

На правах рукописи



Дубровина Ольга Алексеевна

**ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)
В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
(НА ПРИМЕРЕ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ)**

1.5.15 – Экология (биологические науки)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Владимир – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина»

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор
Зайцев Глеб Анатольевич

Официальные оппоненты: **Веселкин Денис Васильевич**
доктор биологических наук, профессор РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, заведующий лабораторией биоразнообразия растительного мира и микобиоты

Бухарина Ирина Леонидовна
доктор биологических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет», директор Института гражданской защиты

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук

Защита состоится «__» _____ 2021 г. в ____ ч. на заседании диссертационного совета 24.2.281.02 при ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ВлГУ, корп. 1, ауд. 335.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ВлГУ и на сайте <http://diss.vlsu.ru/>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, можно присылать по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ВлГУ, кафедра биологии и экологии.

Автореферат разослан «__» _____ 2021 г

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук



Кулагина Екатерина Юрьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. Антропогенное воздействие на окружающую среду и количество химических веществ, перемещающихся человеком в биосфере, сопоставимы с масштабами геологических процессов (Nriagu, Расуна, 1988). Токсиканты, попав в атмосферу вместе с промышленными выбросами, в условиях равнинной малооблесенной местности способны переноситься воздушными массами на большие расстояния. Древесные растения в условиях загрязнения выполняют роль биологического фильтра, очищая атмосферный воздух от токсикантов путем механического осаждения твердых частиц и частичного их поглощения. Но, произрастая в антропогенно загрязненных условиях, древесные растения вынуждены адаптироваться к измененным условиям окружающей среды.

Черная металлургия, как отрасль обрабатывающей промышленности, является одним из наиболее энергоемких и крупнейших промышленных секторов с точки зрения выбросов в атмосферу (Schino, 2018; Griffin, Hammond, 2019). Новолипецкий металлургический комбинат (НЛМК), располагающийся в Липецке (действует с 1934 года), является крупнейшей сталелитейной корпорацией в России и входит в Топ-25 крупнейших мировых компаний по производству стали (Top steel-producing..., 2020). Выбросы НЛМК в атмосферу составляют 84,5% всех выбросов от стационарных источников загрязнения в регионе (Доклад..., 2019). В выбросах предприятий черной металлургии преобладают диоксид углерода, твердые частицы (пыль, включая тяжелые металлы) и оксиды азота. Вредные вещества выбрасываются (как твердые частицы) на всех этапах металлургического цикла – от переработки руды (обработка железа и марганцевых руд) до производства чугуна и стали (Virčikova, Macala, 1998; Röllin, Nogueira, 2019). Среди тяжелых металлов в выбросах преобладают железо, марганец, цинк, кадмий и другие металлы (как компоненты исходного сырья и используемые в технологических процессах). Влияние выбросов металлургических комбинатов на древесную растительность изучено фрагментарно и данные базируются, в первую очередь, на оценке состояния надземной части растений (Румянцева, 2006; Шубина, Юрьев, 2009; Шубина и др., 2010; Черчинцев и др., 2012; Ворсин, Коробова, 2013, 2015; Дробный и др., 2014; Зонова, 2018). Сведения о влиянии НЛМК на древесную растительность достаточно противоречивы (Матвеев, Таранков, 1994; Попова, 2007), вплоть до указания того, что «вблизи агломерационной фабрики Ново-Липецкого металлургического комбината сформировалась техногенная пустыня» (Груздев, 2010, с.10).

Начальные этапы онтогенеза древесных растений (как всего организма в целом, так и отдельных органов) являются самыми критическими (Кулагин, 1974; Усманов и др., 2001). Вопросы влияния техногенного загрязнения на растительные сообщества в Липецкой области изучены фрагментарно (Лютлова, 2002; Двуреченский, 2006; Большова, 2010). В основном исследования этих авторов были сосредоточены на проявлении внешних признаков атмосферного загрязнения (хлороз, некроз листьев, состояние травяного покрова, плотность,

цвет и др.). Однако работы, посвященные изучению роста и развитию органов сосны обыкновенной текущего года развития (однолетние побеги и хвоя, поглощающие корни) в условиях Липецкой области отсутствуют.

Таким образом, **актуальность работы** определяется:

1. Недостаточностью научных данных о росте и развитии органов сосны обыкновенной текущего года развития (однолетние побеги и хвоя, поглощающие корни) в условиях загрязнения окружающей среды выбросами металлургических комбинатов и автомобильного транспорта.

2. Отсутствием подробной эколого-биологической характеристики сосны обыкновенной при произрастании в условиях промышленного загрязнения Липецкой области.

Целью работы было изучение эколого-биологических особенностей сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях техногенного загрязнения выбросами металлургического комбината и автомобильного транспорта.

В ходе выполнения научно-исследовательских работ решались следующие **задачи**:

1. Оценить относительное жизненное состояние насаждений сосны обыкновенной в пределах Липецкого и Елецкого промышленных центров.

2. Исследовать рост и развитие побегов и ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях загрязнения в Липецкой области.

3. Определить особенности пигментного фонда сосны обыкновенной в условиях загрязнения в Липецкой области.

4. Изучить особенности накопления тяжелых металлов (железо, марганец, цинк и кадмий) в наземных (однолетние побеги и хвоя) и подземных (поглощающие корни) органах сосны обыкновенной в техногенных условиях Липецкой области.

5. Изучить особенности формирования поглощающей части корневой системы сосны обыкновенной в пределах Липецкого и Елецкого промышленных центров.

Научная новизна работы. Впервые представлена подробная эколого-биологическая характеристика сосны обыкновенной, произрастающей в условиях загрязнения выбросами металлургического комбината. Впервые получены данные, характеризующие насыщенность почвы поглощающими корнями в условиях загрязнения выбросами металлургического комбината и автомобильного транспорта. Получены данные об особенностях накопления и перераспределения тяжелых металлов в однолетних органах (поглощающие корни, побеги, хвоя, побеги) сосны обыкновенной в условиях загрязнения.

Положения, выносимые на защиту:

1) адаптивный потенциал сосны обыкновенной реализуется на разных структурно-функциональных уровнях, которые проявляют различную чувствительность к техногенному загрязнению;

2) высокий уровень относительного жизненного состояния насаждений сосны обыкновенной отражает её высокие адаптационные способности к действию загрязнения, что позволяет сосне произрастать в условиях крупных

промышленных центров Липецкой области и выполнять санитарно-защитные функции.

Практическая значимость. Результаты, полученные в ходе выполнения работы, могут быть использованы при проектировании и создании новых, а также реконструкции уже имеющихся санитарно-защитных насаждений с участием сосны обыкновенной в крупных промышленных центрах Липецкой области.

Личный вклад автора. Автором самостоятельно выполнены постановка цели и основных задач диссертационной работы, выбраны и обоснованы методы исследований. Сбор и обработка полевого материала проведен 2014-2020 гг. совместно с сотрудниками агрохимической лаборатории и кафедры химии и биологии Елецкого государственного университета им. И.А.Бунина. Автором лично выполнена математическая обработка, анализ и обобщение полученных результатов. Подготовка к печати научных работ, отражающих результаты диссертации, осуществлялась самостоятельно или при участии соавторов.

Организация исследований: Отдельные этапы работы выполнялись при финансовой поддержке в рамках выполнения проекта «Адаптивный потенциал и устойчивость древесных растений в техногенных условиях» (Аналитическая ведомственная целевая программа МОиН РФ «Развитие научного потенциала высшей школы», рег. №: 2.1.1/11330), Грантов Российского фонда фундаментальных исследований «Адаптации по защите онтогенеза древесных растений в контрастных лесорастительных условиях» (№13-04-97518) и «Адаптация корневых систем сосны обыкновенной к техногенным условиям Липецкой области» (№19-44-480001).

Апробация работы: Основные результаты, защищаемые положения и выводы диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференция различного уровня, в том числе на, Международных: «История ботаники в России» (Тольятти, сентябрь 2015 г.), «Экобиотех» (Уфа, октябрь 2015, 2017 и 2019 гг.), «Инновационные подходы к обеспечению устойчивого развития социо-эколого-экономических систем» (Самара-Тольятти, июнь 2016 г.; Уфа, октябрь 2017 г.), «Экология и природопользование: прикладные аспекты» (Уфа, апрель 2017-2020 гг.), «Экология и образование: проблемы развития Евразийского информационно-образовательного пространства» (Уфа, ноябрь 2019 г.) и Всероссийских: «Проблемы экологии Южного Урала» (Оренбург, октябрь 2015 г.), «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем» (Киров, декабрь 2016 г.), «Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения» (Саратов, декабрь 2019 г.).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 20 работах, в том числе 2 статьи в журналах, индексируемых в базе данных Web of Science и 6 статей в журналах ВАК.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, написана на 124 страницах, содержит 3 таблицы, 53 рисунка. Список литературы включает 254 наименований, из них 107 на иностранном языке.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

Раскрыта актуальность темы диссертационной работы, поставлены цель и задачи исследований, отмечена научная новизна, показана практическая и теоретическая значимость работы. Даны положения, выносимые на защиту.

ГЛАВА 1. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Проведен анализ работ отечественных и зарубежных исследователей по теме диссертационной работы. Подробно рассмотрены вопросы влияния промышленного загрязнения на рост и развитие древесных растений (Алексеев, 1987; Гетко, 1989; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Ярмишко, 1997; Николаевский, 1999; Битюцкий, 1999; Безуглова, Орлов, 2000; Неверова, 2002; Веселкин, 2002; Кулагин, Шагиева, 2005; Ростунов, Кончина, 2016; Гиниятуллин и др., 2018; Spieker, 1991; Qadir et al., 2004; Wenzel et al., 2007; Ayeni et al., 2014; Mohsin et al., 2014; Kaznina et al., 2017; Saaltink et al., 2017; Huang et al., 2017; Hou et al., 2018 и др.). Отмечена слабая изученность влияния промышленного загрязнения на органы сосны обыкновенной текущего года развития (однолетние побеги и хвоя, поглощающие корни). Также отсутствуют исследования особенностей формирования корневых систем древесных растений в условиях промышленного загрязнения в Липецкой области.

ГЛАВА 2. РАЙОН, ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Физико-географическая характеристика района исследования. Приведена характеристика района исследований (приводится описание рельефа, климатических особенностей региона, почв и растительности). Представлена характеристика промышленного загрязнения окружающей среды в районе проведения исследований.

Объект исследования. Дана подробная характеристика объекта исследования – сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) (Правдин, 1964; Орлов, 1977; Смирнов, 1980; Маркова, 2000; Farjon, 2010).

Методика исследования. Работы по изучению эколого-биологических особенностей сосны обыкновенной проводили в 35-45-летних древостоях искусственного происхождения в пределах Липецкой области (Липецкий и Елецкий промышленный центр) (рис.1). Основным источником загрязнения в Липецке являются выбросы металлургического комбината, в Ельце – выбросы автомобильного транспорта. Было заложено четыре временных и восемь постоянных пробных площадей (ПП). При закладке ПП руководствовались общепринятыми методиками (Сукачев, 1966; Forest ecology..., 2007; Forest inventory..., 2007).

Для таксационного описания использовалось оборудование фирмы Haglof (Sweden): высотомер Electronic Clinometer и мерная вилка Mantax Precision MA 800. Высота деревьев определялась с точностью до 0,1 м, диаметр определялся на высоте 1,3 м с точностью до 0,5 см. Для определения возраста древостоев отбирались древесные керны при помощи возрастного бурава Haglof (Sweden) (Дендрохронология..., 1986; Ваганов и др., 1996; Ваганов, Шашкин, 2000; Шиятов, и др., 2000; Methods..., 1990). Определение возраста (путем подсчета годовых колец) проводили с использованием измерителя параметров древесных кернов Corim Maxi (Preisser Messtechnik GmbH, Germany).

Описание нижних ярусов леса проводили с использованием общепринятых методов (Полевая геоботаника..., 1976). Относительное жизненное состояние древостоя (индекс Lv) определяли по общепринятой в эколого-биологических исследованиях методике (Алексеев, 1990; Бебия, 2000).

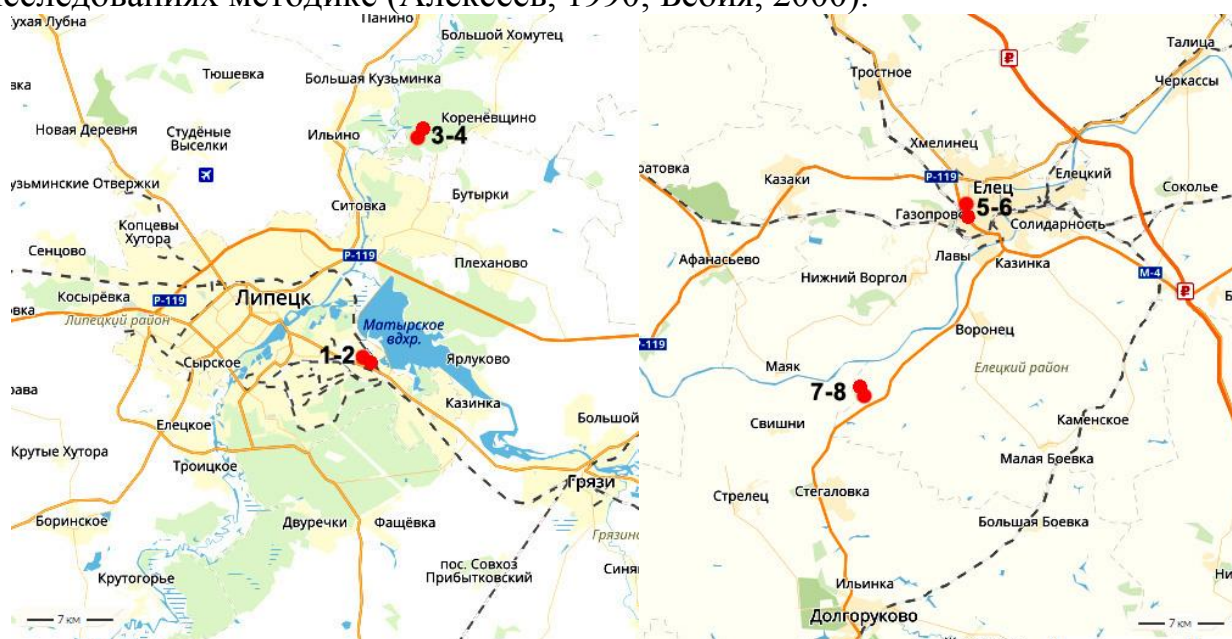


Рис. 1. Месторасположение пробных площадей в санитарно-защитных насаждениях Липецкого и Елецкого промышленных центров (Липецк, 1-2 – загрязнение, 3-4 – контроль; Елец, 5-6 – загрязнение, 7-8 – контроль)

Для биометрических исследований на каждой ПП срезали сучкорезом (Gardena 08773) ветви, имеющих текущий годичный прирост. Побеги и хвоя произвольно отбирались из базальной части короны независимо от направления горизонта или подверженной загрязнению стороны (Cornelissen et al., 2003). Длину однолетней хвои и прирост однолетних побегов определяли при помощи цифрового штангенциркуля (Калиброн, Россия) с точностью до 0,01 мм. Массу хвои определяли в воздушно-сухом состоянии на электронных лабораторных весах I класса точности AND GF-200 (A&D, Япония) с точностью до 0,001 г.

Пигментный состав хвои определяли по стандартной методике (Клейн, Клейн, 1974; Силаева, 1978; Полевой, 1991). Относительное содержание хлорофилла (*a* и *b*) и каротиноидов определяли при помощи спектрофотометра КФК-5М (Россия), путем трехкратного измерения оптической плотности

спиртовой вытяжки при $\lambda=440,5$ нм – каротиноидов, при $\lambda=665$ нм – хлорофилл **a**, при $\lambda=649$ нм – хлорофилл **b**.

Для определения уровня химического загрязнения почв проводили определение содержания тяжелых металлов (свинца, кадмия, никеля, кобальта, меди, цинка, марганца) в почвенном профиле. Образцы отбирали почвенным буром до глубины 50 см. Уровень химического загрязнения почвенного покрова рассчитывали через суммарный показатель загрязнения (Z_c) по формуле:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n-1),$$

где K_c – коэффициент концентрации i -го химического элемента, n – число, равное количеству элементов, входящих в геохимическую ассоциацию. K_c определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в почве (C_i) в мг/кг почвы к региональному фону ($C_{\text{фон}}$):

$$K_c = \frac{C_i}{C_{\text{фон}}}$$

При расчете K_c учитывались все обнаруженные химические вещества-токсиканты, относящиеся к 1, 2 и 3 классам опасности.

Перед оценкой содержания металлов почву, органический и неорганический материал тщательно смывали с корней проточной водопроводной водой. Корни перед анализами тщательно сортировали по диаметру на поглощающие (тонкие) (<1 мм) и крупные (>1 мм). В дальнейшем в исследованиях анализировались только поглощающие (тонкие) корни (<1 мм). Для удаления ионов металлов с поверхности корней корни погружали на 15 минут в 25 mM раствор этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА), затем промывали деионизированной водой (Foy et al., 1981; Taylor, Crowder, 1983; Yang et al., 2004; Li et al., 2005; Khan et al., 2016; Dong et al., 2019). Хвою и побеги отмывали от пыли дистиллированной водой в течение 1 мин (Przybysz et al., 2014; Xu et al., 2019). Затем образцы доводились до воздушно-сухого состояния. Минерализацию проб проводили методом сухого озоления по ГОСТ 26657-85. Подвижные формы металлов экстрагировали с помощью 1M HNO₃. Определение содержания металлов проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии (Брицке, 1982; Пупышев, 2009; Pelly, 1998) на спектрофотометре «Спектр-5», в пламени ацетилен-воздух. Определялось содержание железа, марганца, кадмия и цинка в однолетних побегах и хвое, а также в поглощающих корнях.

Для описания поглощения металлов в тонких корнях сосны использовали коэффициент биологического поглощения (КБП), рассчитываемый как отношение содержания металлов в корнях к содержанию металлов в почве (Alloway et al., 1988; Kumar et al., 1995; Dinelli, Lombini, 1996). Для определения миграции металлов в сосне использовали коэффициент биологической миграции (КБМ), который рассчитывали, как отношение содержания элементов в органах растений к содержанию элементов в корнях (Гиниятуллин и др., 2018).

Отбор проб для определения насыщенности почвы поглощающими корнями проводили методом бура (Rosário de Oliveira et al., 2000; Addo-Danso et al., 2016) с использованием стандартного почвенного бура с внутренним диаметром 3,5 см. Отбор почвенных кернов (в 10-кратной повторности для каждой пробной площади) производился до глубины 50 см. Корни разделяли на фракции: поглощающие (тонкие) (<1 мм) и крупные (>1 мм). В работе определялась только масса поглощающих корней (<1 мм). Образцы корней доводили до воздушно-сухого состояния в сушильном шкафу при температуре 80°C. Вес корней определялся на электронных лабораторных весах ВЛТЭ-150 (Госметр, Россия) с точностью до 0,001 г. Корненасыщенность почвы определяли на единицу площади горизонтальной поверхности (г/м²).

Математическая обработка полученных данных (описательная статистика, корреляционный анализ, расчеты коэффициентов) проводилась стандартными методами статистического анализа (Зайцев, 1984; Mathematics..., 2007; Ross, 2009) с использованием программных пакетов MS Excel 8.0, Statistica 7.0 и GraphPad 4.00. В таблицах и на графиках представлены средние значения и стандартная ошибка средней.

ГЛАВА 3. ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

Жизненное состояние древостоев сосны обыкновенной

Оценка относительного жизненного состояния (ОЖС) сосновых насаждений в пределах Липецкого и Елецкого промышленных центров показала, что ОЖС древостоев сосны в пределах Липецкого и Елецкого промышленных центров оценивается как «ослабленное» (Lv=70% и Lv=75% соответственно). В относительном контроле (для Липецкого промцентра) ОЖС насаждений сосны оценивается как «здоровое» (Lv=85%). В пределах Елецкого промышленного центра насаждения в контроле за пять лет перешли из категории «здоровые» (Lv=80%) в категорию «ослабленные» (Lv=75%). Данное снижение жизненного состояния произошло вследствие загущенности древостоев, и как следствие, слабой очищаемости стволов от мертвых сучьев и усыхания хвои (табл. 1).

Таблица 1. Диагностические признаки жизненного состояния насаждений сосны обыкновенной

Расположение	Густота кроны, %		Наличие на стволе мертвых сучьев, %		Степень повреждения хвои, %	
	2014	2019	2014	2019	2014	2019
Липецкий промышленный центр						
Загрязнение	55-85	55-85	15-45	15-45	10-45	10-45
Контроль	85-100	85-100	15-45	15-45	0-10	0-10
Елецкий промышленный центр						
Загрязнение	85-100	85-100	15-45	15-45	10-45	10-45
Контроль	85-100	85-100	45-65	55-70	0-10	10-20

Индекс загрязненности почв в насаждениях сосны обыкновенной

В зоне влияния выбросов НЛМК отмечается значительное загрязнение почвы тяжелыми металлами. Суммарный индекс загрязнения верхнего (0-10 см) слоя почвы составляет 214,34, т.е. уровень загрязнения оценивается как «очень высокий» (табл. 2). В пределах Елецкого промышленного центра также отмечается значительное загрязнение почвы тяжелыми металлами (табл. 2). Суммарный индекс загрязнения верхнего (0-10 см) слоя почвы составляет 165,87, т.е. уровень загрязнения оценивается как «очень высокий». Основной вклад в загрязнение почвы вносят медь, никель, марганец.

Таблица 2. Коэффициенты концентрации химических элементов и индекс загрязненности почв

Глубина, см	Коэффициент концентрации (K _c)							Суммарный индекс загрязненности
	Co	Mn	Cu	Ni	Pb	Zn	Cd	
Липецкий промышленный центр (загрязнение)								
0-10	2,2	32,72	87,38	62,53	6,21	13,25	16,06	214,34
10-20	18,13	27,63	7,97	4,2	3,94	2,17	0,89	58,94
20-30	7,33	11,48	2,5	6,4	1,12	0,56	0,17	23,56
30-40	0	5,35	6,69	2,37	2,33	1,68	0,94	13,36
40-50	5,32	2,79	2,34	4,9	1,69	0,88	0,22	12,14
Липецкий промышленный центр (контроль)								
0-10	7,02	30,25	5,75	6,63	2,62	1,18	0,67	48,12
10-20	4,39	27,20	5,28	3,37	1,98	0,76	0,39	37,37
20-30	4,76	11,29	6,75	3,40	0,97	0,43	0,38	21,97
30-40	3,16	7,52	0,00	2,71	0,87	0,40	0,39	9,04
40-50	0,00	5,20	3,56	1,25	0,90	0,41	0,33	5,66
Елецкий промышленный центр (загрязнение)								
0-10	1,76	30,41	76,47	52,53	5,63	3,53	1,56	165,87
10-20	5,52	29,65	55,03	56,10	5,31	2,44	1,00	149,05
20-30	2,97	25,00	45,69	53,03	4,25	1,89	1,06	127,88
30-40	2,97	22,37	39,88	53,47	5,02	1,91	1,78	121,38
40-50	1,52	22,43	35,97	56,40	4,25	1,91	0,78	117,26
Елецкий промышленный центр (контроль)								
0-10	2,72	27,54	34,53	38,93	3,40	3,19	1,14	105,46
10-20	0,00	24,23	25,19	37,33	3,56	4,42	0,89	89,62
20-30	0,00	23,76	27,81	38,33	3,37	2,33	0,78	90,38
30-40	0,00	22,09	25,31	39,27	3,61	3,06	0,94	88,29
40-50	0,00	20,02	18,91	35,93	2,71	2,22	0,61	74,40

Сезонный прирост побегов сосны обыкновенной

Однолетние побеги сосны в условиях Липецкого промышленного центра (рис. 2) растут достаточно интенсивно, за май-август их прирост в контроле составляет в среднем 20,42 мм, в условиях загрязнения – 10,25 мм.

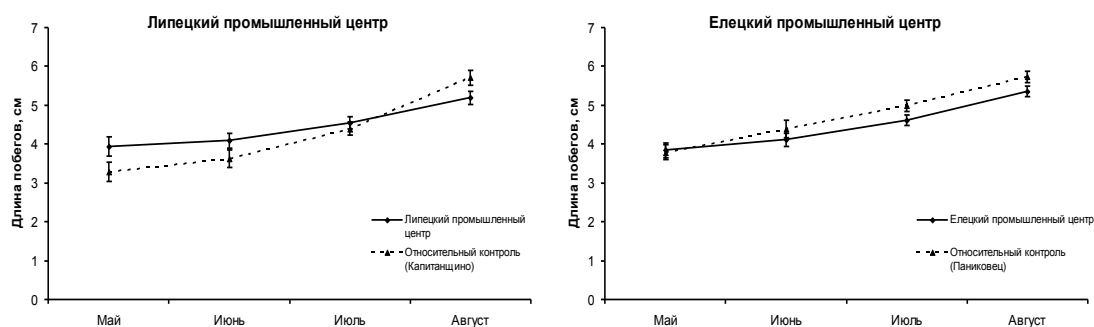


Рис.2. Ход роста однолетних побегов сосны

В условиях Елецкого промышленного центра динамика роста побегов сосны выше. Длина побегов ниже по сравнению с контролем (данные достоверно отличаются ($P < 0,01-0,007$) за исключением мая).

Характеристика морфологических параметров ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной

Средняя длина однолетней хвои в Липецком промышленном центре (рис. 3А) за вегетационный период изменяется в пределах $1,14 \pm 0,037$ - $5,27 \pm 0,093$ см (загрязнение) и $1,24 \pm 0,05$ - $5,11 \pm 0,084$ см (контроль); масса однолетней хвои в условиях загрязнения меньше по сравнению с контролем (рис. 4А).

Различия длины (рис. 3Б) и массы (рис. 4Б) хвои в пределах Елецкого промышленного центра свидетельствуют о том, что эти показатели возрастают со снижением загрязнения атмосферы.

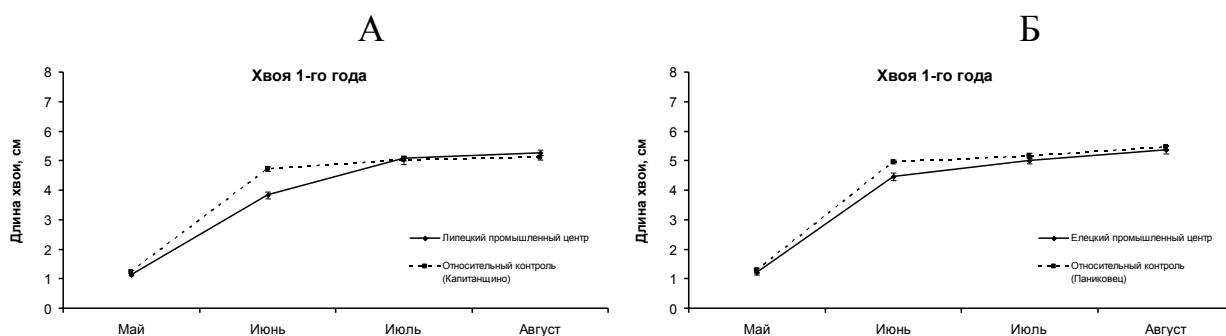


Рис. 3. Длина однолетней хвои сосны обыкновенной (А – Липецк, Б – Елец)

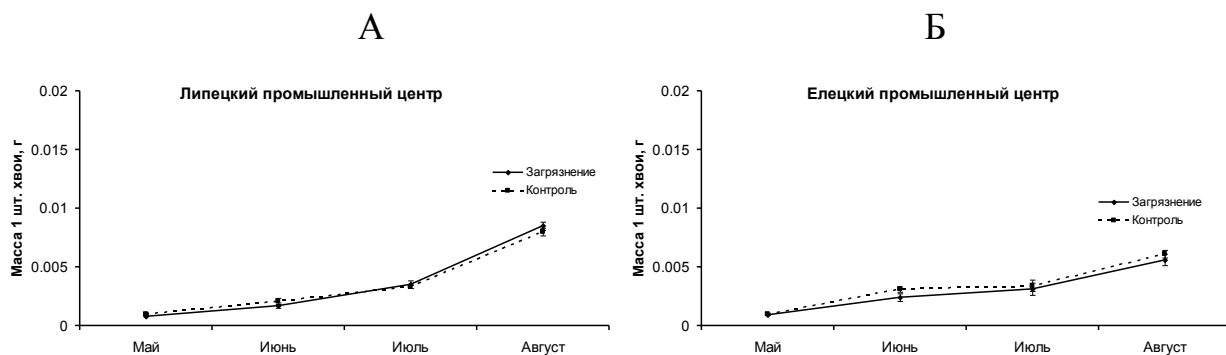


Рис. 4. Масса однолетней хвои сосны обыкновенной (А – Липецк, Б – Елец)

Содержание пигментов фотосинтеза в хвое сосны обыкновенной

Установлено, что содержание хлорофилла **a** и **b** и каротиноидов в однолетней хвое сосны в условиях загрязнения ниже, чем в контроле (табл. 3). Характер формирования пигментного комплекса в однолетней хвое свидетельствуют о наличии ответной реакции пигментной системы ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной на техногенную нагрузку. Следовательно, пигментный комплекс сосны обыкновенной может служить маркером уровня антропогенной загрязненности территории.

Таблица 3. Содержание фотосинтетических пигментов (мг/г сырого веса) в однолетней хвое сосны обыкновенной

Вариант	Месяцы отбора хвои			
	Май	Июнь	Июль	Август
Хлорофилл a				
Липецк (загрязнение)	0,154±0,0001	0,284±0,0005	0,409±0,0004	0,455±0,0011
Липецк (контроль)	0,257±0,0007	0,348±0,0003	0,460±0,0008	0,497±0,0083
Елец (загрязнение)	0,177±0,0003	0,308±0,0050	0,436±0,0024	0,464±0,0285
Елец (контроль)	0,288±0,0010	0,406±0,0008	0,482±0,0016	0,505±0,0104
НСР ₀₅	0,01	0,008	0,01	0,006
НСР%	5,56	2,41	2,13	1,24
Хлорофилл b				
Липецк (загрязнение)	0,061±0,0002	0,109±0,0011	0,151±0,0037	0,168±0,0019
Липецк (контроль)	0,136±0,0001	0,229±0,0025	0,231±0,0004	0,248±0,0046
Елец (загрязнение)	0,077±0,0006	0,128±0,0067	0,174±0,0051	0,178±0,0081
Елец (контроль)	0,145±0,0018	0,193±0,0004	0,219±0,0112	0,230±0,0110
НСР ₀₅	0,005	0,003	0,004	0,025
НСР%	4,6	1,66	2,05	2,55
Сумма каротиноидов				
Липецк (загрязнение)	0,054±0,0001	0,105±0,0001	0,168±0,0026	0,188±0,0009
Липецк (контроль)	0,073±0,0009	0,134±0,0007	0,182±0,0001	0,204±0,0035
Елец (загрязнение)	0,056±0,0001	0,104±0,0032	0,145±0,0015	0,169±0,0130
Елец (контроль)	0,084±0,0003	0,117±0,0013	0,155±0,0029	0,084±0,0003
НСР ₀₅	0,002	0,003	0,002	0,003
НСР%	3,13	2,58	1,23	1,81

Строение корневых систем сосны обыкновенной

Насыщенность слоя почвы (0-50 см) в условиях загрязнения Липецкого промышленного центра составляет 648,36 г/м², в условиях контроля – 527,69 г/м²; в условиях загрязнения Елецкого промышленного центра составляет 582,05 г/м², в условиях контроля – 595,93 г/м² (рис. 5). Максимальная корненасыщенность во всех изученных местообитаниях отмечается на глубине 0-10 см.

Насыщенность почвы поглощающими корнями во всех слоях (кроме слоя 0-10 см) выше в условиях загрязнения. При этом различия в содержании поглощающих корней между условиями загрязнения и контролем статистически недостоверны.

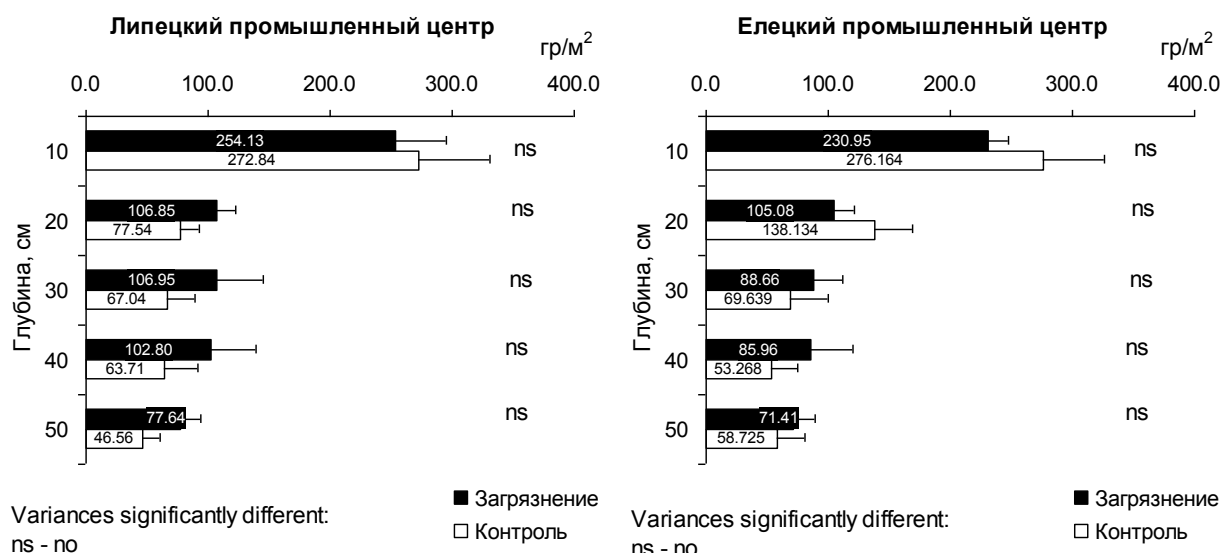


Рис. 5. Насыщенность почвы поглощающими корнями сосны обыкновенной

ГЛАВА 4. ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ МЕТАЛЛОВ В НАДЗЕМНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ОРГАНАХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Анализ содержания тяжелых металлов в различных органах сосны обыкновенной в условиях загрязнения в пределах Липецкого и Елецкого промышленного центра позволил установить, что сосна избирательно поглощает различные тяжелые металлы из окружающей среды (табл. 4-6). Их содержание в однолетних органах (хвоя, побеги, поглощающие корни) изменяется в зависимости от местопроизрастания (загрязнение или контроль).

Таблица 4. Содержание металлов (мг/кг) в однолетней хвое и однолетних побегах сосны обыкновенной (в числителе – загрязнение, в знаменателе – контроль)

Месяц	Однолетняя хвоя				Однолетние побеги			
	Cd	Zn	Mn	Fe	Cd	Zn	Mn	Fe
Липецкий промышленный центр								
Май	0,06	26,13	39,21	24,99	0,04	26,95	33,85	19,30
	0,05	24,04	25,76	22,00	0,03	23,17	18,05	21,14
Июнь	0,15	25,60	69,68	27,03	0,10	29,63	61,79	19,03
	0,05	21,65	28,46	23,11	0,03	23,96	10,99	21,13
Июль	0,20	26,95	64,35	35,93	0,11	29,04	34,91	28,89
	0,11	27,15	27,51	24,24	0,06	23,26	15,00	23,51
Август	0,15	23,28	73,78	40,20	0,06	28,36	46,08	40,06
	0,11	23,98	26,75	26,64	0,09	26,82	16,66	24,71
Елецкий промышленный центр								
Май	0,06	24,91	41,90	27,33	0,09	27,06	43,11	22,18
	0,04	17,18	24,03	10,83	0,03	18,19	10,63	10,18
Июнь	0,06	21,57	80,75	36,03	0,16	19,05	55,08	30,01
	0,05	18,47	22,05	19,41	0,04	18,47	11,48	11,03
Июль	0,06	21,71	79,23	36,93	0,09	25,76	48,61	31,50
	0,05	18,41	38,02	19,66	0,05	20,44	29,28	11,04

Август	<u>0,09</u> 0,05	<u>25,04</u> 19,96	<u>130,33</u> 52,61	<u>39,59</u> 19,64	<u>0,18</u> 0,01	<u>25,14</u> 20,66	<u>65,03</u> 29,89	<u>28,94</u> 14,75
--------	----------------------------	------------------------------	-------------------------------	------------------------------	----------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------

Жирным шрифтом выделены значения, достоверно отличающиеся между местообитаниями (загрязнение и контроль)

Установлена корреляционная связь (табл. 6) между распределением тяжелых металлов по профилю почвы, а также их содержанием в поглощающих корнях сосны обыкновенной с кислотностью почвы и количеством гумуса.

Анализ значений коэффициентов биологического поглощения и биологической миграции тяжелых металлов (рис. 6-9) показал, что однолетняя хвоя и побеги активно накапливают цинк. Эта значительная миграция цинка из поглощающих корней в хвою и побеги может объясняется тем, что цинк необходим для здорового роста растений. Но из-за низкого содержания цинка в почве в исследуемых условиях и вследствие его низкой абсорбции поглощающими корнями, можно предположить, что цинк, поглощенный корнями, мигрирует, прежде всего, в однолетнюю хвою, где он участвует в различных физиологических процессах. Кадмий также мигрирует из поглощающих корней в хвою и побеги, но в отличие от цинка, эта миграция незначительна.

Таблица 5. Содержание металлов (мг/кг) в почве и поглощающих корнях сосны обыкновенной (в числителе – загрязнение, в знаменателе – контроль)

Глубина, см	Почва				Поглощающие корни			
	Cd	Zn	Mn	Fe	Cd	Zn	Mn	Fe
Липецкий промышленный центр								
0-10	<u>1,45</u> 0,06	<u>34,7</u> 3,08	<u>315,76</u> 291,94	<u>476,64</u> 454,54	<u>0,13</u> 0,07	<u>12,93</u> 2,90	<u>2,17</u> 23,22	<u>176,41</u> 39,77
10-20	<u>0,08</u> 0,04	<u>5,69</u> 2,00	<u>266,65</u> 262,5	<u>429,57</u> 449,63	<u>0,04</u> 0,01	<u>12,59</u> 1,60	<u>5,94</u> 16,77	<u>50,46</u> 23,42
20-30	<u>0,02</u> 0,03	<u>1,47</u> 1,12	<u>110,76</u> 108,99	<u>203,54</u> 338,84	<u>0,04</u> 0,04	<u>11,15</u> 1,04	<u>8,35</u> 34,81	<u>53,9</u> 24,37
30-40	<u>0,09</u> 0,04	<u>4,41</u> 1,05	<u>51,63</u> 72,545	<u>441,92</u> 407,91	<u>0,06</u> 0,01	<u>12,39</u> 0,70	<u>12,06</u> 7,66	<u>67,41</u> 16,82
40-50	<u>0,02</u> 0,03	<u>2,32</u> 1,08	<u>26,89</u> 50,185	<u>338,49</u> 409,81	<u>0,05</u> 0,07	<u>12,86</u> 1,29	<u>8,09</u> 31,53	<u>46,33</u> 31,54
Елецкий промышленный центр								
0-10	<u>0,14</u> 0,10	<u>9,24</u> 8,37	<u>293,41</u> 265,76	<u>491,86</u> 491,66	<u>0,14</u> 0,01	<u>4,39</u> 0,69	<u>31,57</u> 6,67	<u>43,88</u> 45,51
10-20	<u>0,09</u> 0,08	<u>6,39</u> 11,59	<u>286,08</u> 233,81	<u>491,95</u> 489,28	<u>0,03</u> 0,04	<u>3,12</u> 0,47	<u>10,72</u> 7,51	<u>35,21</u> 54,71
20-30	<u>0,10</u> 0,07	<u>4,95</u> 6,11	<u>241,25</u> 229,26	<u>492,45</u> 489,48	<u>0,05</u> 0,05	<u>3,34</u> 0,40	<u>6,02</u> 2,84	<u>39,99</u> 35,3
30-40	<u>0,16</u> 0,09	<u>5,00</u> 8,02	<u>215,88</u> 213,21	<u>492,89</u> 489,35	<u>0,06</u> 0,04	<u>4,99</u> 0,48	<u>8,66</u> 4,46	<u>57,40</u> 22,02
40-50	<u>0,07</u> 0,06	<u>5,03</u> 5,83	<u>216,42</u> 193,16	<u>494,01</u> 478,65	<u>0,04</u> 0,04	<u>2,58</u> 0,45	<u>5,00</u> 2,76	<u>48,75</u> 45,47

Жирным шрифтом выделены значения, достоверно отличающиеся между местообитаниями (загрязнение и контроль)

Установлено, что железо не накапливается в значительных количествах в органах сосны. Но при этом в условиях загрязнения железо более интенсивно накапливается в корнях. Марганец в поглощающих корнях в условиях загрязнения накапливается меньше, чем в контроле. Исходя из значений КБП и КБМ можно отметить, что в условиях загрязнения повышается мобильность марганца, а особенности его миграции смещается в сторону увеличения его содержания в надземной части сосны.

Установлена корреляционная связь (табл. 7) между значениями коэффициента биологического поглощения металлов и кислотностью почвы, и количеством гумуса.

Таблица 6. Корреляция содержания металлов в почве и поглощающих корнях сосны обыкновенной с кислотностью и количеством гумуса

Точки отбора		Содержание элемента			
		Почва		Корневая система	
		pH	гумус	pH	гумус
Кадмий					
ЛПЦ	загрязнение	$r = 0,4877$	$r = 0,7422$	$r = 0,3352$	<u>$r = 0,6229$</u>
	контроль	$r = 0,9587$	$r = 0,9238$	$r = 0,2210$	$r = 0,2967$
ЕПЦ	загрязнение	$r = 0,2316$	$r = 0,1146$	$r = 0,7146$	$r = 0,4959$
	контроль	$r = 0,8169$	$r = 0,8093$	$r = -0,8980$	$r = -0,9265$
Цинк					
ЛПЦ	загрязнение	<u>$r = 0,5124$</u>	$r = 0,7838$	$r = -0,1603$	<u>$r = 0,5286$</u>
	контроль	$r = 0,9595$	$r = 0,9992$	$r = 0,8985$	$r = 0,9621$
ЕПЦ	загрязнение	$r = 0,9562$	$r = 0,8442$	$r = 0,2023$	$r = 0,0891$
	контроль	$r = 0,2408$	$r = 0,2026$	$r = 0,9554$	$r = 0,9701$
Марганец					
ЛПЦ	загрязнение	$r = 0,7661$	$r = 0,9607$	$r = -0,3893$	$r = -0,8454$
	контроль	$r = 0,8829$	$r = 0,9115$	$r = -0,0958$	$r = -0,1114$
ЕПЦ	загрязнение	$r = 0,9598$	$r = 0,9930$	$r = 0,8963$	$r = 0,7456$
	контроль	$r = 0,8883$	$r = 0,8567$	<u>$r = 0,5903$</u>	<u>$r = 0,5607$</u>
Железо					
ЛПЦ	загрязнение	$r = 0,3545$	<u>$r = 0,6824$</u>	<u>$r = 0,5159$</u>	<u>$r = 0,6900$</u>
	контроль	<u>$r = 0,5308$</u>	$r = 0,7158$	<u>$r = 0,6241$</u>	$r = 0,7113$
ЕПЦ	загрязнение	$r = -0,8029$	$r = -0,8479$	<u>$r = -0,5197$</u>	<u>$r = -0,6573$</u>
	контроль	<u>$r = 0,5342$</u>	$r = 0,4980$	$r = 0,3034$	$r = 0,2715$

Жирным шрифтом выделены значения, имеющие высокий уровень корреляции, подчеркнутые – средний уровень корреляции

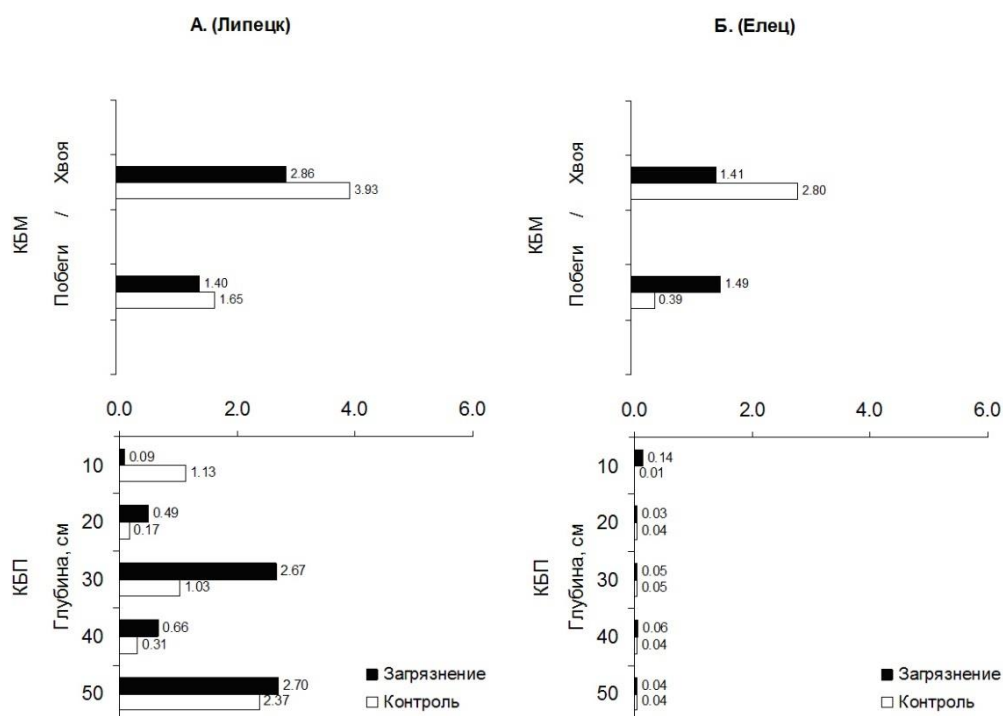


Рис. 6. Коэффициенты биологического поглощения и биологической миграции для кадмия

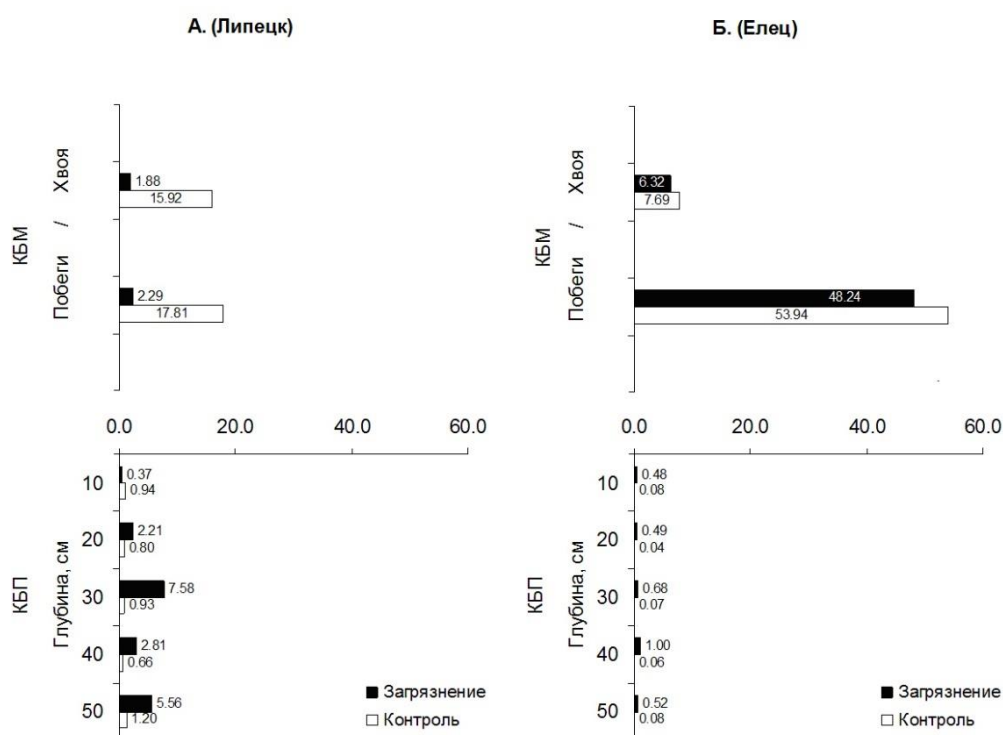


Рис. 7. Коэффициенты биологического поглощения и биологической миграции для цинка

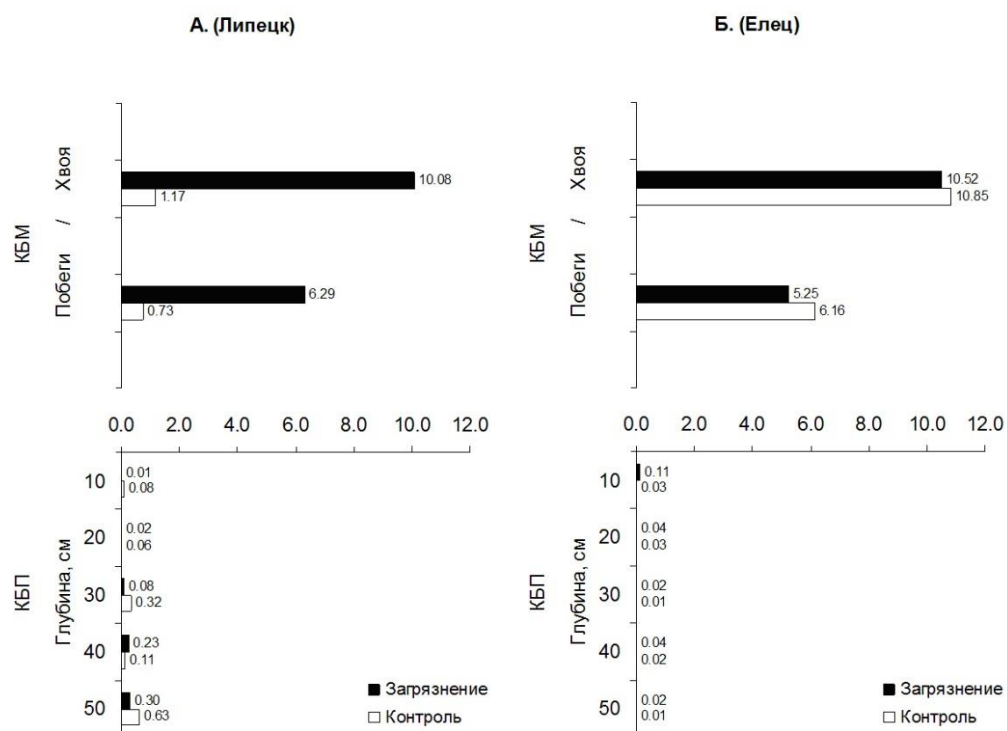


Рис. 8. Коэффициенты биологического поглощения и биологической миграции для марганца

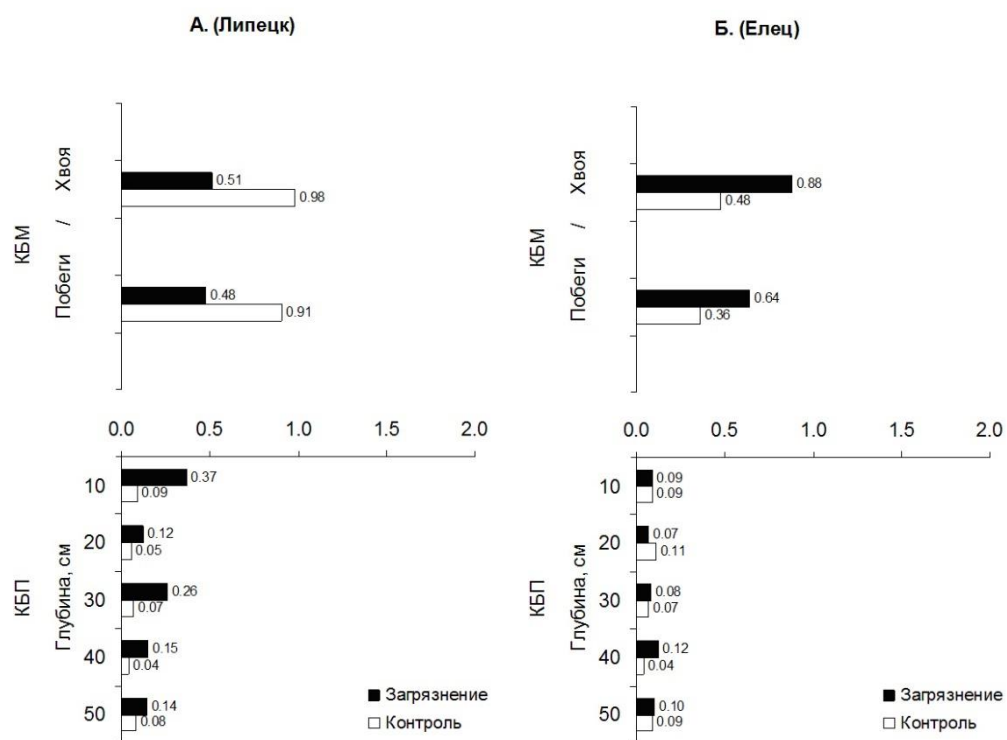


Рис. 9. Коэффициенты биологического поглощения и биологической миграции для железа

Таблица 7. Зависимость коэффициента биологического поглощения от кислотности и количества гумуса

Точки отбора		КБП	
		pH	гумус
Кадмий			
ЛПЦ	загрязнение	$r = -0,7342$	$r = -0,7873$
	контроль	$r = -0,2573$	$r = -0,0295$
ЕПЦ	загрязнение	<u>$r = 0,6404$</u>	$r = 0,4145$
	контроль	$r = -0,8974$	$r = -0,9123$
Цинк			
ЛПЦ	загрязнение	<u>$r = -0,5453$</u>	$r = -0,8312$
	контроль	$r = -0,1590$	$r = -0,0306$
ЕПЦ	загрязнение	<u>$r = -0,5858$</u>	<u>$r = -0,6013$</u>
	контроль	$r = 0,3206$	$r = 0,3646$
Марганец			
ЛПЦ	загрязнение	$r = -0,8670$	$r = -0,7616$
	контроль	<u>$r = -0,6465$</u>	<u>$r = -0,5574$</u>
ЕПЦ	загрязнение	$r = 0,8685$	$r = 0,7182$
	контроль	<u>$r = 0,6631$</u>	<u>$r = 0,6422$</u>
Железо			
ЛПЦ	загрязнение	$r = 0,4743$	$r = 0,4176$
	контроль	$r = 0,4293$	<u>$r = 0,5286$</u>
ЕПЦ	загрязнение	$r = -0,4998$	<u>$r = -0,6385$</u>
	контроль	$r = 0,2962$	$r = 0,2629$

Жирным шрифтом выделены значения, имеющие высокий уровень корреляции, подчеркнутые – средний уровень корреляции

ГЛАВА 5. АДАПТИВНЫЕ РЕАКЦИИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

Обобщены результаты исследования влияния выбросов металлургического комбината и автомобильного транспорта на жизненное состояние древостоев сосны обыкновенной и динамику роста однолетних побегов и хвои (в пределах Липецкой области). Дана оценка пигментного отклика в однолетней хвое на промышленное загрязнение. Рассчитана категория загрязнения (Z_c) почвы комплексом химических веществ-токсикантов на изучаемых территориях. Оценено влияние загрязнения на насыщенность почвы поглощающими корнями сосны. Показаны особенности накопления в подземных органах и миграции кадмия, цинка, железа и марганца в надземные органы сосны обыкновенной по коэффициентам биологического накопления и миграции. Суммируя результаты исследований, делается вывод о том, что сосна обыкновенная является достаточно устойчивой древесной породой к действию загрязнения выбросами черной металлургии в пределах Липецкой области. Данный факт позволяет прогнозировать успешность выполнения данной древесной породой своих

санитарно-защитных функций по отношению к промышленному загрязнению от предприятий черной металлургии.

ВЫВОДЫ

1. Промышленное загрязнение выбросами металлургического комбината и автомобильного транспорта не фатально влияет на рост и развитие сосны обыкновенной, наблюдается лишь снижение общего жизненного состояния древостоев. В Липецком и Елецком промышленных центрах ОЖС насаждений сосны оценивается как «ослабленное» и за 5 лет исследований не изменили свой статус. В пределах Елецкого промышленного центра насаждения в контроле за 5 лет перешли из категории «здоровые» в категорию «ослабленные» из-за загущенности древостоев, и как следствие, за счет слабой очищаемости стволов от мертвых сучьев и усыхания хвои.

2. В условиях загрязнения отмечается значительное содержание тяжелых металлов в почвах. Суммарный индекс загрязнения верхнего (0-10 см) в пределах Липецкого промышленного центра составляет 214,34 (уровень – «очень высокий»). В пределах Елецкого промышленного центра – 165,87 (уровень – «очень высокий»). Основной вклад в загрязнение почвы вносят медь, никель, марганец, цинк и кадмий.

3. Не установлено значительного влияния загрязнения на динамику роста однолетних побегов. Однолетние побеги сосны в условиях Липецкого промышленного центра достаточно интенсивно растут. В условиях Елецкого промышленного центра динамика роста побегов сосны выше, что объясняется меньшим объемом выбросов токсикантов в атмосферу.

4. Промышленное загрязнение значительно не влияет на рост однолетней хвои сосны в сезонной динамике. В условиях Елецкого промышленного центра длина и масса хвои выше, чем в Липецком промышленном центре.

5. Характер сезонной динамики содержания пигментов в хвое в условиях загрязнения в Липецком и Елецком промышленных центрах показал уменьшение содержания общего фонда хлорофиллов и каротиноидов по сравнению с контролем.

6. Не установлено значительного изменения насыщенности почвы поглощающими корнями сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения Липецкой области. Различия в содержании поглощающих корней между условиями загрязнения и контролем статистически недостоверны. Во всех случаях максимальная корненасыщенность отмечается на глубине 0-10 см, где сосредоточено от 39,2% до 51,7% массы всех поглощающих корней.

7. Поверхностные слои почвы менее загрязнены цинком, чем кадмием. Марганец по профилю почв распределяется неравномерно (с максимальной концентрацией в верхних слоях), железо по глубине распределяется более равномерно. Установлена корреляционная связь между распределением данных металлов по профилю почвы с кислотностью и гумусом в почве.

8. Поглощающие корни и однолетние побеги сосны адсорбируют цинк больше, чем кадмий, т.е. цинк мигрирует из поглощающих корней в побеги более

интенсивно, чем кадмий. Это позволяет сосне обыкновенной интенсивнее накапливать «менее токсичный» и более необходимый для растительного организма цинк, чем кадмий.

9. Увеличение абсорбции железа поглощающими корнями сосны уменьшает поступление в корневую систему более токсичного для растений марганца, но это не ограничивает миграцию марганца в надземную часть сосны обыкновенной. Основываясь на значениях коэффициентов биологического поглощения и миграции, можно отметить, что железо для сосны обыкновенной не является элементом, который активно накапливается. Для марганца это применимо только для поглощающих корней, в условиях загрязнения марганец более подвижен и происходит увеличение накопления марганца в надземной части сосны обыкновенной.

10. Анализ адаптивных реакций сосны обыкновенной на действие техногенных факторов показал, что она является достаточно устойчивой древесной породой к действию загрязнения в пределах крупных промышленных центров Липецкой области. При своевременном проведении необходимых лесоводственных мероприятий можно прогнозировать устойчивый рост и развитие санитарно-защитных насаждений сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения в пределах Липецкой области.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Список публикаций в изданиях, индексируемых в Web of Science

1. Zaitsev G.A., **Dubrovina O.A.**, Shainurov R.I. Iron and manganese migration in “soil–plant” system in Scots pine stands in conditions of contamination by the steel plant’s emissions // Scientific Reports. – 2020. – V.10. – Article number: 11025. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-68114-y> (Q1, Impact Factor – 4.37)
2. Zaitsev G.A., **Dubrovina O.A.**, Kulagin A.Y., Shainurov R.I. Cadmium and zinc migration in Scots pine stands growing in contaminated areas from metallurgical plant emissions // International Journal of Environmental Science and Technology. – 2021. – Online First: 03 Jan 2021. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-020-03104-1> (Q2, Impact Factor – 2.86)

Статьи в научных журналах, рекомендованных перечнем ВАК

1. **Дубровина О.А.**, Зайцева Г.А. Характеристика насаждений сосны обыкновенной, произрастающих в условиях Елецкого промышленного центра // Известия УНЦ РАН. – 2015. – № 4(1). – С.42-44.
2. **Дубровина О.А.**, Зайцев Г.А. Характеристика насаждений сосны обыкновенной, произрастающей в условиях Липецкого промышленного центра // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – №10 (185). – С. 10-13.
3. Зайцев Г.А., Кулагин А.Ю., Уразгильдин Р.В., **Дубровина О.А.**, Логвинов К.В., Афанасов Н.А., Чабан А.Н., Шайнуров Р.И., Тагирова О.В., Аминева К.З.

Относительное жизненное состояние древесных насаждений в условиях промышленного загрязнения // Известия УНЦ РАН. – 2017. – №2. – С.63-68.

4. **Дубровина О.А.**, Зубкова Т.В. Содержание свинца и кадмия в почве и органах растений сосны обыкновенной в лесопарковых зонах г.Ельца // Плодоводство и ягодоводство России. – 2019. – Том.57. – С.56-60.

5. **Дубровина О.А.**, Зайцев Г.А. Влияние антропогенного воздействия на содержание фотосинтетических пигментов в однолетней хвое сосны обыкновенной, произрастающей в лесопарковых зонах города Ельца [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №1(43). <https://doi.org/10.51419/20211105>

6. **Дубровина О.А.**, Зайцев Г.А. Зубкова Т.В., Виноградов Д.В., Гогмачадзе Г.Д. Аккумуляция кобальта и никеля в почве, подстилке и в органах сосны обыкновенной в условиях Елецкого промышленного центра [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №2(44). <https://doi.org/10.51419/20212224>

Статьи в прочих научных изданиях

1. **Дубровина О.А.**, Зайцев Г.А. Содержание металлов в однолетней хвое сосны обыкновенной в условиях Елецкого промышленного центра // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2016. – № 1(1). – С.118-123.

2. **Дубровина О.А.**, Зайцев Г.А. Содержание металлов в однолетней хвое сосны обыкновенной в условиях Липецкого промышленного центра // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2017. – Т.26, № 1. – С.55-58.

3. **Дубровина О.А.**, Зайцев Г.А. Особенности роста хвои сосны обыкновенной в условиях Липецкого промышленного центра // Физиология и экология человека, животных и растений. Материалы докладов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (заочная). – Махачкала: ДГПУ, 2015. – С.115-116.

4. Зайцев Г.А., **Дубровина О.А.** Особенности формирования ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях Липецкого промышленного центра // История ботаники в России. К 100-летию юбилею РБО. Сборник статей Международной научной конференции. – Тольятти: Кассандра, 2015. – С.72-75.

5. **Дубровина О.А.**, Зайцев Г.А. Содержание пигментов фотосинтеза в однолетней хвое сосны обыкновенной в условиях Липецкой области // Труды VI Международной научно-практической конференции «Экология и природопользование: прикладные аспекты». – Уфа: БГПУ, 2016. – С.120-123.

6. **Дубровина О.А.**, Зайцев Г.А. Содержание свинца в органах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Липецкого промышленного центра // Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем». – Киров: Радуга-ПРЕСС, 2016. – Книга 1. – С.33-35.

7. **Дубровина О.А.**, Зайцев Г.А. Содержание кадмия в органах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Липецкого промышленного центра // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Экология и природопользование: прикладные аспекты». – Уфа: БГПУ, 2017. – С.90-94.

8. **Дубровина О.А.**, Зайцев Г.А. Содержание кадмия в органах сосны обыкновенной в условиях Липецкого промышленного центра // Материалы международной научно-практической конференции «Фундаментально-прикладные проблемы безопасности, живучести, надежности, устойчивости и эффективности систем». – Елец: ЕГУ им. И.А.Бунина, 2017. – С. 394-397.

9. Зайцев Г.А., **Дубровина О.А.** Оценка содержания кадмия и свинца в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Липецкого промышленного центра // Материалы научной конференции с международным участием «Изучение и сохранение биоразнообразия в ботанических садах и других интродукционных центрах». – Донецк, 2019. – С.150-155.

10. Зайцев Г.А., **Дубровина О.А.**, Шайнуров Р.И. Миграция кадмия в системе «почва-поглощающие корни» под насаждениями сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения // Сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции «Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения». – Саратов: «Амирит», 2019. – Часть 1. – С.140-143.

11. Зайцев Г.А., **Дубровина О.А.**, Шайнуров Р.И. Вертикальная миграция марганца в светло-серых лесных почвах под насаждениями сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения // Материалы Международной научно-практической конференции «Экология и образование: проблемы развития Евразийского информационно-образовательного пространства». – Уфа: БГПУ, 2019. – С.44-46.

12. Зайцев Г.А., **Дубровина О.А.**, Шайнуров Р.И. Вертикальная миграция кобальта в системе «почва-поглощающие корни» в насаждениях сосны обыкновенной (Липецкий промышленный центр) // Материалы X Международной научно-практической конференции «Экология и природопользование: прикладные аспекты». – Уфа: БГПУ, 2020. - С.95-99.