



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Геоэкологии, природопользования и экологической безопасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему Биоиндикаторы в оценке загрязнения окружающей среды

Исполнитель Милешникова Надежда Владимировна Э-Б19-2-8

Руководитель доктор биологических наук, доцент, профессор
кафедры геологии, природопользования и экологической
безопасности

Зеленева Юлия Витальевна

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

кандидат географических наук, доцент

Дроздов Владимир Владимирович

« » июля 2023 г.

Санкт-Петербург

2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И СОВРЕМЕННАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА ТОСНЕНСКОГО РАЙОНА ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ.....	7
1.1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ «КРАСНЫЙ БОР» И «КОЗЛОВСКИЙ ЛЕС».....	11
2. СОВРЕМЕННЫЕ НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ДОСТИЖЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ БИОИНДИКАЦИИ.....	13
3. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ «КРАСНЫЙ БОР» И «КОЗЛОВСКИЙ ЛЕС» ТОСНЕНСКОГО РАЙОНА ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ БИОИНДИКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	18
3.1 СТРУКТУРА ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ РАЙОНА.....	18
3.2 БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ «КРАСНЫЙ БОР» И «КОЗЛОВСКИЙ ЛЕС».....	22
3.3 ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТЕНИЯХ	24
3.4 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА И ПОЧВЫ НА ПРИМЕРЕ КРЕСС-САЛАТА.....	29
3.5 ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕГА ПО ПРОРАСТАНИЮ ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР В РУЛОНАХ.....	34
3.6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСТОТЫ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИСТОВОГО ОПАДА.....	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	39
ВЫВОДЫ.....	41
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	42
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	49

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ЦПУ – центральный пункт управления

ХПК – химическое потребление кислорода

ПДК – предельно допустимая концентрация

ЗВ – загрязняющие вещества

ТМ – тяжелые металлы

ПП – проективное покрытие

с.в. – сухое вещество

ВВЕДЕНИЕ

Экологические последствия хозяйственной деятельности человека наиболее остро проявляются на урбанизированных территориях, в особенности в крупных промышленных городах. В ходе урбанизации увеличивается не только население городов и занимаемая ими территория, но также возрастает интенсивность воздействия городов на окружающую природную среду за пределами их собственных границ [Алимов, 1999].

Проблема экологического контроля состояния окружающей среды, а также деятельности, связанной с ликвидацией и переработкой отходов, привлекает все больше внимания. В настоящее время единственной специализированной территорией конечного размещения промышленных токсичных отходов для Санкт-Петербурга и Ленинградской области является государственное природоохранное предприятие полигон «Красный Бор». Эти бесконтрольные участки могут стать источниками загрязнения почвы, воздуха и подземных вод.

Выделяемые загрязняющие вещества существенно влияют на окружающую среду. Наибольшую опасность представляют жидкие промышленные отходы, которые содержат высокие концентрации различных токсичных соединений. Данные загрязняющие вещества могут проникать в подземные и поверхностные воды, тем самым нанося непоправимый ущерб природе.

Экологическое действие загрязняющих агентов может проявляться по-разному: затрагивать либо отдельные организмы, либо популяции, биоценозы, экосистемы и даже биосферу в целом. На организменном уровне может происходить нарушение отдельных физиологических функций организмов, изменение их поведения, снижение темпов роста и развития, снижение устойчивости к воздействиям иных неблагоприятных факторов среды. Учет всех этих изменений живых организмов и составляет основу методологии биоиндикации. Данный комплекс методов необходим для выявления негативных изменений в живых системах на ранних стадиях. Так

как многие организмы более чувствительны к антропогенному воздействию, нежели человек, и наблюдения за ними эффективны и экономичны, при этом зачастую являются более точными. Животные и растительные организмы как элементы экосистем несут информацию о состоянии окружающей среды.

При использовании методов биоиндикации следует учитывать, что изменения в экосистемах происходят не только вследствие антропогенного воздействия, но и в процессе их естественной эволюции: изменение численности, миграции животных является индикатором трансформации экосистем [Алимов, 1999].

Экологическая оценка состояния природных, природно-аграрных и урбанизированных систем в настоящее время рассматривается в качестве одного из важнейших аспектов эколого-географических исследований [Калманова, 2010]. Однако наблюдается недостаточное изучение экологического состояния природной среды лесного массива «Красный бор» в частности с использованием методов биоиндикации. Что обуславливает актуальность работы и проведенных исследований. Для сравнения показателей была взята близлежащая предположительно экологически чистая территория «Козловский лес».

Цель работы состоит в проведении комплексной оценки методами биоиндикации территорий СПБ ГУПП Полигон «Красный Бор» и лесного массива «Козловский лес», получение количественной и качественной информации об экологическом состоянии урбанизированных территорий.

Задачи, решаемые для достижения цели:

- дать характеристику СПБ ГУПП Полигон «Красный Бор» с точки зрения воздействия на природную среду;
- описать природные условия и современную экологическую обстановку исследуемой области Тосненского района;
- провести оценку окружающей среды на территории СПБ ГУПП Полигон «Красный Бор» методами биоиндикации в сравнении с лесным массивом «Козловский лес»;

-разработать предложения по снижению негативных эффектов воздействия антропогенной деятельности на территории лесных массивов «Красный Бор» и «Козловский лес».

Объектами исследования являются лесные массивы «Красный Бор» и «Козловский лес».

Предмет исследования – различные группы модельных организмов, позволяющих выявить негативные антропогенные воздействия на зоны различной степени экологического неблагополучия окружающей среды.

Методологическая основа исследования характеризуется применением таких принципов, как объективность и системность. В работе были использованы следующие методы познания: анализ, сравнение, наблюдение и эксперимент.

Теоретическая значимость выпускной квалификационной работы заключается в определении особенностей проведения методов биоиндикации, а также обобщении научного опыта и результатов собственного исследования.

Практическая значимость исследования определена тем, что результаты могут быть использованы в дальнейшем при анализе и разработке решений по существующим проблемам экологического контроля.

Основу исследования составили три группы источников, представленные нормативно-правовыми актами, научной литературой и материалами периодической печати, официальными сайтами и иными интернет-ресурсами.

Структура исследования: выпускная квалификационная работа состоит из содержания, введения, основной части разделенную на главы и параграфы, заключение, список использованных источников, приложения.

ГЛАВА 1. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И СОВРЕМЕННАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА ТОСНЕНСКОГО РАЙОНА ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Тосненский район – один из центральных районов Ленинградской области, расположен к юго-востоку от Санкт-Петербурга. Площадь района составляет 3585,4 км². Граничит с Новгородской областью, Санкт-Петербургом, а также с Лужским, Гатчинским, Киришским и Кировским районами Ленинградской области [Знаменская, 1964].

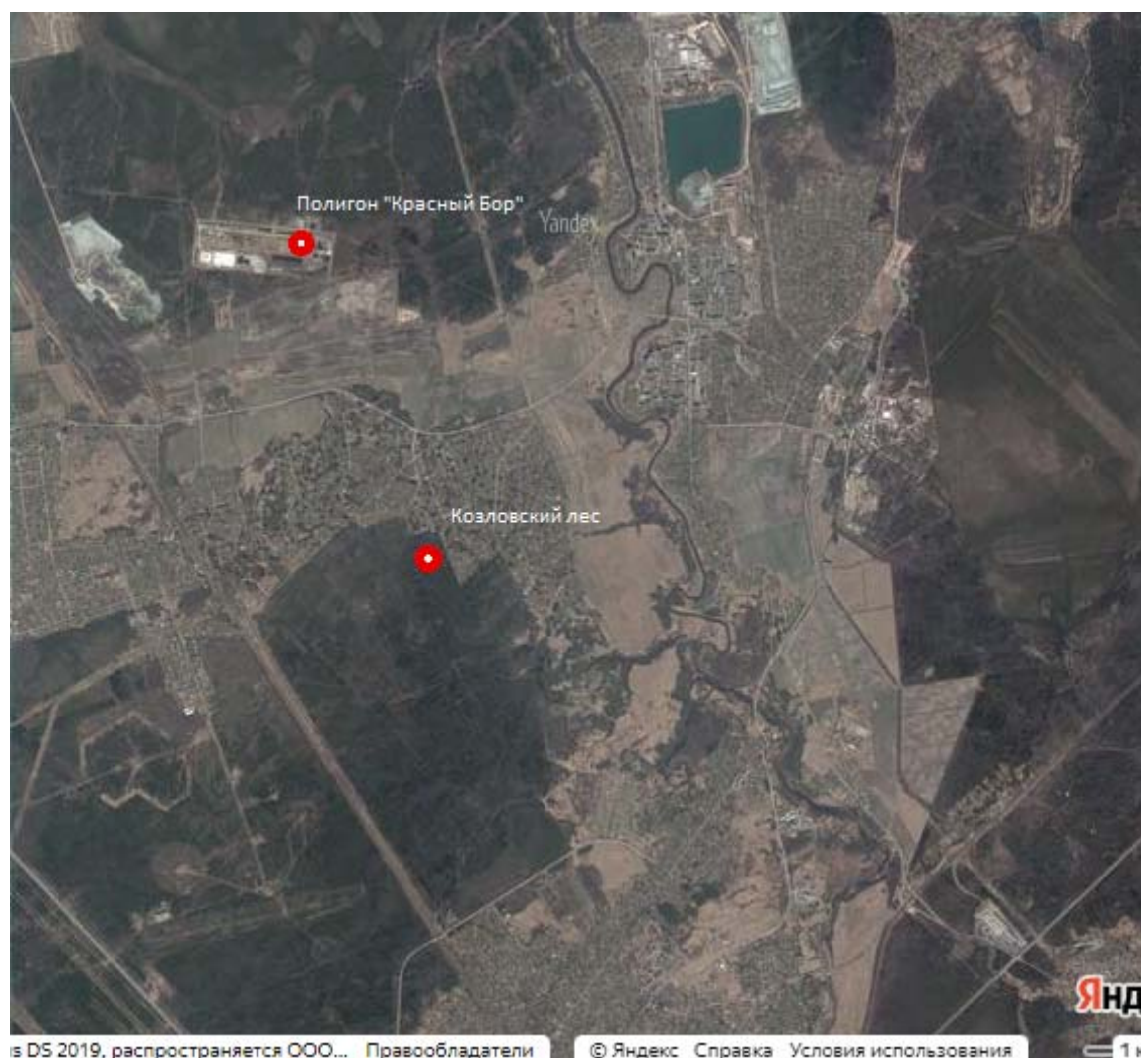


Рисунок 1. Спутниковый снимок исследуемой территории Тосненского района

Исследуемая территория располагается на Путиловском плато – восточной части Ижорской возвышенности, которая, в свою очередь, является большей частью Ордовикского плато. Слагающие Путиловское плато известняки, мергели и доломиты лежат ниже, чем в других частях Ижорской возвышенности, а слой покрывающих их ледниковых отложений – толще. Особо выражен плоскоравнинный рельеф, с абсолютными высотами большей частью в пределах 25-50 метров [Квасов, 1974].

В долине реки Тосна отметки снижаются до 26-27 м. Северные и северо-восточные окрестности города заболочены. Сильная заболоченность почвы: болотами покрыта более 12% всей площади района. Торф имеет наибольшее значение среди полезных ископаемых района. Кроме того, существуют залежи различных глин, песков, бутового камня, известняка и гравия [Даринский, 1975].

Климат территории напрямую связан с ее географическим положением. Ленинградская область находится в зоне неравномерного поступления солнечной радиации в течение года, на что влияет амплитуда угла падения солнечных лучей и продолжительность дня. Облачность – также значимый фактор, регулирующий количество доходящего до земли тепла. С ноября по февраль над всей территорией области концентрируются низкие слоистые облака, уменьшающие поступающую радиацию в указанные месяцы, по меньшей мере, на треть. Около 88% эффективного излучения приходится на конец весны и летнее время. Большое влияние на климат оказывается движением воздушных масс, которые могут иметь различное происхождение. Атлантико-континентальная климатическая область с переходным от морского к континентальному умеренным типом климата включает большую часть умеренно широтной Европы, в том числе и рассматриваемую территорию. С запада и северо-запада поступает влажный морской воздух; с востока, юго-востока и юга – континентальный, приносящий тепло летом и холод зимой; с севера и северо-востока, как правило, со стороны Карского моря, приходят холодные арктические ветра.

При этом количество дней в году с преобладанием морских и континентальных воздушных масс примерно одинаково, что говорит о переходном типе климата – от континентального к морскому [Кобьшева, 2001].

Изучаемой территории свойственны умеренно-холодная зима и нежаркое влажное лето. При этом средняя температура января, самого холодного месяца, составляет от -8 до -11 °С, а изотерма июля, самого теплого месяца, равна $+17$ °С. Отмечается всегда высокая влажность воздуха, среднегодовая сумма осадков 700 мм, а годовая величина испаряемости – 300 мм.

На исследуемой территории отмечено преобладание торфяных и торфяноподзолисто-глеевых почв, что напрямую связано с особенностями рельефа и климатическим режимом местности. Значительные участки болотистых почв, как правило, расположены в низинах и на равнинных участках. Для облесенных участков характерны также слабо- и среднеподзолистые почвы. В связи с известняковыми обнажениями вдоль рек почвенный покров приречных территорий имеет ряд особенностей. Встречаются слабоподзолистые почвы на карбонатном суглинке, слабо оподзоленные, подзолисто-глееватые почвы, по механическому составу средне- и легкосуглинистые пылеватые, подстилаемые тяжелосуглинистой мареной [Гагарина, 1995].

Экологическая обстановка и чистота окружающей среды в Тосненском районе во многом зависят от судьбы полигона «Красный Бор». Ежегодно во время весенних паводков возрастает опасность попадания ядовитых веществ полигона в городской водозабор, в питьевую воду, в природные водоемы: и эта опасность заражения окружающей среды угрожает не только северо-западу России, но и странам Балтийского региона [Елдина, 2006].

По данным электронного ресурса [«Об экологической ситуации в Ленинградской области в 2020 году»] качество поверхностных вод реки Тосна – поселок Усть-Тосно характеризуется следующими особенностями.

Абсолютное содержание растворенного кислорода ниже норматива было отмечено в июле (5,1 мг/л). Относительное содержание кислорода ниже нормы было отмечено в марте и июле (66 и 58 %). Среднегодовые значения выше норм были отмечены по ХПК (2,7 нормы), железу общему (5,2 ПДК), меди (5,7 ПДК), цинку (1,6 ПДК) и марганцу (3,1 ПДК). Снижение содержания кислорода соответствует высокой градации кратности уровня загрязненности. Наибольшую долю в общую оценку степени загрязненности воды вносят ХПК, железо общее, медь, цинк и марганец. В 2020 г. воды характеризуются как очень загрязненные (УКИЗВ – 3,30; 3 класс, разряд «б»).

Таким образом, Тосненский район расположен к юго-востоку от Санкт-Петербурга и граничит с Новгородской областью, а также с Лужским, Гатчинским, Киришским и Кировским районами Ленинградской области. Особо выражен плоскоравнинный рельеф. На исследуемой территории отмечено преобладание торфяных и торфяноподзолисто-глеевых почв, что напрямую связано с особенностями рельефа и климатическим режимом местности.

1.1. Физико-географическое описание лесных массивов «Красный Бор» и «Козловский лес»

Полигон «Красный Бор» Расположен в Тосненском районе в 30-ти километрах от Санкт-Петербурга, в 4,5 километров к юго-востоку от города Колпино в междуречье Тосно и Ижоры и занимает площадь 73 гектар. Ближайшая жилая застройка расположена на расстояниях: 1350 метров от юго-восточного угла промышленной площадки – деревни Мишкино; 1200 метров от южной границы 15 промплощадки – дереревни Феклистово; 1450 м от территорий коллективного садоводства. «Козловский лес» расположен примерно в 6 км от лесного массива «Красный Бор».

Территория санитарно-защитной зоны полигона находится в пределах Тосненского района, и лишь в северо-восточном секторе на небольшой площади включает земли Колпинского района Санкт-Петербурга.

Геологическое строение исследуемой территории от поверхности до глубины 200 м характеризуется комплексом осадочных пород четвертичного и нижнекембрийского возраста, среди которых преобладают глинистые водоупорные разности. Водоносные горизонты представлены маломощными песчаными отложениями, в числе которых: приповерхностные озерно-ледниковые песчаные отложения, моренные суглинки [Малаховский, 2004].

Район относится к атлантико-арктической зоне умеренного пояса и характеризуется избыточным увлажнением. Среднегодовые осадки составляют от 600 до 800 мм и в большем объеме выпадают в виде дождя. Району свойственны большая влажность, вследствие чего осадки значительно превышают испарение. Коэффициент увлажнения повсеместно больше 1, поэтому заболачивание для территории – характерное явление [Елдина, 2010].

В зимнее время в районе Красного Бора образуется устойчивый снежный покров с первой декады декабря до середины апреля. Высота снежного покрова к концу зимы достигает в среднем около 40 см.

Максимальная глубина промерзания почвы характерна для февраля – марта и может достигать 56-60 см.

Основными крупными водными объектами района расположения полигона Красный Бор являются: река Тосна, река Большая Ижорка и ручей Безымянный. Все водотоки относятся к бассейну Балтийского моря. Ручей Безымянный впадает непосредственно в реку Тосна.

Водотоки района относятся к водотокам равнинного типа. Отчетливо выражено смешанное питание. В годовом ходе уровня воды выделяются: весеннее половодье, летне-осенняя межень, почти ежегодно нарушаемая дождевыми паводками. Короткий осенне-зимний период отличается несколько повышенной водностью рек. Зимняя межень в некоторые годы прерывается подъемами уровней в периоды оттепелей [Малаховский, 2004].

Таким образом, полигон «Красный Бор» и «Козловский лес» находятся в междуречье реки Тосна и Ижоры. Геологическое строение территории характеризуется комплексом осадочных пород четвертичного и нижнекембрийского возраста. Водоносные горизонты представлены маломощными песчаными отложениями, в числе которых: приповерхностные озерно-ледниковые песчаные отложения, моренные суглинки. Район относится к атлантико-арктической зоне умеренного пояса и характеризуется избыточным увлажнением.

ГЛАВА 2. СОВРЕМЕННЫЕ НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ДОСТИЖЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ БИОИНДИКАЦИИ

При проведении экологических исследований возникают различные проблемы, связанные со сложностью использования методов анализа, труднодоступностью и дороговизной оборудования, значительными затратами времени, которое необходимо для получения достоверных данных. В результате чего извлечение конкретных результатов задерживается, и необходимое решение принимается с опозданием или не принимается вообще. Поэтому в настоящее время все более часто используют метод биоиндикации [Бродский, 2002].

По определению О.А. Ляшенко, [Ляшенко, 2012] биоиндикация – это определение биологически значимых нагрузок на основе реакций на них живых организмов и их сообществ. В полной мере это относится ко всем видам антропогенных загрязнений.

Ю.А. Афанасьев дает следующее определение: биоиндикация – это оценка состояния среды с помощью живых объектов. Живые объекты (или системы) – это клетки, организмы, популяции, сообщества. С их помощью может проводиться оценка как абиотических факторов (температура, влажность, кислотность, соленость, содержание поллютантов и т.д.), так и биотических (благополучие организмов, их популяций и сообществ) [Афанасьев, 2001].

Рассмотрим несколько примеров современного применения методов биоиндикации.

В литературе отмечается, что большинство низинных водотоков в Западной Европе сталкиваются с обширными изменениями [Higler, 1993]. Активно ведется стройка плотин, насыпей. Оказывает влияние интенсификация сельского хозяйства. Комплекс экологических влияний вызывает изменения гидрологических показателей водоемов [Freeman et al., 2007].

Происходят изменения водораздела, отмечаются более высокие уровни мутности [Shield et al., 2010], как следствие – обширные изменения функциональности гидросистемы [Ioana-Toroima et al., 2015]. Мониторинг подобных гидрологических изменений представляет собой сложную задачу [Newson & Large, 2006; Vaughan et al., 2009; Boon et al., 2010; Shield et al., 2010], поэтому именно биомониторинг часто используется для регистрации изменений речной гидросистемы в различных временных масштабах [Ziglio et al., 2008]. Мхи не имеют корней и, следовательно, неспособны противостоять уменьшению доступности воды. Они очень чувствительны к изменениям, происходящим в гидросистемах [Philippi, 1972; Glime & Vitt, 1984; Puglisi et al., 2015]. Хотя мхи в основном используются для наблюдения за следовыми количествами металлов и других загрязнителей в речной среде [Markert et al., 2003], прибрежные виды мхов также могут использоваться в качестве индикаторов гидрологических изменений в местном масштабе (например, связанные с антрополизацией). В нескольких литературных источниках подчеркивается, что не только отдельные виды, но и сообщества могут считаться полезными биоиндикаторами окружающей среды, так как некоторые ассоциации *Psoretea decipientis* Mattick ex Follmann, 1974 [Puglisi et al., 2012, 2016] и *Cteniditea mollusci* v. Hübschmann ex Grgić, 1980 [Puglisi et al., 2013, 2014].

Рассмотри другой пример – использования мхов в качестве биоиндикаторов атмосферного воздуха. В настоящее время антропогенная деятельность (например, промышленность, транспорт, сжигание ископаемого топлива) высвобождает значительное количество токсичных элементов в атмосферу [Kara et al., 2019]. Тяжелые металлы представляют собой лишь часть множества вредных соединений, выбрасываемых в воздух. Степень распространения металлов в атмосфере зависят от частоты выбросов [Staflöv et al., 2014]. Тяжелые металлы, попавшие в экосистему, участвуют в обмене веществ между биоценозом и биотопом, и интегрируясь в последующие трофические цепи, они часто могут достигнуть организма человека и

включиться в его метаболизм. Таким образом, тяжелые металлы, поступающие в воздух, создают опасные условия как для населения, так и для окружающей среды. Опасность загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами также определяется тем, что они могут переноситься на большие расстояния от источников их излучения [Meyer et al., 2015]. Поскольку токсичные элементы, оказывающие неблагоприятное воздействие, встречаются часто, их концентрации следует систематически контролировать для изучения их пространственного распределения и определения потенциальных источников. Высокая стоимость инструментального учета загрязнителей атмосферного воздуха и трудности увеличения времени и пространства выборки делает косвенные методы, такие как анализ подходящих биоаккумуляторов, очень подходящими для крупномасштабного мониторинга [Bargagli et al., 1995]. Мохообразные из-за их высокой способности к биоаккумуляции после ранних исследований в Швеции [Rühling, Tyler, 1968], широко использовались для мониторинга тяжелых металлов в различных географических регионах по всему миру [Harmens et al., 2010, Harmens et al., 2015]. Помимо высокой биоаккумуляции определена возможность применения мхов в качестве биомониторов. Как мы уже отмечали выше, отсутствие корневой системы приводит к тому, что вероятность попадания в организм мха веществ кроме как из атмосферы, ничтожно мала [Ermakova et al., 2004]. Наряду с другими европейскими странами Россия участвует в обследовании мхов в рамках Международной совместной программы по воздействию загрязнения воздуха на естественную растительность и сельскохозяйственные культуры тяжелыми металлами в Европе (UNECE ICP Vegetation) [Vergel et al., 2020].

Биоиндикация задействует большое количество живых объектов для довольно точной экспресс диагностики. Приоритетным направлением здесь является наблюдение за водной флорой и фауной и изучение связей между уровнем загрязняющих веществ в водоемах, их накоплением гидробионтами [Ristorini et al., 2020]. Более того, проведено множество исследований в

области корреляционного анализа взаимосвязи между уровнями различных химических веществ в почвенном покрове и их накоплением растениями [Baranov et al., 2020, Baranov et al., 2020, et al., Kabata-Pendias, 2010].

Значительно меньшее количество работ было проведено в аспекте анализа реакции растений к загрязнению атмосферного воздуха. Чаще всего именно растения используются для оценки воздействия на атмосферный воздух конкретных техногенных систем со значительными воздействиями на окружающую среду или для изучения территорий крупных населенных пунктов [Monaci, Bargagli, 1997, Korotchenko et al., 2020].

Хвойные растения удобны тем, что могут служить биоиндикаторами круглый год. В работе отечественных ученых Савватеевой и ее коллег [Savvateeva et al., 2021] показаны результаты применения метода исследования, основанного на зависимости степени поражения хвои *Pinus sylvestris* L. (некроз и усыхание) на уровень загрязнения атмосферного воздуха. Они использовали в том числе метод, основанный на флуктуирующей асимметрии листовенных растений. Данный метод имеет множество применений. В частности, это реакция растения на экологический и генетический стресс. Флуктуирующая асимметрия измеряет и показывает нестабильность развития, которая имеет привязку к индивидуальной приспособленности организма, а может рассматриваться как широкий показатель адаптации популяции или вида. Несколько ученых использовали флуктуирующую асимметрию для изучения интеграции. Эволюционные биологи иногда используют флуктуирующую асимметрию как показатель индивидуальной приспособленности [Graham et al., 2010]. При изучении морфометрических параметров листовых пластин, можно говорить о наличии поллютантов в атмосфере на любой территории или в почве, где произрастают растения.

Было обнаружено, что использование геометрической морфометрии для анализа биологической формы и размеров объекта дает больше

преимущества перед линейными и меристическими признаками [Ivanov et al., 2015].

Биоиндикация хвойных и лиственных растений распространена во многих странах мира. Например, в странах Европы [Parzych et al., 2018; Godzik, 2020] биоиндикация считается прочной основой для создания сети долгосрочных регулярных мониторингов и служит дополнением к оценке результатов химико-аналитических исследований.

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ «КРАСНЫЙ БОР» И «КОЗЛОВСКИЙ ЛЕС» ТОСНЕНСКОГО РАЙОНА ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ БИОИНДИКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Загрязнение окружающей среды в результате деятельности полигонов по размещению различных отходов отрицательно влияет на состояние лесов и выполнение ими разнообразных функций. Наибольшее влияние на лесную экосистему имеет атмосфера, следующим источником является почва. Причем в атмосфере загрязнители могут распространяться на значительные расстояния от непосредственного источника загрязнения и затем оседать на растения и почву, воздействуя на вегетативные и генеративные органы и ухудшая протекание репродуктивного процесса.

Обычно поступление загрязнителей происходит комплексно. Самое опасное сочетание серы с тяжелыми металлами, обладающими высокой миграционной способностью. Эти соединения проникают в почву, откладываются и задерживаются в гумусе. В этом случае почва выступает в роли барьера на пути миграции загрязнителя. При увеличении концентрации соединений металлов происходит ее «засоление» [Лабоха, 2012].

Необходимы исследования и оценка причин, взаимосвязей факторов негативных воздействий на лесные экосистемы, а также мер, способствующих улучшению средообразующей и других функций леса.

3.1 Структура зеленых насаждений района

Территория Тосненского района Ленинградской области полностью входит в подзону южной тайги. Леса на исследуемой территории представлены по большей части заболоченными хвойно-мелколиственными лесами, где преобладающей лесобразующей породой является Сосна

обыкновенная (*Pinus sylvestris*) и Ольха серая (*Alnus incana*), а из мелколиственных – Береза повислая (*Betula pendula*) и Осина (*Populus tremula*). Подлесок здесь преимущественно сложен из Рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia*), Черемухи обыкновенной (*Padus avium*). В травяно-кустарничковом ярусе наиболее часто встречаются Хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*), Щитовник картузианский (*Dryopteris carthusiana*), Щитовник распростертый (*D. expansa*), Осока пальчатая (*Carex digitata*), Ожика волосистая (*Luzula pilosa*), Таволга обыкновенная (*Filipendula vulgaris*), Марьянник лесной (*Melampyrum sylvaticum*), Подмаренник болотный (*Galium palustre*) (приложения 1, 2).

Проективное покрытие – показатель, определяющий относительную площадь проекции отдельных видов или их групп, ярусов и фитоценоза на поверхность почвы. Проективное покрытие является одним из основных показателей обилия растений в фитоценозе [Бузук, 2013].

При заложении пробной площадки выбирается участок с наиболее усредненными условиями для данного лесного массива. Закладывается участок размером 10×10 или 20×20 м, в зависимости от условий рельефа местности и плотности произрастающих деревьев (Приложения 3, 4). Видовой состав ассоциаций (список видов) необходимо приводить наиболее полно, с латинскими названиями [Маевский, 2006]. Полученные результаты исследований приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1

Ярусы и проективное покрытие различных видов растений в лесном массиве «Красный Бор»

№	Название яруса	Виды растений	Проективное покрытие, %
1.	Верхний древесный ярус	Береза повислая (<i>Betula pendula</i>)	30
		Осина (<i>Populus tremula</i>)	25
		Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)	15
		Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i>)	5
2.	Средний древесный ярус	Ольха серая (<i>Alnus incana</i>)	35
		Черемуха обыкновенная (<i>Prúnus pádus</i>)	28
		Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i>)	23
		Ива козья (<i>Salix caprea</i>)	12
3.	Кустарниковый ярус	Ива козья (<i>Salix caprea</i>)	35
		Ива пепельная (<i>Salix cinerea</i>)	28
		Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i>)	22
		Лещина обыкновенная (орешник) (<i>Corylus avellana</i> L.)	13
4.	Травянистый ярус	Осока пальчатая (<i>Carex digitata</i>)	30
		Хвощ лесной (<i>Equisetum sylvaticum</i>)	25
		Таволга обыкновенная (<i>Filipendula vulgaris</i>)	20
		Щитовник картузианский (<i>Dryopteris carthusiana</i>)	15
		Иван-чай узколистный (<i>Chamaenérion angustifolium</i>)	10
		Щитовник распростертый (<i>Dryopteris Expansa</i>)	8
		Лютик едкий (<i>Ranúnculus ácris</i>)	5
5	Приземный ярус (лишайники, мхи)	Дикранум метловидный (<i>Dicranum scoparium</i>)	43
		Плагіомніум остроконечный (<i>Plagiomnium cuspidatum</i>)	18
		Пармелия бороздчатая (<i>Parmeliaceae sulcata</i>)	12
		Климациум древовидный (<i>Climacium dendroides</i>)	9
		Кладония темно-зеленая (<i>Cladonia chlorophaea</i>)	7

Таким образом, лесной массив «Красный Бор» можно отнести к вторичному лесу с преобладанием осины и березы, а также ивы и рябины в подлеске.

Таблица 2

Ярусы и проективное покрытие различных видов растений в лесном
массиве «Козловский лес»

№	Название яруса	Виды растений	Проективное покрытие, %
1	Верхний ярус	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)	36
		Береза повислая (<i>Betula pendula</i>)	20
		Осина (<i>Populus tremula</i>)	19
		Ель обыкновенная (<i>Picea abies</i>)	12
		Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i>)	7
2	Средний древесный ярус	Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i>)	38
		Ольха серая (<i>Alnus incana</i>)	35
		Осина (<i>Populus tremula</i>)	16
		Черемуха обыкновенная (<i>Prunus padus</i>)	13
3	Кустарниковый ярус	Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i>)	35
		Лещина обыкновенная (орешник) (<i>Corylus avellana</i> L.)	26
		Крушина ломкая (<i>Frangula alnus</i> Mill.)	21
		Ива козья (<i>Salix caprea</i>)	15
		Жимолость лесная (<i>Lonicera xylosteum</i>)	4
4	Травянистый ярус	Осока пальчатая (<i>Carex digitata</i>)	36
		Щитовник картузианский (<i>Dryopteris carthusiana</i>)	14
		Иван-чай узколистый (<i>Chamaenerion angustifolium</i>)	12
		Таволга обыкновенная (<i>Filipendula vulgaris</i>)	12
		Гравилат крупнолистный (<i>Geum macrophyllum</i>)	10
		Лютик едкий (<i>Ranunculus acris</i>)	9
		Щитовник распростертый (<i>Dryopteris expansa</i>)	6
5	Приземный ярус (лишайники, мхи)	Плагиомниум остроконечный (<i>Plagiomnium cuspidatum</i>)	30
		Дикранум метловидный (<i>Dicranum scoparium</i>)	28
		Пельтигера собачья (<i>Peltigera canina</i>)	10
		Кладония темно-зеленая (<i>Cladonia chlorophaea</i>)	10
		Пармелия бороздчатая (<i>Parmeliaceae sulcata</i>)	8

Лесной массив «Козловский лес» можно отнести к сложному сосняку, который имеет во втором ярусе примесь других пород ели, осины и дуба и густой подлесок из лещины, жимолости.

Коэффициент комплексной экологической оценки рассчитывали по формуле [Об утверждении Методики оценки ..., 2022]:

$$ККЭО = \frac{БСд \times ПКд + БСк \times ПКк + БСг \times ПКг + БСц \times ПКц}{ПКд + ПКк + ПКг + ПКц},$$

где БС – средний балл состояния (БСд – деревьев, БСк – кустарников, БСг – газонов, БСц – цветников) (рассчитывается из среднего балла состояния всех площадок), ПК – поправочный коэффициент.

На территории лесного массива «Красный Бор» можно отметить, что большинство деревьев, входящих в выборку, соответствует небольшому ослаблению древостоев. Крона слабоажурная, отдельные ветви подвержены усыханию. Состояние кустарников оценено как удовлетворительное, так как имеются повреждения вредителями, и присутствует незначительное усыхание ветвей (до 10-15%). Состояние травянистой растительности оценено как удовлетворительное. Травостой местами нарушен, изреженный, с преобладанием в окраске пожелтевших растений. Коэффициент комплексной экологической оценки составил 2,4. Это указывает на то, что состояние растительности неудовлетворительное. Требуются меры по мониторингу качества среды и проекты по рекультивации земель.

На территории лесного массива «Козловский лес» наблюдаются преимущественно здоровые деревья, без внешних признаков повреждения, величина прироста соответствует норме. Состояние кустарников оценено как хорошее, но присутствуют незначительные повреждения вредителями. Состояние травянистой растительности оценено как хорошее, так как травостой густой и интенсивно зеленый. Коэффициент комплексной экологической оценки составил 1,5. Таким образом, состояние растительности хорошее, но требуются меры по сохранению и мониторингу лесного массива.

3.2 Биологические реакции древесно-кустарниковых пород в условиях лесных массивов «Красный Бор» и «Козловский лес»

Обследуемые лесные насаждения территорий «Красный Бор» и «Козловский лес» представляют собой изолированный лесной массив, окруженный полями и торфопольными участками, который находится в крайне

неблагоприятных условиях. Несмотря на то, что для регуляции стока вдоль полигона прорыты канавы, глубокие и хорошо спрофилированные, тем не менее, особенно осенью они не всегда хорошо выполняют свои функции [Гольцова, 2004].

Лесные сообщества обычно имеют богатый видовой состав, состоят из 2–3 ярусов деревьев, подлеска (кустарниковый ярус), подроста, травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового покрова (таблицы 3, приложения 1 - 4).

Таблица 3

Шкала визуальной оценки деревьев по внешним признакам

[Алексеев, 1989]

Балл	Характеристика состояния
1	Здоровые деревья, без внешних признаков повреждения, величина прироста соответствует норме.
2	Ослабленные деревья. Крона слабоажурная, отдельные ветви усохли. Листья и хвоя часто с желтым оттенком. У хвойных деревьев на стволе сильное смолотечение и отмирание коры на отдельных участках.
3	Сильно ослабленные деревья. Крона изрежена, со значительным усыханием ветвей, сухая вершина. Листья светло-зеленые, хвоя с бурым оттенком и держится 1-2 года. Листья мелкие, но бывают и увеличенные. Прирост уменьшен или отсутствует. Смолотечение сильное. Значительные участки коры отмерли.
4	Усыхающие деревья. Усыхание ветвей по всей кроне. Листья мелкие, недоразвитые, бледно-зеленые с желтым оттенком, отмечается ранний листопад. Хвоя повреждена на 60% от общего количества. Прирост отсутствует. На стволах признаки заселения короедами, усачами, златками (буровая муха, отверстия на коре и древесине).
5	Сухие деревья. Крона сухая. Листьев нет. Хвоя желтая или бурая, осыпается или полностью опала. Кора на стволах отслаивается или полностью опала. Стволы заселены ксилофагами (потребителями древесины).

На листьях осины были выявлены желто-серые пятна с коричневой каймой, вызванные грибом *Gloeosporium tremulae* Pass. На поверхности пятен располагаются темно-коричневые пятна с конидиальным плодоношением гриба. Это приводит к преждевременному листовому опадению и к дальнейшему заражению здоровых растений (Приложение 4).

При детальном осмотре каждого дерева оценивалось его состояние в баллах по пятибалльной шкале, определялись наличие различных

повреждений, гнилей. При оценке категорий состояния исполнители использовали общепринятую при лесопатологических обследованиях пятибалльную шкалу (Таблица 3) [Алексеев, 1989].

В целом состояние лесного массива «Красный Бор» удовлетворительное, средняя оценка состояния по 3 пробным площадям составляет 2,3 балла, что соответствует небольшому ослаблению древостоев.

Состояние лесного массива «Козловский лес» также оценивалось по 3 пробным площадям, результат составляет 1,6 баллов. Это означает, что на данных площадках преимущественно здоровые деревья, без внешних признаков повреждения, величина прироста соответствует норме.

3.3 Оценка содержания тяжелых металлов в растениях

Растения по способности накапливать тяжелые металлы разделяют на три группы [Baker, 1981]:

1. Аккумуляторы, накапливающие металлы главным образом в надземных органах как при низком, так и высоком содержании их в почве;
2. Индикаторы, концентрация металла в которых отражает его содержание в окружающей среде;
3. Исключатели, накапливающие металлы в основном в корнях, поступление ионов в побеги ограничено даже при высокой их концентрации в окружающей среде.

На рисунках 2 и 3 показаны спутниковые снимки местности с нанесением точек отбора проб почвенного покрова и растительности.



Рисунок 2. Карта точек отбора проб почвенного покрова и растительности с лесного массива «Красный Бор»



Рисунок 3. Карта точек отбора проб почвенного покрова и растительности с лесного массива «Козловский лес»

Эксперимент включал следующий алгоритм действий:

- 1) высушивание растений в сушильном шкафу на протяжении нескольких часов при температуре 50 °С;
- 2) измельчение высушенных растений в ступке;
- 3) 1/3 колбочки необходимо заполнить полученной массой;
- 4) повторное высушивание растений;
- 5) измерение золы;
- 6) к полученной золе необходимо добавить несколько мл H₂O и HCl;
- 7) полученный раствор разбавить водой и перемешать в колбе, далее переливаем раствор в итоговые емкости;
- 8) измерение содержания тяжелых металлов в растениях с помощью Атомно-абсорбционный спектрометра Varian AA240FS с системой Fast Seque, ntial (Приложение 5).

В результате проведенной работы были получены показатели содержания тяжелых металлов в растениях трех видов, произрастающих на территории Красный Бор и Козловский лес (таблица 5).

Таблица 4

Показатели содержания тяжелых металлов в растениях

Показатели	Рябина (<i>S. aucuparia</i>)	Береза (<i>B. pendula</i>)	Щитовник распростертый (<i>D. expansa</i>)	Рябина (<i>S. aucuparia</i>)	Береза (<i>B. pendula</i>)	Щитовник распростертый (<i>D. expansa</i>)
	Красный Бор			Козловский лес		
Навеска, г	0,94	0,9	1,21	0,66	0,74	0,96
Влажность, %	72,89	70,05	68,18	69,3	55,32	59,66
Марганец, мг/кг с.в.	361,4	443,7	293,0	318,8	142,2	318,4
Железо, мг/кг с.в.	107,7	79,9	72,7	109,2	136,9	107,7
Цинк, мг/кг с.в.	10,2	143,2	26,4	3,29	90,3	11,0
Медь, мг/кг с.в.	7,15	4,67	7,29	6,38	4,73	6,71
Хром, мг/кг с.в.	2,04	1,05	1,1	2,45	2,65	2,538
Никель, мг/кг с.в.	1,27	0,67	1,32	1,55	4,95	0,423
Свинец, мг/кг с.в.	0,51	1,99	0,66	0,76	2,04	1,70
Кадмий, мг/кг с.в.	0,1	0,17	<0,05	0,28	0,11	0,193

Для установления достоверных отличий по концентрации накопленных тяжелых металлов в растениях, произрастающих на территориях Красный Бор и Козловский лес использовали ранговый критерий Манна-Уитни. Достоверных отличий выявлено не было, так как p – уровень по всем переменным превышал 0,05 (Таблица 5, 6).

Таблица 5

Сравнение концентрации накопленных тяжелых металлов в растениях на территориях Красный Бор и Козловский лес с помощью U – критерия Манна-Уитни

Переменная	Манна-Уитни U критерий (Манна-Уитни. sta)			
	По перем. Независимая Отмеченные критерии значимы на уровне $p < 0,05$			
	Сум. Ранг Красный Бор	Сум. ранг Козловский лес	U	p – уровень
Марганец, мг/кг с.в.	13	8	2	0,38
Железо, мг/кг с.в.	6,5	14,5	0,5	0,13
Цинк, мг/кг с.в.	12	9	3	0,44
Медь, мг/кг с.в.	12	9	3	0,66
Хром, мг/кг с.в.	6	15	0	0,08
Никель, мг/кг с.в.	9	12	3	0,66
Свинец, мг/кг с.в.	8	13	2	0,38
Кадмий, мг/кг с.в.	7	14	1	0,19

Таблица 6

Сравнение концентрации накопленных тяжелых металлов в растениях на территориях Красный Бор и Козловский лес с помощью U – критерия

Манна-Уитни

(по растениям-индикаторам)

Переменная	Манна-Уитни U критерий (Манна-Уитни. sta) По перем. Независимая Отмеченные критерии значимы на уровне $p < 0,05$			
	Сум. Ранг Красный Бор	Сум. Ранг Козловский лес	U	p - уров.
Рябина (<i>S. aucuparia</i>)	68	68	32	0,9
Береза (<i>B. pendula</i>)	64	72	28	0,7
Щитовник распростертый (<i>D. expansa</i>)	67	69	31	0,8

Таблица 7

Сравнение концентрации накопленных тяжелых металлов в растениях на территориях Красный Бор и Козловский лес с помощью U – критерия

Манна-Уитни

(все показатели объединены)

Переменная	Манна-Уитни U критерий (Манна-Уитни. sta) По перем. Независимая Отмеченные критерии значимы на уровне $p < 0,05$			
	Сум. Ранг Красный Бор	Сум. Ранг Козловский лес	U	p - уров.
Все изученные концентрации металлов	569	607	269	0,7

С помощью данного метода различия установить не получилось, это может быть связано с тем, что в ходе рекультивации на территории полигона «Красный Бор» происходит эффективная ликвидация

накопленного экологического вреда, и показатели содержания тяжелых металлов в растениях приходят в норму.

3.4 Использование модельного объекта для оценки загрязнения воздуха и почвы на примере кресс-салата

Кресс-салат – однолетнее овощное растение (сем. Капустные, используется как ранняя зелень), быстро растущее и отличающееся очень хорошей всхожестью, а также очень чувствительное к загрязнению среды тяжелыми металлами. При проведении опытов с кресс-салатом, следует учитывать, что большое влияние на всхожесть семян и качество проростков оказывают водно-воздушный режим и плодородие субстрата. Кроме загрязнения почвы на кресс-салат оказывает влияние состояние воздушной среды. Газообразные выбросы, автомобилей вызывают морфологические отклонения от нормы у проростков кресс-салата, в частности отчетливо уменьшают их длину [Парфенова, 2020].

Для полноценной оценки необходимо провести анализ содержания тяжелых металлов в почве. Эксперимент включал в себя такой же алгоритм действий, как и при измерении тяжелых металлов в растениях (Приложение 6).

Не все из тяжелых металлов, попадающих в почву, в равной степени токсичны для флоры, фауны и подземных вод. На сегодняшний день в России действует общетоксикологический ГОСТ 17.4.1.02-83, который делит тяжелые металлы и металлоиды на три класса по степени опасности. Согласно этому нормативному документу к высоко опасным веществам относятся As, Cd, Hg, Se, Pb, Zn, к умеренно опасным – Co, Ni, Mo, Cu, Sb, к мало опасным – Ba, V, W, Mn, Sr (таблица 8).

Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно
допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве

[СанПиН 1.2.3685-21]

№	Наименование вещества	Формула	Величина ПДК/ОДК (мг/кг) с учетом фона (кларка)	Класс опасности
1	Медь	Cu	3,0/	2
2	Цинк	Zn	23,0/	1
3	Свинец а) песчаные и супесчаные б) кислые (суглинистые и глинистые), pH KCl<5,5 в) близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), pH KCl>5,5	Pb	/32,0 /65,0 /130,0	1
4	Никель а) песчаные и супесчаные б) кислые (суглинистые и глинистые), pH KCl<5,5 в) близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), pH KCl>5,5	Ni	/20,0 /40,0 /80,0	2
5	Кадмий а) песчаные и супесчаные б) кислые (суглинистые и глинистые), pH KCl<5,5 в) близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), pH KCl >5,5	Cd	/0,5 /0,1 /2,0	1
6	Хром	Cr	6,0/	2

В результате определения содержания тяжелых металлов в почве были получены следующие результаты, представленные в таблице 10. В эксперимент включали три забора пробы. Уровень содержания меди в почве лесного массива Козловский лес и Красный Бор превышают показатели ПДК. Это может быть связано с тем, что в нескольких метрах от исследуемой территории находятся сельскохозяйственные угодья, где используются, например минеральное удобрение или пестициды. Остальные показатели содержания тяжелых металлов в почве лесных массивов не превышают ПДК.

Таблица 9

Содержание тяжелых металлов в почве

Показатели	Красный Бор				Козловский лес			
	1. проба	2. проба	3. проба	Среднее $\pm$ SD	1. проба	2. проба	3. проба	Среднее $\pm$ SD
Навеска, г	4,15	2,73	2,15	-	4,32	5,40	5,34	-
Тяжелые металлы (кислоторастворимая форма)								
Медь, мг/кг	8,38	9,42	10,7	9,5 $\pm$ 1,16	13,6	12,3	5,64	10,51 $\pm$ 4,27
Цинк, мг/кг	12,1	17,7	14,1	14,63 $\pm$ 2,84	18,5	12,4	17,1	15,9 $\pm$ 3,08
Свинец, мг/кг	9,54	11,5	15,4	12,15 $\pm$ 2,99	14,4	12,4	11,8	12,87 $\pm$ 1,36
Никель, мг/кг	2,85	3,42	4,50	3,59 $\pm$ 0,84	7,02	5,77	3,64	5,48 $\pm$ 1,71
Кадмий, мг/кг	0,184	0,260	0,338	0,26 $\pm$ 0,08	0,207	0,156	0,146	0,17 $\pm$ 0,03
Хром, мг/кг	4,59	5,47	2,54	4,2 $\pm$ 1,5	8,44	6,93	5,24	6,87 $\pm$ 1,6

Примечание $\pm$ SD – стандартное отклонение (Std.Dev.)

Для установления достоверных отличий в концентрации накопленных тяжелых металлов в пробах почвы, взятых на территории Красного Бора и Козловского леса, использовали ранговый критерий Манна-Уитни (сравнение двух независимых групп). Достоверных отличий выявлено не было, т.к. p – уровень по всем переменным превышал 0,05 (таблица 10).

Сравнение концентрации накопленных тяжелых металлов в растениях
на территориях Красный Бор и Козловский лес с помощью U – критерия
Манна-Уитни

Переменная	Манна-Уитни U критерий (Манна-Уитни. sta)			
	По перем. Независимая Отмеченные критерии значимы на уровне $p < 0,05$			
	Сум. ранг Красный Бор	Сум. ранг Козловский лес	U	p – уровень
Медь, мг/кг	9	12	3	0,6
Цинк, мг/кг	9	12	3	0,6
Свинец, мг/кг	9	12	3	0,6
Никель, мг/кг	7	14	1	0,2
Кадмий, мг/кг	14	7	1	0,2
Хром, мг/кг	7	14	1	0,2

Эксперимент с использование модельного объекта для оценки загрязнения воздуха включал следующий алгоритм действий:

1. Для опыта использовали образцы почв с 2х участков.
2. Для посева взяли одинаковое количество, 40 шт. семян кресс-салата, предварительно проверенных на всхожесть.
3. Посев семян производили утром, при температуре воздуха в помещении 25С. Замер температуры в комнате производили с помощью термометра.
4. Чашки Петри наполнили до половины исследуемой почвой.
5. На поверхность почвы в каждую емкость выложили по 40 шт. семян примерно на одинаковом расстоянии друг от друга.
6. Засыпали семена остатками почвы до краев чашек Петри.
7. Увлажнили почву в каждой чашке дистиллированной водой до признаков насыщения.

Эксперимент был заложен 30 июня 2022 г. В течение 10 дней наблюдали за прорастанием семян кресс-салата во взятых образцах почвы и поддерживали влажность почвы примерно на одном уровне. В каждом исследуемом образце почвы определялись: энергия прорастания семян кресс-салата и их всхожесть, морфологические изменения стеблей и корней всходов кресс-салата. Результаты наблюдений записывали в таблицу. Энергия прорастания отражает количество всходов на 3-й день после посева (Таблица 11, Приложение 6).

Таблица 11

Энергия прорастания семян кресс-салата и их всхожесть в образцах
ПОЧВЫ

Исследуемые образцы почвы	Количество проросших семян / % всхожести семян от 40 шт				Средняя длина стебля, мм	Средняя длина корня, мм
	3 день	4 день	6 день	10 день	10 день	
	Красный Бор					
Проба почвы 1	7 / 17,5	13 / 32,5	23 / 57,5	28 / 70	25	14
Проба почвы 2	2 / 5	5 / 12,5	17 / 42,5	27 / 67,5	22	9
Проба почвы 3	18 / 45	32 / 80	35 / 87,5	35 / 87,5	27	18
Среднее $\pm SD$	9 $\pm$ 8,2 22,5% $\pm$ 20,5	16,7 $\pm$ 13,9 41,7% $\pm$ 34,7	25 $\pm$ 9,2 62,5% $\pm$ 22,9	30 $\pm$ 4,4 75,0% $\pm$ 10,9	24,7 $\pm$ 2,5	13,7 $\pm$ 4,5
Козловский лес						
Проба почвы 1	20 / 50	25 / 62,5	27 / 67,5	30 / 75	30	25
Проба почвы 2	28 / 70	33 / 82,5	34 / 85	36 / 90	43	60
Проба почвы 3	18 / 45	25 / 62,5	26 / 65	28 / 70	34	50
Среднее $\pm SD$	22 $\pm$ 5,3 55% $\pm$ 13,2	27,7 $\pm$ 4,6 69,2% $\pm$ 11,5	29 $\pm$ 4,4 72,5% $\pm$ 10,9	31,3 $\pm$ 4,1 78,3% $\pm$ 10,4	35,7 $\pm$ 6,7	45 $\pm$ 18

Примечание $\pm SD$ – стандартное отклонение (Std.Dev.)

Самый высокий показатель энергии прорастания зафиксирован в пробе почв из лесного массива Козловский лес. В нем на 3-й день взошло 28

растений из 40 посеянных семян. Меньше всего вышло растений в пробе почв с лесного массива Красный бор.

Через 10 дней всходы были аккуратно выкопаны из образцов почвы и изучены морфологические изменения их стеблей и корней (таблица 12).

Таким образом, на основании вышеприведенной таблицы, можно сделать вывод о том, что при прочих равных условиях (влажность, количество света и частота полива), выращенные семена кресс-салата на данных пробах почвы лесного массива Козловский лес обладают более высокой скоростью всхожести и более развитой корневой системой.

3.5 Оценка загрязнения снега по прорастанию злаковых культур в рулонах

Эксперимент включал в себя следующие действия:

1) Полосы фильтровальной бумаги размером 96х16 см погрузить в дистиллированную воду и развесить для стекания воды.

2) На влажную бумагу разложить зерна злаковых культур: овес посевной (*Avena sativa* L.) сорта Аллюр в количестве 100 шт. Расстояние между зернами зависит от размера зерен и составляет от 1 до 3 см.

4) Затем ленту с зернами необходимо накрыть такой же лентой, смоченной в дистиллированной воде, то есть зерна расположить между слоями мокрой фильтровальной бумаги. Бумагу свернуть в рулон, наматывая на стеклянную пробирку.

5) Рулон поместить в банку, на дне которой находится талая снеговая вода. Рулон должен касаться воды так, чтобы обеспечить постоянное смачивание фильтровальной бумаги, в то же время зерна не должны касаться воды.

6) Испытуемую воду необходимо подливать по мере ее впитывания в фильтровальную бумагу.

Рулон разворачивают через три дня, определяют всхожесть, длину проростка, состояние корневой системы (Приложение 7).

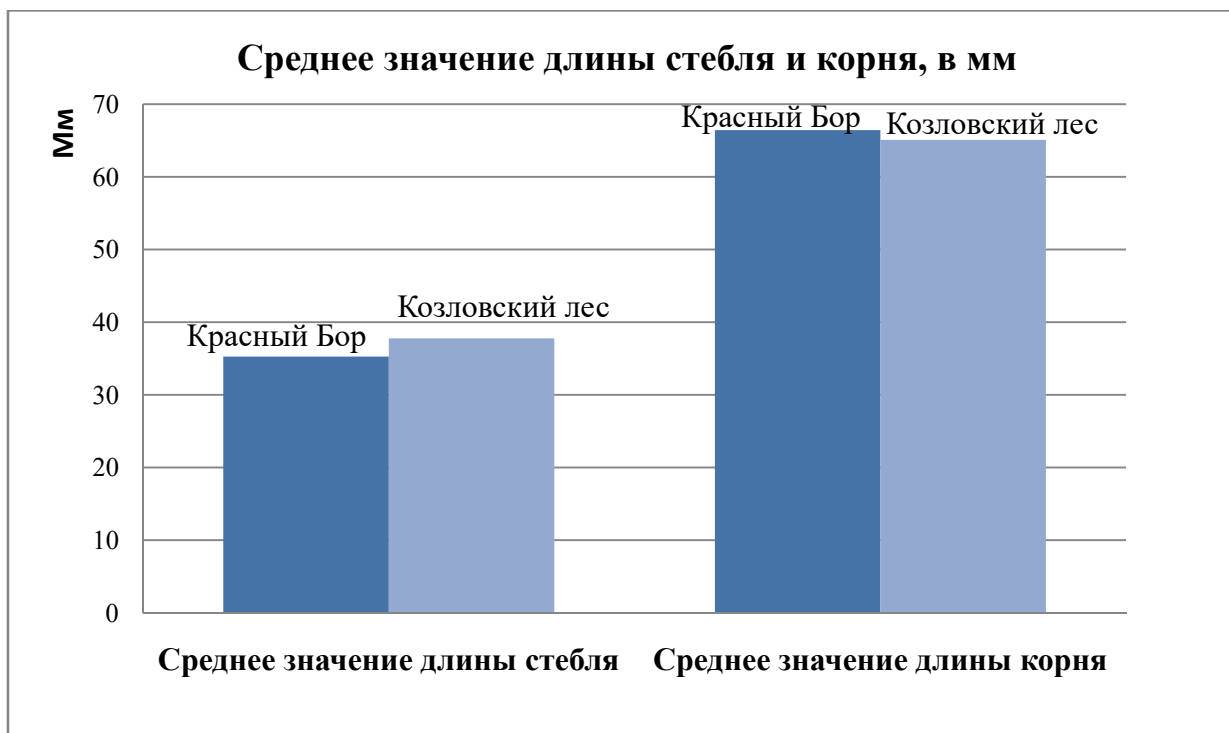


Рисунок 4. Среднее значение длины стебля и корня, в мм (Приложение 8, 9)

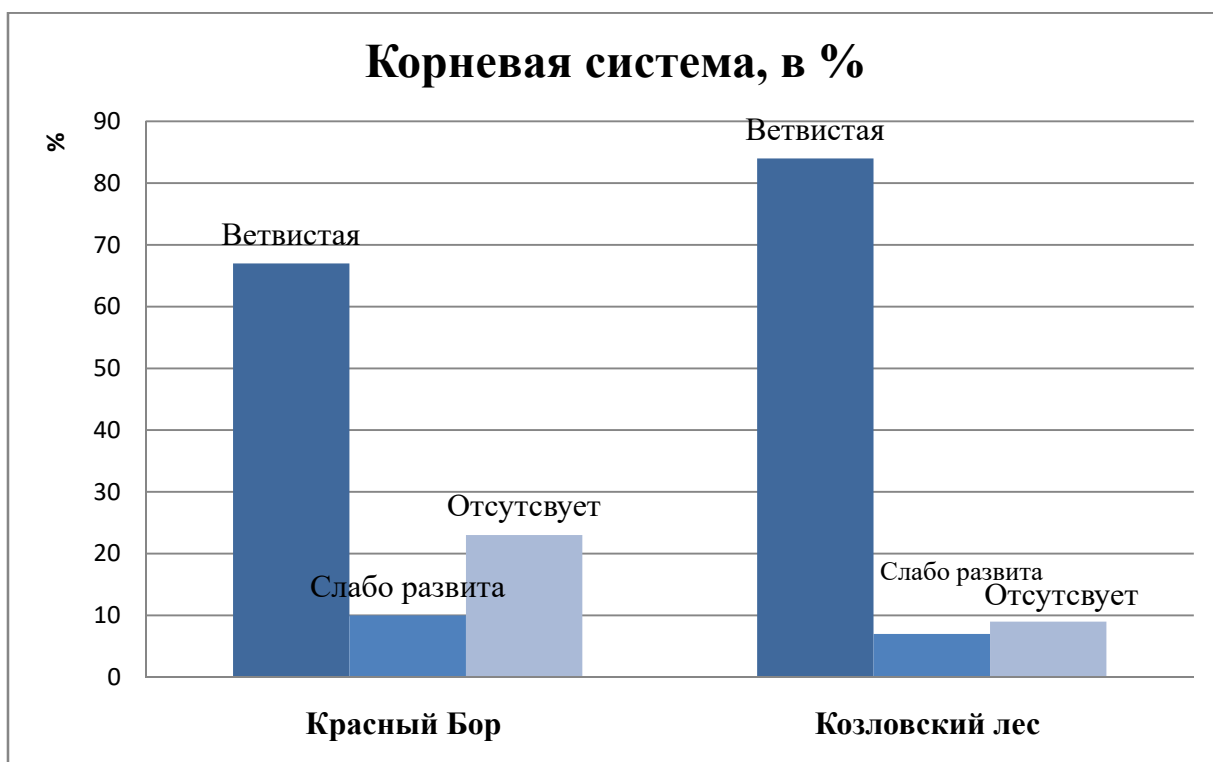


Рисунок 5. Разветвленность корневой системы, в % (Приложение 8, 9)

Всхожесть семян, выращенных на талой воде, с лесного массива Красный Бор за 3 дня составила 78%. На двух не проросших семенах была выявлена плесень. Процент семян со слабой корневой системой и отсутствием стебля составил 10% от всех взошедших семян. Среднее значение длины ростка 35,26 мм, а среднее значение длины корня 66,43 мм. Максимальная длина стебля составила 78 см, а длина корня 130 мм; минимальная длина 1 мм, а длина корня 3 мм.

Всхожесть семян, выращенных на талой воде, с лесного массива Козловский лес за 3 дня составила 92%. Процент семян со слабой корневой системой и отсутствием стебля составил 7% от всех взошедших семян. Среднее значение длины ростка 37,78 мм, а среднее значение длины корня 65,09 мм. Максимальная длина стебля составила 66 см, а длина корня 89 мм; минимальная длина 3 мм, а длина корня 4 мм.

Таким образом, данный эксперимент показал, что овес посевной (*Avena sativa* L.), выращенный на талой воде, с лесного массива Козловский лес обладает наибольшей всхожестью. Но более высокий результат длины проростка и корня получился у образца с лесного массива Красный Бор. Это может быть связано с тем, что высшие растения положительно реагируют на такие компоненты раствора, как соединения азота и фосфора. Поэтому в пробах с высоким загрязнением этими компонентами может получиться более высокая длина проростка и корня. Но для правильной оценки полученных данных необходимо иметь результаты химического анализа снеговой воды.

3.6 Определение чистоты атмосферного воздуха с помощью листового опада

Растительный опад – один из факторов, влияющих на формирование подстилки растительных сообществ. Большую часть (72.6 %) растительного опада формирует активная фракция – листовой опад. Он образован листьями,

хвоей, почечными чешуями, семенами и соцветиями древесных растений. Шишки, ветки и кора, относящиеся к неактивной части древесного опада, составляют 27.4 %. В летне-осенний период на поверхность почвы поступает в два раза больше растительных остатков, чем зимой и весной [Крылова, 2019].

Эксперимент включает в себя следующие действия:

- 1) Необходимо собрать пробы листового опада с разных точек исследуемой территории;
- 2) Пробы листового опада измельчают. 10 см³ молотого листового опада помещают в чашку Петри, заливают 20 мл дистиллированной воды; накрывают фильтровальной бумагой; на фильтровальную бумагу кладут 10 семян кресс-салата; закрывают крышкой чашку Петри и ставят на подоконник. В качестве контроля используют артезианскую воду.

Таблица 12.

Результаты определения всхожести семян кресс-салата с помощью листового опада

Исследуемые образцы	Длина стебеля (средняя), мм	Длина корня (средняя), мм	Всхожесть (средняя), %
Лесной массив Красный Бор			
Проба 1	3	15	60
Проба 2	9	21	50
Проба 3	6	24	80
Среднее $\pm SD$	6 ± 3	$20 \pm 4,5$	$63 \pm 15,3$
Лесной массив Козловский лес			
Проба 1	62	37	100
Проба 2	33	13	70
Проба 3	10	42	100
Среднее $\pm SD$	$35 \pm 26,1$	$30 \pm 15,5$	$90 \pm 17,3$

Примечание $\pm SD$ – стандартное отклонение (*Std.Dev.*)

- 3) Через 3–4 дня определяют процент всхожести семян и длину проростка. Вычисляют коэффициент К, равный отношению всхожести семян в контроле к всхожести семян в пробе. При $K = 1-1,1$ – воздух относительно чистый; при $K = 1,1-2$ – воздух слабо загрязнен; при $K = 2-4$ – воздух загрязнен; при K больше 4 – воздух сильно загрязнен. Делается вывод о

чистоте воздуха. Полученные результаты представлены в таблице 12 и приложении 10.

Коэффициент K для лесного массива Красный Бор составил 1,5. Это означает, что воздух загрязнен слабо. Коэффициент K для лесного массива Козловский лес составил 1,1. Это означает, что воздух относительно чистый.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с темой выпускной квалификационной работы, поставленной целью и задачами, была проведена комплексная оценка методами биоиндикации территорий СПб ГУП «Полигон «Красный Бор» и лесного массива «Козловский лес».

Полигон «Красный Бор» и «Козловский лес» находятся в междуречье реки Тосна и Ижоры. Геологическое строение территории характеризуется комплексом осадочных пород четвертичного и нижнекембрийского возраста. Водоносные горизонты представлены маломощными песчаными отложениями, в числе которых: приповерхностные озерно-ледниковые песчаные отложения, моренные суглинки. Район относится к атлантико-арктической зоне умеренного пояса и характеризуется избыточным увлажнением.

В целом состояние окружающей среды на территории СПб ГУП «Полигон «Красный Бор» удовлетворительное, присутствует небольшое ослабление древостоев. Травостой местами нарушен, изреженный, с преобладанием в окраске пожелтевших растений. Это указывает на то, что состояние растительности неудовлетворительное. Требуется меры по мониторингу качества среды и проекты по рекультивации земель.

На территории лесного массива «Козловский лес» наблюдаются преимущественно здоровые деревья, без внешних признаков повреждения, величина прироста соответствует норме. Состояние кустарников оценено как хорошее.

С помощью метода оценки содержания тяжелых металлов в растениях различия установить не получилось, это может быть связано с тем, что в ходе рекультивации на территории полигона «Красный Бор» происходит эффективная ликвидация накопленного экологического вреда, и показатели содержания тяжелых металлов в растениях приходят в норму.

Метод определения чистоты атмосферного воздуха с помощью листового опада показал, что атмосферный воздух лесного массива Красный

Бор слабо загрязнен, а атмосферный воздух лесного массива Козловский лес относительно чистый.

Метод использования модельного объекта для оценки загрязнения воздуха и почвы на примере кресс-салата, показал, что данные пробы почв с лесного массива Козловский лес обладают более высокой скоростью всхожести и более развитой корневой системой.

Такой же итог получился при оценке загрязнения снега по прорастанию злаковых культур в рулонах. Но более высокий результат длины проростка и корня получился у образца с лесного массива Красный Бор. Это может быть связано с тем, что высшие растения положительно реагируют на такие компоненты раствора, как соединения азота и фосфора. Поэтому в пробах с высоким загрязнением этими компонентами может получиться более высокая длина проростка и корня. Но для правильной оценки полученных данных необходимо иметь результаты химического анализа снеговой воды.

Таким образом, цель исследования является достигнутой, поставленные задачи – решены, теоретическая и практическая значимость научной работы – подтверждены.

ВЫВОДЫ

1) За время существования «Полигон «Красный Бор» в большей степени выполнил свою задачу по частичному обезвреживанию опасных отходов, но в настоящее время эксплуатационные мощности исчерпаны, технология устарела и несёт угрозу для окружающей среды, непосредственно влияя на почвенный покров, атмосферу и состояние растительности.

2) Экологическая обстановка и чистота окружающей среды в Тосненском районе во многом зависят от судьбы полигона «Красный Бор». Ежегодно во время весенних паводков возрастает опасность попадания ядовитых веществ полигона в городской водозабор, в питьевую воду, в природные водоемы: и эта опасность заражения окружающей среды угрожает не только северо-западу России, но и странам Балтийского региона.

3) Методы биоиндикации эффективно показали себя в данном исследовании, но для более точного мониторинга необходимо совмещать их с применением химико-физических методов.

4) Предложения по снижению негативных эффектов воздействия антропогенной деятельности на территории лесных массивов «Красный Бор» и «Козловский лес»: – дальнейшая рекультивация территорий СПБ ГУПП Полигон «Красный Бор», с помощью создания вокруг полигона противofiltrационной эшелонированной завесы, которая отводит грунтовые воды, но препятствует миграции загрязняющих веществ. Также обезвреживание жидких и пастообразных отходов и создание системы дренирования и очистки фильтрата и ливневых стоков, а также устройство поверх тела полигона многоуровневого экрана с плодородным слоем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев. Лесоведение. 1989; 4: 51–57.
2. Алимов А.Ф., Дмитриев В.В., Флоринская Т.М., Хованов Н.В., Чистобаев А.И. Интегральная оценка экологического состояния и качества среды городских территорий. Под ред. А.К. Фролова. СПбНЦ РАН-СПб. 1999: 253.
3. Афанасьев Ю.А. Фомин С.А., Меньшиков В.В. Мониторинг и методы контроля окружающей среды: учеб. Пособие. М.: Издательство МНЭПУ, 2001: 2: 338.
4. Биомониторинг состояния окружающей среды: учебное пособие / Под. ред. проф. И.С. Белюченко, проф. Е.В. Федоненко, проф. А.В. Смагина. Краснодар: КубГАУ. 2014: 153 .
5. Ботанический атлас растений Ленинградской области на сайте Ботанического института им. В.Л. Комарова Российской академии наук (БИН РАН). <https://www.binran.ru/> (дата обращения 10.04.2023)
6. Бродский А.К. Введение в проблемы биоразнообразия: иллюстрированный справочник. СПб.: Издательство С.-Петербургского университета. 2002: 144.
7. Бузук Г.Н. Определение проективного покрытия и урожайности при использовании фото точек (PHOTO POINT METHOD). Вестник фармации. 2013; 3(61): 74.
8. Гагарина Э. И., Матинян Н. Н., Счастливая Л. С., Касаткина Г. А. Почвы и почвенный покров Северо-Запада России. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 1995: 236.
9. Гольцова Н.И. Применение методов биоиндикации в горячих точках: полигон Красный Бор. Жизнь и безопасность. Экология. 2004; 2: 124–143.
10. ГОСТ 28329-89
11. Даринский А. В. Ленинградская область. Л.: Лениздат, 1975: 384.

12. Елдина Е. В. Экологический мониторинг полигона захоронения токсичных отходов «Красный Бор». Записки Горного института. 2006: 64–66.
13. Знаменская О. М. Рельеф. Природа Ленинграда и окрестностей. Л.: Лениздат, 1964: 21-29.
14. Калманова В. Б. Выбор и обоснование методов оценки экологического состояния урбанизированных территорий. Региональные проблемы. 2010; 2: 67-71.
15. Квасов Д. Д. Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Наука, 1974: 278.
16. Кобышева Н. В., Акентьева Е. М., Богданова Э. Г. Климат России. СПб.: Гидрометеиздат. 2001: 656.
17. Крылова Е. Г., Гагарин Э. В. Оценка аллелопатического влияния листового опада на начальные этапы онтогенеза частухи подорожниковой. Научное обозрение. Биологические науки. 2019; 1: 41-45.
18. Лабоха К. В., Юшкевич М. В. Охрана окружающей среды и мониторинг лесных экосистем: учебное пособие. Минск: БГТУ. 2012: 170.
19. Ляшенко О.А. Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды: учеб. Пособие. СПб.: Издательство СПб ГТУРП, 2012: 67.
20. Маевский П. Ф. Флора средней полосы европейской части России. 11-е изд. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014: 635.
21. Малаховский Д. Б., Мусатов Ю. Е. Геологические и геоморфологические наблюдения в нижнем течении р. Тосны, левого притока Невы. Вестник СПбГУ. 2004; 4. 35-40.
22. Мукминов М.Н., Шуралев Э.А. Методы биоиндикации: учебно-методическое пособие. Казань: Казанский университет, 2011: 48.
23. Об утверждении Методики оценки экологического состояния зеленых насаждений общего пользования Санкт-Петербурга: распоряжение Ком. по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению

экол. безопасности Правительства Санкт-Петербурга от 23 мар. 2022 г. № 76-р.

24. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»

25. Об экологической ситуации в Ленинградской области в 2020 году [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://nature.lenobl.ru/media/uploads/userfiles> (дата обращения: 28.10.2022)

26. Пашкевич М. А. Елдина Е.В. Выбор и обоснование средозащитных мероприятий на основе оценки негативного воздействия полигона захоронения токсичных отходов на природную среду. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2006; 10: 156.

27. Радченко Н. М., Шабунов А. А. Методы биоиндикации в оценке состояния окружающей среды: Учебно-методическое пособие. Вологда: Издательский центр ВИРО, 2006: 148.

28. Селюкова С.В. Тяжелые металлы в агроценозах. Земледелие и растениеводство. 2020: 85–93.

29. Сергеев, М.Г. Основы экологии: учеб. Пособие. Новосибирск: Издательство Новосиб. гос. ун-та, 2007; 2: 108.

30. Сони́на А.В., Степа́нова В.И., Тарасова В.Н. Лишайники: учебное пособие. Петрозаводск: Издательство ПетрГУ. 2006: 221.

31. Сорокина А., Бубырева В. А. Атлас дикорастущих растений Ленинградской области. Москва, Товарищество научных изданий КМК. 2010: 664.

32. Цвелев Н.Н. Определитель сосудистых растений Северо-Западной России (Ленинградская, Псковская и Новгородская области). СПб.: изд-во СПХФА. 2000: 781.

33. Baranov S.G., Vinokurov I.Y., Zykov I.E., Fedorova L.V. Asymmetry and shape in leaf blade red clover. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020; 548(7): 072015.
34. Baranov S.G., Zykov I.E., Kuznetsova D.D., Antsyshkina A.M., Fedorova L.V. Evaluation of shape and asymmetry in rye leaf. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020; 548(3): 032001.
35. Bargagli R, Brown D.H., Nelli L. Metal biomonitoring with mosses: procedures for correcting for soil contamination. Environ Pollut. 1995. [DOI 10.1016/0269-7491\(94\)00055-I](https://doi.org/10.1016/0269-7491(94)00055-I)
36. Boon P. J., Holmes N. T. H., Raven P. J. Developing standards approaches for recording and assessing river hydromorphology: The role of the European committee for standardization (CEN). Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems. 2010; 20(S1): 55-S61.
37. Ermakova E., Frontasyeva M., Steinnes E. Air pollution studies in Central Russia (Tula Region) using the moss biomonitoring technique, INAA and AAS. J Radioanal Nucl Chem. 2004. [DOI 10.1023/B:JRNC.0000015805.22707](https://doi.org/10.1023/B:JRNC.0000015805.22707)
38. Freeman M. C., Pringle C. M., Jackson C. R. Hydrologic connectivity and the contribution of stream headwaters to ecological integrity at regional scales. Journal of the American Water Resources Association. 2007; 43: 5-14. [DOI 10.1111/j.1752-1688.2007.00002.x](https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2007.00002.x)
39. Glime J. M., Vitt D. H. The physiological adaptation of aquatic Musci. Lindbergia. 1984; 10: 41-52.
40. Godzik B. Use of Bioindication Methods in National, Regional and Local Monitoring in Poland – Changes in the Air Pollution Level over Several Decades. Atmosphere. 2020; 11(2), 1432020. DOI 10.3390/atmos11020143
41. Graham J.H., Raz S., Hel-Or H., Nevo E. Fluctuating asymmetry: methods, theory, and applications. Symmetry. 2010; 2: 466–540.
42. Harmens H, Norris D.A., Sharps K. et al. Heavy metal and nitrogen concentrations in mosses are declining across Europe whilst some “hotspots” remain in 2010. Environ Pollut. 2015. [DOI 10.1016/j.envpol.2015.01.036](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.01.036)

43. Harmens H, Norris D.A., Steinnes E. et al. Mosses as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition: spatial and temporal trends in Europe. *Environ Pollut.* 2010. [DOI 10.1016/j. envpol.2010.06.039](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.06.039)
44. Higler L. W. G. The riparian community of north-west European lowland streams. *Freshwater Biology.* 1993; 29: 229-241. [DOI 10.1111/j.1365-2427.1993.tb00760.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1993.tb00760.x)
45. Ioana-Toroima C. G., Zaharia L., Minea G. Using Pressure and Alteration Indicators to Assess River Morphological Quality: Case Study of the Prahova River (Romania). *Water.* 2015; 7: 2971-2989. [DOI 10.3390/w7062971](https://doi.org/10.3390/w7062971)
46. Ivanov V.P., Ivanov Yu.V., Marchenko S.I., Kuznetsov V.V. Silver birch leaf fluctuating asymmetry indices using for diagnostics of phytocenoses state in technogenic pollution conditions. *the Russian Academy of Sciences.* 2015; 3(62): 368-377.
47. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants: Fourth edition *Trace Elements in Soils and Plants. Book, Fourth Edition.* 2010: 1-520.
48. Kara M, Odabasi M, Dumanoglu Y, Falay E, Tuna TG, Altioek H, Bayram A, Tolunay D, Elbir T. Investigation of atmospheric pollution by biomonitoring of major and trace elements in an industrial region. *J Environ Sci Eng.* 2019. [DOI 10.12974 /2311-8741.2019.07.03](https://doi.org/10.12974/2311-8741.2019.07.03)
49. Korotchenko I.S., Pervyshina G.G., Muchkina E.Ya., Khizhnyak S.V., Medvedeva V.A. The effect of gold mining on developmental instability in leaves of *Betula platyphylla* (Betulaceae) and *Populus tremula* (Salicaceae). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2020; 548(7): 072010.
50. Markert B. A., Breure A. M., Zechmeister H. G. Bioindicators & Biomonitors – principles, concepts and applications in NIAGRU J. E. (ed.), *Trace Metals and Other Contaminants in the Environment.* Vol. 6. Amsterdam, Elsevier. 2003: 1-997.
51. Meyer C, Diaz-de-Quijano M, Monna F, Franchi M, Toussaint ML, Gilbert D, Bernard N. Characterisation and distribution of deposited trace elements transported over long and intermediate distances in north-eastern France using

Sphagnum peatlands as a sentinel ecosystem. Atmos Environ. 2015. [DOI 10.1016/j.atmosenv.2014.11.041](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.11.041)

52. Monaci F., Bargagli R. Barium and other trace metals as indicators of vehicle emissions. Water, Air, and Soil Pollution. 1997; 100(1-2): 89-98.

53. Newson M. D., Large A. R. G. 'Natural' rivers, 'hydromorphological quality' and river restoration: A challenging new agenda for applied fluvial geomorphology. Earth Surface Processes and Landforms. 2006; 31: 1606-1624. [DOI 10.1002/esp.1430](https://doi.org/10.1002/esp.1430)

54. Parzych A., Mochnacki S., Zbigniew S., Pollakova N., Simansky V. Needles and bark of *Picea abies* (L.) H. Karst and *Picea omorika* (Panciç) Purk. as bioindicators of environmental quality. Folia Forestalia Polonica, Series A. Forestry. 2018; 60(4): 230-240.

55. Philippi G. Die Moosvegetation der Wälder in der Rheinaue zwischen Basel und Mannheim. Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwestdeutschland. 1972; 31: 5-64.

56. Puglisi M., Costa R., Privitera M. Bryophyte coastal vegetation of the Cilento and Vallo di Diano National Park (S Italy) as a tool for ecosystem assessment. Plant Biosystems 146 Supplement. 2012: 309-323.

57. Puglisi M., Kürschner H., Privitera M. Saxicolous bryophyte communities of mountain areas of Greece – phytosociology, ecology, life forms and life strategies. Nova Hedwigia. 2013; 97: 159-178. DOI [10.1127/0029-5035/2013/0111](https://doi.org/10.1127/0029-5035/2013/0111)

58. Puglisi M., Kürschner H., Privitera M. The bryophyte association *Solorino saccatae*-*Distichietum capillacei* Reimers 1940 on the Mediterranean mountains: A tool for evaluating natural and conservative environments. Plant Biosystems. 2014; 148: 815-824. DOI [10.1080/11263504.2013.877092](https://doi.org/10.1080/11263504.2013.877092)

59. Puglisi M., Minissale P., Sciandrello S., Privitera M. Life syndrome of the bryophyte communities as an adaptative pattern in the Mediterranean temporary ponds of Italy. Plant Biosystems. 2016; 150: 1417-1425. DOI [10.1080/11263504.2016.1200688](https://doi.org/10.1080/11263504.2016.1200688)

60. Puglisi M., Privitera M., Minissale P., Sciandrello S. The bryophyte vegetation of the Mediterranean temporary ponds in Italy. *Plant Sociology*. 2015; 52: 69-78.
61. Ristorini M., Astolfi M. L., Frezzini M. A., Canepari, S. Massimi L. Evaluation of the Efficiency of *Arundo donax* L. Leaves as Biomonitors for Atmospheric Element Concentrations in an Urban and Industrial Area of Central Italy. *Atmosphere*. 2020; 11(3): 226 . [DOI 10.3390/atmos11030226](https://doi.org/10.3390/atmos11030226)
62. Rühling Å, Tyler G An ecological approach to the lead problem. *Bot Not*. 1968; 121(3): 321–342.
63. Savvateeva O., Sokolova D., Semernya M. Assessment of the Urban Air Environment Based on Bioindication Studies. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 688: 012022. DOI 10.1088/1755-1315/688/1/012022
64. Shield F. D. Jr., Lizotte R. E. Jr., Knight S. S., Cooper C. M., Wilcox D. The stream channel incision syndrome and water quality. *Ecological Engineering*. 2010; 36: 78-90. DOI 10.1016/j.ecoleng.2009.09.014
65. Staflov T, Balabanova B, Šajn R, Bačeva K In: Jorma Mohamed J (ed) *Moss: Classification, development and growth and functional role in ecosystems*. Nova Science Publishers, Hauppauge. 2014.
66. Vaughan I. P., Diamond M., Gurnell A. M., Hall K. A., Jenkins A., Milner N. J., Naylor L. A., Sear D. A., Woodward G., Ormerod S. J. Integrating ecology with hydromorphology: A priority for river science and management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 2009; 19: 113-125. <https://doi.org/10.1002/aqc.895>
67. Vergel K., Zinicovscaia I., Yushin N., Gundorina S. Assessment of atmospheric deposition in Central Russia using moss biomonitors, neutron activation analysis and GIS technologies. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2020; 325: 807–816. [DOI 10.1007/s10967-020-07234-1](https://doi.org/10.1007/s10967-020-07234-1)
68. Ziglio G., Siligardi M., Flaim G. *Biological Monitoring of Rivers: Applications and Perspectives*. Chichester, John Wiley & Sons. 2008: 486.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Лесной массив «Красный Бор»



Листья черемухи и ольхи серой на которых были выявлены повреждения, вызванные растительноядным клещом из семейства Eriophyidae.



Лесной массив «Козловский лес»



Проективное покрытие лишайников на участке лесного массива
«Красный Бор»



Приложение 4

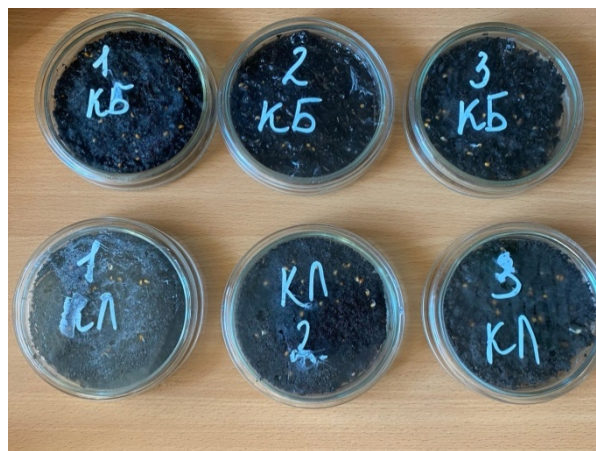
Проективное покрытие лишайников на участке лесного массива «Козловский лес»



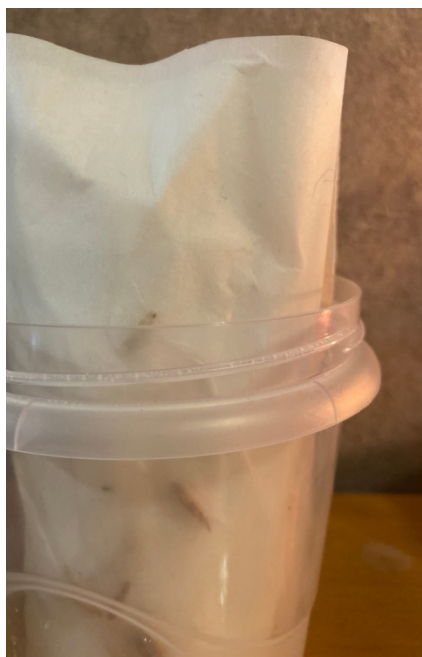
Оценка содержания тяжелых металлов в растениях



Использование модельного объекта для оценки загрязнения воздуха и
почвы на примере кресс-салата



Оценка загрязнения снега по прорастанию злаковых культур в рулонах



Результаты эксперимента по проращению злаковых культур в рулонах
(лесной массив Красный Бор)

№	Длина стебля, мм	Длина корня, мм	Корневая система	№	Длина стебля, мм	Длина корня, мм	Корневая система
1	20	85	Ветвистая	53	42	57	Ветвистая
2	53	110	Ветвистая	54	-	12	Слабо развита
3	46	92	Ветвистая	55	-	-	Отсутствует
4	44	70	Ветвистая	56	-	-	Отсутствует
5	55	78	Ветвистая	57	-	-	Отсутствует
6	62	100	Ветвистая	58	3	36	Ветвистая
7	12	40	Слабо развита	59	-	-	Отсутствует
8	23	100	Ветвистая	60	-	-	Отсутствует
9	-	-	Отсутствует	61	70	104	Ветвистая
10	34	85	Ветвистая	62	-	-	Отсутствует
11	60	130	Ветвистая	63	-	-	Отсутствует
12	40	82	Ветвистая	64	11	42	Ветвистая
13	30	54	Ветвистая	65	1	23	Ветвистая
14	-	5	Слабо развита	66	-	-	Отсутствует
15	38	97	Ветвистая	67	33	65	Ветвистая
16	-	48	Слабо развита	68	42	78	Ветвистая
17	40	76	Ветвистая	69	55	62	Ветвистая
18	52	70	Ветвистая	70	67	81	Ветвистая
19	20	83	Ветвистая	71	-	-	Отсутствует
20	21	50	Ветвистая	72	43	78	Ветвистая
21	42	65	Ветвистая	73	40	63	Ветвистая
22	30	45	Ветвистая	74	44	113	Ветвистая
23	26	50	Ветвистая	75	3	40	Слабо развита
24	37	60	Ветвистая	76	42	86	Ветвистая
25	-	-	Отсутствует	77	-	3	Слабо развита
26	45	112	Ветвистая	78	32	60	Ветвистая
27	-	4	Слабо развита	79	56	87	Ветвистая
28	32	70	Ветвистая	80	27	74	Ветвистая
29	16	95	Ветвистая	81	35	62	Ветвистая
30	40	62	Ветвистая	82	8	41	Ветвистая
31	17	5	Ветвистая	83	62	98	Ветвистая
32	51	110	Ветвистая	84	1	5	Слабо развита
33	66	108	Ветвистая	85	3	7	Слабо развита
34	66	115	Ветвистая	86	42	87	Ветвистая
35	78	107	Ветвистая	87	1	3	Слабо развита
36	45	82	Ветвистая	88	-	-	Отсутствует
37	30	85	Ветвистая	89	-	-	Отсутствует
38	28	63	Ветвистая	90	-	-	Отсутствует

Продолжение приложения 8

Результаты эксперимента по проращению злаковых культур в рулонах
(лесной массив Красный Бор)

№	Длина стебля, мм	Длина корня, мм	Корневая система	№	Длина стебля, мм	Длина корня, мм	Корневая система
39	30	86	Ветвистая	91	24	59	Ветвистая
40	22	52	Ветвистая	92	-	-	Отсутствует
41	-	-	Отсутствует	93	15	43	Ветвистая
42	-	-	Отсутствует	94	-	-	Отсутствует
43	40	59	Ветвистая	95	-	-	Отсутствует
44	47	82	Ветвистая	96	-	-	Отсутствует
45	51	73	Ветвистая	97	12	38	Ветвистая
46	49	100	Ветвистая	98	27	63	Ветвистая
47	50	67	Ветвистая	99	-	-	Отсутствует
48	28	54	Ветвистая	100	-	-	Отсутствует
49	26	50	Ветвистая	сред знач	35,26	66,43	
50	40	112	Ветвистая	мах	78	130	
51	21	38	Ветвистая	мин	1	3	
52	30	46	Ветвистая				

Результаты эксперимента по проращению злаковых культур в рулонах
(лесной массив Козловский лес)

№	Длина стебля, мм	Длина корня, мм	Корневая система	№	Длина стебля, мм	Длина корня, мм	Корневая система
1	35	87	Ветвистая	53	15	52	Ветвистая
2	30	60	Ветвистая	54	30	46	Ветвистая
3	10	70	Ветвистая	55	5	33	Ветвистая
4	20	40	Ветвистая	56	47	66	Ветвистая
5	5	40	Ветвистая	57	28	67	Ветвистая
6	47	63	Ветвистая	58	-	16	Слабо развита
7	21	70	Ветвистая	59	-	-	Отсутствует
8	30	84	Ветвистая	60	-	-	Отсутствует
9	45	84	Ветвистая	61	44	71	Ветвистая
10	65	91	Ветвистая	62	54	62	Ветвистая
11	48	89	Ветвистая	63	51	102	Ветвистая
12	-	21	Слабо развита	64	13	40	Ветвистая
13	52	98	Ветвистая	53	48	79	Ветвистая
14	21	74	Ветвистая	54	56	84	Ветвистая
15	46	67	Ветвистая	55	44	70	Ветвистая
16	38	85	Ветвистая	56	37	60	Ветвистая
17	56	93	Ветвистая	57	42	65	Ветвистая
18	-	2	Слабо развита	58	-	8	Слабо развита
19	-	14	Слабо развита	59	23	40	Ветвистая
20	40	80	Ветвистая	60	57	76	Ветвистая
21	35	74	Ветвистая	61	33	64	Ветвистая
22	40	69	Ветвистая	62	28	63	Ветвистая
23	-	-	Отсутствует	63	30	86	Ветвистая
24	-	-	Отсутствует	64	43	78	Ветвистая
25	-	-	Отсутствует	65	-	-	Отсутствует
26	34	68	Ветвистая	66	41	66	Ветвистая
27	35	75	Ветвистая	67	23	85	Ветвистая
28	10	40	Ветвистая	68	17	42	Ветвистая
29	56	95	Ветвистая	69	-	-	Отсутствует
30	3	30	Ветвистая	70	34	67	Ветвистая
31	15	68	Ветвистая	71	56	87	Ветвистая
32	20	74	Ветвистая	72	14	53	Ветвистая
33	35	56	Ветвистая	73	35	66	Ветвистая
34	21	42	Ветвистая	74	48	79	Ветвистая
35	30	74	Ветвистая	75	43	69	Ветвистая
36	-	8	Слабо развита	76	11	29	Ветвистая

Продолжение приложения 9

Результаты эксперимента по проращению злаковых культур в рулонах
(лесной массив Козловский лес)

№	Длина стебля, мм	Длина корня, мм	Корневая система	№	Длина стебля, мм	Длина корня, мм	Корневая система
37	-	-	Отсутствует	77	66	87	Ветвистая
38	60	87	Ветвистая	78	47	74	Ветвистая
39	25	93	Ветвистая	79	45	76	Ветвистая
40	60	85	Ветвистая	80	53	89	Ветвистая
41	42	89	Ветвистая	81	17	35	Ветвистая
42	35	62	Ветвистая	82	36	68	Ветвистая
43	20	53	Ветвистая	83	-	-	Отсутствует
44	-	12	Слабо развита	84	19	42	Ветвистая
45	50	76	Ветвистая	85	48	65	Ветвистая
46	76	63	Ветвистая	86	52	79	Ветвистая
47	46	50	Ветвистая	87	35	60	Ветвистая
48	50	44	Ветвистая	88	28	57	Ветвистая
49	40	41	Ветвистая	Средн знач	37,78	65,09	
50	20	87	Ветвистая	Мак	66	89	
51	46	50	Ветвистая	Мин	3	2	
52	20	60	Ветвистая				

Определение чистоты атмосферного воздуха с помощью листового
опада

