DOI: 10.1007/s13399-022-02334-2

43. Cetin M., Sevik H., Yigit N., Ozel H. B., Aricak B., Varol T. The variable of leaf micromorphological characters on grown in distinct climate conditions in some landscape plants // Fresenius Environmental Bulletin. 2018. V. 27(5). P. 3206–3211.
44. Cetin M., Sevik H., Yiğit N. Climate type-related changes in the leaf micromorphological characters of certain landscape plants // Environmental monitoring and assessment. 2018. V. 190(7). DOI: 10.1007/s10661-018-6783-3
45. Sevik H., Cetin M., Ozturk A., Ozel H. B., Pinar B. Changes in Pb, Cr and Cu concentrations in some bioindicators depending on traffic density on the basis of species and organs // Applied Ecology and Environmental Research. 2019. V. 17(6). P. 12843–12857.
46. Sevik H., Ozel H. B., Cetin M., Özel H. U., Erdem T. Determination of changes in heavy metal accumulation depending on plant species, plant organism, and traffic density in some landscape plants // Air Quality, Atmosphere & Health. 2019. V. 12(2). P. 189–195.

UDC 57.049:630

REHABILITATION OF BURNED FOREST AREAS IN TÜRKİYE: NATURAL VEGETATION DYNAMICS AND REHABILITATION PROCESS

Kalender A., Yavruoğlu S., Oktan E., Yücesan Z.

*Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Trabzon, Turkey
aysenkalender1@gmail.com*

Key words: *Forest fire, Turkish pine, Silviculture, Rehabilitation*

Abstract: *Unconscious and unplanned use, uncontrolled grazing, clearing forest, urbanization, forest fires and industrialization are the main effects that cause forest degradation in Türkiye. Most of the forest fires (90%) in Türkiye are not natural fires, but are caused by human influence. In this regard, it is possible to say that anthropogenic effects cause deterioration in forest structure and decrease in forest yield. Forest areas in the Mediterranean and the Aegean regions, which are fire sensitive ecological regions in Türkiye, constitute the forest areas most affected by forest fires. In addition, Turkish pine (*Pinus brutia* Ten.) constitutes the most important tree species of forest areas in these ecoregions. For this reason, it is necessary to correctly understand the vegetation dynamics of the Turkish pine forests for the silvicultural interventions to be applied post fire process. In order to eliminate the effects of deforestation caused by forest fires as soon as possible, it is necessary to plan short- and long-term rehabilitation works for all tree species in fire sensitive ecological regions, especially in Turkish pine forests. In this report, main reasons of forest fires in Türkiye in recent years were examined and together with the measures necessary to prevent forest fires, silvicultural interventions that could be applied before and after the fire in forest fire sensitive ecological regions for reducing the negative forest fire effects were evaluated.*

Introduction. In every period of human history, trees; used to meet their basic needs and this relationship has continued to increase in every period of history [1]. Forests have been destroyed due to excessive and irregular use by people's settled life [2]. The rapid increase in the population from past to present has increased the pressure on forests even more. This pressure has led to a continuous decrease in the expected yield of forests. During this period, urbanization, unconscious and unplanned use, uncontrolled grazing and forest fires brought with it by the industrial revolution adversely affected the ecological balance and led to deterioration in the forest ecosystem [3]. As a matter of fact, forest fires lead the destruction of forests in Turkey [4]. Most of the forest fires are not natural fires but are caused by human influence [5–9]. Forest fires caused by negligence and carelessness also have an important place [10]. For this reason, human beings have used fire as a tool and have increased the frequency of fires.

Small or large-scale forest fires have continued since the very ancient times of history in the Mediterranean climate, where most of the forests in Turkey are distributed, and in regions where

climates similar to the Mediterranean climate prevail [11]. In addition to the plant species and climatic characteristics in these regions, the mountainous topography, the settlements in and around the forest areas and the population density increase the probability of forest fires [12]. When the statistics are examined, it is seen that only 20970.94 hectares of forest area in Turkey has been destroyed due to fires in 2020 [13]. Considering the annual average number of fires in this period, it was determined that there were approximately 3399 forest fires (fig. 1) [10].

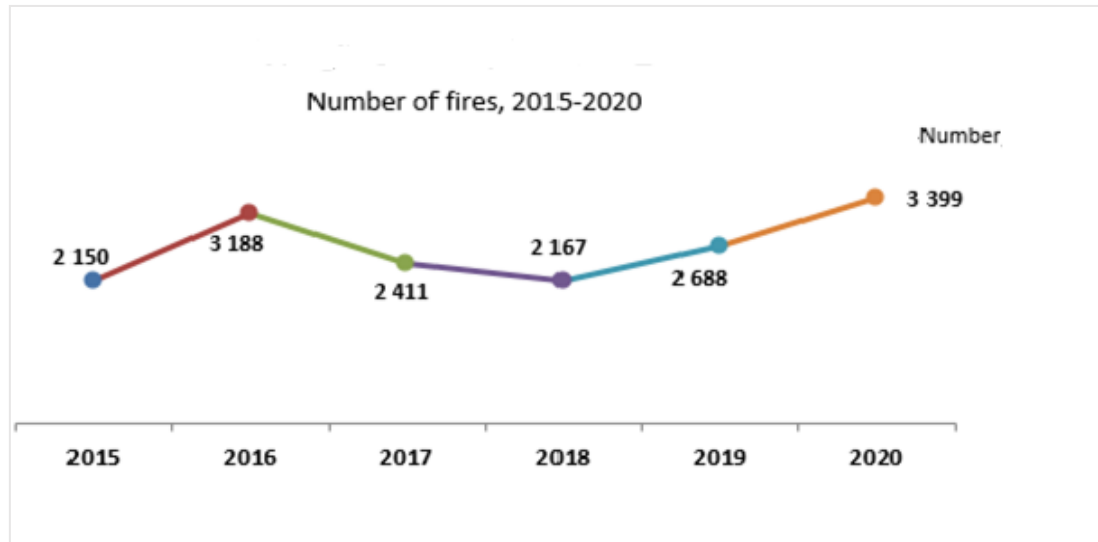


Figure 1 – Number of fires between 2015–2020 in Turkey [10]

Based on the statistics made by the General Directorate of Forestry, it is seen that the forests of Turkey in the Mediterranean climate zone are faced with the threat of fire. The characteristic plant communities of these regions have adapted to the fire. Having a fire can also mean ecosystem renewal and increased resilience. However, frequent fires have a significant impact on ecological life. Considering its socio-economic effects, it causes great harm [13]. As a matter of fact, with the global warming and the sudden climate changes experienced in recent years, it has come to the agenda that forest fire risk areas will increase in Turkey [14]. Turkish pine (*Pinus brutia* Ten.) forests, especially in places where the Mediterranean climate is dominant, constitute the ecosystems most affected by these fires [15]. For this reason, it is necessary to correctly understand and perceive the vegetation dynamics of the Turkish pine forests for the silvicultural interventions to be applied after the fire.

Vegetation Dynamics in Turkish pine (*Pinus brutia* Ten.) After Fire. The Mediterranean region has Mediterranean climate types with a warm and rainy winter and a dry and hot summer [16]. Especially the summer drought has been an important factor shaping the vegetation and plant characters in this region [17]. Especially in the Mediterranean Basin, vegetation is frequently changed by the effects of factors such as uncontrolled grazing, fires and drought. However, it is considered to be the region most adversely affected by human activities in the world. Indeed, changes in land use over the past century have changed local fire regimes. This situation has brought about the differentiations in vegetation structure and natural succession processes. As a result of all these, the Mediterranean basin has created a unique vegetation [18]. Turkish pine is the type that grows best in areas where Mediterranean climate conditions prevail and has a high biomass yield [19].

Turkish pine forms associations especially with maquis species in the Mediterranean climate region. During the forest dynamics in this region, after the fire, which is the main factor in the formation of new generations, Turkish pine and maquis may cover the areas or develop together, depending on the conditions [3]. It can be thought that this situation creates a competition and inhibition effect that may prevent the growth of the pine youth by resettling in the area after the fire. When the vegetation dynamics after the fire are examined, according to the most accepted view,

auto succession (direct structuring) is observed in the Turkish pine species after the fire. This provides rapid structuring of vegetation [20]. However, post-fire vegetation dynamics can develop in different ways depending on fire recurrence, fire severity and vegetation type before fire [21, 22]. A large number of models and hypotheses have been produced regarding the post-fire vegetation dynamics. According to the generally accepted model; In this restructuring process, many of the species that were present in the area just before the fire and rejuvenated by obligatory seed and shoot come to the area quickly in the first year after the fire [23]. There are many studies carried out in this context in Turkish pine and Aleppo pine ecosystems.

Turkish pine and Aleppo pine are biologically and ecologically close to each other [24]. For this reason, it can be thought that the data produced on the post-fire vegetation dynamics of Aleppo pine may also be largely valid for Turkish pine. According to Arianoutsou and Ne'eman (2000), they state that the post-fire change in Aleppo pine forests took place in six periods.

1) The first phase includes the first year after the fire. Thanks to shoot rejuvenation or germination from seed, many of the species that were present in the area just before the fire are able to come back to the area.

2) The second stage is the period between the 2nd and 4th years. The distinctive feature of this period is the increase in the number of species with the arrival of annual herbaceous plants with invasive character. These opportunistic plants are not formed from the soil seed bank as in the previous stage, but from seeds coming from outside through the wind or animals.

3) The third stage is the period between the 5th and 7th years. During this period, the laden does not allow more germination of densely distributed invasive annual plants and becomes dominant in the plant community.

4) In the next stage, with the decrease in the dominance of the laden, gaps are formed in the enclosure. The resulting voids allow the light to penetrate the soil surface. Thus, some annual herbaceous plants have the opportunity to germinate again. This process can be accepted as the reason for the increase in diversity in the 4th period. This period covers the time between the ages of 8 and 15.

5) The fifth stage covers the time period until the formation of the young stand after the 15th year. At this stage, the trees grow in height and form a closet and there is an increase in the abundance of tall bushes.

6) With the formation of the mature stand, the last stage, the 6th stage, is passed. Diversity in this period is directly related to stand inclusion, but is generally higher than the diversity in the 5th period. It is also the only period in which the Asteraceae family became evident as the richest family.

Since this model has the potential to guide conservation biology and site management studies, the more accurately they predict vegetation dynamics, the more successful conservation or management will be.

In addition to the ability of the Turkish pine species to adapt to fire, it is a very conservative species in its post-fire development. If there is no fire, young people can come to the area on their own. However, fire is an important silvicultural tool that ensures success in Turkish pine rejuvenation.

Causes of Forest Fires in Turkey. Turkish pine and scrub elements in Turkish pine ecosystems can burn easily [15]. This situation greatly increases the possibility of burning Turkish pine forest ecosystems. Studies have shown that climatological/meteorological conditions are highly effective on the formation, development and spread of large forest fires in Turkish pine areas [5, 25–27]. Among the most important achievements achieved in these studies is the increase in large forest fires during periods when dry conditions are effective. The fact that the fire regimes are seen frequently in the Turkish pine forests is under the influence of the Mediterranean climate. The climatic characteristics of Mediterranean type ecosystems are stated as follows [5, 2].

1) It has mild winters (cold and rainy) and hot-dry summers.

2) The Mediterranean climate, which is generally highly variable, has a temperate sea air throughout the year.

3) It is represented by long-term droughts and short-term heavy rains.

More than 90 % of the fires in Turkish pine forests are caused by humans [28]. With the increase in population in recent years, fires in Turkish pine forests increase forest fires due to reasons such as carelessness, negligence and intent (fig. 2). The main factors causing fires as a result of care and negligence are stubble burning and fires that break out of control during the cleaning of the water [29]. As a result, most of the forests in Turkey are destroyed. Measures taken against fire consist of reducing the risk of fire and extinguishing it after it breaks out or minimizing the damage caused by fire [30]. The measures to be taken include practices aimed at reducing the number of fires that will occur. In this case, the human factor should be emphasized in taking protective measures. The following steps can be taken to minimize the pressure on forests [31].

- 1) To provide public education and motivation about forest fires.
- 2) Regulating public forest use.
- 3) Legal regulations.

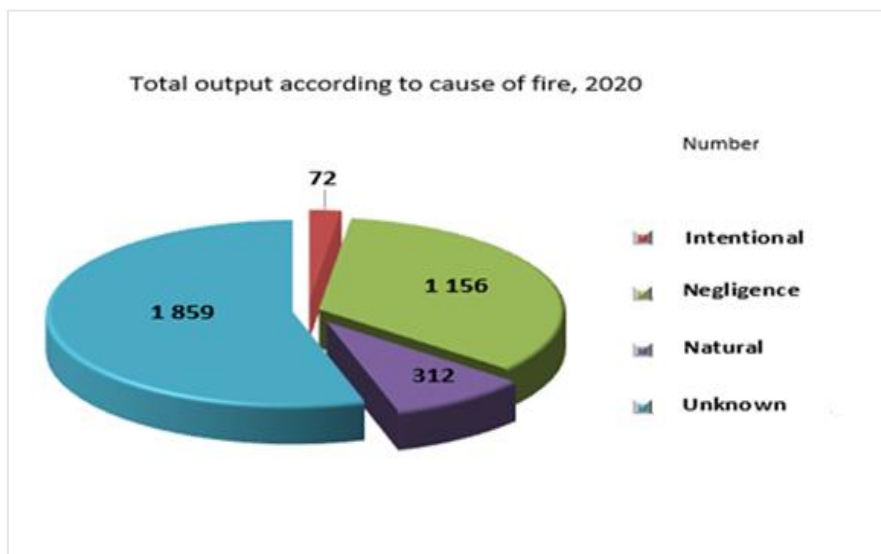


Figure 2 – Number of fires in Turkey in 2020 according to their causes [10]

Today, as a result of the increase in forest recreation, an increase in forest fires occurs. In particular, the increase in demand for tourism and recreational activities (picnics, etc.) and the uncontrolled fires lit in this context, the cigarette butts thrown and the unauthorized picnicking in the forests outside the recreation areas are other factors that are effective in this regard. While 59,1 % of the experts found the recreational areas for the entertainment and resting purposes of the public to be sufficient, the experts, who stated that they were insufficient, suggested that these areas should be increased by evaluating the fire risk in terms of both site selection and infrastructure equipment [32]. Another important issue is the precautions to be taken against forest fires. It is obligatory to comply with silvicultural measures in the protection and operation of stands in order to reduce the dangers that may occur due to the presence of combustible material in a fire, as well as in the absence of fire. These:

- 1) To eliminate the danger of combustible materials and to ensure the maintenance of forests
- 2) Fire-stop zones, windbreak facility and stream vegetation should be protected in fire-sensitive areas.
- 3) «Fire safety roads and lanes» should be planned and facilities that prevent the spread of bare or covered fire should be established.
- 4) In order to reduce the risk of forest fires, fire-resistant species should be used in afforestation.

Rehabilitation Studies in Burning Turkish pine Forests. When an observation is made about an area that has suffered a fire, it is understood that the area is quickly re-covered by plants

and this vegetation, which has formed over time, shows changes in terms of both floristic and structural (stratification and closure) characteristics. As a matter of fact, Turkish pine is a tree that has a feature of protection against fire and has the ability to rejuvenate quickly after a fire. However, extensive research is needed to determine the extent of this formation and change that took place after the fire and within the framework of which dynamics it took place. In particular, the human being as an anthropogenic factor in the ecosystem can cause restructuring to take place in different ways. For this reason, the resulting picture must be framed in the most correct way in order to carry out the rehabilitation works after the fire correctly [8]. Three points should be paid attention to in fire areas. These:

1) Depending on the severity of the burning, the level of damage should be determined and the vitality of the base soil should be checked.

2) It is necessary to prevent the invasion of foreign species coming to the area after the fire, along with organic matter supplementation and seed and sapling support from local species.

3) Especially in areas with high slopes, terracing and embankments are made with green or dry tree and bush branches so that the organic soil layer, ash and seeds remaining from the fire are not washed away by the rains following the fires and are not blown away by the wind and erosion channels are not formed. The levees, which are established with green and lively branches, will keep the organic materials flowing with the water and the seeds, while protecting the organic soil layer, they will enrich the plant composition by rooting themselves.

Suggestions. Based on the floristic, structural and ecological characteristics of the plant communities that emerged depending on the time after the fire, it may be possible to make the following evaluations regarding the vegetation dynamics before and after the fire.

1) Vegetation maps of fire-sensitive areas should be made and an inventory of endemic species in the region should be revealed.

2) Fire safety roads and lanes should be increased, and their maintenance should be done in certain periods.

3) In places where the fire risk is high, zones should be established to slow down the fire from broad-leaved species that burn later.

4) More attention should be paid to cleaning to reduce the flammable material on the main roadsides.

5) It has been designed at the stand level, taking into account the topics such as the selection of natural and artificial regeneration areas after the fire, the selection of species and the establishment of mixed stands, the maintenance of forests, the creation of live (green) fire-stopping zones, the establishment of windbreak, the protection of stream vegetation and the establishment of daily use areas is a planning.

6) The presence of these two family members, which are important in post-fire areas, in the seed bank and taking their place in fire-prone vegetations requires that they are not affected by fire factors or be positively affected.

7) In Turkey, where more than half of its forests are identical with fires, there is a need for new approaches and methods to take forest fires into account during the preparation and implementation of plans. In this context, the framework that includes all kinds of protection activities that can ensure the use that will provide the highest benefit from forest areas and such benefit should be shifted to a new framework understanding that includes a planning and utilization approach in harmony with the functioning and order in nature.

8) In order to reduce the effects of fires, forest maintenance (silvicultural intervention), which is one of the preventive activities in the fight against forest fires and must be continuous, should be carried out without neglecting it.

In order for the silvicultural interventions to be carried out correctly after the fire, the resulting picture must be framed in the most accurate way. This is only the type of vegetation before the fire, fire recurrence, fire severity, type of fire, topographic features, etc. It will be possible with models that will be created based on the information. In this way, before and after a potential fire, silvicultural interventions can be determined to a large extent.

References

1. Gülođlu Y. The Establishment of Forest Ownership and the Legal Regulations on the Forests Until the Tanzimat (Reform) Period in the Ottoman State, Kastamonu University // Journal of the Faculty of Forestry. 2010. P. 180–194.
2. Boydak M., alıřkan S. Afforestation. Istanbul: İ.Ü. Faculty of Forestry Publication, 2014.
3. Boydak M. Globalization and Nature-Forest Destruction with Globalization. Will we make peace or fi.ght with nature? // New Perspective Quarterly (NPQ). Istanbul: Kesıřık Publishing and Production Services, alı Graphics and Matbaacılık A. Ő., 2004. V. 6(4). P. 30–34.
4. İnan S. ve Aydın İ. Z. Assesment of Forest Fires in Turkey in the Context of National Forestry Program // 4th International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences. Samsun, Turkey, 2019. V. 4(6). P. 548–554.
5. Altan G., Trkeř M. Hydroclimatologic Characteristics of the Forest Fires Occurred at the anakale District and Relationship with Climate Variations // İzmir Aegean Geographical Journal. 2011. V. 20(2). P. 1–25.
6. Avcı M., Boz K. Fire Problem, Distribution of Fires and Evaluation of Major Fires in Mersin-Glnar Forests // Turkish Journal of Forestry. 2017. V. 18(2). P. 160–170.
7. Kavgacı A., Bařaran S., Bařaran M. A. 2010. Temporal and Structural Change of Vegetation After Fire in Turkish Pine Forests. TUBITAK–TOVAG–Slovenia Project final report No. 106O487. 78 p.
8. Kavgacı A., Tavřanođlu . Post-Fire Vegetation Dynamics in Mediterranean Type Ecosystems // Sleyman Demirel University Journal of Forestry Faculty. Series: A. Iss. 2. 2010. P. 149–166.
9. Yılmaz E. A Review of the Rehabilitation of Burned Forest Areas and the Establishment of Forest with Fire-Resistant Species Project (YARDOP) // Journal of Forestry Research. 2016. P. 14–28.
10. OGM, 2020. Distribution of Forest Fire Areas by Province, General Directorate of Forestry, Forest Fire Fighting Department, Ministry of Agriculture and Forestry, Ankara, Turkey.
11. Ko S. N. Evaluation of Renovation Works After Forest Fires in terms of Landscape Architecture: The Case of Antalya Serik-Tađıl Region: Master Thesis / Ankara University Institute of Science. Ankara, 2010.
12. Rehabilitation of Burnt Areas and Fire Resistant Forests Project Report. Antalya: OGM publication, 2008. 112 p.
13. Duran C. Spatial Analysis According to Start Point of Forest Fires in Mersin. Province, Turkey (2001–2013), General Directorate of Forestry // Journal of Forestry Research. 2014. P. 38–49.
14. De Rigo D., Liberta G., Durrant T. H., Artes Vivancos T., San-Miguel-Ayanz J. Forest fire danger extremes in Europe under climate change: Variability and uncertainty. EUR 28926 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017. DOI: 10.2760/13180, JRC108974.
15. Bilgili E., Baysal İ., Durmaz B. D., Sađlam B., Kk . Evaluation of Big Forest Fires Break Out in Turkey 2008 // III. National Black Sea Forestry Congress, 20–22 May 2010. 2010. V. III. P. 1270–1279.
16. Suc J.-P. Origin and evolution of the Mediterranean vegetation and climate in Europe // Nature. 1984. V. 307. P. 429–432. DOI: 10.1038/307429a0
17. Naveh Z., Dan J. The Human Degradation of Mediterranean Landscape in Israel // Mediterranean Type Ecosystems: Origin and Structure. Berlin; Heidelberg; New York: Springer, 1973. P. 373–390.
18. Naveh Z. The Evolutionary Significance of Fire in The Mediterranean Region // Vegetatio. 1975. V. 29(3). P. 199–208.
19. Atalay İ., Sezer İ., ukur H. Segregation of Turkish pine (*Pinus brutia* Ten.) forests in terms of ecological characteristics and seed transplant // Ministry of Forestry Forest Trees and Seeds Improvement Research Directorate. Ankara. 1998. No. 6.
20. Trabaud L. The Role of Fire in Mediterranean-Type Ecosystems. New York: Springer, 1994. 201 p.

21. Pausas J. G. Response of Plant Functional Types To Changes in the Fire Regime in Mediterranean Ecosystems: A Simulation Approach // *Journal of Vegetation Science*. 1999. V. 10(5). P. 717–722.
22. Pausas J. G., Llovet J., Rodrigo A., Vallejo R. Are Wildfires a Disaster in the Mediterranean basin?—A review // *International Journal of Wildland Fire*. 2008. V. 17(6). P. 713–723.
23. Arianoutsou M., Ne'eman G. Post-Fire Regeneration of Natural *Pinus halepensis* Forests in the East Mediterranean Basin // *Ecology, Biogeography and Management Of Pinus Halepensis and P. Brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin* / G. Ne'eman, L. Trabaud (Eds.). Bacjhuys Publishers, 2000. P. 269–289.
24. Quézel P. Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. V. 117. Paris: Ibis Press, 2000. 117 p.
25. Altan G. Climatological and Meteorological Analysis of Major Forest Fires in Muğla and Çanakkale Provinces in the Period of 2000–2008: Master Thesis / Institute of Social Sciences. Çanakkale, 2011. 364 p.
26. Türkeş M. 'Hydroclimatological and Time Series Analysis of Variations in Precipitation and Aridity Index Series of the Akhisar and Manisa Districts and Geographical Synthesis of their Consequences With Respect to Desertification // *Journal of Geographical Sciences*. 2011. V. 9(1). P. 79–99.
27. Sütgibi S. The Analysis of Large Forest Fires in Izmir and Manisa Provinces, Aegean // *Journal of Geography*. 2013. V. 22(1). P. 45–55.
28. Parlak M. The determination of temporal changes in the some physical and chemical properties of soil due to forest fire in Canakkale (Eceabat) // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2018. V. 6(1). P. 29–38.
29. Bilgili E. Stand development and fire behavior // *Forest Ecology and Management*. 2003. V. 179(1–3). P. 333–339.
30. Güney C., Özkan K., Şentürk Ö. Geographical distribution modeling of ignition risk in forests of Antalya-Manavgat region // *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*. 2016. V. 66(2). P. 459–470.
31. Forestry Research Institute, 2001. Turkish pine Handbook, Various Publications Series: 52, April 2001.
32. Avcı M., Korkmaz M. Forest Fire Problem in Turkey: Evaluations on Some Current Issues // *Turkish Journal of Forestry*. 2021. V. 22(3). P. 229–240.

CAN CLONE INDIVIDUALS FROM MONUMENTAL TREES BE USED IN DEGRADED AREAS?

¹Oktan E., ²Atar N.

¹Forestry Faculty, Karadeniz Technical University, Trabzon, TR-61080, Turkey

²Forestry Faculty, Artvin Çoruh University, Artvin, TR-08100, Turkey
oktan@ktu.edu.tr

Key words: Monumental tree, Clone, Climate change, Degraded land, Adaptation.

Abstract: A disturbed ecosystem refers to a supernatural system that is formed under natural or human-induced pressures. Therefore, degraded forest lands are characterized by a lack of forest vegetation. As indicators of a degraded ecosystem can be shown decrease in biodiversity and productivity, loss of value in soil structure and micro-environment. While these decreases and losses in nature increase the severity of climate change, climate change also increases the speed and magnitude of many continuing land degradation processes. For this purpose, afforestation and rehabilitation are the most reliable methods to restore land productivity in such areas. The adaptation of the offspring of monumental trees to degraded areas on Earth, which provides numerous beneficial ecosystem services necessary for the development of all life forms, will be discussed.

The most important creatures that adapt to the changing and developing climate in the world are the monumental trees in the forests. It has different mechanisms that improve land efficiency and productivity by adapting to the extreme or degraded conditions of the area it is in. Mature forests and trees are important tools in the fight against desertification, they are in many cases the only creatures standing against the unstoppable advance of the desert. In addition, mature trees store much more carbon than small trees, acting as a carbon sink and helping to reduce global warming. In this context, it should be evaluated that every young individual who has been raised in accordance with the principles of clonal selection from individuals with monumental tree characteristics that have survived with their adaptation to the changing climate and soil conditions in the regions where they live for many years, can be resistant to climate change. They are singled out by age, their small numbers and restricted distribution, regardless of the priority of its species, being confers as guarantors of the provision of seeds and vegetative material very suitable, with which contribute to natural forest regeneration. In this context, it seems that stands consisting of superior individuals in terms of genetic characteristics can be obtained by using materials (genetic reserves) improved by rapid propagation methods in order to restore the destroyed areas. On the other hand, although there are different opinions, it is the issue that this genetic power of monumental trees can be dependent on the conditions in which they live. Among the same two monumental trees in nature, the largest may have the best genetics, or have the best soil, the most sunlight, or the least competition. «Would the same strengths that one tree had also contribute to being able to grow up on, say, an eroded hillside?» The answer to the question is debatable. It is necessary immediately to clone and reproduce these trees, which are few in the world, before they disappear, and to use these clones to restore the destroyed forests. Because it is possible for plant gene sources to disappear under natural disasters that may occur due to various reasons.

Introduction. Monumental trees are among the biggest and most long-lived organisms on earth [1, 2]. Monumental trees are some of the most iconic biota on earth and are integral parts of many terrestrial ecosystems including those in tropical, temperate and boreal forests, deserts, savannas, agro-ecological areas, and urban environments [3]. These unique trees less than the 1 % of forest population provide a great genetic and biological diversity which is essential in the global population of a forest, and they reflect a wide range of historical environmental conditions that cover hundreds or even thousands of years [4]. Most of the genes of these trees are the most resistant to environmental conditions. By reconstructing the past climate and environment, these trees have pre-

served and continue to exist even in long contrasting climatic phases (Medieval Warm Period, Little Ice Age, global warming) [5]. The longevity, size, and spatial distribution of large old trees are dependent on evolutionary origins [6], long-term environmental changes [7], and historical decay regimes [8]. Among these trees, Monument Great Basin Bristlecone pines grew in rocky harsh field conditions [9], while Giant sequoia (*Sequoiadendron giganteum* (Lindl.) J. Buchholz) reached monumental dimensions in fertile field conditions [10]. Thus, the two most famous of oldsters, whose natural ranges are separated by just a few miles, follow divergent strategies for living a long time. These trees also provide significant advantages in a rapidly changing world and plant life history, given their adaptations for stability and longevity, their specific environment and life history (Salguero-Gómez, 2017). The ecological value of a monumental tree increases with its age [11, 12]. For this reason, trees have developed mechanisms to achieve longevity and cope with the negative effects of aging. In addition, trees have many behavioral and structural features that make them live longer than other classes of organisms [1]. Slow growth, regeneration potential, a mosaic structure, phenotypic plasticity, and tolerance and endurance (resistance) to environmental stress are key factors in explaining the extreme longevity of millennial trees, allowing them to survive longer against adverse conditions [13]. Monument trees are the last remnant of natural vegetation [14]. The presence of monumental trees and their accompanying vegetation are valuable as they provide a broad knowledge of habitat productivity and natural development trends [15]. Centennial or millennial trees that can survive long-term are vital to maintaining the resilience and adaptive capacity of forests in an ever-changing environment.

In many ecosystems globally, large old trees occur as single, spatially isolated individual trees or as small groups of scattered trees and can therefore be considered to be small natural features [16–18]. Despite being constrained spatially, individual large old trees and small stands of such trees nevertheless play numerous critical ecological roles [19, 3]. These include roles in ecosystem processes such as hydrological regimes, carbon storage and nutrient cycling, micro- and meso-climatic regimes, and providing habitat for an enormous array of plant and animal species [3]. Therefore, they are biological heritages that represent the biological and ecological continuity of genetic resources and habitats for various organisms [20, 21]. They are in harmony with the ecosystem in which they live and have features that help control soil erosion, such as deep rooting or low water use. They are singled out by age, their small numbers and restricted distribution, regardless of the priority of its species, being confers as guarantors of the provision of seeds and vegetative material very suitable, with which contribute to natural forest regeneration. Monumental trees also play critical roles in carbon storage and therefore in maintaining forest carbon stocks [16, 22]. Indeed, large old trees are a small proportion of the number of stems in a stand but large contributor to carbon biomass [23, 24]. In some forest types, the largest and oldest trees continue to accumulate large amounts of biomass, even with the rottenest individual [25, 26].

It is estimated that more than 2000 million hectares of the world's forest have been degraded [27, 28]. Destruction of forests and woodlands is a major problem in many parts of the world, reducing the potential for these ecosystems to continue to provide a range of goods and services of both local and global importance. A disturbed ecosystem refers to a supernatural system that is formed under natural or human-induced pressures. Therefore, degraded forest lands are characterized by a lack of forest vegetation. As indicators of a degraded ecosystem; biodiversity and decreased productivity; poor soil structure (including soil compaction, waterlogging, salinization or other physical and chemical limitations); soil erosion; recurrent fire and increased susceptibility to fire; fierce competition, especially from grasses and ferns; and a lack of suitable micro-settlement for seed germination or establishment [29, 30]. The primary causes of forest degradation are unsustainable exploitation wildfires, overgrazing, and the spread of invasive species or pests [31–33]. While continuing land degradation is driving climate change through greenhouse gas emissions and reduced carbon uptake rates, climate change is also increasing the speed and magnitude of many ongoing land degradation processes, creating new patterns of degradation (permafrost thaw or biome shifts). Changes in vegetation and its distribution due to climate change increase the risk of land degradation in some areas, creating a two-way negative impact. It is urgently necessary to take

advantage of natural recovery mechanisms to prevent irreversible degradation of the world and to preserve the multiple values of productive land [34]. In the process of rehabilitation, the conservation of plant diversity and ecosystems both in situ and ex-situ, and rehabilitation of degraded lands is ecologically significant [35].

In the study, the basis of the strategy of protecting monument trees as a genetic resource and using them in degraded areas, their resistance to environmental changes, their contribution to biological diversity, their ecological and biological values and contributions, their small amount in forests and their continuity, etc. based on reasons. For this reason, our aim in this study is to protect these unique assets and to reveal the benefits of clones obtained from monumental trees in the improvement of degraded areas.

How to Obtain Clones from Monument Trees? Today, a large part of forestry work consists of afforestation. In afforestation studies, unlike the classical forestry approach, superior seedlings produced in mass by vegetative methods are used in order to protect genetic reserves and increase them. For this purpose, various biotechnological methods are used to maintain genetic diversity. Ex-situ conservation, which is one of them, is the strategy of taking the species under protection outside its natural habitat [36]. Vegetative propagation, which is an ex-situ conservation method, is a tool for transferring the superior characteristics of monumental trees and species to future generations [37]. Two techniques can be mentioned in vegetative propagation, such as cuttings (vegetative propagation) and in vitro propagation (micro vegetative propagation) [38]. The individuals obtained have exactly the same genetic characteristics as the parent plant. These individuals are called clones. The cutting method is the technique of creating a new plant with the same genetic characteristics as a stem, root or leaf piece, which is taken from plants with superior genetic characteristics and called cuttings. Plant tissue culture technique, on the other hand, is used to grow isolated plant cells, tissues and organs under aseptic conditions (in vitro) to regenerate and propagate whole plants [39]. Ex-situ conservation is very important for the conservation and reintroduction of monumental trees with superior genetic characteristics under global and environmental change [40]. In recent years, plant tissue culture methods have been used successfully in micropropagation of forest trees in a short time [41, 42]. Plant tissue culture performed under aseptic conditions has important application areas such as research in plant biotechnology and the development of improved products [43]. Besides the protection, reproduction and genetic improvement of plants, it also plays an important role in restoration ecology and restoration of degraded habitats [44]. Indeed, in vitro cultures of cells, tissues and organs offer unique opportunities for the development and improvement of trees [45].

Recent advances in micropropagation of forest tree species have created great opportunities for mass propagation of selected valuable genotypes of forest trees. Old trees are generally preferred for cloning. Because a person can select trees that have existed long enough to show their superior values in their field [46, 47].

Studies show that many problems are encountered in the production of individuals with monumental tree characteristics. The capacity of the trees to be propagated vegetatively decreases as the age progresses. The vegetative propagation capacity of old trees is generally low [48]. A successful micropropagation technique is greatly influenced by the genotype and chronological/physiological age of the donor plant [49]. It has been revealed that as the age of the source tree from which the cuttings are taken increases, the rooting rate decreases and the health of the cutting decreases [50]. A young tree takes root more quickly than those taken from old and mature trees. At the same time, micropropagation of woody species is often difficult because the vegetative propagation capacity of their tissues is reduced [51]. Young tissues are more sensitive to tissue culture techniques. But in the adult phase, the tissues become stubborn. In addition, trees can only be evaluated for traits desired in the adult phase.

Generally, initiation of culture and in vitro propagation in older trees is difficult. Mainly, tissue stubbornness, contamination increases with age, and the establishment of suitable culture media becomes more important. Young non lignified tissues show better reaction in in vitro culture. Aging of tissues and organs reduces the capacity of cell division and in vitro regeneration. Mature explants

lose their morphogenetic potential, which reduces their plasticity and cell differentiation capacity due to their tissue nature [52]. This can be explained by the fact that at a mature stage genes are expressed with different amounts of proteins compared to younger tissues [53]. There is also evidence that cytokinins are reduced during tree maturation [54]. Thus, it reduces cell division and bud induction and accelerates the aging of plant tissues.

The mature explant always has major effects on the growth and morphogenesis of plant tissues and organs in culture. Zygotic embryos or fragments from germinated seedlings are reliable explants for embryogenesis or shoot organogenesis. Adult origin explants are generally much less susceptible. When cloning trees of various ages, it is important to determine which part of the individual contains the most susceptible cells and at what time of year these cells are most susceptible. This allows the selection of the most suitable explants [55]. Therefore, the success of cloning at monument tree level with the vegetative production method to be used should only be demonstrated by trying more than one combination of the methods used.

In many studies, it has been emphasized that the rooting of cuttings changes negatively depending on age. In this context [56], the decrease in rooting rate as the ortet ages; They attribute it to the decrease in auxin content with age, the increase in the formation of woody tissue that slows down or completely prevents the morphological change, the increase in structures such as resin canal and sclerenchyma cells that reduce the formation of parenchymal tissues, the decrease in the response to rooting enhancers, the increase in the production of anti-rooting substances and the physiological senility.

As a result of the preliminary studies on monumental trees, there are not enough studies on the production of these trees, but many problems are encountered. This shows that research and development studies in propagation methods should be continued in order to take full advantage of the cultivation opportunities of these trees. The old age factor, which is one of the internal factors affecting rooting, makes the tree sensitive to many physiological and external factors. In a study conducted on the Monument Yew tree, the rooting of the cuttings is very low and the viability of the rooted cuttings obtained is at low levels. It was concluded that the main reason for this situation may be due to the very high age of the tree [37]. However, even 3–6 % success achieved for monumental trees is a very important gain. Our world has faced many changes in climatic conditions in the last 4000 years. At the same time, these trees have survived by adapting to the changing climate and soil conditions in the regions where they live for many years. For this reason, without losing time, it should be evaluated that young individuals who are grown according to the principles of clonal selection from individuals with monumental tree characteristics can also be resistant to climate change. Because both the current observed climate change and the possible climate change predictions that may arise in the future make it difficult for us to reach precise information about a deterioration in the world climate system and where this deterioration will take us. The extent to which these trees can tolerate sudden climate change is of vital global concern. At the same time, the destruction of trees is irreversible. For this reason, it is absolutely necessary to clone monumental trees and grow them in suitable environments. In this way, the genetic and physiological heritage of the monumental trees, which form a unique habitat for nature, will be preserved.

How Are Clones Moved to the Field? Monument trees are living witnesses that have survived centuries. The environmental niches and ecological environments these individuals have experienced in the past may be different from those now. These trees may have completed a part of their life that we do not know about here and have disappeared [57]. In an ever-changing environment, the use of clones from these trees is also vital to maintaining the long-term adaptive capacity of forests. The transportation of clones of these trees to ecosystems that deteriorate for various reasons in the world ensures both the rehabilitation of these areas and the protection of clones obtained from various species. Because using clones of monumental trees, which provide numerous beneficial ecosystem services for the development of all life forms, revealing the adaptation of these clones to degraded areas in the world may be an opportunity for the recovery of these areas. A single monument to be erected in these areas creates an ecosystem by fulfilling more than one ecological function. The low initial viability energies observed in clones obtained from monumental trees

require the species to be maintained in the first years. Therefore, 2+1 or 2+2 year old clone individuals that have become suitable for planting can be transported to degraded areas at the appropriate time and used as suitable material for the improvement of these areas. Therefore, 2+1 or 2+2 year old clone individuals that have become suitable for planting can be transported to degraded areas at the appropriate time and used as suitable material for the improvement of these areas.

Discussion and recommendations. Degraded forests are forests that have lost their productivity, biological diversity and old product and service production to some extent [58]. In these areas, it is aimed to carry out rehabilitation applications in order to restore the old yield and structure of the unproductive forest. The habitat in these areas becomes unsuitable for some of the old natural species over time and the recovery of biodiversity is hindered. There are many reasons for deforestation in the world [59, 60]. Choosing the right and appropriate species is the most important factor for the success of the rehabilitation of the ecosystem, which is deteriorated for various reasons. The degree of degradation (degradation) present in the ecosystems where rehabilitation studies will be carried out in species selection and the target of the study are the determining factors especially in species selection [61]. The selection of plant species or species to be brought to the site in forestry studies is considered as a combination of ecological, biological, economic and social purposes. Generative and vegetative production materials to be used in afforestation in studies; First of all, it is tried to be obtained from natural species that have adapted to the existing ecological conditions. However, this issue is also extremely important for the preservation of local genetic biodiversity and ecological stability [62, 63]. Native species are expected to adapt to local biotic and abiotic conditions, thereby supporting natural biodiversity and ecosystem function [64]. In addition, evidence is growing for the importance of choosing tree species that are representative of different functional groups based on adaptive traits [65, 66]. However, selecting native species on the basis of functional group requires more knowledge than is currently available about traits associated with their reproductive biology, phenology and propagation. It is used in foreign species that adapt to the current extreme conditions, with the priority of using local species in species selection. In the absence of residual stands or similar resources where seeds can be collected, foreign species and origins that have adapted to similar ecological conditions despite being located in different geographies are also used. However, due to the selection of suitable origin and planting material for foreign species to be used, the compatibility of place-species and the suitability of intensive cultivation techniques, intensive labor and attention are required in afforestation. In the rehabilitation of an arid and semi-arid area, natural shrubs, shrubs and trees and perennial pasture plants are used in different combinations. The selected species will be able to protect the soil thanks to their deep root systems. It will also contribute to biological diversity by creating an ecosystem [67]. However, while all of these species provide a quick solution for the rehabilitation of the area, we assume that the ones that can adapt to the area and exhibit long-term life in the area are the monumental trees. These trees have survived in many stages, from all kinds of climate changes to changes in the surrounding stand structure, in their growth environment for thousands of years [37]. Mature forests and trees are important tools in the fight against desertification, they are in many cases the only creatures standing against the unstoppable advance of the desert. Therefore, the use of clones obtained from monumental trees is important in terms of establishing long-term ecosystems in degraded areas. It is necessary to include afforestation in order to preserve genetic diversity and to ensure that the genetics of monument trees are mixed with different trees. In order to preserve and maintain genetic diversity in these areas, attention should be paid to monoculture and clones from different monumental trees should be used whenever possible. The genetic power of the clones obtained from these trees will contribute to the improvement of the areas where they are planted. In addition to this, ex-situ conservation of monumental trees can be ensured by transferring genetic diversity to another area through clones of monumental trees.

References

1. Lanner R. M. Why do trees live so long? // Ageing Research Reviews. 2002. V. 1(4). P. 653–671.

2. Mattioni C., Ranzino L., Cherubini M., Leonardi L., La Mantia T., Castellana S., Villani F., Simeone M. C. Monuments Unveiled: Genetic Characterization of Large Old Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) Trees Using Comparative Nuclear and Chloroplast DNA Analysis *Forests*. 2020. V. 11(10): 1118.
3. Lindenmayer D. B., Laurance W. F. The ecology, distribution, conservation, and management of large old trees // *Biological Reviews*. 2016. V. 92(3). P. 1434–1458.
4. Cannon C. H., Piovesan G., Munné-Bosch S. Old and ancient trees are life history lottery winners and vital evolutionary resources for long-term adaptive capacity // *Nature plants*. 2022. V. 8(2). P. 136–145.
5. Caetano-Andrade V. L., Roland C., Weigel D., Trumbore S., Boivin N., Schöngart J., Roberts P. Tropical Trees as Time Capsules of Anthropogenic Activity // *Trends in Plant Science*. 2020. V. 25(4). P. 369–380.
6. Tng D. Y. P., Williamson G. J., Jordan G. J., Bowman D. M. J. S. Giant eucalypts-globally unique fire-adapted rain-forest trees? // *New Phytologist*. 2012. V. 196. P. 1001–1014.
7. Phillips N. G., Buckley T. N., Tissue D. T. Capacity of old trees to respond to environmental change // *Journal of Integrative Plant Biology*. 2008. V. 50. P. 1355–1364.
8. D'Amato A. W., Orwig D. A. Stand and landscape-level disturbance dynamics in old-growth forests in western Massachusetts // *Ecological Monographs*. 2008. V. 78. P. 507–522.
9. Schulman E. Longevity under adversity in conifers // *Science*. 1954. V. 119. P. 396–399.
10. Harvey H. T., Shellhammer H. S., Stecker R. E. *Giant Sequoia Ecology, Fire and Reproduction: Sci. Monogr. Ser. No. 12*, National Park Service. Washington: D.C., 1980.
11. Vuidot A., Paillet Y., Archaux F., Gosselin F. Influence of tree characteristics and forest management on tree microhabitats // *Biological Conservation*. 2011. V. 144. P. 441–450.
12. Büttler R., Lachat T., Larrieu L., Paillet Y. Habitat trees: key elements for forest biodiversity // *Integrative approaches as an opportunity for the conservation of forest biodiversity / D. Kraus, F. Krumm (Eds.)*. Freiburg: European Forest Institute, 2013. P. 84–91.
13. Munne-Bosch S. Long-Lived Trees Are Not Immortal // *Trends in Plant Science*. 2020. V. 25(9). P. 846–849.
14. Olaczek R. Funkcje parków wiejskich // *Ochrona i kształtowanie środowiska przyrodniczego / V. Mikhajjlov, K. Zabierowski (Eds)*. Warszawa: PWN, 1978. V. 2.
15. Antkowiak W., Ludian L. Natural Monuments and Monumental Trees in the Oborniki and Ryczywół Communes // *Wielkopolska Voivodeship*. 2016. V. 20(4). P. 219–231.
16. Slik J. W. F., Paoli G., McGuire K., Amaral I., Barroso J., Bastian M., Blanc L., Bongers F., Boundja P., Clark C., Collins M., Dauby G., Ding Yi, Doucet Je.-L., Eler E., Ferreira L., Forshed O., Fredriksson G., Gillet Je.-F., Harris D., Leal M., Laumonier Y., Malhi Ya., Mansor A., Martin E., Miyamoto K., Araujo-Murakami A., Nagamasu H., Nilus R., Nurtjahya E., Oliveira Á., O. Onrizal, Parada-Gutierrez A., Permana A., Poorter L., Poulsen Jo., Ramirez-Angulo H., Reitsma Ja., Rovero F., Rozak A., Sheil D., Silva-Espejo Ja., Silveira M., Spironelo W., ter Steege H., Stevart T., Navarro-Aguilar G. E., Sunderland T., Suzuki E., Tang Ji., Theilade I., van der Heijden G., van Valkenburg Jo., van Do T., Vilanova E., Vos V., Wich S., Wöll H., Yoneda T., Zang R., Zhang M.-G., Zweifel N. Large trees drive forest aboveground biomass variation in moist lowland forests across the tropics // *Global Ecology Biogeography*. 2013. V. 22. P. 1261–1271.
17. Lindenmayer D. B. Conserving large old trees as small natural features // *Biol. Conserv.* 2017. V. 211. P. 51–59.
18. Lutz J. A., Furniss T. J., Johnson D. J., Davies S. J., Allen D., Alonso A., Anderson-Teixeira K. J., Andrade A., Baltzer J., Becker K. M. L., Blomdahl E. M., Bourg N. A., Bunyavejchewin S., Burslem D. F. R. P., Cansler C., Cao K., Cao M., Cardenas D., Chang L.-W., Chao K.-Ju., Chao W.-C., Chiang Jy.-M., Chu C., Chuyong G. B., Clay K., Condit R., Cordell S., Dattaraja H. S., Duque A., Ewango C. E. N., Fischer G. A., Fletcher C., Freund J. A., Giardina C., Germain S. J., Gilbert G. S., Hao Z., Hart T., Hau B. C. H., He F., Hector A., Howe R. W., Hsieh C.-F., Hu Yu.-H., Hubbell S. P., Inman-Narahari F. M., Itoh A., Janík D., Kassim A. R., Kenfack D., Korte L., Kral K., Larson A. J., Li Yi., Lin Yi., Liu S., Lum S., Ma K., Makana J.-R., Malhi Ya., McMahon

- S. M., McShea W. J., Memiaghe H. R., Mi X., Morecroft M., Musili P. M., Myers Jo. A., Novotny V., de Oliveira A., Ong P., Orwig D. A., Ostertag R., Parker G. G., Patankar R., Phillips R. P., Reynolds G., Sack L., Song G.-Z. M., Su S.-H., Sukumar R., Sun I.-F., Suresh H. S., Swanson M. E., Tan S., Thomas D. W., Thompson Ji., Uriarte M., Valencia R., Vicentini A., Vrska T., Wang X., Weiblen G. D., Wolf A., Wu S.-Hui, Xu H., Yamakura T., Yap S., Zimmerman Je. K. Global importance of large-diameter trees // *Global Ecology Biogeography*. 2018. V 27. P. 849–864.
19. Lindenmayer D. B., Laurance W. F., Franklin J. F. Global decline in large old trees // *Science*. 2013. V. 338(6112). P. 1305–1306.
20. Manning A. D., Fischer J., Lindenmayer D. B. Scattered trees are keystone structures Implications for conservation // *Biological Conservation*. 2006. V. 132. P. 311–321.
21. Manning A. D., Gibbons P., Lindenmayer D. B. Scattered trees: a complementary strategy for facilitating adaptive responses to climate change in modified landscapes? // *Journal of Applied Ecology*. 2009. V. 46(4). P. 915–919.
22. Chen H. Y. H., Luo Y. Net aboveground biomass declines of four major forest types with forest ageing and climate change in western Canada's boreal forests // *Global Change Biology*. 2015. V 21. P. 3675–3684.
23. Clark D. B., Clark A. C. Abundance, growth and mortality of very large trees in neotropical lowland rain forest // *Forest Ecology and Management*. 1996. V. 80. P. 235–244.
24. Keith H., Mackey B. G., Lindenmayer D. B. Revaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2009. V. 106(28). P. 11635–11640.
25. Stephenson N. L., Mantgem P. J., Bunn A. G., Bruner H., Harmon M. E., O'Connell K. B., Urban D. L., Franklin J. F. Causes and implications of the correlation between forest productivity and tree mortality rates // *Ecological Monographs*. 2011. V. 81. P. 527–555.
26. Koch G. W., Sillett S. C., Antoine M. E., Williams C. B. Growth maximization trumps maintenance of leaf conductance in the tallest angiosperm // *Oecologia*. 2015. V. 177(2). P. 321–333.
27. Stanturf J. A., Palik B. J., Dumroese R. K. Contemporary forest restoration: A review emphasizing function // *For. Ecol. Manag.* 2014. V. 331. P. 292–323.
28. Stanturf J. A., Palik B. J., Williams M. I., Dumroese R. K., Madsen P. Forest restoration paradigms // *J. Sustain. For.* 2014. V. 33. P. 161–194.
29. TTO. ITTO Guidelines for the Restoration, Management and Rehabilitation of Degraded and Secondary Tropical Forests; ITTO Policy Development Series No. 13; ITTO, CIFOR, FAO, IUCN, WWF International: Yokohama. 2002. P. 84.
30. Sabogal C. Site-level rehabilitation strategies for degraded forest lands. In *Restoring Forest landscapes // An Introduction to the Art and Science of Forest Landscape Restoration*. 2005. Ser. 23. P. 101–108.
31. Asner G. P., Broadbent E. N., Oliveira P. J. C., Keller M., Knapp D. E., Silva J. N. M. Condition and fate of logged forests in the Brazilian Amazon // *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2006. V. 103. P. 12947–12950.
32. Murdiyarso D., Skutsch M., Guariguata M., Kanninen M. REDD için orman bozulmasının ölçülmesi ve izlenmesi // *Ülke koşullarının etkileri. Cifor Bilgi Briefleri*. 2008.
33. Kissinger G., Herold M., De Sy V. Drivers of deforestation and forest degradation: A synthesis report for REDD+ policymakers Vancouver. Kanada: BC, 2012. 46 p.
34. Burton P. J., Macdonald S. E. The Restorative ve Imperative: Challenges, Objectives and Approaches to Restoring Naturalness in Forests // *Silva Fennica*. 2011. V. 45(5). P. 843–863.
35. Soejono Budiharta S., Arisoelaningsih E. Proposing Local Trees Diversity for Rehabilitation of Degraded Lowland Lands Surrounding Springs // *Biodiversitas*. 2013. V. 14(1). P. 37–42.
36. UNCED. Convention on Biological Diversity. United Nations Conference on Environment and Development. Geneva. 1992.
37. Oktan E., Atar N. Cutting propagation in Common yew (*Taxus baccata* L.): A case study from a monumental tree // *Fresenius Environmental Bulletin*. 2021. V. 30(07A). P. 8855–8860.

38. Filiz E., Çiçek E., Aydın Y. Orman genetiği ve biyoteknolojisi // SDÜ Orman Fakültesi Dergisi. 2011. V. 12. P. 155–162.
39. Iliev I., Gajdosova A., Gabriela L., Jain S. M. Plant Micropagation // Plant Cell Culture: Essential Methods. 2010. P. 1-24. DOI: 10.1002/9780470686522.ch1
40. Dulloo M. E., Hunter D., Borelli T. Ex situ and in situ conservation of agricultural biodiversity: major advances and research needs // Not Bot Hort Agrobot Cluj. 2010. V. 38(2). P. 123–135.
41. Fakheri B. A., Mahdinejad N., ve Ghanbari S. Investigation of the Effects of Growth Regulators on Callus Induction in *Taxus baccata* L. // Biological Forum – An International Journal. 2015. V. 7(1). P. 732–735.
42. Mahdinejad N., Fakheri B. A., ve Ghanbari S. Effects of Growth Regulators on In vitro Callogenesis of *Taxus baccata* L. // Biological Forum – An International Journal. 2015. V. 7(1). P. 142–145.
43. Maliro M. F. A., Lameck G. Potential of cassava flour as a gelling agent in media for plant tissue cultures // African J. Biotech. 2004. V. 3(4). P. 244–247.
44. Sharma K. D., Kumar S., Gough L. Rehabilitation of lands mined for limestone in the Indian desert // Land Deg. & Dev. 2000. V. 11. P. 563–574.
45. Kim H., Patel K. R., Thorpe T. A. Regeneration of mulberry plantlets through tissue culture // Bot. Gaz. 1985. V. 146. P. 335–340.
46. Nhut D. T., Hien N. T. T., Don N. T., ve Khiem D. V. In vitro shoot development of *Taxus wallichianazucc*, a valuable medicinal plant // Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits / S. M. Jain, H. Haqqnran' (Eds.). Netherlands: Springer, 2007. P. 107–116.
47. İbrahim Ö., Gercheva P., Nacheva L., Ivanova V. Biotechnological approaches for propagation of *Taxus baccata* L. – an endangered plant with important ornamental and pharmaceutical value. 2011.
48. Bonga J. M. Clonal Propagation of Mature Trees: Problems and Possible Solutions / J. M. Bonga, D. J. Durzan (Eds.) // Cell and Tissue Culture in Forestry. Forestry Sciences. 1987. V. 24–26. DOI: 10.1007/978-94-017-0994-1_15
49. Rodriguez R., Berdasco M., Diego B., Hasbún R., Valledor L., Testillano P., Risueño C., Fraga, M. F., ve Cañal M. J. Functional genomics during forest tree maturation // Acta Physiol. Plant. 2004. V. 26. P. 297–297.
50. Kaşka N., Yılmaz M. Bahçe Bitkileri Yetiştirme Tekniği (Hartmann ve Kester'den Çeviri), Çukurova Üniv. Zir. Fak. Yayınları. 1974. No. 79. Ders Kitapları: 2, Adana. 601 s.
51. Chalupa V. In vitro propagation of mature trees of *Sorbus aucuparia* L. and field performance of micropropagated trees // J. For. Sci. 2002. V. 48. P. 529–535.
52. Abdullah A. A., Yeoman M. M., Grace J. Micropropagation of Mature Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) From Fascicular Buds // Tree Physiology. 1987. V. 3(2). P. 123–136.
53. Garcia J. L., Avidan N., Troncoso A., Sarmiento R., Lavee S. Possible juvenile-related proteins in olive tree tissues // Scientia Horticulturae. 2000. V. 85(4). P. 271–284.
54. Valdés A. E., Fernández B., Centeno M. L. Alterations in endogenous levels of cytokinins following grafting of *Pinus radiata* support ratio of cytokinins as an index of ageing and vigour // Journal of Plant Physiology. 2003. V. 160(11). P. 1407–1410.
55. Bonga J. M., Klimaszewska K., Aderkas P. Recalcitrance in clonal propagation, in particular of conifers // Plant Cell Tissue and Organ Culture. 2009. V. 100(3). P. 241–254.
56. Berhe D., Negash L. Asexual propagation of *Juniperus procera* from Ethiopia: a contribution to the conservation of African pencil cedar // Forest Ecology and Management. 1998. V. 112. P. 179–190.
57. Crowther T. W., Glick H. B., Covey K., Bettigole C., Maynavd D. S., Thomas S. M., Smith Je. R., Hintler G., Duguid M. C., Amatulli G., Tuanmu M.-N., Jetz W., Salas-Eljatib C., Stam C., Piotta D., Tavani R., Green S. E. W., Bruce G. W., Williams S. J., Wiser S. K., Huber M. O., Hengeveld G., Nabuurs G.-Ja., Tikhonova E., Borchardt P., Li C.-F., Powrie L. W., Fischer M., Andreas H., Homeier Ju., Cho P., Vibrans A. C., Umunay P., Piao S. L., Rowe C. W., Ashton M. S.,

- Crane P. R., Dradford M. A. Mapping tree density at a global scale // *Nature*. 2015. V. 525. P. 201–205. DOI: 10.1038/nature14967
58. Sıvacıoğlu A., Öner N. Verimsiz Ormanların Islahı Çalışmalarının Çölleşme İle Mücadele Açısından İrdelenmesi // *Çölleşme İle Mücadele Sempozyumu*. 2010. Tebliğler Kitabı. S. 390–393.
59. ÇOB. Çevre ve Orman Bakanlığı Çölleşme ile Mücadele Türkiye Ulusal Eylem Programı // *Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları* / M. Düzgün, S. Kapur, C. Cangir, E. Akça, D. Boyraz ve N. Gülşen (Edi.). 2005. No. 250. S. 110.
60. UNCCD. Desertification: A Visual Synthesis. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). 2011.
61. Öner N., Erşahin S., Ayan, S., Özel, H.B. İç Anadolu'da Yarıkurak Alanların Rehabilitasyonu // *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*. 2016. V. 2(1–2). P. 32–44.
62. FAO. Arid Zone Forestry: A Guide for Field Technicians. 1989. FAO Conservation Guide 20. <http://www.fao.org/docrep/T0122E/T0122E00.htm>
63. Evans J., Turnbull J. Plantation Forestry in the Tropics. 3rd. Edition. Oxford: Oxford University Press, 2004. 467 p.
64. Tang C. Q., Hou X., Gao K., Xia T., Duan C., Fu D. Man-made versus natural forests in mid-Yunnan, southwestern China Mount // *Res. Develop*. 2007. V. 27. P. 242–249.
65. Aerts R., Honnay O. Forest restoration, biodiversity and ecosystem functioning // *BMC Ecology*. 2011. V. 11(1): 29. DOI: 10.1186/1472-6785-11-29
66. Laughlin D. C. Applying trait-based models to achieve functional targets for theory-driven ecological restoration // *Ecol. Lett*. 2014. V. 17. P. 771–784.
67. ÇEM Kurak Ve Yarı Kurak Alanlarda Ağaçlandırma Ve Rehabilitasyon Rehberi. 2013. 189 s.

CHANGE OF ZN CONCENTRATIONS IN SOME FOREST TREE SPECIES, ORGANS AND SOILS

¹Sevik H., ²Erdem R., ³Cetin M., ⁴Aricak B.

¹Kastamonu University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Environmental Engineering, Kastamonu, Turkiye

²Kastamonu University, Arac Rafet Vergili Vocational School, Department of Forestry, Kastamonu, Turkiye

³Kastamonu University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Landscape Architecture, Kastamonu, Turkiye

⁴Bursa Technical University, Faculty of Forestry, Department of Forestry, Bursa, Turkiye
burak_aricak@btu.edu.tr

Key words: Heavy metal, Plant, Organ, Soil, Zn.

Abstract: Nowadays, air pollution has increased to an extent where it threatens human lives in some cities at a dangerous level due to the effect of industry and rapid developments in technology, and has become a global issue that ends the lives of millions of people every year. Most of the heavy metals, one of the main causes of air pollution, can remain in nature for a very long time without being decomposed and their concentration in the environment is ever-increasing. They also tend to bioaccumulate in human, animal and plant structures. Therefore, identification of heavy metal concentration is of great significance in determining the risk zones as well as the risk level. Zink (Zn) is among the most harmful and dangerous heavy metals in terms of their impacts on both living things and ecosystems and included in primary pollutant lists of «Agency for Toxic Substances and Disease Registry». In this study, the concentrations of Zn in the leaves, bark, wood, roots and cones of *Pinus nigra* Arnold., *Pinus sylvestris* L., *Fagus orientalis* Libsky., and *Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf. species grown in a limited area in similar land structure were determined, and these concentrations were compared with the concentrations at different depth levels of the soil.

Introduction. The industrial activities are observed to be increasing at the same rate with the rapid increase in the world population. Air pollution, which increases in parallel with the use of fossil fuels in particular, has reached an extent that is dangerous for the environment [1–3]. Every year, thousands of people are affected by air pollution and millions of people worldwide lose their lives due to air pollution-related reasons. Since air pollution is concentrated in urban centres, it poses a great risk especially for people with various health problems [4–6].

Heavy metals are of great importance among air pollution factors. This is because heavy metals do not easily decompose in nature, they tend to bioaccumulate, some have toxic or carcinogenic effects even at low concentrations, and almost all of them, even those required as micronutrients, are harmful at high concentrations [7–9]. For this reason, it is extremely important to monitor the heavy metal concentrations in the air. Among these heavy metals, Zink (Zn) is among the most harmful and dangerous heavy metals in terms of their impacts on both living things and ecosystems [10, 11]. For this, Zn was included in primary pollutant lists of «Agency for Toxic Substances and Disease Registry» [12].

Monitoring heavy metal pollution in the atmosphere can be carried out either directly or indirectly. However, determining the pollution directly is not preferable, since it is expensive and the direct effect of atmospheric pollution on the ecosystem cannot be determined [13–15]. Landscape plants, which are grown in urban centres and most exposed to air pollution, are the best indicators of such pollution. The plants grown, especially in the areas with dense traffic, show the progress of the increase in heavy metal concentration in the air by accumulating heavy metals caused by fossil

fuels in their trunks, leaves and needles [16–18]. For this reason, instead of determining heavy metal pollution directly, biomonitors are frequently used as indicators of pollution [19–21].

However, the meaning of the heavy metal concentrations determined in the organs of these plants cannot be fully interpreted. This is because heavy metal accumulation in plants is shaped under the influence of many factors, particularly plant species, organs and soil [22–25]. The present study aims to determine to what extent the Zn element accumulates in different organs of different plants, as well as determining the relationship between these accumulations and nutrients in the soil.

Material and Method. The samples were taken from *Pinus nigra* Arnold., *Pinus sylvestris* L., *Fagus orientalis* Libsky., and *Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf. species, which were grown in a limited area that had similar soil and climatic conditions on a flat surface within the borders of Araç district of Kastamonu province. Within the scope of this study, it was aimed to determine the change of Zn concentrations in the leaves, bark, wood, cone, and root organs of wood-like plants in a place. Since *F. orientalis* has no cone, it wasn't involved in the study.

Soil samples were collected from below each of the trees and at the depths of 0–5 cm (upper), 20–30 cm (medium), and 50–60 cm (lower) from the surface by removing the dead layer on the soil. The samples were kept waiting for 15 days in order to become air-dried, and then they were dried in the oven at 45 °C for 2 weeks. After dried samples, weighing 2 g each, were kept waiting inside 10 ml of concentrated HNO₃ for one day at room temperature, they were boiled at 180 °C for an hour. Afterwards, 20 ml of distilled water was added to the solution, and the solution was filtered through a filter paper of 45 µm. In the solutions obtained from the filtrate, element analysis and heavy metal analysis were performed using GBC Integra XL -SDS-270 ICP-OES device [26–29]. The data obtained were assessed with the help of SPSS package program, and the F value and error rate were determined by applying variance analysis to the data, and Duncan test was applied to the factors that were statistically significant at minimum of 95 % confidence level. The obtained results were simplified and interpreted.

Results. The change of Zn concentration by species and plants and the values obtained from statistical analyses are presented in Table 1.

Table 1 – Change of Zn concentration in plants by species and organ

Species	ORGAN					F Values	Average
	Leaf	Bark	Cone	Wood	Root		
Ab	8276,51 Ca	9729,06 Dc	8258,46 Cb	1442,95 Aa	6649,51 Bd	55,46***	6871,30 b
Pn	9203,04 Da	5938,91 Cb	4673,20 Ba	3215,35 Ab	3305,22 Aa	39,16***	5267,14 a
Ps	11130,93 Bc	10612,73 Bc	4167,97 Aa	3173,95 Ab	4264,73 Ab	68,96***	6670,06 b
Fo	7228,31 Ca	2466,37 Aa	–	2037,13 Aa	5198,95 Bc	36,76***	4232,69 a
F Values	6,29**	79,53***	36,78***	12,55***	23,47***	–	6,74***
Average	8959,70 D	7186,77 C	5699,88 B	2467,34 A	4854,60 B	41,27***	–

It was determined that the change in Zn concentrations by organs in all the species and by species in all the organs were statistically significant ($p < 0,05$). Examining the mean values, the lowest values were obtained from wood samples. In general, the highest values were found in leaves and barks. Given the mean values, the values obtained from Pn and Fo were in the first group, whereas Ab and Ps were in the second groups. The change of Zn concentration in soils by species and depth is presented in Table 2.

In Table 2 showing the changes in Zn concentration in soils, it can be seen that the change of Zn concentration in soils by depth was not statistically significant in species ($p > 0,05$). It was determined that the change in Zn concentration by species was statistically significant for all the soil depths ($p < 0,05$). Given the results of the Duncan test, generally the lowest Zn concentrations were obtained from Pn and Fo species in all soil depths.

Table 2 – Change of Mg concentration in soils by species and depth

Species	Soil depth			F Values	Average
	Upper	Medium	Lower		
Ab	60,54 b	17,28 a	23,42 b	3,29 ns	33,74 b
Pn	20,56 a	15,80 a	15,39 a	2,49 ns	17,25 a
Ps	22,85 a	23,07 b	21,56 b	0,64 ns	22,49 ab
Fo	15,59 a	16,92 a	16,30 a	0,48 ns	16,27 a
F Values	3,39*	21,32***	6,10**		3,83*
Average	29,88 B	18,27 A	19,17 A	3,20*	

Discussion and conclusion. Within the scope of the study, the changes of Zn element concentrations in different soils and organs of different plants. Zn, is an essential element for humans, animals and plants [30]. Even though Zn is included in many vital functions in human and animal organisms. Also it is toxic to living organisms at high concentrations and included in the priority pollutant list of the Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) [12]. For this reason, monitoring the concentration of Zn in the air is of vital importance.

Study results indicate that Zn element reaches higher concentrations in leaves and barks. In many studies conducted to date, the organ-based changes in the concentrations of different elements have been studied. In studies conducted, Mossi [31] identified differences in leaf and branch organs, while Koc [32] in bark and wood organs, Sevik et al., [16] in leaf, seed and branch organs, Levei et al. [33] and Gorena et al., [34] in leaves, and Kousehlar et al. [35] in barks, Cetin et al. [36] needles, bark, and branches. In these studies, it was found that heavy metal concentrations changed significantly on the basis of organs.

As a result of the study, it was found that there were quite big differences between the values obtained, based on the organs and species. There exist many factors that affect the entry and accumulation of airborne heavy metals into the plant body. Heavy metals can accumulate in the plant body by being absorbed by the root, from the air via the leaves, and entering the stem parts directly [37–39]. Some of the Heavy metal content in the plant indeed originates from the soil. Also, intake and accumulation of heavy metals in the plants are shaped by various factors such as plant species, genetic structure, habitus, organ-related ones such as organ structure, morphology, environmental factors, heavy metal concentrations in air and soil, interaction with plant, and exposure duration, and the interactions between these factors play important role in intake and accumulation of heavy metals in plant organism [22, 25, 40]. But the organ-based changes in heavy metal concentrations is a complex and not yet fully solved mechanism formed by the structure of the plant and the organ as well as the structure of the heavy metal, environmental conditions and the interaction between all these; and the information on this subject is quite limited [41, 42].

Acknowledgments. *This study is supported by the Kastamonu University Scientific Research Projects Coordination Unit (Project number is KUBAP01/2021-2). We thanks the Kastamonu University Scientific Research Studies Project Management Coordination.*

References

1. Cetin M., Onac A. K., Sevik H., Sen B. Temporal and regional change of some air pollution parameters in Bursa // *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2019. V. 12(3). P. 311–316.
2. Ozel H. B., Cetin M., Sevik H., Varol T., Isik B., Yaman B. The effects of base station as an electromagnetic radiation source on flower and cone yield and germination percentage in *Pinus brutia* Ten. // *Biologia Futura*. 2021. DOI: 10.1007/s42977-021-00085-1
3. Varol T., Canturk U., Cetin M., Ozel H. B., Sevik H. Impacts of climate change scenarios on European ash tree (*Fraxinus excelsior* L.) in Turkey. *Forest Ecology and Management // Forest Ecology and Management*. 2021. V. 491: 119199. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119199

4. Cetin M., Sevik H., Isinkaralar K. Changes in the particulate matter and CO₂ concentrations based on the time and weather conditions: the case of Kastamonu // *Oxidation Communications*. 2017. V. 40(1-II). P. 477–485.
5. Elsunousi A. A. M., Sevik H., Cetin M., Ozel H. B., Uzun Ozel H. Periodical and regional change of particulate matter and CO₂ concentration in Misurata // *Environ Monit Assess* 2021. V. 193: 707. DOI: 10.1007/s10661-021-09478-0
6. Jeddi K., Fatnassi M., Chaieb M., Siddique K. H. Tree species as a biomonitor of metal pollution in arid Mediterranean environments: case for arid southern Tunisia // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-12788-y
7. Sert E. B., Turkmen M., Cetin M. Heavy metal accumulation in rosemary leaves and stems exposed to traffic-related pollution near Adana-İskenderun Highway (Hatay, Turkey) // *Environmental monitoring and assessment*. 2019. V. 191(9). DOI: 10.1007/s10661-019-7714-7
8. Cesur A., Zeren Cetin I., Abo Aisha A. E. S., Alrabiti O. B. M., Aljama A. M. O., Jawed A. A., Cetin M., Sevik H., Ozel H. B. The usability of *Cupressus arizonica* annual rings in monitoring the changes in heavy metal concentration in air // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-13166-4
9. Karacocuk T., Sevik H., Isinkaralar K., Turkyilmaz A., Cetin M. The change of Cr and Mn concentrations in selected plants in Samsun city center depending on traffic density // *Landscape Ecol Eng*. 2022. V. 18. P. 75–83. DOI: 10.1007/s11355-021-00483-6
10. Ozel H. U., Gemici B., Gemici E., Ozel H., Cetin M., Sevik H. Application of artificial neural networks to predict the heavy metal contamination in the Bartın River // *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. DOI: 10.1007/s11356-020-10156-w
11. Fang T., Jiang T., Yang K., Li J., Liang Y., Zhao X., Gao N., Li H., Wenxuan L., Cui K. Biomonitoring of heavy metal contamination with roadside trees from metropolitan area of Hefei, China // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2021. V. 193(3). DOI: 10.1007/s10661-021-08926-1
12. Badea M., Luzardo O. P., González-Antuña A., Zumbado M., Rogozea L., Floroian L., Alexandrescu D., Moga M., Gaman L., Radoi M., Boada L. D., Henríquez-Hernández L. A. Body burden of toxic metals and rare earth elements in non-smokers, cigarette smokers and electronic cigarette users // *Environmental research*. 2018. V. 166. P. 269–275.
13. Turkyilmaz A., Sevik H., Cetin M., Saleh E. A. A. Changes in heavy metal accumulation depending on traffic density in some landscape plants // *Pol J Environ Stud*. 2018. V. 27(5). P. 2277–2284.
14. Turkyilmaz A., Sevik H., Isinkaralar K., Cetin M. Using *Acer platanoides* annual rings to monitor the amount of heavy metals accumulated in air // *Environ Monit Assess*. 2018. V. 190: 578.
15. Savas D. S., Sevik H., Isinkaralar K., Turkyilmaz A., Cetin M. The potential of using *Cedrus atlantica* as a biomonitor in the concentrations of Cr and Mn // *Environ Sci Pollut Res*. 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-14826-1
16. Sevik H., Cetin M., Ozel H. B., Pinar B. Determining toxic metal concentration changes in landscaping plants based on some factors // *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2019. V. 12(8). P. 983–991.
17. Sevik H., Cetin M., Ozturk A., Ozel H. B., Pinar B. Changes in Pb, Cr and Cu concentrations in some bioindicators depending on traffic density on the basis of species and organs. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2019. V. 17(6). P. 12843–12857.
18. Aricak B., Cetin M., Erdem R., Sevik H., Cometen H. The usability of Scotch pine (*Pinus sylvestris*) as a biomonitor for traffic-originated heavy metal concentrations in Turkey // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2020. V. 29(2). P. 1051–1057.
19. Alaqouri H. A. A., Genc C. O., Aricak B., Kuzmina N., Menshikov S., Cetin M. The possibility of using Scots pine needles as biomonitor in determination of heavy metal accumulation // *Environmental Science and Pollution Research International*. 2020. DOI: 10.1007/s11356-020-08449-1
20. Alaqouri H. A. A., Ozer Genc C., Aricak B., Kuzmina N., Menshikov S., Cetin M. The Possibility of Using Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Needles as Biomonitor in the Determination of Heavy

- Metal // Accumulation Applied Ecology and Environmental Research. 2020. V. 18(2). P. 3713–3727.
21. Chaparro M. A., Chaparro M. A., Castañeda-Miranda A. G., Marié D. C., Gargiulo J. D., Lavernia J. M., Natal M., Böhnel H. N. Fine air pollution particles trapped by street tree barks: In situ magnetic biomonitoring // Environmental Pollution. 2020. V. 266: 115229. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115229
 22. Aricak B., Cetin M., Erdem R., Sevik H., Cometen H. The change of some heavy metal concentrations in Scotch pine (*Pinus sylvestris*) depending on traffic density, organelle and washing // Applied Ecology and Environmental Research. 2019. V. 17(3). P. 6723–6734.
 23. Sevik H., Cetin M., Ozel H. B., Akarsu H., Cetin I. Z. Analyzing of usability of tree-rings as biomonitors for monitoring heavy metal accumulation in the atmosphere in urban area: a case study of cedar tree (*Cedrus* sp.) // Environmental Monitoring and Assessment. 2020. V. 192(1). P. 23.
 24. Sevik H., Cetin M., Ozel H. B., Ozel S., Cetin I. Z. Changes in heavy metal accumulation in some edible landscape plants depending on traffic density // Environmental Monitoring and Assessment. 2020. V. 192(2). P. 78.
 25. Turkyilmaz A., Cetin M., Sevik H., Isinkaralar K., Saleh E. A. A. Variation of heavy metal accumulation in certain landscaping plants due to traffic density // Environment, Development and Sustainability. 2020. V. 22(3). P. 2385–2398.
 26. Sevik H., Cetin M., Ozel H. U., Ozel H. B., Mossi M. M. M., Cetin I. Z. Determination of Pb and Mg accumulation in some of the landscape plants in shrub forms // Environmental Science and Pollution Research. 2020. V. 27(2). P. 2423–2431.
 27. Isinkaralar K, Koc I, Erdem R, Sevik H Atmospheric Cd, Cr, and Zn Deposition in Several Landscape Plants in Mersin, Türkiye // Water, Air & Soil Pollution. 2022. DOI: 10.1007/s11270-022-05607-8
 28. Ghoma W., Sevik H., Isinkaralar K. Using indoor plants as biomonitors for detection of toxic metals by tobacco smoke // Air Qual Atmos Health. 2022. V. 15. P. 415–424. DOI: 10.1007/s11869-021-01146-z
 29. Cetin M., Jawed A. A. Variation of Ba concentrations in some plants grown in Pakistan depending on traffic density // Biomass Conversion and Biorefinery. 2022. DOI: 10.1007/s13399-022-02334-2
 30. Pak O. An Investigation of Some Heavy Metal Pollution Along the TEM Motorway Soils in Kırklareli: MSc. Thesis / Namık Kemal University Graduate School of Natural and Applied Sciences Main Science Division of Soil Science and Plant Nutrition, Tekirdağ 2011.
 31. Mossi M. M. M. Determination Of Heavy Metal Accumulation In Some Shrub Formed Landscape Plants: Phd Thesis / Kastamonu University Institute of Science Department of Forest Engineering, 2018. 141 p.
 32. Koc I. Using *Cedrus atlantica*'s annual rings as a biomonitor in observing the changes of Ni and Co concentrations in the atmosphere // Environmental Science and Pollution Research. 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-13272-3
 33. Levei L., Cadar O., Babalau-Fuss V., Kovacs E., Torok A. I., Levei E. A., Ozunu A. Use of Black Poplar Leaves for the Biomonitoring of Air Pollution in an Urban Agglomeration // Plants. 2021. V. 10(3): 548.
 34. Gorena T., Fadic X., Cereceda-Balic F. Cupressus macrocarpa leaves for biomonitoring the environmental impact of an industrial complex: The case of Puchuncaví-Ventanas in Chile // Chemosphere. 2020. V. 260: 127521.
 35. Kousehlar M., Widom E., Kuentz D. Osmium isotope geochemistry of steel plant emissions using tree bark biomonitoring // Environmental Pollution. 2021. V. 272: 115976.
 36. Cetin M., Sevik H., Cobanoglu O. Ca, Cu, and Li in washed and unwashed specimens of needles, bark, and branches of the blue spruce (*Picea pungens*) in the city of Ankara // Environmental Science and Pollution Research. 2020. V. 27(17). P. 21816–21825. DOI: 10.1007/s11356-020-08687

37. Chen S., Yao Q., Chen X., Liu J., Chen D., Ou T., Liu Ja., Dong Z., Zheng Z., Fang K. Tree-ring recorded variations of 10 heavy metal elements over the past 168 years in southeastern China // *Elementa Science of the Anthropocene*. 2021. V. 9(1): 00075. DOI: 10.1525/ELEMENTA.2020.20.00075
38. Cetin M., Aljama A. M. O., Alrabiti O. B. M., Adiguzel F., Sevik H., Zeren Cetin I. Determination and Mapping of Regional Change of Pb and Cr Pollution in Ankara City Center // *Water Air Soil Pollut.* 2022. DOI: 10.1007/s11270-022-05638-1
39. Cesur A., Zeren Cetin I., Cetin M., Sevik H., Ozel H. B. The Use of *Cupressus arizonica* as a Biomonitor of Li, Fe, and Cr Pollution in Kastamonu // *Water Air Soil Pollut.* 2022. DOI: 10.1007/s11270-022-05667-w
40. Key K., Kulaç Ş. Proof of concept to characterize historical heavy metal concentrations from annual rings of *Corylus colurna*: determining the changes of Pb, Cr, and Zn concentrations in atmosphere in 180 years in North Turkey // *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2022.
41. Turkyilmaz A., Sevik H., Isinkaralar K, Cetin M. Use of tree rings as a bioindicator to observe atmospheric heavy metal deposition // *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. V. 26(5). P. 5122–5130.
42. Yigit N. Determination of heavy metal accumulation in air through annual rings: the case of *Malus floribunda* species // *Applied ecology and environmental research*. 2019. V. 17(2). P. 2755–2764.

MONITORING OF THE NATURAL REMEDIATION BY NDVI IN AN ABANDONED COPPER MINE SITE; BAKIRKÖY-ARTVIN IN TURKEY

¹Turgut B., ²Güler S., ³Ayan S.

¹Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Forest Soil and Ecology
Trabzon, Turkey

²Kastamonu University, Institute of Science, Sustainable Forestry Doctorate Programme,
Kastamonu, Turkey

³Kastamonu University, Faculty of Forestry, Silviculture Department, Kastamonu, Turkey
bulentturgut@ktu.edu.tr, sumeyyegl01@gmail.com, sezginayan@gmail.com

Key words: Remediation, *Picea orientalis*, prediction, NDVI.

Abstract: Mining is an essential activity because of the increased population, industrial and technological development, and meet economic needs. However, minimizing the negative effects of mining activities on the ecosystems is very important for the sustainable use of natural resources. It is a difficult and long process for the disturbed ecosystem to restore and regenerate itself by naturally. This study was carried out for the Bakırköy copper mine site and its surroundings in Artvin province in the Eastern Black Sea Region of Turkey. The original forest ecosystem around the copper mine is pure oriental spruce (*Picea orientalis* L. Link.). In the study, it was aimed to monitor the natural remediation process and its rapidity of the forest ecosystem according to NDVI values. The mining operation was stopped at the 1941. For monitoring to the regeneration of natural vegetation, NDVI values were determined using Landsat satellite images (Landsat 4–5 TM and Landsat 8–9 OLI/TIRS) from 1985 to 2021 for every year. The results showed that NDVI increased gradually and constantly between 1985 to 2011, where was not any silvicultural treatment and harvesting, but after 2011, it tended to decrease due to being included in the scope of the managed forests. Despite the destroyed land and unfavourable soil conditions, the climate has played a dominant and remedial role in the regeneration of natural vegetation.

Introduction. Mining is the process used to extract valuable resources from the Earth to obtain economic value. There are four mining methods: underground, open surface, placer, and in-situ mining. During mining activities, there is also the destruction of the soil and the environment in ways that vary according to the type, characteristics, and location of the mine. For this reason, in mining activities, it is imperative to evaluate natural and cultural resources with approaches to sustainability. Waste from mining and metallurgical production is also the cause of serious changes in natural ecosystems. They lead to landscapes disruption, pollute the environment, transform the biogeochemical cycles [1, 2] Currently, the general direction of research on technogenic formations is focused on evaluating them as a potential source of mineral resources [3] and building materials [4]. With increasing attention to environmental risk factors, research on migration of industrial waste components to the soil and water has intensified [5–8]. Mines in forest areas adversely affect the growth of trees by causing changes in the microclimate of the area and its immediate surroundings the extinction of organisms in the soil, the loss of soil fertility, and loss of soil water [9]. Previous studies conducted in mining-contaminated soils that; copper is the only metal that is toxic to plants [10–12].

Forests are self-regulating ecological systems and play a leading role in compensating for anthropogenic environmental pressures. It is known that there is a positive relationship between the forest's stability and biodiversity [13]. However, the anthropogenic impact on forest often leads to the opposite effect: an increase in biodiversity and at the same time a decrease in sustainability [14]. In addition, the fact of loss of systems stability with increasing complexity has been established by the method of mathematical modeling [15, 16].

Cooper mining operation started in Bakırköy, Artvin at the beginning of the 20th century and ended production in 1941. During this period, it was observed in the field investigations that the vegetation and especially the trees in the area were damaged. The fact that the oldest trees are approximately 50 years old in the age determination made by increment auger in the trees in this area confirms this situation.

To the mapping (GIS) and monitoring of forest areas and species, there are several approaches, such as Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Water Index (NDWI), Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) and Brilliance Index (IB). Vegetation Indices (VIs) are combinations of surface reflectance at two or more wavelengths designed to highlight a particular property of vegetation. They are derived using the reflectance properties of vegetation. Each of the VIs is designed to accentuate a particular vegetation property. In fact, these indices are part of the processing methods known as multispectral transformations. They consist in converting the luminances' measured at the level of the satellite sensor into quantities having a significance in the field of the environment. The Sentinel-2 (2020) satellite imagery with a resolution of 10 meters served as the basis for our study. Based on the multispectral nature of the satellite data, the vegetation indices and the supervised classification used make it possible to describe the monitoring and the state of degradation of the forest areas.

As one of best-known indices, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is defined as a measure of surface reflectance, and it is used as an indicator of vegetation growth as it is correlated with green leaf biomass and vigour [17]. This index varies between -1 and +1, in which values of less than zero during the growing season indicate no vegetation cover (e.g., in areas of desert or bare earth), while values greater than zero in the growing season describe vegetation cover [18]. NDVI can accurately reflect the metabolic intensity and annual variation of vitality in vegetation; it indicates vegetation growth, and changes in temperature, precipitation, and other climatic factors in the absence of human activities and natural disasters [19–23].

The aim of this study is to monitor the natural regeneration process in an abandoned copper mine site using GIS methods, and to model this process using regression analysis.

Material. The study area located in Artvin province is bounded by 734697E-4571016N, 738420E-4571350N, 736464E-4568069N, and 736965E-4568078N according to UTM WGS 1984 coordinate system (fig. 1). Topographically, it is defined by a deep valley and high mountains (fig. 2). The according to the Thorntwaite climate classification system study area is described as humid (B4) [24]. The main land use is forest and *Picea orientalis* L. Link is the common species. Bakırköy copper mine, which was chosen as the study area, was actively used until the 1950s and then abandoned. After this date, regeneration started in the area and there was no intervention in the area until recently.

Method. In the first stage of the study, the landforms (elevation, slope, and aspect) of the study area were determined. In the second stage, NDVI values between 1985–2021 were determined. In the last stage of the study, the trend of change in NDVI values along with years was determined.

Mapping landforms

A digital elevation model, slope, and aspect were computed for the study area using the «Spatial analyst» tool in ArcGIS software Also Palsar satellite imagery with resolution of 12,5 m (ASF DAAC 2015). The slope map created used the classification system recommended by the FAO (2022).

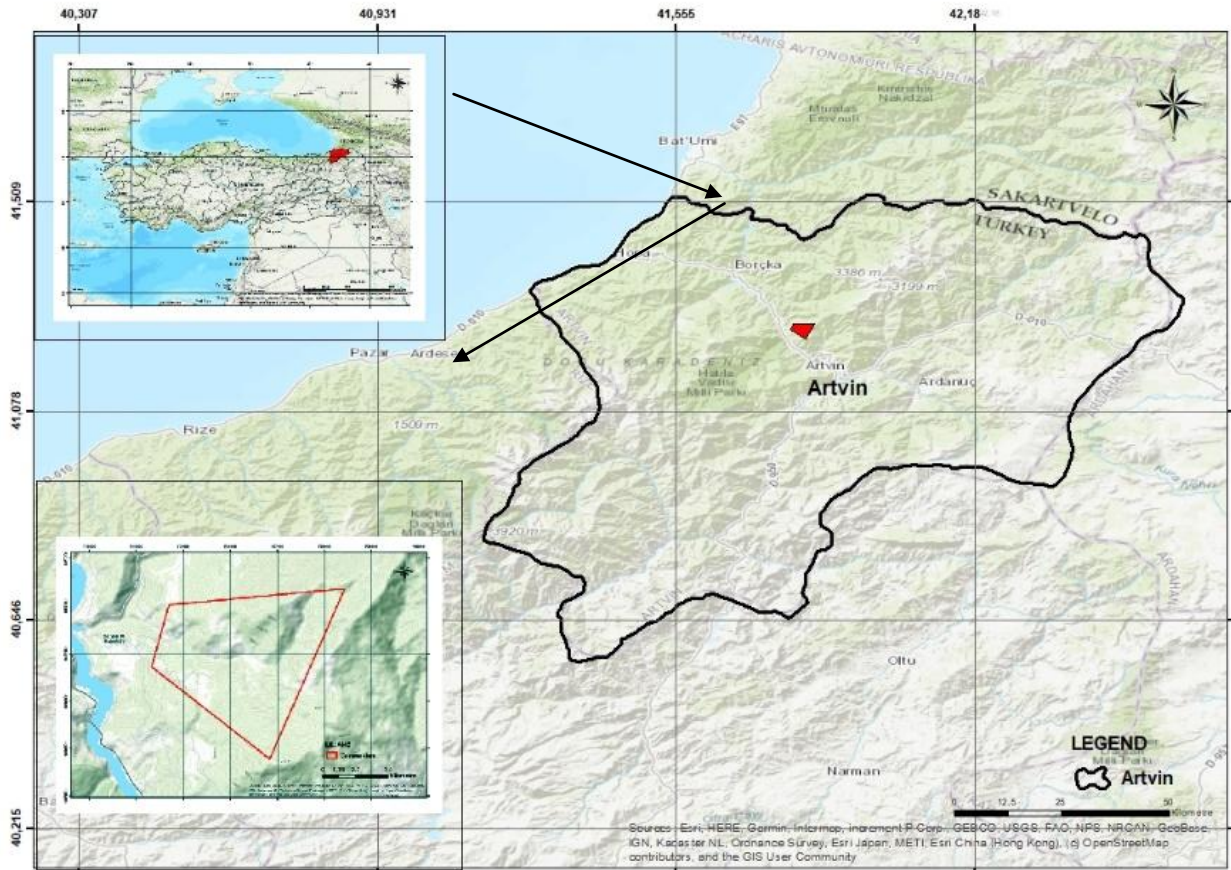


Figure 1 – Geographic location of the study area

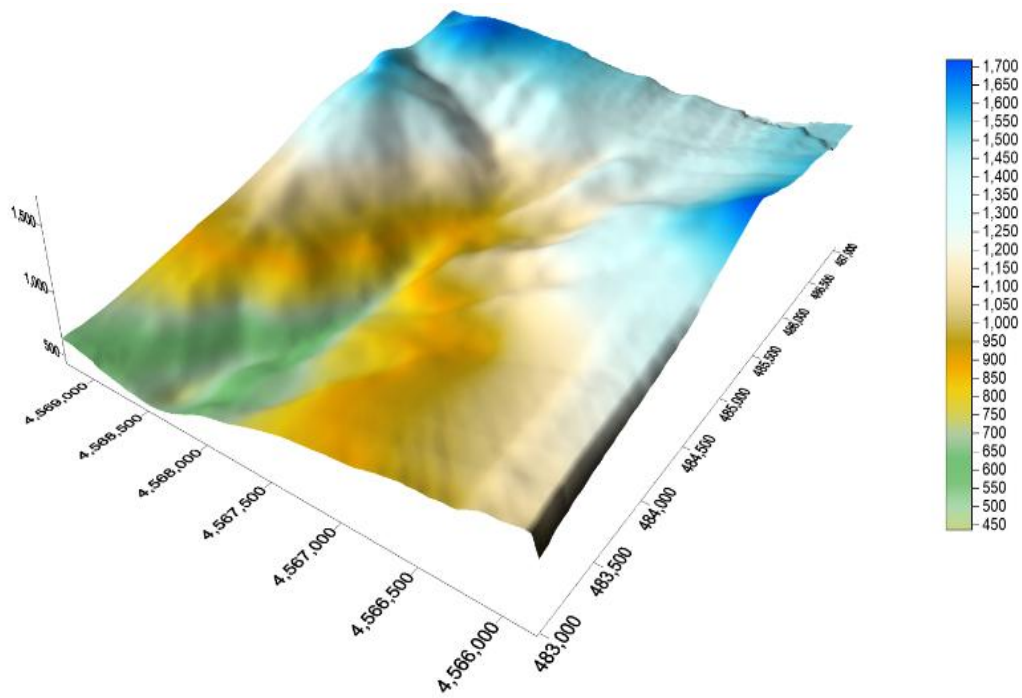


Figure 2 – The surface of the study area in 3D

Determining the NDVI values of the study area

The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) [25]. Is the most used vegetation index for observe greenery globally. To calculate the NDVI from 1985 to 2011, band 4 (near infrared) and band 3 (red) of Landsat 5 TM C2 L1 and from 2011 to 2022, band 5 (near infrared) and band 4 (red) of Landsat 8 OLI/TIRS C2 Level 2 images downloaded from United States Geological Survey (USGS) web services (<https://earthexplorer.usgs.gov>) were used. The ArcGIS “Raster calculator” was used for calculations (Eq 1) based on satellite images dated August.

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{red}) \quad \text{Eq 1.}$$

Statistical analysis

To determine the change trend of NDVI, regression analysis was used with Python.

Results and discussion. According to Ghebregabher et al. [26], the NDVI is the most used index in vegetation studies, and used for monitoring the forest degradation and deforestation in India by Kumar et al. [27]. In addition, Xue and Su [28] emphasized that NDVI also gives an overview of the quality and density of vegetation. For evaluating the potential for monitoring forest change in Sudan, Nori et al. [29] integrated NDVI and SAVI. The SAVI is a modification of the NDVI to correct the influence of the soil brightness [30]. Remote sensing data are primary sources for analysing environmental processes in different scales. The approach adopted has shown that the two methods used, based on the exploitation of available satellite images of Sentinel-2, gave the same results as the calculation and the combination of the indices (NDVI, NDWI, SAVI, and IB) and the supervised classification. Indeed, the fact of constructing synthetic indicators via the analyses of satellite images made it possible to a large extent. Kappa was calculated how is an accuracy indicator to describe the state of degradation of forest areas [31].

Physiographic Characteristics of the Research Area. The elevation is the lowest (424 m) in the bottom of the valley, but it reaches to 1736 m at the highest point of the mine site. The range 1194–1308 m, accounting for 13,05 % of the study area, is the most extensive altitude class. The least extensive is (4,62 %) is 424–615 m (fig. 3, a, b). Steep terrain is common (fig. 4, a): in 41 % of the study area, the slope is 20–30 % (fig. 4, b). Since the study area extend northwest-southeast (fig. 5, a), the predominant aspect is southwest (22,81 %) (fig. 5, b).

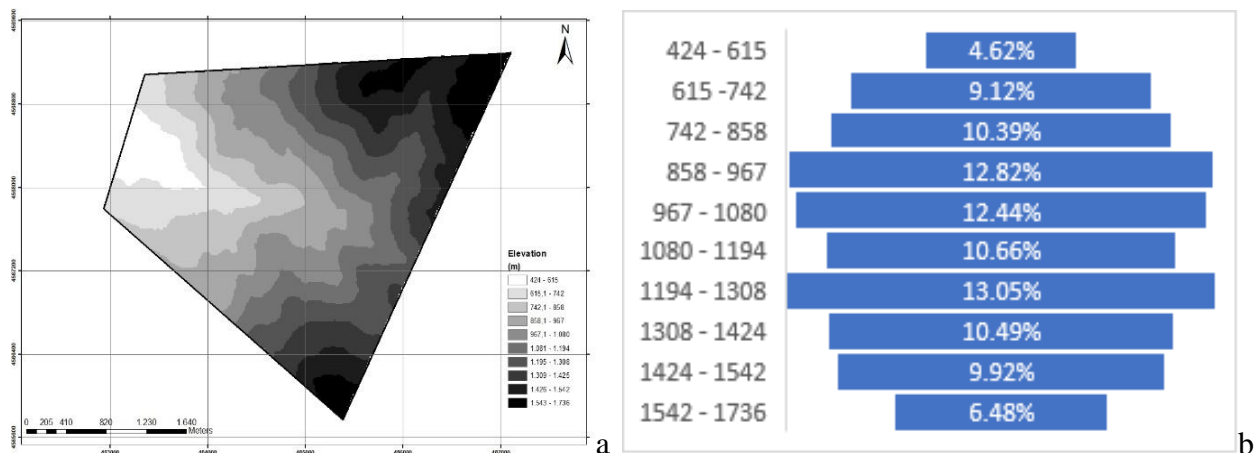


Figure 3 – (a) The elevation map of the study area and (b) the area proportion of the elevation classes

Temporal changes to NDVI. The NDVI values and standardized NDVI values of years are given in table. The highest standardized NDVI values (1,00) were achieved in 2011 and 2014, and the lowest (0,00) in 1990 and 2019, its mean that vegetative growth and biomass were highest in 2011 and 2014, and lowest in 1990 and 2019.

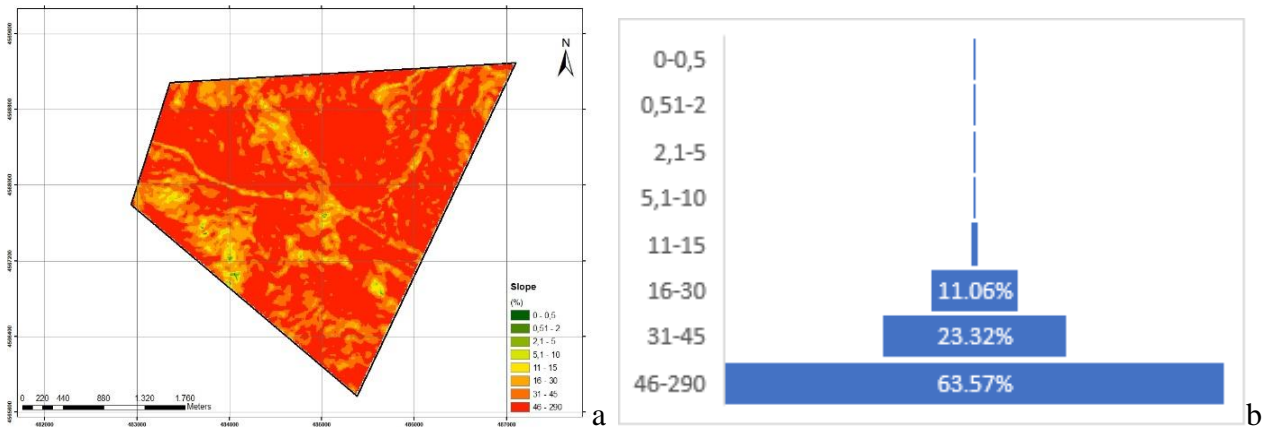


Figure 4 – (a) The slope map of the study area and (b) the area proportion of the slope classes

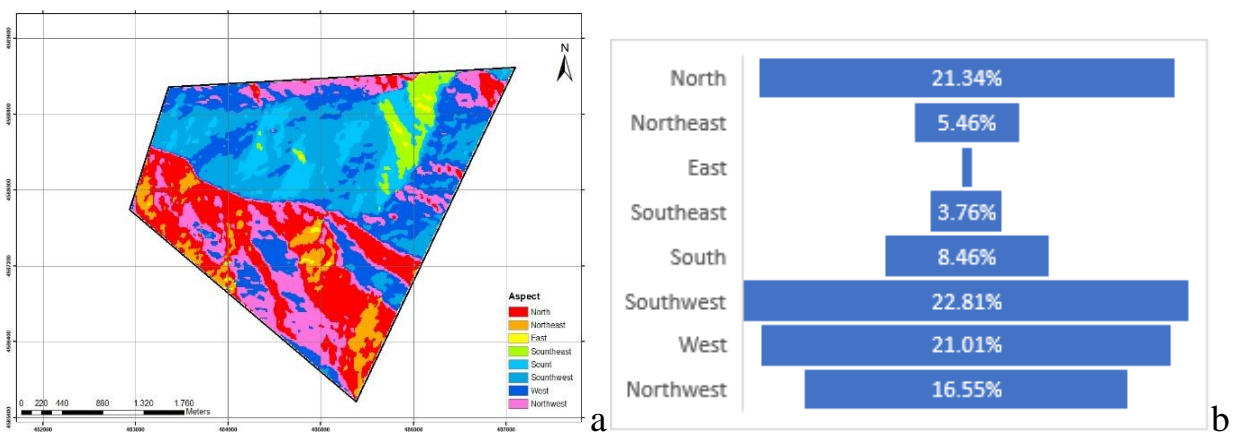


Figure 5 – (a) The aspect map of the study area and (b) the area proportion of the aspect classes

Table – NDVI values of years

Years	NDVI	Years	NDVI
1985	0,470	2003	0,516
1986	0,476	2004	0,589
1987	0,476	2005	0,496
1988	0,441	2006	0,556
1989	0,410	2007	0,532
1990	0,404	2008	0,505
1991	0,455	2009	0,531
1992	0,504	2010	0,505
1993	0,513	2011	0,594
1994	0,453	2013	0,373
1995	0,456	2014	0,418
1996	0,480	2015	0,363
1997	0,536	2016	0,351
1998	0,480	2017	0,403
1999	0,524	2018	0,360
2000	0,510	2019	0,336
2001	0,496	2020	0,384
2002	0,547	2021	0,348

NDVI values showed a regular increasing trend between 1985 and 2011 in contrast showed a decreasing trend between 2013 and 2021 (fig. 6). The same trend was observed at all elevation levels of the study area (fig. 7). The increase in NDVI values over the years is a result of the increase in the number of the dominant species, oriental spruce (*P. orientalis*) and natural vegetation, thanks to the improvement in habitat characteristics. With its location in the eastern Blacksea Region, the Artvin province is very advantageous in terms of natural regeneration of vegetation. Precipitation, air humidity, and especially rain and fog during the vegetation period are climatic parameters that give the region a great advantage in terms of self-repair and regeneration of forests and natural vegetation. Researchers reported that positive changes occurred in soil properties and vegetation density increased with the cessation of operation in mining areas [32].

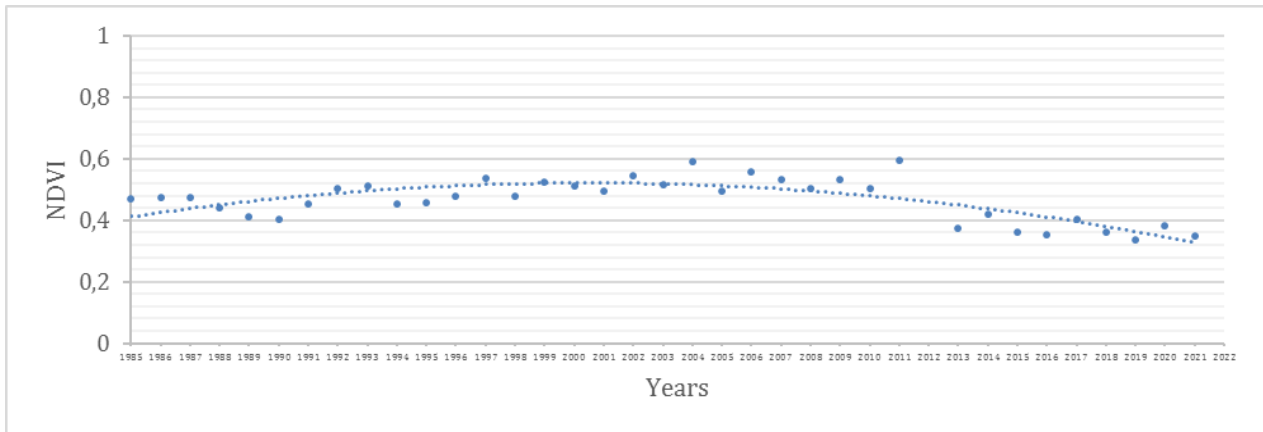


Figure 6 – The variation of NDVI along with years

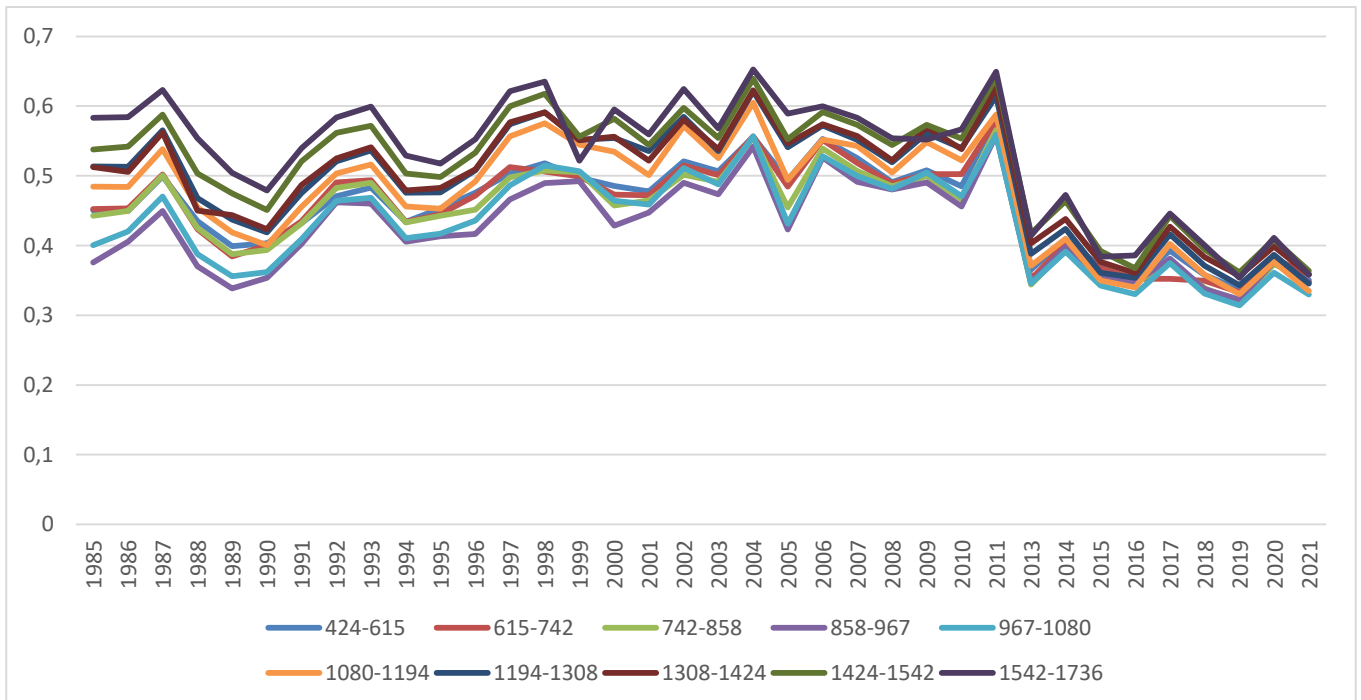


Figure 7 – Variation of NDVI in different elevation classes by years

Prediction model of NDVI. To model the increase and decrease trend of NDVI, regression analysis was performed, and this trend was modelled with polynomial regression. The formula of the model is given in Equation 2. According to the model, NDVI values increased during the ab-

sence of any intervention, but decreased since 2008 (fig. 8). The weak decline that occurred between 2008 and 2012 can be explained by climatic factors such as precipitation, and the sharp decline after 2012 can be explained by silvicultural interventions such as thinning in the area. This model does not include the positive results of silvicultural interventions.

$$NDVI = -0.0005 * Year^2 + 1.9516 * Year - 1951.9134 \quad \text{Eq. 2}$$

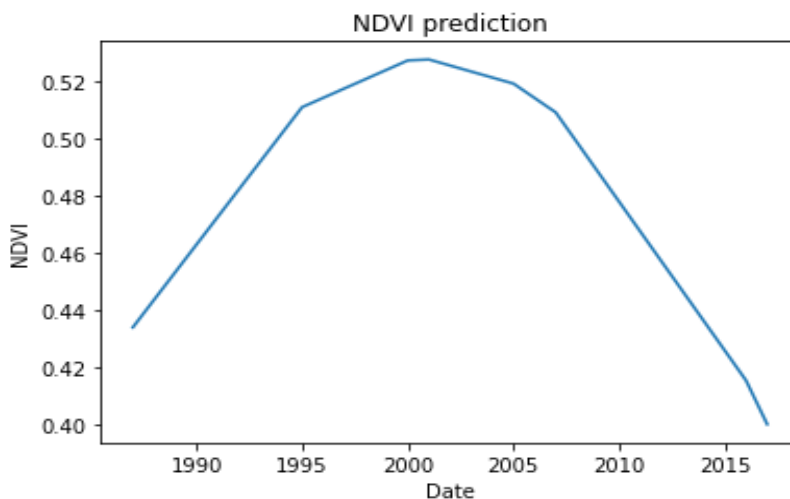


Figure 8 – Polynomial regression model of the NDVI

Conclusions. In this study, which was carried out to observe the results of natural remediation in abandoned mine sites, it was determined that the process was completed in a period of approximately 60 years in areas where precipitation and temperature are suitable for remediation. The uptrend of NDVI is the most important indicator of this result. However, the downward trend of NDVI is temporary, as the positive results of silvicultural interventions will be seen in the coming years. Therefore, the study area will continue to be monitored to determine the positive effects of silvicultural interventions on NDVI.

References

1. Becker F., Eser R. A., Hoelzmann P., Schütt B. The environmental impact of ancient iron mining and smelting on Elba Island, Italy – A geochemical soil survey of the Magazzini site // *Journal of Geochemical Exploration*. 2019. V. 205: 106307. DOI: 10.1016/j.gexplo.2019.04.009
2. Gabarrón M., Zornoza R., Acosta J. A., Faz A., Martínez-Martínez S. Chapter Five – Mining environments // *Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection*. 2019. V. 4. P. 157–205. DOI: 10.1016/bs.apmp.2019.07.003
3. Naumov V. A., Naumova O. B. Forms of location and prospects of gold mining potential in natural and technogenic mineral formations of the Western Urals // *Bulletin of Perm University, Geology*. 2019. V. 18(1). P. 55–63. DOI: 10.17072/psu.geol.18.1.55
4. Singh J., Singh S. P. Geopolymerization of solid waste of non-ferrous metallurgy – A review // *Journal of Environmental Management*. 2019. V. 251: 109571. DOI:10.1016/j.jenvman.2019.109571
5. Tarasenko I. A., Kharitonova N. A., Ovodova E. V., Zin'kov A. V., Korzun A. V. Transformation of mineralogical and geochemical composition of tails and its influence on the high mineralization water origination. (Primorye region, Russia) // *Tikhookeanskaya geologiya*. 2017. V. 36(2). P. 106–118.

6. Potysz A., Grybos M., Kierczak J., Guibaud G., Fondaneche P., Lens P. N. L. D., Van Hullebusch E. Metal mobilization from metallurgical wastes by soil organic acids // *Chemosphere*. 2017. V. 178. P. 197–211. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.03.015
7. Zolotova E., Ryabinin V. Elements distribution in soil and plants of an old copper slag dump in the middle Urals, Russia // *Ecological Questions*. 2019. V. 30(4). P. 41–47. DOI: 10.12775/EQ.2019.026
8. Wang J., Zhou Y., Dong X., Yin M., Tsang D. C. W., Sun J., Liu J., Song G., Liu Y. Temporal sedimentary record of thallium pollution in an urban lake: An emerging thallium pollution source from copper metallurgy // *Chemosphere*. 2020. V. 242: 125172. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.125172
9. Kantarcı M. D. Ayasağada 'ki (İstanbul) Taşocaklarının Toprak Suyu Kaybına Ve Orman Ağaçlarının Gelişmesine Etkisi 2. Ulusal Kıymatlı Sempozyumu'99, İstanbul-1999. 1999.
10. Mondaca P., Catrin J., Verdejo J., Sauvé S., Neaman A. Advances on the determination of thresholds of Cu phytotoxicity in field-contaminated soils in central Chile // *Environ. Pollut.* 2017. V. 223. P. 146–152.
11. Verdejo J., Ginocchio R., Sauvé S., Salgado E., Neaman A. Thresholds of copper phytotoxicity in field-collected agricultural soils exposed to copper mining activities in Chile // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2015. V. 122. P. 171–177.
12. Verdejo J., Ginocchio R., Sauvé S., Salgado E., Neaman A. Thresholds of copper toxicity to lettuce in field-collected agricultural soils exposed to copper mining activities in Chile // *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 2016. V. 16. P. 154–158.
13. Evseeva A. A. Plant component biodiversity as an index for forest ecosystems stability // *Regional Environmental* 2018. No. 4. P. 11–16. DOI: 10.24411/1728-323X-2018-14011
14. Aleshchenko G. M., Bukvareva E. N. Two-level hierarchical model of optimal biological diversity // *Biology Bulletin*. 2010. V. 37(1). P. 1–19.
15. Lankin Y. P., Baskanova T. F., Pechurkin N. S. Modeling of adaptive self-organizing of ecosystems // *Modern problems of science and education*. 2012. <http://science-education.ru/ru/article/view?id=6735>. Accessed 10 April 2020.
16. Soukhovolsky V., Ivanova Y. Modeling production processes in forest stands: An adaptation of the Solow growth model // *Forests*. 2018. V. 9(7). P. 391. DOI: 10.3390/f9070391
17. Tucker C. J., Holben B. N., Goff T. E. Intensive forest clearing in Rondonia, Brazil, as detected by satellite remote sensing // *Remote Sensing of Environment*. 1984. V. 15. P. 255–261. DOI: 10.1016/0034-4257(84)90035-X
18. Choubin B., Soleimani F., Pirnia A., Sajedi-Hosseini F. H., Alilou O., Rahmati A. M., Melesse V. P., Singh & H. Shahab Effects of drought on vegetative cover changes: Investigating spatiotemporal patterns // *Extreme Hydrology and Climate Variability*. 2019. P. 213–222. DOI: 10.1016/B978-0-12-815998-9.00017-8
19. Turgut H., Turgut B. The effect of landforms and climate on NDVI in Artvin, Türkiye // *Eco. Mont.* 2022. V. 14(2). P. 24–34. DOI: 10.1553/eco.mont-14-2s24
20. Ghebregabher M. G., Yang T., Yang X., Eyassu Serek T. Assessment of NDVI variations in responses to climate change in the Horn of Africa // *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2020. V. 23, No. 3. P. 249–261. DOI: 10.1016/j.ejrs.2020.08.003.
21. Jiang S., Chen X., Smettem K., Wang T. 2021. Climate and land use influences on changing spatiotemporal patterns of mountain vegetation cover in southwest China. *Ecological Indicators* V. 121: 107193. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.107193
22. Liu L., Wang Y., Wang Z., Li D., Zhang Y., Qin D., Li S. Elevation-dependent decline in vegetation greening rate driven by increasing dryness based on three satellite NDVI datasets on the Tibetan Plateau // *Ecological Indicators*. 2019. V. 107: 105569. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.105569
23. Poll M., Naylor B. J., Alexander J. M., Edwards P. J., Dietz H. Seedling establishment of Asteraceae forbs along altitudinal gradients: a comparison of transplant experiments in the native and introduced ranges // *Diversity and Distributions*. 2009. V. 15(2). P. 254–265. DOI: 10.1111/j.1472-4642.2008.00540.x

24. Turkish State Meteorological Services, 2022. <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-siniflandirmalari.aspx>
25. Tucker C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation // *Remote Sensing of Environment*. 1979. V. 8(2). P. 127–150.
26. Ghebregabher M. G., Yang T., Yang X., Wang X. & Khan M. Extracting and analysing forest and woodland cover change in Eritrea based on Landsat data using supervised classification // *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2016. V. 19(1). P. 37–47. DOI: 10.1016/j.ejrs.2015.09.002.
27. Kumar P., Rani M., Pandey P. C., Majumdar A., Nathawat M. S. Monitoring of deforestation and forest degradation using Remote Sensing and GIS: A case study of Ranchi in Jharkhand (India) // *Report and Opinion*. 2010. V. 2(4). P. 14–20.
28. Xue J., Su B. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications // *Journal of Sensors*. 2017. P. 1–17. DOI: 10.1155/2017/1353691
29. Nori W., Elsidding E. N., Niemeyer I. Detection of land cover changes using Multi-Temporal Satellite Imagery. *The International Archives of the Photogrammetry // Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2008. V. 37(7). P. 947–951.
30. Huete A. R. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) // *Remote Sensing of Environment*. 1988. V. 25. P. 295–309. DOI: 10.1016/0034-4257(88)90106-X
31. Laaribya S., Alaoui A., Ayan S., Benabou A. Spatial analysis of the degraded forest areas in Idmine Forest-Morocco using geoscience capabilities. *Kastamonu Univ // Journal of Forestry Faculty*. 2021. V. 21(1). P. 1–11.
32. Brasil Neto A. B., Schwartz G., Noronha N. C., Gama M. A. P., Ferreira G. C. Natural regeneration for restoration of degraded areas after bauxite mining: A case study in the Eastern Amazon // *Ecological Engineering*. 2021. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2021.106392

USING FOREST FIELDS FOR MINING ACTIVITY AND BIOLOGICAL RECLAMATION IN TERMS OF FOREST SUSTAINABILITY IN TÜRKİYE

*Yavruoglu S., Kalender A., Yucesan Z., Oktan E.
Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Trabzon, Türkiye
senayavruoglu@gmail.com*

Key words: *Forest, permit for mining activity, legal process, biological reclamation.*

Abstract: *Mining activities in Türkiye have been carried out under the leadership of the state or by the state. Since mining activities are mostly carried out on forest areas covering 28,6 % of the country's surface, a detailed and comprehensive legal arrangement should have been done by the constitution between these two valuable natural resources. Therefore, mining activities to be carried out in forest areas are regulated in detail by the constitution, laws and relevant legislation. Mining exploration or operation permits to be granted in forest areas in Turkey are regulated by Articles 16, 17, 18 and 115 of the Forest Law No. 6831 dated 1956. However, there are laws that regulate the procedures and principles of exceptional provisions that allow the private sector to benefit from forests. Thus, it is seen that the use and protection of forest lands generally results in the detriment of forests. So, the concept of rehabilitation is very important for mining applications. With the prepared action plans, it is aimed to rehabilitate and convert the mine sites into forest areas, reintegration of these forest lands into community service, and to carry out the necessary training, monitoring and evaluation activities in forests where the mining operation had been completed. To reduce the amount of degraded area and the environmental risk, rehabilitation should be initiated once each piece of land is ready and continued throughout the mining activity. On the other hand, it is possible to say that obtained income from the mining activity in forest lands is important benefit throughout in Türkiye. However, it is clear that the forests are destroyed by mining practices and have an irreversible and negative effect on the habitat and causing a decrease in forest areas. For this reason, it is discussed whether the revenues from mining activities are superior to the benefits provided by forests. In this paper, general information about the rehabilitation works carried out in the forest areas in Türkiye are given, environmental problems, measures taken and legal processes regarding rehabilitation in mining sites were evaluated.*

Introduction. The mining process in Türkiye dates back to the prehistoric period. Mining activities carried out throughout the country lead to a decrease in forest areas, both legally and in terms of practice, but since the first ages, people have been continued to benefit from natural resources by mining activities to ensure their safety, make their lives easier and meet their other needs [1].

Today, the dimensions of the negative effects of global climate change are increasing significantly, and besides, the forest areas that allowed as mining areas are more exposed to other negative natural events such as floods, erosion, etc. For this reason, the legal infrastructure regarding the permits should be regulated very carefully and the permit process should be followed very well. Mining permits in state forests in Türkiye are subjected to detailed and comprehensive legal regulations. Since the sustainability of forest functions is important during these activities, it has been determined as the primary objective to subject the forests to this activity with the least damage. The necessity of rehabilitating the area at the end of the mining operation permit is regulated in detail in the Turkish environmental and forestry legislation. In this context, according to the 16th article of the Forest Law No. 6831 and the other standing orders, after mining works are carried out in the state forests, the owner of the mining permit has to rehabilitate the area to be handed over to the forest administration. Conditions such as trying to grant the mining operation permit especially in forest areas with low productivity, conducting inspections throughout the process, following the

conditions for carrying out rehabilitation works at the end of the permit period, and receiving the site clearly show that forest areas are tried to be protected in mining permits [2].

In this paper, general information about the rehabilitation works carried out in the forest areas in Türkiye are given, environmental problems, measures taken and legal processes regarding rehabilitation in mining sites were evaluated.

Legal Processes in Mining Permits. Mining activities in Türkiye were tried to be shaped with different regulations until 1906, and the Mining Regulations in 1906, the Mining Law No. 6309 in 1954, and the Mining Law No. 3213, which came into force in 1985 and are still valid, became a legal source in mining activities [3].

According to the Mining Law No. 3213, the institution responsible for mineral exploration and operation is the General Directorate of Mining Affairs under the Ministry of Energy and Natural Resources. However, if the mining area is within the state forest, the permits are subjected to both mining legislation and forest legislation as stated in the Constitution of the Republic of Türkiye. Article 7 of the Mining Law No. 3213 [4] which came into force in 1985 and is still in effect, carries the title of permits in mining activities. In this article, it is stated that «mine exploration and operation activities to be carried out in the state forests and temporary facilities for these activities, which are compulsory and depending on the license period, are allowed in accordance with the provisions of the Forest Law No. 6831 of 31/8/1956».

If the forest legislation is evaluated in terms of its past and present; the first legal regulations regarding the mining permits to be granted in forest areas are included in Article 24 of the Forest Law No. 3116 [5]. According to this article, it is obligatory to obtain permission from the Ministry of Agriculture to explore mines within the borders of state forests, and from the forest administration to explore quarries. It is also regulated in the same article that the damage to the forest caused by any quarry or mining operation will be taken into consideration while making these decisions.

The 16th article of the Forest Law No. 6831 [6], which repealed the Forest Law No. 3116 in 1956, introduced new regulations on mining permits. When the article first entered into force, it required the approval of the Ministry of Agriculture in order to grant mining exploration or operation licenses and privileges in state forests in accordance with the provisions in question. The new regulation has eliminated both the separation of mines and quarries and the requirement to obtain permission from the forest administration. In other words, with the new regulation, the forest administration has been completely excluded from the permits to be taken, and has been authorized only to inform and take precautions. The article has shown the Ministry of Agriculture as the authorized institution in the permits to be given in the state forests.

However, in 2004, with the Law No. 5177 [7] and Article 16 of the Forest Law No. 6831, «mineral exploration and operation within the borders of state forests is carried out in accordance with Article 7 of the Mining Law». With this amendment, the Forestry Law was almost completely eliminated in the mining exploration permits within the state forests. After this date, it has envisaged that the mining permits will only be carried out according to the principles specified in the relevant article 7 of the Mining Law, and the Ministry of Environment and Forestry (today, the Ministry of Forestry and Water Affairs) has become an institution where only opinions can be taken.

With these changes made in the provisions of the Mining Law and the Forestry Law, the «Mining Activities Permit Regulation» was put into effect in 2005 by the Council of Ministers in order to determine the principles on which mining activities will be carried out [8]. In 2007, the «Regulation on Permits to be Granted in Areas Considered Forest» [9] was prepared by the Ministry of Environment and Forestry and entered into force. The enactment of these regulations, which opened all-natural resources to mining activities, led to the start of discussions, and at the end of this process, the issue was brought to the Constitutional Court in 2004 with the request for the annulment of Article 7 of the law.

The Constitutional Court approved the cancellation of the relevant article 7 in 2009 for various reasons, and it annulled the article on condition that it enters into force one year later [10]. The reorganization of the item, which was canceled by the Constitutional Court, was made in 2010 with

the Law No. 5995 [11]. With the law numbered 5995, both the 16th article of the Forest Law and the 7th article of the Mining Law were rearranged. The statement of «Mine exploration and operation activities to be carried out in state forests and temporary facilities for these activities, which are compulsory and depending on the license period, are permitted in accordance with the provisions of the Forest Law dated 31.08.1956 and numbered 6831» has been added to Article 7 of the Mining Law. Moreover, in the 16th article of the Forestry Law, it is stated that the permissions will be given by the Ministry of Environment and Forestry and the definition, form, conditions and principles regarding the application of the article will be regulated with standing orders.

Despite the clear provisions of the Constitution, this confusion of powers and permissions among the laws brought about a development in favor of forests with the last amendment made in 2010. Because it is thought that the intensive use of the mining permits in the Forest Law No. 6831 and the existence of some deficiencies in the regulation cause forest destruction for years [12].

Rehabilitation Practices in Mining Sites. Mining activities are carried out in two ways as open mine operation and closed mine operation. The negative impact on the environment in open mining is even greater than in closed mining, since the activity is on the ground. The difficulty of rehabilitating the fields after the activities of marble and stone quarries is an accepted fact [13]. Despite the difficulties experienced, it is an important requirement to reintegrate the damaged fields in both open and closed mining into nature and society after mining activities [14].

The paragraph added with the Law No. 5995 in 2010 to the last paragraph of the 16th article of the Forest Law, which regulates the mining permits, states that the forest areas with degraded natural structure will be rehabilitated after the end of mining activities. According to the relevant paragraph, it is stated that municipalities can be allowed to fill these areas with construction, demolition and excavation wastes in order to grow forests and make them ready for afforestation, in return for a price.

According to the fifth section of the regulation on the implementation of Article 16 of the Forest Law, titled «Rehabilitation, Rehabilitation Project, Follow-up and Control», the permit holder has to rehabilitate the mining area in accordance with the rehabilitation project. In addition, it is also stated that if the primary statue of the rehabilitatin area has some negative characteristics such as infertility and inefficiency, it is not possible to make a decision that this area cannot be rehabilitated.

In the mining permit process, rehabilitation begins with the start of the permit, continues as the activities continue, and the rehabilitation must end when the permit expires. If it is not completed within this period, an additional time is given for one year, but that mining activities cannot continue within this additional period. In addition, if the permit is canceled for any reason, this does not remove the responsibility for rehabilitation. Forest regional directorates monitor and control the areas where rehabilitation works are carried out. The permit holder, on the other hand, has to submit a technical report on the progress of the rehabilitation process in the area where the mining activity is carried out, according to the implementation calendar every year.

In addition to the laws and regulations on rehabilitation, the Ministry of Forestry and Water Affairs prepared the «Mining Sites Rehabilitation Action Plan» in 2014 in order to carry out the necessary studies on the rehabilitation of the areas where mining activities have ended. With the action plan, it is aimed to rehabilitate the mining sites located in the forest areas and to carry out the necessary training, monitoring and evaluation activities.

Four different methods are used all over the world, for the rehabilitation of the mining sites, and reintegrate them into the nature. These mentioned methods are; Rehabilitation by laying the top soil on the field, electrolysis, cleaning the polluted soils with plants and using the unrehabilitated fields for public benefit such as ponds, recreation areas or nature parks and solid waste storage areas [15]. Although there are many theoretical and practical studies on nature restoration after open pit mining abroad, this subject is relatively new in Türkiye [16]. Rehabilitation works carried out after mining activities also cause major problems. This result has become a common idea with a survey study prepared for experts with the opinion that the rehabilitation process cannot be managed properly, the inspections on this issue should be increased, and mining permits should not be given in

areas that are not suitable for rehabilitation [17]. In addition, reclamation of mine sites is seen as a costly, time-consuming process that often does not have the opportunity to correct mistakes and has serious negative effects on the environment, and it is thought that these negative effects will decrease if the improvement is done with a good planning [18].

Environmental Problems Caused by Mining Activities, Measures Taken and Suggestions. While mines and minerals, which are natural resources, are brought into the economy for human welfare, on the other hand, the great destruction and damage to the ecological environment is often overlooked. After the works are completed, especially in the fields where the open pit method is used, the topography, geological structure, relief, water regime, climate and landscape are completely change, and this causes the destruction of the vegetation [19].

It is a fact that there are direct and indirect environmental degradations as a result of mining operations [20] stated that, the rehabilitation works are much less than expected and they should be, and the lost in land use types and green area is much more than the gain with the rehabilitation works. No matter how good the applied methods are, it is stated in the studies that every method definitely causes environmental damage [21].

In areas where surface mining is carried out, there are many negative effects such as destruction of natural food chain and material cycles, negative changes in the structures and qualities of surface and underground waters in the mining area, environmental dust and noise effects, negative changes in the geomorphological structure, climatic conditions including the environment of the area, changes, loss or damage to soil creatures and fauna in that area, loss of fertile top soil, visual disturbances and loss of living / cultural assets and etc. [22–25]. Dust from the mining areas disturbs people, animals and the environment, and the roads that provide access to the settlements are destroyed. In addition, the productivity of orchards and agricultural lands decreases, causes a decrease in water resources, negatively affects the quality of life and leads to the emergence of social problems. For this reason, the pollutant gases released into the atmosphere should be controlled regularly to prevent these damages. More over, in order to avoid problems during afforestation works, the materials extracted from the steep slopes after excavation during the construction of forest roads and infrastructure should not be spilled randomly down the slope and this should be controlled [26].

The reclamation works of the areas whose physical and ecological properties are damaged are carried out in 4 stages. These are; (1) post-mining land use planning, (2) rearrangement (excavation, casting, water regime control, separate collection and laying of the top cover, etc.), (3) improvement (biological repair), (4) monitoring and maintenance in line with land use planning. With land use planning, the suitability of an area for the proposed uses should be investigated. It is important to carry out excavation and casting in accordance with the planning, to ensure that the casting sites and slopes are at the desired slope and elevation, to collect the top vegetative soil and the fertile soil just below it in accordance with the technique, to control the grading, drainage and water regime, and to prepare the necessary infrastructure. Improvement activities should be started in areas where the topographic arrangement has been completed. The aim here is to regain the biological productivity of the deformed, occupied area and this process includes the evaluation, improvement, development and replanting of the soil. After a suitable rearrangement and improvement work, an additional process is needed to ensure efficient use of the land. At this stage, monitoring, controlling, maintenance and development plans are needed and monitoring of water quality, drainage, slope sensitivity, erosion status are the most important factors. The condition and development of the soil in the casting areas can be observed by making the necessary trials [27].

In order to minimize all these damages, it should be mandatory to present the ecological and biological assets in a more comprehensive manner in the environmental impact assessment reports received for mining activities and to use these data at all times. As the economics evaluation of the mine to be obtained in forest areas is done, the ecological damage to be incurred in and out of the forest areas should be also determined, and even the added value that the forests provide depending on the economic, ecological and social functions should be handled with a holistic approach and accordingly mining activity permits should be evaluated by considering the public interest.

References

1. Şentürk (Gençay) G., Birben Ü. Investigation of Legal Aspects of Mining Activities in Forest Areas // Turkey Poster Proceedings Book, Istanbul. 2007. P. 17–19.
2. Gençay G., Birben Ü. Legal Process of Mining Permits and Rehabilitation in State Forests in Turkey (Bartın Province Example) // Anatolian Journal of Forest Studies. 2018. V. 4(1). P. 12–24.
3. Kırşan İ. H. Problems and Solution Proposals of the Mining Industry // Turkey 17th International Mining Congress and Exhibition-TUMAKS. 2001.
4. Official Newspaper, 1985. Official Newspaper Announcement of «Mining Law» No. 3213: 15 June 1985, No. 18785
5. Official Newspaper, 1937. Official Newspaper Announcement of «Forest Law» No. 3116: 18 February 1937, No. 3537.
6. Official Newspaper, 1956. Official Newspaper Announcement of «Forest Law» No. 6831: 8 September 1956, No. 9402.
7. Official Newspaper, 2004. Official Newspaper Announcement: 5 June 2004, No. 25483 of the «Law on the Amendment of the Mining Law and Some Laws» No. 5177.
8. Official Newspaper, 2005. It was published in the Official Newspaper dated 21 June 2005 and numbered 25852 and entered into force.
9. Official Newspaper, 2007. It was published in the Official Newspaper dated 22 March 2007 and numbered 26470 and entered into force.
10. Constitutional Court Decision, 2009. T. 15.1.2009, M. 2004/70, K. Decision of the Constitutional Court no. 2009/7.
11. Official Newspaper, 2010. Official Newspaper Announcement: 24 June 2010, No. 27621.
12. Official Newspaper, 2010. It entered into force by being published in the Official Newspaper dated 30 September 2010 and numbered 27715.
13. Coşkun A. A. Miner's «Law» Victory // Forest and Hunt Magazine. 2009. P. 12–19.
14. Rehabilitation of Marble and Stone Quarries Workshop Final Declaration. 2013.
15. MFWM. Mining Sites Rehabilitation Action Plan 2014–2018 // Ministry of Forestry and Water Management. Ankara, 2014.
16. Şimşir F., Pamukçu Ç., Özfirat M. K. Recultivation and Nature Restoration in Mining // DEU Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering. 2007. V. 9, Iss. 2. P. 39–49.
17. Bilim M., Tolunay A. Legal, Environmental, Social and Economic Analysis of the Allocation of Forest Resources to Mining Operations in Turkey // National Marble and Quarry Repair Techniques Symposium. Isparta, 18–20 September 2014. 2014. P. 106–116.
18. Boza Z. Possibilities of Using Geographic Information Systems in Designing the Natural Form of Open Mines in accordance with the Original Leveling Curves (Cesme Germiyan Example). Ministry of Environment and Forestry, Aegean Forestry Research Directorate, Ministry Publication No. 335, Directorate Publication No. 49, İzmir. 2008.
19. T. C. Ministry of Environment and Forestry, 2006. EIA Guide–Waste Disposal Facilities.
20. Acar D. Ö. Investigation of Landscape Restoration Studies After Open Pit Coal Mining in Turkey: Master Thesis / Ankara University Institute of Science and Technology, Department of Landscape Architecture. Ankara, 2007. 97 p.
21. Atmaca M. Evaluation of Possible Land Use Alternatives After Mining of Afşin-Elbistan Thermal Power Plant Open Mine Area: PhD Thesis / Çukurova University Institute of Science and Technology, Mining Engineering Department. Adana, 2001.
22. Darmer, G., 1991. Landscape and Surface Mining, Ecological Guidelines for Reclamation,
23. Kalaycı M. 2016. Landscape Repair and Preparation of Plans in Mines: Kastamonu-Devrekani Example, Düzce University/Institute of Science, (Unpublished Master Thesis), Düzce.
24. Uzun O., Bollukcu P. Evaluation of Open Pit Operations in Bartın Central District in terms of Landscape Repair-Biological Repair // Bartın Faculty of Forestry Journal I. National Western Black Sea Forestry Congress Proceedings Book, Special Issue. 2009. V. II, Bartın. P. 481–500.
25. Cındık Y., Acar C. Rehabilitation and Rehabilitation of Exhausted Stone Quarries // Artvin Çoruh University Faculty of Forestry Journal. 2010. V. 11(1). P. 11–18.

26. Sezer A. O., Gençay G. Examination of the Mining Permit Process in State Forests (Example of Eskişehir Regional Directorate of Forestry) // Journal of Bartın Faculty of Forestry. 2017. V. 19(1). P. 204–217.
27. Akpınar N. Examination of EIA and Nature Restoration Studies in Open Coal Mines in the Example of Milas-Sekköy Open Coal Mine: Ph.D. Thesis. Ankara, 1994. 277 p.

UDC 630

THE EFFECT OF LANDFORM AND CLIMATIC FACTORS ON CHANGING NORMALIZED VEGETATION INDEX (NDVI) ON THE WEST PART OF ALTAI MOUNTAIN

¹Zhumagulova M., ²Bülent Turgut

¹S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Faculty of Forestry, Wildlife and Environment, Nur-Sultan Kazakhstan

²Karadeniz Technical University, Department of Soil Science, Trabzon, Turkey
Madinazhumagulova98@gmail.com, bulentturgut@ktu.edu.tr

Key words: vegetation index, NDVI, satellite images.

Introduction: The results of previous studies showed that there is relation between climate change and vegetation. However, identifying the causes responsible for vegetation change remains a challenge. Terrestrial vegetation is dependent and sensitive to various natural factors and can reflect the effects of climate change within an abbreviated time [1]. Studies showed that the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is important for studying land surface processes and climate change. A consistent correlation exists between the NDVI and vegetation biomass and dynamics [2]. Satellite observations, such as NDVI, allow estimation of the state of activity of mountain vegetation. NDVI can effectively reflect the optimal vegetation growth status and is closely correlated with biomass [3] NDVI time-series data are important for regional and global ecological and conservation applications. The purpose of this study was: i) to identify the impact of landforms such as elevation, slope, and aspect on vegetation index (NDVI) values; and ii) the impact of climatic factors such as temperature and precipitation on vegetation.

Material and Methods. The study area is a part of the Altai Mountains, located on the borders of the Republic of Kazakhstan and the Russian Federation. The study area is located at 50°31'17.65"N, 84°10'31.92"E, 50°32'54.29"N, 85°43'53.38"E, 49°31'28.84"N, 84°14'9.96"E, 49°32'24.66"N, 85°44'47.41"E. In our study, climatic data such as temperature and precipitation from 2020 to 2021 was used, these data were obtained from the meteorological station in Ust-Koksa from April to August since this station is closest to the centre of the study area. According to the climatic data the mean temperature in 2020 was higher than in 2021 (fig. 1, A), and temperature varied from April to August (fig. 1, B). The warmest month in the study area was July. Figure 1B showed that April, May, and June have higher mean temperatures in 2020 than in 2021, while July and August in 2021.

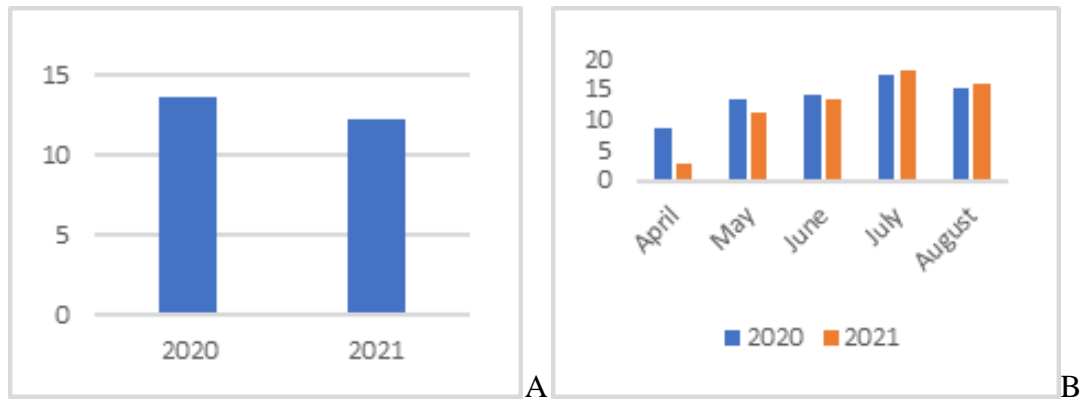


Figure 1 – Mean temperature of (A) years, and (B) months

Total precipitation varied over with years and months. The highest precipitation was observed in 2020 in terms of years (fig. 2, A). Besides, the month with the highest precipitation was different in 2020 and 2021. The highest precipitation was seen in July in 2020, and in June in 2021 (fig. 2, B).



Figure 2 – Total precipitation of (A) years, and (B) months

A digital elevation model, slope, distance from the sea and aspect were computed for the study area using the «Spatial analyst» tool in ArcGIS software and Alos Palsar satellite imagery with a resolution of 12,5 m [4]. In the study area, the elevation varies between 178 m and 2870 m, the mean elevation is approximately 1415 m in the study area. The study area mostly has a higher slope, more than 10 %, but there are also areas with a smaller slope or flat areas. The flat area, which includes the water surface in the study area, is 3,5 % and this is the smallest occupied area. The South has the highest rates at 18,9 % and the North is 16,3 %. The remaining slopes are mostly homogeneous and range from 8 to 11 %.

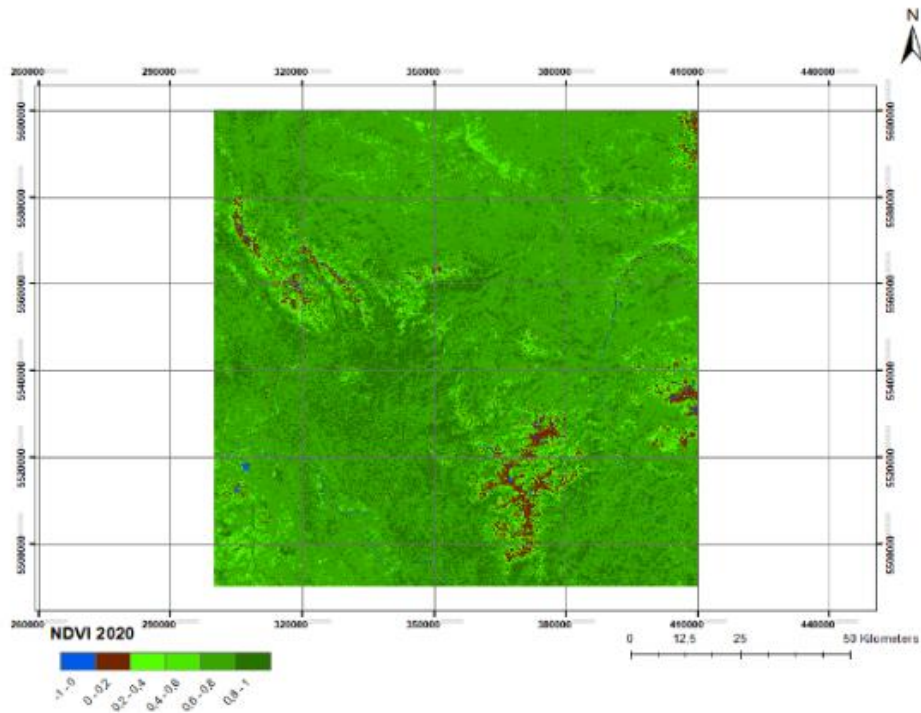
To calculate the NDVI, band 4 (red) and band 5 (near-infrared) of Landsat 8 OLI/TIRS C2 Level 2 images, with a ground spatial resolution of 30m, downloaded from United States Geological Survey (USGS) web services (<https://earthexplorer.usgs.gov>) were used [5]. The ArcGIS «Raster calculator» was used for calculations (Eq. 1) based on satellite images dated August 2018, August 2019 and August 2020.

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{red}) \quad \text{Eq. 1.}$$

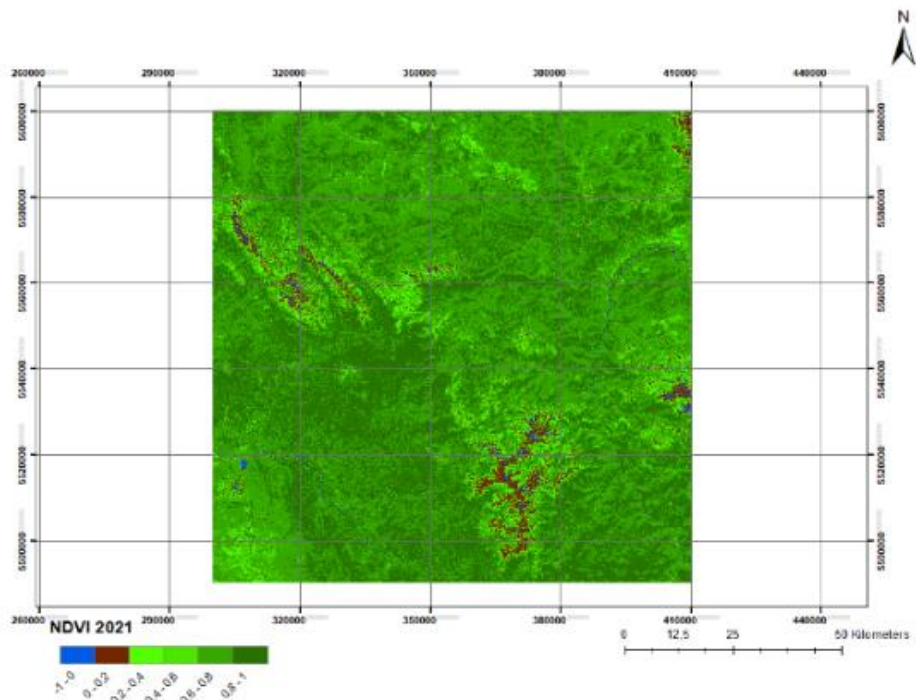
The study area is mostly homogeneous, except for some objects. Most of the territory is occupied by coniferous forests, while the water surface is not represented. A small area is occupied by a vegetation index value of 0–0,2, which is a soil according to the NDVI classification, but in this area, it is the tops of the mountains, where no vegetation. The highest vegetation class in 2020 and 2021 is 0,6–0,8. The second most occupied class is 0,8–1,0. This means that there is a large per-

centage of forest in the area. The other classes are insignificantly represented compared to the largest classes. The smallest class is – 1–0 with 0,4–0,6 %. Vegetation index values in other classes range from 1 to 7 % (fig. 3).

To determine the degree of environmental change caused by landforms, the elevation, slope, and aspect layers were converted into a vector using the ArcGIS tool «Raster to Polygon». NDVI variations were determined due to differences in the abiotic environment using the ArcGIS «Zone Statistics as Table» tools. One-way Analysis of variance (ANOVA) was used to determine the differences between elevation, slope, aspect and NDVI. Tukey's comparison test was used to measure differences between the mean values. IBM SPSS Statistics was used to ANOVA.



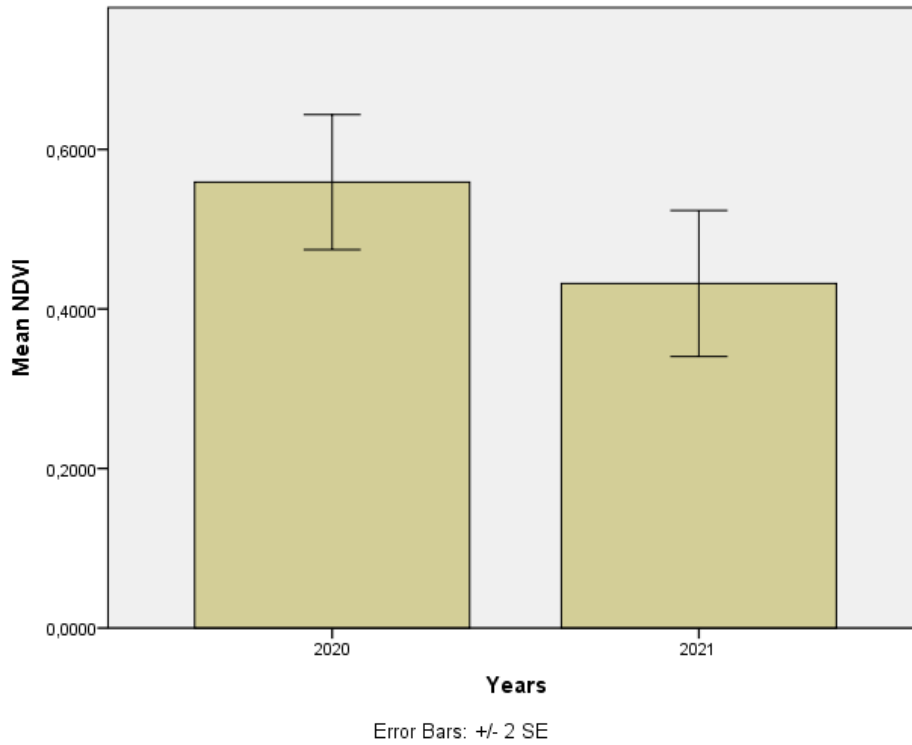
A



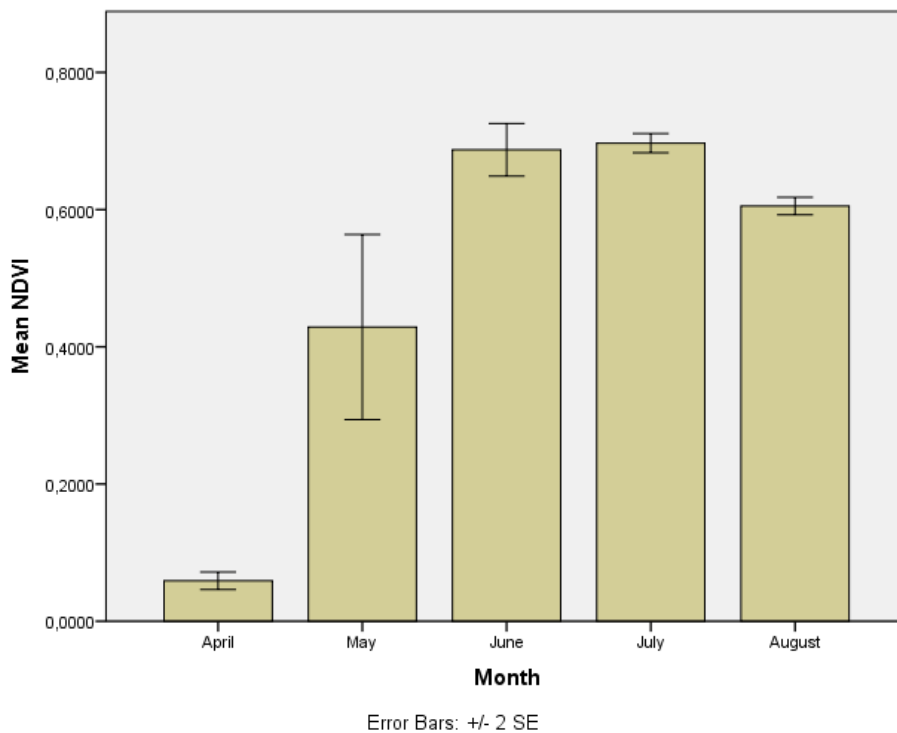
B

Figure 3 – The NDVI map of the study area, 2020 (A), 2021 (B)

Results and Discussion. The differences among years in terms of NDVI were statistically significant ($F: 938,5; p<0,01$) (fig. 4, a). This difference may be due to the high amount of total precipitation in 2020. A positive correlation between the amount of precipitation and NDVI has been demonstrated in the literature [6, 7]. Differences between months on the NDVI score were statistically significant ($F: 7330,558; p<0.01$) (fig. 4, b). According to these results, the highest rates of NDVI are observed in June and July, followed by August and May, with the lowest rates in April.



A



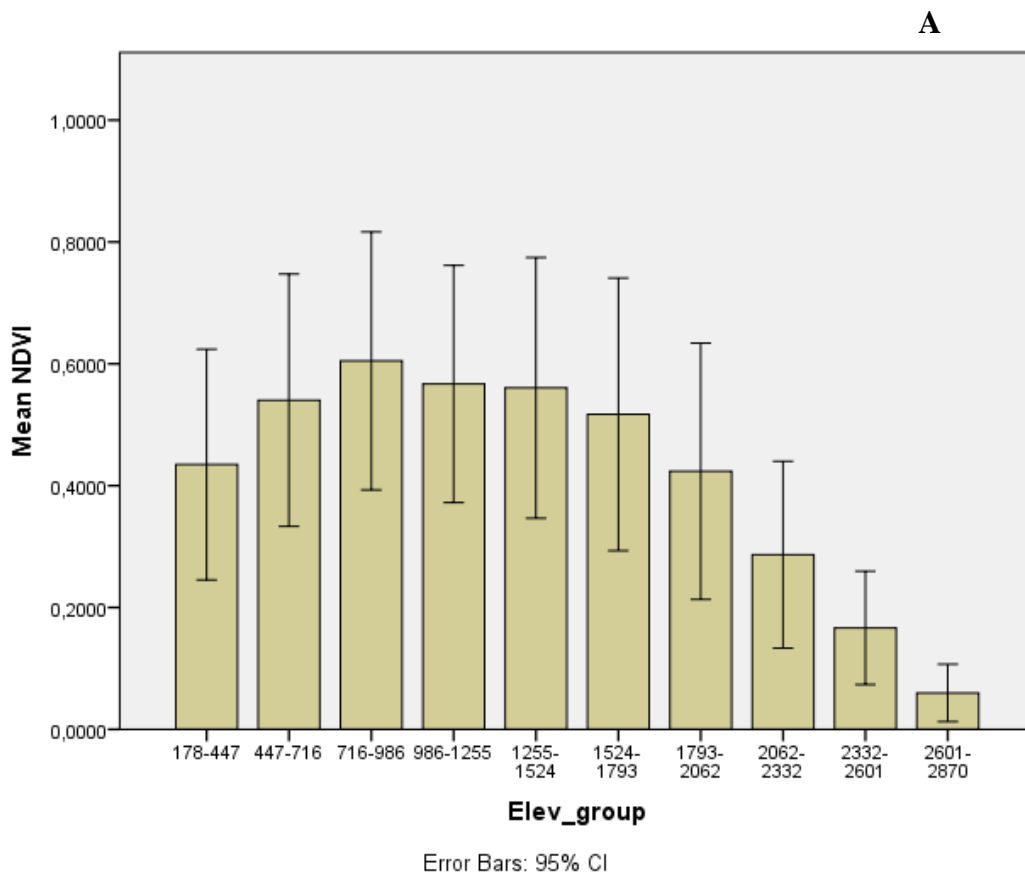
B

Figure 4 – (A) Changes in NDVI by year and (B) by months in the study area

The differences among elevation ranges in terms of NDVI were statistically significant ($F: 5,267; p < 0,01$). The highest NDVI was observed from 716–986 m elevation ranges and the lowest 2601–2870 (fig. 5, a). Figure 5b illustrates the dependency of the NDVI index values on elevation for the years 2020 and 2021 from April to August. From these graphs, 4 trends of NDVI values can be identified depending on the months. In elevation ranges from 178–447 to 1524–1793 the highest values of the vegetation index are in June, followed by July, August, May, and April respectively. From an elevation of over 1800 m to 2000 m the tendency between the highest NDVI values and the second-month changes, so the highest values are in July, the second highest in June, and the order of the others does not change. From an elevation above 2062 m to an elevation range of 2601–2870 the order of the second- and third-month changes, so the months with the highest readings are also July, followed by August, June, May, and April, respectively. In the last elevation class, the trend reverses again, and the order of precedence is as follows: August, July, June, May, and April.

Differences between slope ranges in NDVI were statistically significant ($F: 9,331; p < 0,01$) (fig. 6, a). The highest NDVI observed from 15–30 % slope range. Figure 6b shows that starting from the slope range of 0–2 % up to 15–30 %, the highest NDVI values are observed in July, further, the values decrease from June, August, May, and April, respectively. After the slope exceeds 30 %, the trend changes to June, July, August, May, and April, respectively

The NDVI didn't show statistically differences with aspect ($F: 0,025; p > 0,05$) (fig. 7).



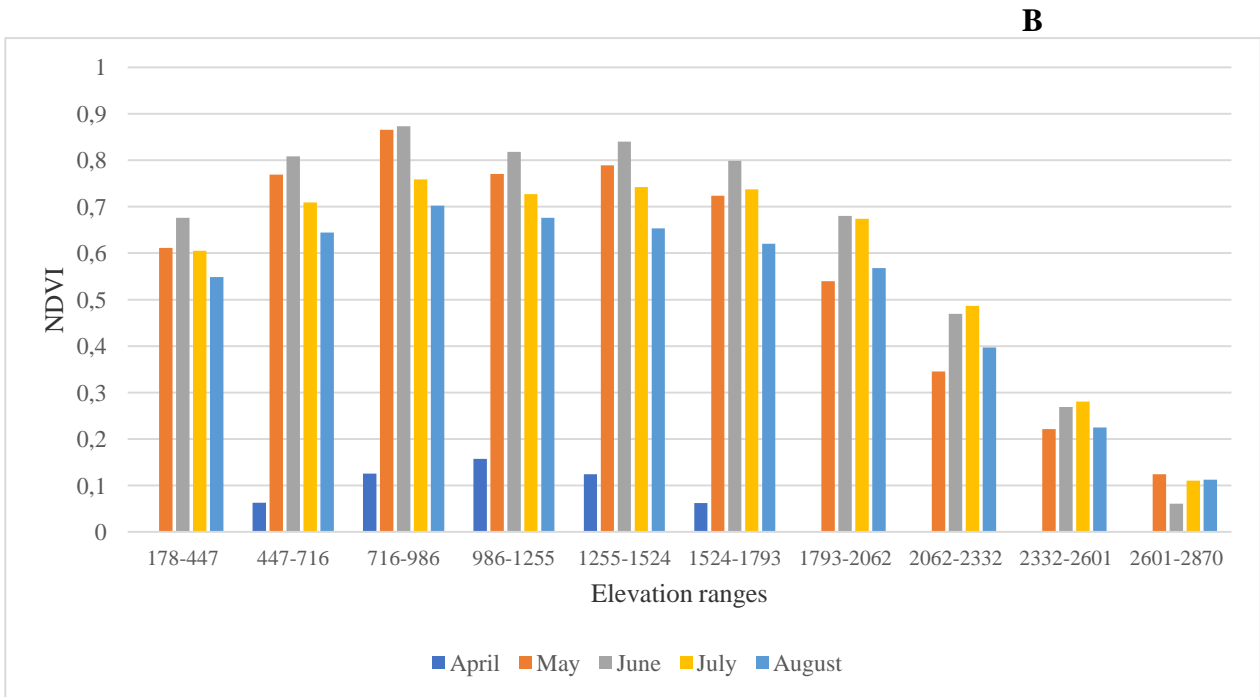
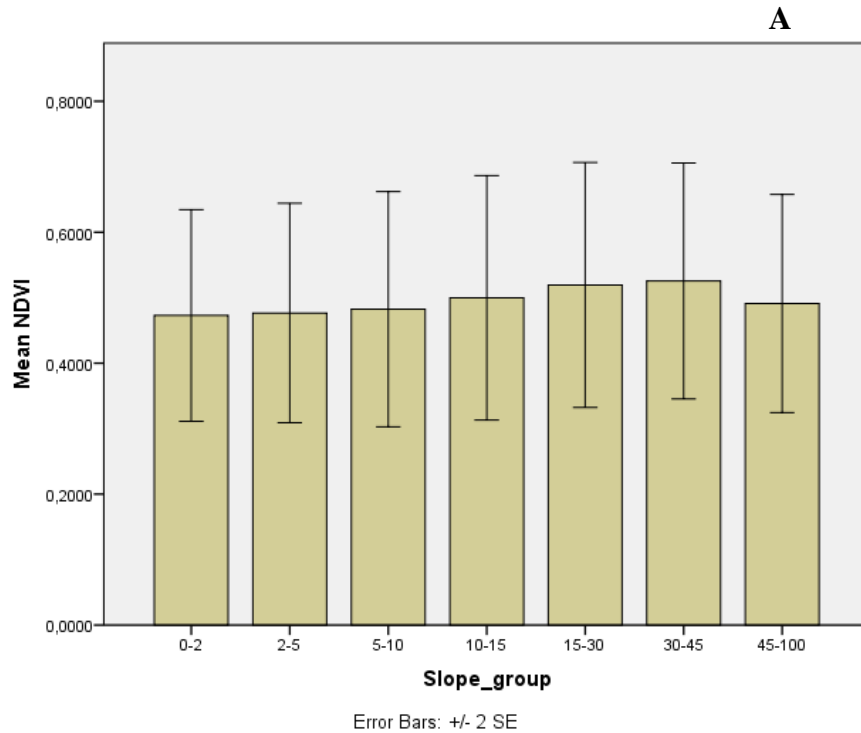


Figure 5 – (A) Variations in NDVI along with elevation in the study area, (B) Depends on the elevation of NDVI for 2020 and 2021 from April to August

Conclusion. The research conducted for this article has shown that vegetation index values change with elevation, slope, and aspect, with the participation of temperature and precipitation. These changes can be monitored by interpreting satellite images using the capabilities of geographic information systems. The results show that; i) NDVI differed significantly in terms of years. In the drier and colder year (2021) NDVI was lower than in 2020, ii) elevation differences caused changes significantly in the NDVI, iii) in below 1500 m, NDVI was the highest in June, iv) in above 1500 m NDVI was the highest in July and v) in above 2600 m NDVI was the highest in August.



B

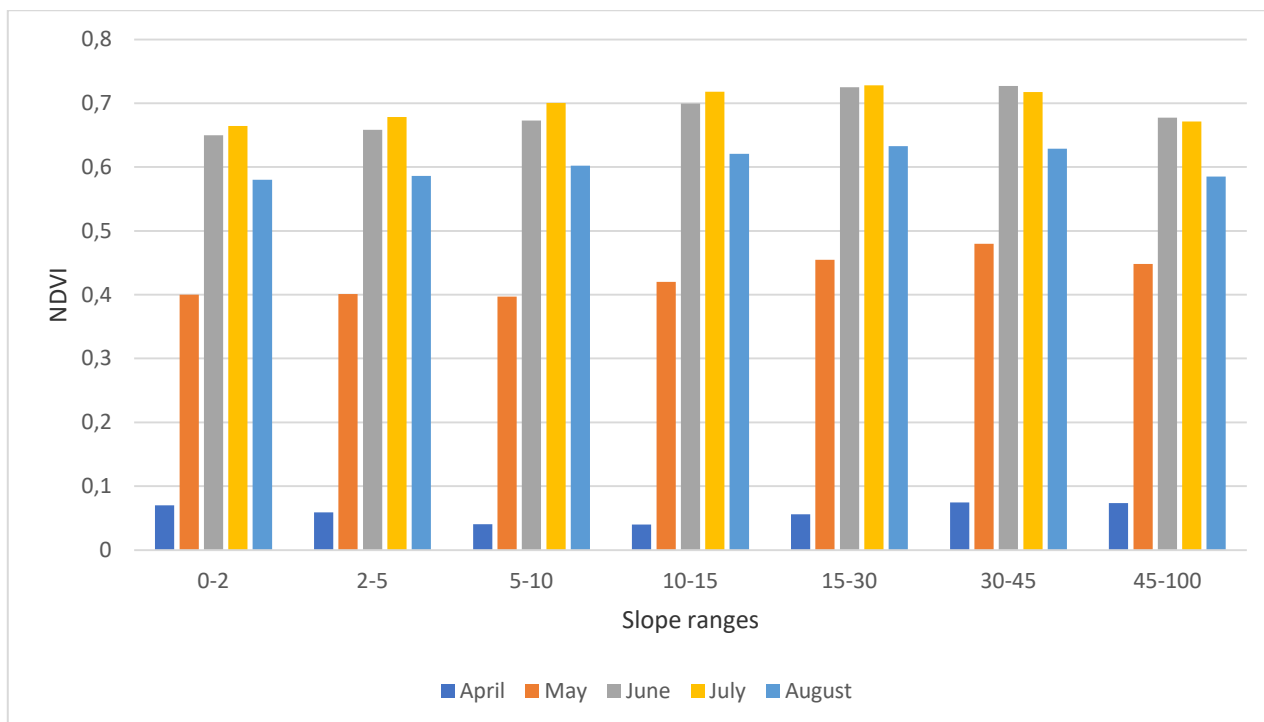


Figure 6 – (A) Variations in NDVI along with slope in the study area, (B) Depends on the slope of NDVI for 2020 and 2021 from April to August

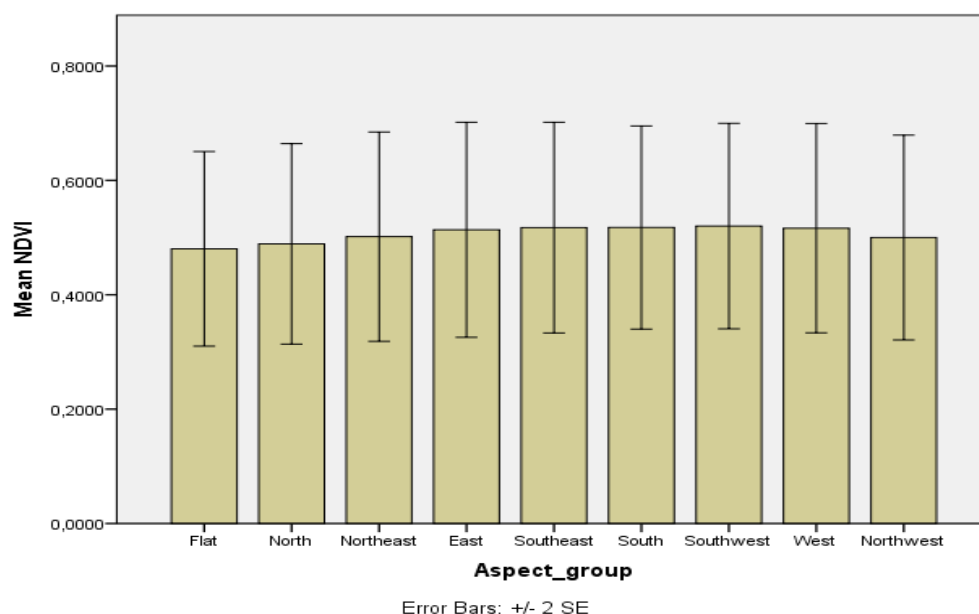


Figure 7 – Variations in NDVI along with aspect in the study area

References

1. Zhao N., Li X. G. Effects of aspect–vegetation complex on soil nitrogen mineralization and microbial activity on the Tibetan Plateau // CATENA. 2017. V.155. P. 1–9. DOI: 10.1016/J.CATENA.2017.02.025
2. Jackson R. D., Huete A. R. Interpreting vegetation indices. Preventive Veterinary Medicine. 1991. V. 11(3–4). P. 185–200. DOI: 10.1016/S0167-5877(05)80004-2
3. Lin X., Niu J., Berndtsson R., Yu X., Zhang L., Chen X. NDVI Dynamics and Its Response to Climate Change and Reforestation in Northern China Xingna. Remote Sens. 2020. V. 12: 4138. DOI: 10.3390/rs12244138

4. ASF DAAC 2015. ALOS PALSAR_Radiometric_Terrain_Corrected_low_res; Includes Material © JAXA/METI 2007. Accessed through ASF DAAC 07.10.2021. DOI: 10.5067/JBYK3J6HFSVF
5. Li P., Jiang L., Feng Z. Cross-comparison of vegetation indices derived from landsat-7 enhanced thematic mapper plus (ETM+) and landsat-8 operational land imager (OLI) sensors // Remote Sensing. 2013. V. 6(1). P. 310–329.
6. Fabricante I., Oesterheld M., Paruelo J. M. Annual and seasonal variation of NDVI explained by current and previous precipitation across Northern Patagonia // Journal of Arid Environments. 2009. V. 73(8). P. 745–753. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2009.02.006
7. Wingate V. R., Phinn S. R., Kuhn N. Mapping precipitation-corrected NDVI trends across Namibia // Science of the Total Environment. 2019. V. 684. P. 96–112. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.158

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

- Абакумов Е. В. 59
Алемасова А. С. 12
Андроханов В. А. 16
Асылбаев И. Г. 141
Банникова Л. А. 20
Барашкова Н. В. 24
Баркова Н. Ю. 41
Бетехтина А. А. 161
Бобрешова А. О. 203
Борисова Г. Г. 121, 230
Бурцев А. Г. 20
Бухарина И. Л. 28
Бушуева Ю. О. 32
Валдайских В. В. 152
Веселкин Д. В. 181
Владыкина В. Д. 20
Власова Н. В. 36
Воробьева И. Б. 36
Воропаева О. В. 123
Гаршин М. В. 59
Глазырина М. А. 41, 207, 214, 220, 225
Глухов А. З. 184
Глухова Е. В. 48
Глязнецова Ю. С. 51
Голиков Д. Ю. 240
Голубева Е. И. 48
Госсен И. Н. 16
Груданов Н. Ю. 20
Гудовских Ю. В. 32
Гусева В. П. 147
Давляев Ф. Д. 207, 214
Двуреченский В. Г. 55
Денева С. В. 119
Дорогая Е. С. 59, 141
Доронькин В. М. 104
Дымов А. А. 188
Егошина Т. Л. 32
Ермакова М. В. 63, 67
Жидков А. Н. 128
Жуков С. П. 71
Зуева И. Н. 51
Ильбулова Г. Р. 75
Исанбаева Г. Т. 193
Исупова А. А. 28
Калинина А. В. 79
Катаев Г. Д. 86
Князев В. И. 203
Клеткин А. А. 156
Коженков Л. Л. 128
Коробицина С. Н. 41
Кочубей А. А. 83
Крюкова С. А. 86
Кузнецова Е. Г. 114, 119
Кузьмина Н. А. 90
Кукушкин С. Ю. 168
Кулагин А. Ю. 98, 101
Кутявин И. Н. 188
Ламанова Т. Г. 104
Лаптева Е. М. 114, 119
Леухин И. В. 109
Лифшиц С. Х. 51
Лиханова И. А. 114, 119
Лугинина Е. А. 32
Лукина Н. В. 41, 207, 214, 220, 225
Лямзин В. И. 28
Малева М. Г. 123, 230
Мартынова Л. В. 24
Мартынюк А. А. 128
Махнева С. Г. 156
Машков И. А. 132, 178
Менщиков С. Л. 90, 137, 156
Миннегалиев А. О. 59, 141
Мирненко Н. С. 144
Митин Н. В. 132, 178
Михайловская Л. Н. 147
Михайловская З. Б. 147
Михалищев Р. В. 152
Мохначев П. Е. 156
Мухин В. А. 137
Некрасова О. А. 161
Никитина Е. С. 165
Новиков П. Е. 123
Опекунов А. Ю. 168
Опекунова М. Г. 168
Пермитина В. Н. 174
Петрова И. В. 83
Петрова Т. А. 161
Попова Н. И. 51
Потапенко А. М. 132, 156, 178
Радченко Т. А. 159
Раева Я. Ю. 123
Рафикова О. С. 181
Сафонов А. И. 10, 184
Семенова И. Н. 75
Симонян Р. С. 150
Собенин А. В. 230
Сродных Т. Б. 165
Старцев В. В. 188
Сулейманов Р. Р. 59, 141
Суюндуков Я. Т. 193
Суюндукова М. Б. 73
Тагирова О. В. 101
Ташев А. Н. 137
Тептина А. Ю. 230
Терехов Г. Г. 156
Тиганова И. А. 20
Тихменев Е. А. 198
Тихменев П. Е. 198
Толкачева Н. В. 132, 178
Третьякова А. С. 20
Трещевская С. В. 203
Трещевская Э. И. 203
Уфимцев В. Н. 16
Учаев А. П. 161
Филимонова Е. И. 41, 123, 207, 2014, 220, 225
Хасанова Р. Ф. 193
Холопов Ю. В. 119
Хриченков А. В. 20
Чалая О. Н. 51
Чибрик Т. С. 220, 225
Чукина Н. В. 123
Шабалева М. С. 178
Шеремет Н. В. 104
Ширяев Г. И. 230
Шишкин А. С. 236
Юсупов И. А. 240
Яковлева Е. В. 188
Ярославцев А. В. 32
Arıcak B. 249, 270
Atar N. 261
Ayan S. 276
Cetin M. 249, 270
Erdem R. 247, 268
Güler S. 276
Kalender A. 254, 285
Oktan E. 254, 261, 285
Sevik H. 90, 249, 270
Turgut B. 276, 290
Yavruoğlu S. 254, 285
Yücesan Z. 254, 285
Zhumagulova M. 290

Научное издание

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ
И МОНИТОРИНГ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ**

Материалы XI Всероссийской научной конференции
с международным участием
Сатка, 12–16 сентября 2022 г.

Составитель сборника: Н. А. Кузьмина
Редактор и корректор: М. А. Глазырина
Компьютерная верстка: М. А. Глазырина

Подписано в печать 04.08.2022 г.
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Тираж 100 экз. Заказ № 308.

456912, г. Сатка, Челябинской обл., ул. Куйбышева, 1.
Типография «Принтоника».
Тел.: 8-904-307-04-44.
E-mail: printonica@yandex.ru

ISBN 978-5-6046776-7-4