

На правах рукописи



**Легощина Ольга Михайловна**

**АДАПТИВНЫЕ РЕАКЦИИ  
И ФИТОИНДИКАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ  
В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

03.02.08 – Экология (биология)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Томск – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук»

**Научный руководитель:** доктор биологических наук, профессор  
**Неверова Ольга Александровна**

**Официальные оппоненты:**

**Бухарина Ирина Леонидовна**, доктор биологических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет», кафедра инженерной защиты окружающей среды, заведующий кафедрой

**Седельникова Людмила Леонидовна**, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория интродукции декоративных растений, старший научный сотрудник

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный университет»

Защита состоится 29 июня 2018 года в 12 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.267.10, созданного на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36 (корпус НИИ ББ, конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке и на официальном сайте федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» [www.tsu.ru](http://www.tsu.ru).

Материалы по защите диссертации размещены на официальном сайте ТГУ: <http://www.ams.tsu.ru/TSU/QualificationDep/co-searchers.nsf/newpublicationn/LegoshchinaOM29062018.html>

Автореферат разослан «\_\_\_» мая 2018 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат биологических наук



Носков Юрий Александрович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования:** В условиях высоких темпов урбанизации важнейшей задачей является улучшение экологической обстановки в городах. Одним из способов оптимизации экологических условий крупных промышленных центров (в том числе г. Кемерово) является создание рациональной системы озеленения, основанное на научных подходах к подбору ассортимента городских насаждений, обладающих высоким уровнем экологической адаптации и пластичности, и как следствие – высокими показателями декоративности и средоулучшающих свойств.

Особенности жизнедеятельности и экологическая роль древесных растений в городах изучались многими авторами (Илькун, 1971, 1978; Кулагин, 1974; Тарабрин, 1974; Николаевский, 1979, 2002; Чиркова, 2002; Mitteler, 2002; Неверова, Колмогорова, 2003; Бухарина, 2008; Двоеглазова, 2009; Журавлева, 2012; Пашкова, 2015 и др.). Подбор видового состава древесных насаждений должен проводиться с учетом функционального назначения озеленяемых территорий.

Город Кемерово представляет собой крупный промышленный центр Сибири. На территории города, вблизи жилых кварталов располагается промзона включающая Кемеровскую ГРЭС, КОАО «Химпром», ОАО «Кокс». Данные промышленные объекты выбрасывают в атмосферу вредные реагенты: оксиды азота, диоксид серы, оксид углерода, полиароматические углеводороды, в том числе бенз(а)пирен и взвешенные вещества. Попадая в окружающую среду, поллютанты оказывают неблагоприятное влияние на процессы роста и развития растений. Однако некоторые древесные растения способны адаптироваться к условиям техногенного загрязнения формируя общую устойчивость древесных растений за счет разных форм адаптаций. В связи с вышесказанным актуальным является изучение адаптивных перестроек древесных растений в градиенте техногенного загрязнения от промзоны г. Кемерово. Полученная научная информация позволит выявить пределы устойчивости древесных растений в зависимости от концентрации выбросов и расстояния от промзоны, что является ключевым моментом в вопросах создания эффективной системы озеленения вокруг промышленных зон, а также применения результатов фитоиндикационных исследований как дополнительной информации в оценке качества среды.

**Степень разработанности темы исследования:** Изучение механизмов устойчивости древесных насаждений г. Кемерово проводилось многими учеными с 1998 г. Детально изучено состояние древесных растений различных исторически сложившихся районов города, различающихся экологическими условиями. Выявлены особенности химического состава и установлена видовая специфичность растений в способности накапливать химические элементы техногенных выбросов; установлена направленность физиолого-биохимических и морфологических изменений у растений, исследованы фенологические особенности развития растений; на основе данных фитомониторинга выполнено экологическое зонирование территории города (Неверова, Колмогорова, 2003; Неверова, 2001, 2004). Изучена устойчивость древесных растений в примагистральных посадках города к выбросам автотранспорта (Неверова,

Колмогорова, 2006; Неверова, Быков, 2009; Неверова. Колмогорова, Быков, 2009; Неверова, Цандекова, 2010; Неверова, 2011). Однако слабо изучен вопрос об адаптивных перестройках древесных растений в градиенте техногенного загрязнения от промзоны г. Кемерово.

**Цель работы:** изучение адаптивных реакций и фитоиндикационной способности древесных растений, произрастающих в градиенте техногенного загрязнения от промзоны г. Кемерово.

**Задачи работы:**

1. Выявить особенности физиолого-биохимических процессов у исследуемых древесных растений – окислительных процессов, содержания зеленых пигментов и фотосинтетической способности.

2. Охарактеризовать рост побегов и их элементов у исследуемых древесных растений.

3. Изучить анатомическую структуру листьев и хвои исследуемых древесных пород.

4. Изучить аккумулирующую способность древесных растений в отношении серо- и азотсодержащих примесей атмосферы и способность метаболизировать бенз(а)пирен.

5. Дать сравнительную оценку адаптивного потенциала исследуемых древесных пород и их фитоиндикационной способности.

**Научная новизна исследования:** Впервые в условиях г. Кемерово на основе комплексного изучения физиолого-биохимических, морфологических и анатомических характеристик проведено изучение адаптивного потенциала древесных растений (*Betula pendula* Roth, *Sorbus sibirica* Hedl., *Picea obovata* Ledeb.), произрастающих в градиенте промышленного загрязнения от промзоны. Методом корреляционного анализа выявлены «+» и «-» корреляции изучаемых характеристик растений с комплексным показателем загрязнения атмосферы (КПЗА), которые формируют адаптивные и негативные перестройки на различных уровнях организации и определяют тот или иной уровень устойчивости; установлены соотношения адаптивных перестроек к негативным, доля адаптивных перестроек в этих соотношениях, средняя сила корреляций по модулю. Обнаружено, что в градиенте промышленного загрязнения от промзоны наиболее высоким адаптивным потенциалом обладает береза повислая, наименьшим – рябина сибирская. Показана фитоиндикационная роль растений-аккумуляторов химических элементов загрязнений (серы и азота) в мониторинге характера распространения промышленных выбросов от промзоны и выявления дополнительных источников загрязнения. На примере рябины сибирской (*Sorbus sibirica* Hedl.) показана способность древесных растений метаболизировать бенз(а)пирен.

**Теоретическая и практическая значимость работы:** Полученные результаты исследования дополняют имеющиеся теоретические представления о влиянии промышленных выбросов на анатомо-морфологические, физиологические и ростовые параметры, а также расширяют представления о метаболических путях трансформации бенз(а)пирена в растениях.

Результаты исследований являются научной основой для создания эффективной системы озеленения вокруг промышленных зон. Аккумулирующая способность листьев *Betula pendula* Roth в отношении серосодержащих примесей и хвои *Pecea obovata* Ledeb. в отношении азотсодержащих примесей может использоваться для детализации информации о характере загрязнения атмосферного воздуха и объективности экологических прогнозов. Отдельные показатели *Pecea obovata* Ledeb. (содержание хлорофиллов «а» и «б», фотосинтетическая способность, размер клеток и объем тканей, степень асимметрии ЦПП) могут применяться как индикаторные характеристики в системе мониторинга состояния окружающей среды. Материалы диссертационной работы внедрены в образовательный процесс Кемеровского государственного университета и используются при проведении практических и лекционных занятий по дисциплинам «Экологический мониторинг», «Биоиндикация окружающей среды», «Экология городских экосистем» для студентов, обучающихся по направлению «Экология и природопользование».

**Методология и методы исследований:** Основой диссертационной работы послужили материалы, собранные автором в период с 2009–2013 гг., на территории г. Кемерово. Закладка площадок наблюдения проведена с учетом градиента техногенного загрязнения от промзла по преобладающему направлению распространения выбросов. В ходе выполнения исследований использованы апробированные методы: газожидкостная хроматография с масс-спектрометрическим детектором, спектрофотометрия, световая микроскопия, анатомирование микропрепаратов, морфометрия, методы математической статистики.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Особенности физиолого-биохимических, морфологических и анатомических перестроек у древесных растений, а также способность к аккумуляции азот- и серосодержащих примесей атмосферы в условиях градиента техногенного загрязнения (на примере промзоны г. Кемерово) формируют ряд устойчивости растений: береза>ель>рябина.

2. Формирование выраженных ответных реакций растений на различных уровнях их организации наблюдается на расстоянии от промзоны до 1 км по преобладающему юго-западному направлению ветров (при комплексном показателе загрязнения атмосферы – 17,9 ... 10,4).

3. Древесные растения способны усваивать из воздуха и метаболизировать бенз(а)пирен до гидроксипроизводных.

**Степень достоверности результатов исследования:** Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждена четкой постановкой цели и задач, тщательным планированием эксперимента, использованием адекватных цели и задачам методов, репрезентативностью выборки, корректным применением статистических методов обработки экспериментального материала.

**Апробация работы:** Основные результаты исследований доложены на семинарах, научных сессиях и конференциях молодых ученых в Институте экологии человека СО РАН (2009–2016 гг.), международных конференциях: «Экология Южной

Сибири и сопредельных территорий» (Абакан, 2010), «Экология. Риск. Безопасность» (Курган, 2010), «Урбоэкосистемы: проблемы и перспективы развития» (Ишим, 2010), «Найновите постижения на европейската наука» (Болгария, 2011), «Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов» (Кемерово, 2012); молодежной конференции «I Усовские чтения в Кузбассе» (Кемерово, 2010); всероссийских научно-практических конференциях: «Проблемы озеленения городов Сибири и сопредельных территорий» (Иркутск, 2011), инновационный конвент «Кузбасс: образование, наука, инновации» (Кемерово, 2011); всероссийских научно-практических конференциях с международным участием: «Научное творчество молодежи» (Анжеро-Судженск, 2011), «Ботанические чтения» (Ишим, 2012).

**Публикации:** По теме диссертации опубликовано 19 работ, в том числе 6 статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук (из них 1 статья в журнале, переводная версия которого индексируется Web of Science; 2 статьи в журналах, индексируемых Web of Science или Scopus), 1 статья в российском электронном научном журнале, 1 статья в сборнике научных трудов, 11 публикаций в сборниках материалов международных и всероссийских научных и научно-практических конференций (из них 1 зарубежная конференция).

**Личный вклад автора:** Автор работы, начиная с 2009 г. принимал непосредственное участие в сборе фактического материала, в выполнении основного объема исследований, в математической обработке полученных результатов. Все лабораторные и полевые исследования в течение 5 лет проводились лично Легощиной О.М. Научные результаты, представленные в диссертации, были получены автором лично или в ходе совместной работы автора с научным руководителем.

**Структура и объем диссертации:** Диссертация изложена на 144 страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, включающего 171 источник, из них 29 на иностранном языке, и приложений, изложенных на 29 страницах. Работа содержит 32 рисунка и 41 таблицу, из них 31 в приложении.

**Благодарности:** Выражаю искреннюю благодарность научному руководителю профессору, доктору биологических наук О.А. Неверовой за общее руководство работой. Автор признателен коллективу сотрудников ФИЦ УУХ СО РАН за содействие и поддержку в проведении настоящих исследований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Глава 1. Литературный обзор**

В главе рассмотрены основные теории формирования адаптивного комплекса у растений в условиях техногенеза (Красинский, 1950; Мамаев, 1969; Кулагин, 1974; Николаевский, 1979; Тарабрин, 1981; Сергейчик, 1984). Проводится анализ публикаций отечественных и зарубежных авторов по изучению адаптивных реакций у древесных растений в условиях техногенной среды связанных с перестройкой физиологических процессов (Жиров и др., 2007; Братчук, 2001; Бухарина, Поварницина, Ведерников,

2007; Тарабрин, 1980; Шебалова, Бабушкина, 2000 и др.), анатомических структур (Онучин, Козлова, 1993; Кулагин, Зайцев, 2006; Nuhoglu, 2005; Соболева, 2009 и др.), морфологических признаков (Сергейчик, 1984; Orenet. al., 1988; Беляева, Николаевский, 1989; Гетко, 1989; Ярмишко, 1997; Неверова, Колмагорова, 2002а; Завьялов, 2013 и др.).



Рисунок 1 – Схема расположения ПН в плане города Кемерово

## Глава 2. Характеристика района исследований

Глава состоит из четырех разделов, в которых рассматриваются физико-географическое положение, рельеф, климат, метеорологические условия в годы исследований, загрязнение атмосферного воздуха в городе Кемерово и на площадках наблюдения. Дается подробная характеристика экологических условий на площадках наблюдения.

Для исследований было выбрано шесть площадок наблюдения (ПН), расположенных в градиенте техногенных выбросов от промзоны

по преобладающему юго-западному направлению ветров (рисунок 1): 1ПН – сквер у проходной ГРЭС (ул. Станционная, 17); 2ПН – Парк им. Горького (вблизи пр. Кузнецкого); 3ПН – территория станции Юннатов (пр. Шахтеров, 10); 4ПН – территория санатория «Журавлик» (ул. Терешковой, 7); 5ПН – сквер им. Шахтеров (между пр. Шахтеров и ул. Институтской); 6ПН – двор сельской больницы (ул. Авроры, 12). Расстояние от 1ПН по прямой линии составляет: до 2ПН – 1 км, до 3ПН – 3 км, до 4ПН – 4 км, до 5ПН – 4,5 км, до 6ПН – 6,5 км.

Промзона расположена на границе Центрального и Заводского районов города в непосредственной близости к жилым кварталам. Приоритетными выбросами данных промышленных объектов являются оксиды азота, диоксид серы, оксид углерода, полиароматические углеводороды, в том числе бенз(а)пирен и взвешенные вещества.

Для оценки адаптивного потенциала, обеспечивающего устойчивость древесных растений, детоксикационных возможностей в отношении бенз(а)пирена, а также оценки возможности использования древесных растений для индикации загрязнения атмосферного воздуха серо- и азотсодержащими выбросами проведено моделирование загрязнения атмосферного воздуха на исследуемых ПН А.А. Быковым, к.ф/м.н., с.н.с. филиала института прикладных технологий СО РАН.

Для оценки среднего за длительный период загрязнения атмосферы г. Кемерово использован специальный модуль программного комплекса ЭРА, который согласован ГГО им. А.И. Воейкова (С-Петербург, Россия) на соответствие краткосрочной модели (ОНД-86..., 1987) и долгосрочной модели (Методика расчета..., 2005). В процессе моделирования были рассчитаны: комплексный показатель загрязнения атмосферы (КПЗА); показатель загрязнения атмосферы серо- (ПЗА<sub>S</sub>) и азотсодержащими (ПЗА<sub>N</sub>)

примесями. При расчете КПЗА учтены приоритетные выбросы предприятий промзоны (таблица 1).

Таблица 1 – Значения показателей загрязнения атмосферы на исследуемых площадках наблюдения

№ПН	название ПН	КПЗА	ПЗА <sub>s</sub>	ПЗА <sub>N</sub>
1	Сквер у проходной ГРЭС	17,968	0,404	1,642
2	Парк им. Горького	10,429	0,395	1,858
3	Территория станции Юннатов	8,132	0,526	1,293
4	Территория санатория «Журавлик»	6,871	0,452	1,339
5	Сквер им. Шахтеров	6,281	0,503	1,482
6	Территория сельской больницы	6,208	0,457	1,178

При расчете ПЗА<sub>s</sub> и ПЗА<sub>N</sub> учтены примеси от предприятий промзоны и автодорог (таблица 1).

### Глава 3. Объекты и методы исследований

Исследования проведены в летний период 2009–2013 гг. В качестве объектов исследований выбраны три древесные породы, представленные в насаждениях исследуемых площадок наблюдения – *Betula pendula* Roth, *Sorbus sibirica* Hedl., *Picea obovata* Ledeb. средневозрастного генеративного состояния (Смирнова, Чистякова, Попадюк и др., 1990). На каждой ПН для исследований использовали по 5 средневозрастных деревьев наиболее типичного жизненного состояния.

Физиолого-биохимические исследования проводили 3 раза за вегетацию – в середине июня, июля и августа, повторность опытов – трехкратная. Фотосинтетическую способность древесных растений оценивали бескамерным методом, разработанным О.Д. Быков, (1974). Содержание пероксидазы определяли по методу А.Н. Бояркина (1987). Содержание малонового диальдегида определяли по реакции с тиобарбитуровой кислотой (Мокроносова, 1994); содержание фотосинтетических пигментов – спектрофотометрированием 80 %-й ацетоновой вытяжки при соответствующих длинах волн  $\lambda=663, 645$  и  $440,5$  нм на спектрофотометре Leki SS 1207 (Гавриленко, 1975).

Морфо-биометрические исследования проводили на 5 модельных деревьях каждой ПН, у которых метили по 10 ветвей нижней трети кроны дерева по периметру. Размеры побегов в длину измеряли каждые 10 дней до прекращения роста с помощью железной линейки с точностью до 0,1 см. После прекращения роста листьев (хвои) на годичном побеге определяли их массу (сырую и сухую) взвешиванием на весах с точностью до 0,1 г. Площадь листьев определяли путем их сканирования с последующей обработкой изображения с помощью компьютерной программы *Image Tools*.

Для изучения атомических показателей листовой пластинки и хвои готовили временные препараты по методике Г.Г. Фурста (1979). Измерения анатомо-морфологических признаков листьев проводили с помощью микроскопа Аксиоскоп-2+,



модель ZEISSN HBO103 and N HBO75 (Германия), оснащенного окулярным микрометром, фотокамерой и программным обеспечением.

Растительный материал (листья и хвою) для анализа на содержание химических элементов собирали в конце августа, обмывали дистиллированной водой и сушили по общепринятой методике. Содержание общего азота в растениях определяли методом Кьельдаля, модифицированным З.В. Чмелевой и С.Л. Тютеревым (Плешков, 1976); содержание общей серы – спектрофотометрическим методом (Ермаков, 1987). Анализы по идентификации метаболитов Б(а)П: Б(а)П-1,3-дион и моно- и дигидроксипроизводных – 1-гидрокси-Б(а)П и Б(а)П-7,8-дигидродиола и их относительного содержания выполнены в экспериментальной лаборатории ООО «Спектроника» (г. Москва) на жидкостном хроматографе Dionex Ultimate 3000 с масс-спектрометрическим детектором Applied Biosystems Qtrap3200.

Исследование состава анионов (сульфатов и нитратов) в снеговых пробах проведено в Институте неорганической химии СО РАН.

Математическую обработку и интерпретацию экспериментальных результатов проводили с использованием пакета прикладных программ *Statistika* 8.0, описательной статистики и корреляционного анализа. Для определения достоверных различий между результатами опытного и контрольного вариантов использовали t - критерии Стьюдента (Лакин, 1990; Зайцев, 1984). Различия считали достоверными при уровне значимости ( $p < 0,05$ ).

#### **Глава 4. Изучение физиолого-биохимических, морфометрических и анатомических особенностей древесных растений, произрастающих в градиенте техногенного загрязнения от промзоны г. Кемерово**

**4.1. Оценка окислительных процессов растений по активности пероксидазы и уровню малонового диальдегида.** Результаты исследования окислительных процессов показали, что в течение вегетации наиболее низкой вариабельностью показателей активности пероксидазы в градиенте концентраций промышленных выбросов от промзоны характеризуются береза (1,06...8,49 ед. акт.) и ель (0,80...6,02 ед. акт.), максимальная вариабельность значений активности пероксидазы характерна для рябины (1,96...12,56 ед. акт.).

Выявлено, что в непосредственной близости к промзоне (1 и 2ПН, расстояние от промзоны – 1 км, КПЗА 17,968...10,429) активность пероксидазы возрастает у всех исследованных видов древесных пород в сравнении с 6ПН. В среднем за 5 лет максимальная активация фермента в непосредственной близости к промзоне (1ПН) в сравнении с наиболее удаленной – 6ПН характерна для хвой ели сибирской – активность пероксидазы возрастает в 2,34...3,1 раза с максимумом в конце вегетации (рисунок 2А); у березы и рябины значения активности фермента лежат в близких пределах: у рябины возрастание активности пероксидазы происходит в 1,9...2,3 раза, у березы – в 2,3...2,4 раза с максимумом в начале вегетации (июне). Однако, не всегда наблюдается линейная зависимость показателей ферментативной активности в хвое и

листьях растений от расстояния до промзоны на 3ПН, 4ПН, и 5ПН. Имеются также отличия в степени активации фермента у различных видов растений по годам.

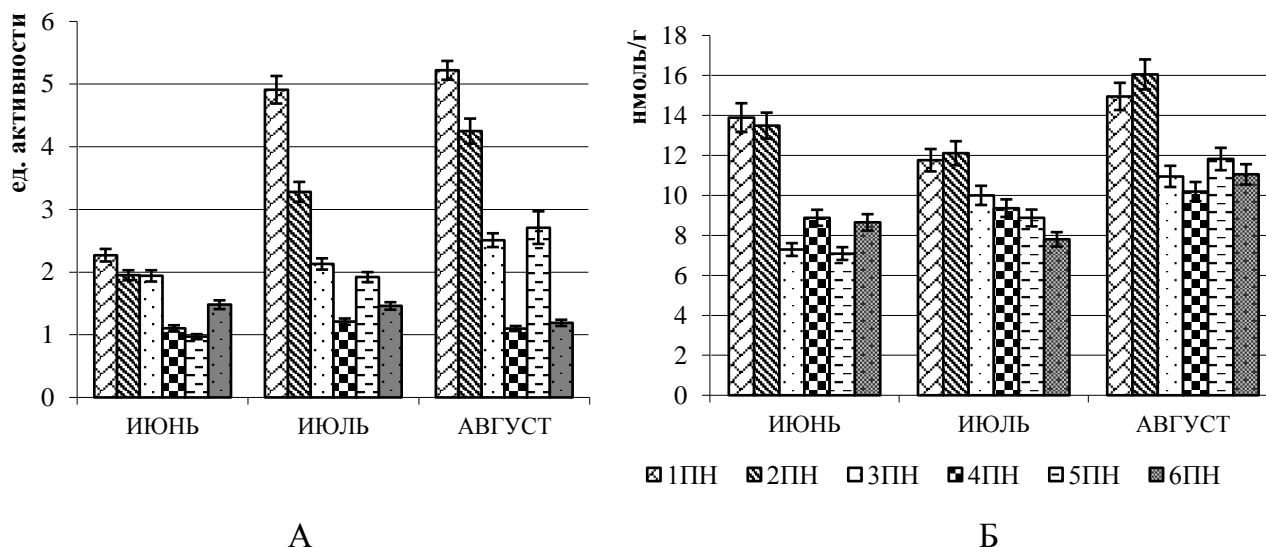


Рисунок 2 – Интенсивность окислительных процессов у ели сибирской:  
 А – активность пероксидазы (2010 г.);  
 Б – содержание малонового диальдегида (2011 г.)

Результаты изучения перекисного окисления липидов по содержанию малонового диальдегида (МДА), свидетельствуют, что у всех видов древесных растений наблюдается тенденция к увеличению количества МДА при приближении к промзоне (рисунок 2Б). Так в годы исследований на 1ПН наиболее активно процесс перекисного окисления липидов происходил в хвое ели – содержание МДА возрастает в 1,57... 2,5 раза в сравнении с 6ПН. Из лиственных пород наиболее интенсивно данный процесс происходил у рябины: на 1ПН в среднем за 5 лет количество МДА в листьях возросло в 1,65...1,9 раза в сравнении с 6ПН с максимумом в начале вегетации. У березы интенсивность перекисного окисления липидов была чуть ниже, чем у рябины. Четкой зависимости содержания МДА в хвое и листьях растений от расстояния до промзоны на 3ПН, 4ПН, и 5ПН выявлено не было.

Таким образом, на расстоянии от промзоны до 1 км (1ПН, 2ПН) по преобладающему юго-западному направлению ветров (комплексный показатель загрязнения атмосферы – 17,9 ...10,4) наблюдается четко выраженная стимуляция окислительных процессов, которая проявляется в увеличении активности пероксидазы и процесса перекисного окисления липидов мембран в листьях березы повислой, рябины сибирской и хвое ели сибирской.

**4.2. Содержание зеленых пигментов и фотосинтетическая способность древесных растений.** Функционирование ассимиляционных тканей растений протекает при интенсивном облучении светом с выделением в ходе синтетической реакции кислорода. Такие условия создают потенциальную угрозу развития в клетке фотодеструктивных повреждений. Хлоропласты, в которых осуществляется процесс фотосинтеза и фотоокисления воды с образованием молекулярного кислорода, являются теми структурами клетки, в которых образование кислородных радикалов происходит с

наибольшей интенсивностью. Проведенные исследования показали, что максимальные значения содержания зеленых пигментов (хлорофилла *a* и *b*) в среднем за пять лет на исследуемых ПН наблюдались у рябины (0,25–2,21 мг/г и 0,22–1,15 мг/г, соответственно), а минимальные у ели (0,14–1,26 мг/г и 0,10–0,60 мг/г, соответственно). У березы значения данного показателя были средними (0,19–2,11 мг/г и 0,26–1,04 мг/г, соответственно). В большинстве случаев высокая концентрация хлорофилла *a* и хлорофилла *b* приходилась на июль – период наибольшей физиологической активности древесных растений. По мере приближения к промзоне установлена тенденция к снижению содержания хлорофилла *a* и *b* у всех трех древесных пород, при этом концентрация хлорофилла *b* в сравнении с хлорофиллом *a* за годы исследований была гораздо меньше и на ПН снижалась в большей степени. Максимальное снижение содержания хл. *b* с 5–1ПН в сравнении с 6ПН приходилось на 2009 г. – в среднем за вегетацию значения были ниже у ели в 1,1...3,8 раз, у березы в 1,1...3 раза, у рябины в 1,1...4,7 раз (рисунок 3).

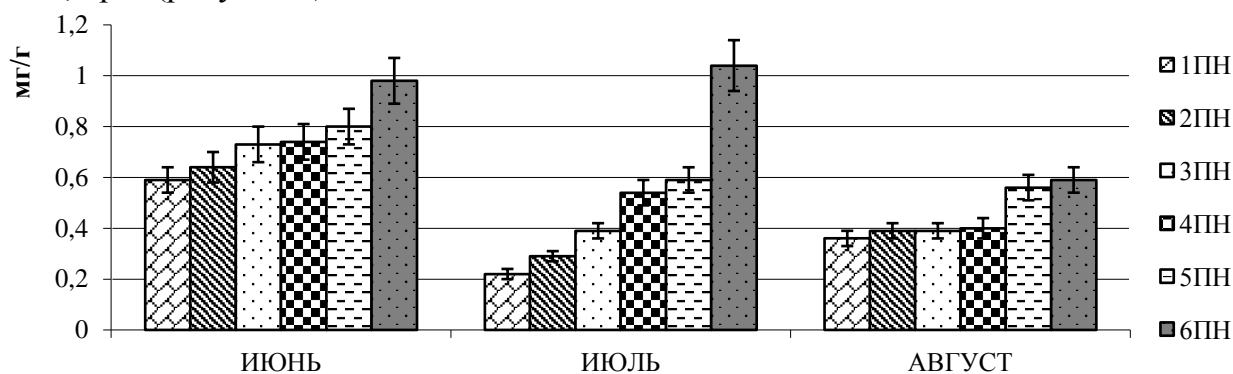


Рисунок 3 – Содержание хлорофилла *b* в листьях рябины сибирской на исследуемых ПН (2009 г.)

Важной характеристикой фотосинтетического аппарата является отношение хлорофиллов *a/b*, которое может характеризовать потенциальную фотохимическую активность листьев. Полученные нами экспериментальные данные показывают, что у растений произрастающих в непосредственной близости к промзоне наблюдается тенденция к повышению отношения хл. *a/b*. Достоверное повышение данного показателя выявлено у растений на 1ПН и 2ПН (в июле), так в среднем за пять лет значения отношения хл. *a/b* возрастали в листьях рябины – в 1,7 и 1,56 раз, в хвое ели – в 1,67 и 1,75 раз, в листьях березы – в 1,5 и 1,3 раза соответственно в сравнении с 6ПН (рисунок 4).

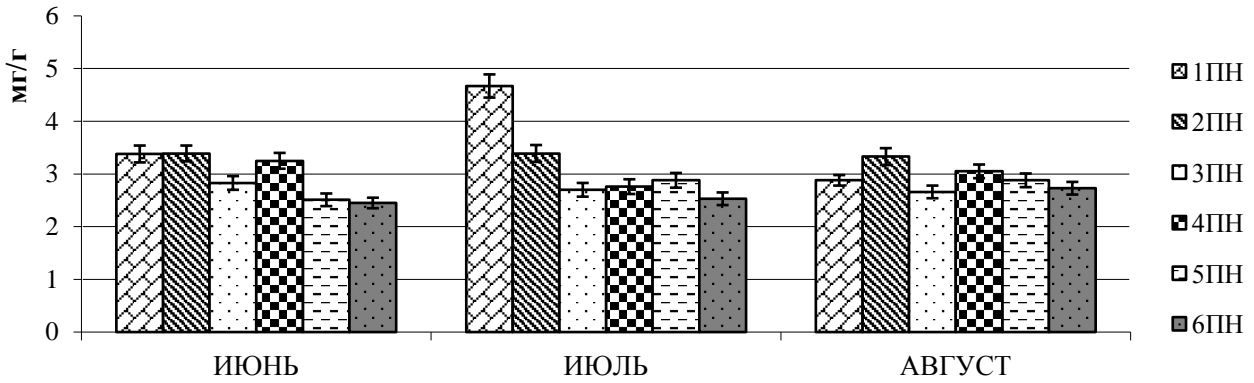


Рисунок 4 – Относительное содержание хлорофилла *a/b* в листьях рябины сибирской на исследуемых ПН (2010 г.)

Повышение отношения хл. *a/b* при приближении к промзоне свидетельствует о том, что в условиях высокого уровня техногенной нагрузки у исследуемых растений происходит перестройка ультраструктуры хлоропластов в сторону «светового» типа. Это способствует повышению эффективности светоусвоения и степени защиты мембран хлоропластов от фотоповреждений и может рассматриваться как защитный механизм растений в условиях техногенной нагрузки.

Полученные выше результаты согласуются с данными по фотосинтетической способности растений на исследуемых ПН. В большинстве случаев вблизи источников выбросов (1ПН) у растений возрастает фотосинтетическая способность. В среднем за 5 лет фотосинтетическая способность на 1ПН возросла у ели – в 1,6...2,3 раза (с максимумом в начале вегетации), у рябины – в 1,8...2,1 раза и у березы – в 2,0...2,5 раза с максимумом в июле (рисунок 5). Однако имеются различия в способности растений к фотосинтезу по годам.

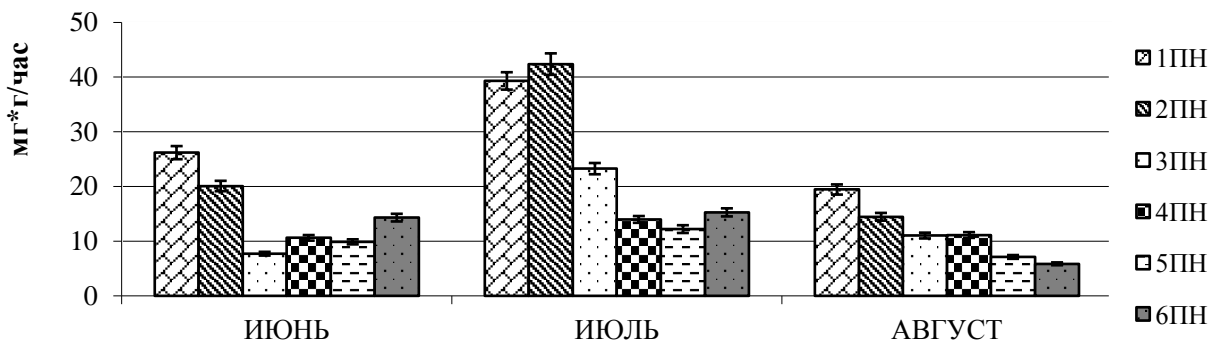


Рисунок 5 – Фотосинтетическая способность листьев березы повислой на исследуемых ПН (2011 г.)

**4.3. Характеристика роста побегов и их элементов у исследуемых древесных растений.** Анализ роста годичных побегов показывает, что он происходит по экспоненциальной кривой у исследуемых видов на всех ПН.

Экспериментально установлено, что в среднем за 5 лет у исследуемых древесных растений отмечается тенденция к удлинению годичных побегов, причем в большинстве случаев этот процесс более выражен в начале вегетации у деревьев на 1ПН и 2ПН в сравнении с 6ПН. Так у ели в среднем за 5 лет на 1ПН удлинение годичных побегов в конце мая было выше в 1,5 раз, у березы на 1ПН и 2ПН – в 1,2 и 1,4 раза соответственно в сравнении с 6ПН (рисунок 6), у рябины удлинение побегов по мере приближения к промзоне менее выражено и на 1ПН годичный прирост был выше на 13 % в сравнении с 6ПН. Однако имеются различия в интенсивности роста годичных побегов по годам, и нелинейный характер этого процесса в зависимости от расстояния до промзоны. У ели, несмотря на тенденцию удлинения побегов в целом, в 2009 и 2010 гг. на некоторых ПН отмечалось укорочение побегов без определенной зависимости от расстояния до промзоны в сравнении с 6ПН.

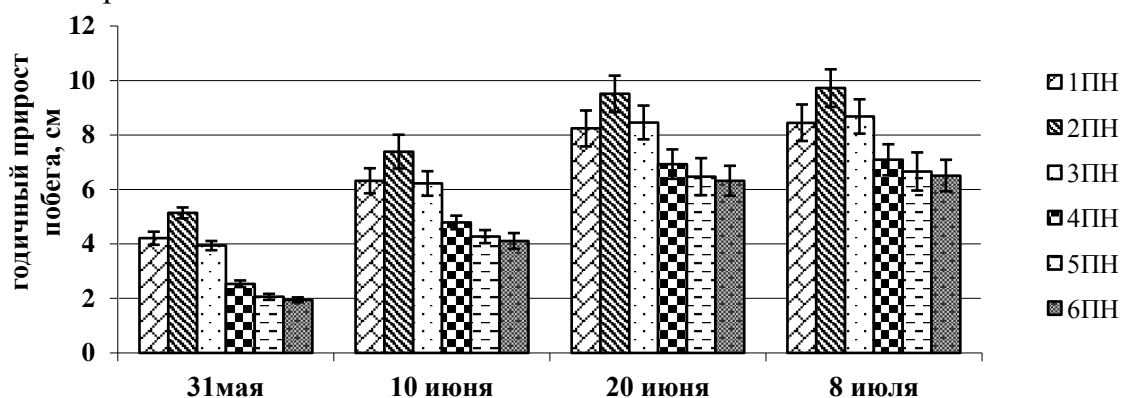
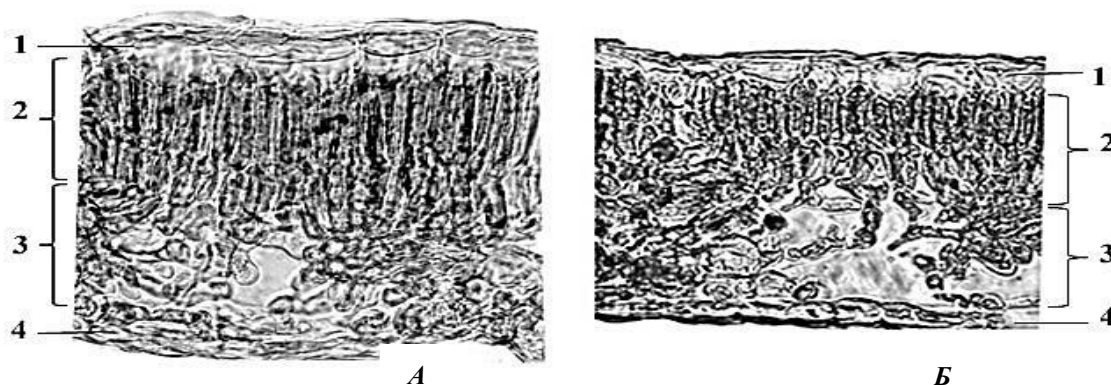


Рисунок 6 – Годичный прирост бокового побега березы повислой на исследуемых ПН (2013 г.)

Пятилетними исследованиями выявлена тенденция к снижению площади и массы листьев и хвои на годичных побегах у древесных растений по мере приближения к промзоне. В среднем за пять лет значения площади и массы листьев (хвои) на 5–1ПН снижались: у рябины на 3..39 % и 6..43 %, у березы на 15..21 % и 8..35 %, у ели на 32..51 % и 43..62 % соответственно в сравнении с 6ПН с максимумами на 1ПН и непрямой зависимостью от расстояния на промежуточных ПН.

**4.4. Анатомические особенности строения листьев и хвои древесных растений.** Изучение поперечных срезов листьев и хвои древесных пород показало, что в градиенте концентраций промышленных выбросов от промзоны отмечаются морфометрические изменения анатомических показателей. У ели сибирской по мере приближения к промзоне (от 5ПН к 1ПН) отмечается снижение длины и площади поверхности хвои (на 21–39 % и 26–57 % соответственно), уменьшение диаметра центрального проводящего пучка (ЦПП) (на 4–8 %), увеличение асимметрии ЦПП, редукция количества смоляных каналов, уменьшение толщины кутикулы и гиподермы (на 12–37 % и 8–23 % соответственно), снижение площади поперечного среза хвои (на 21–54 %), площади мезофилла (на 22–54 %) и площади центрального цилиндра (ЦЦ) (на 14–55 %). Вместе с тем выявлены анатомические изменения хвои адаптивного характера: от 3ПН к 1ПН наблюдается незначительное увеличение толщины эпидермы и

эндодермы, возрастание площади смоляных каналов. У рябины по мере приближения к промзоне отмечена тенденция к снижению высоты верхней и нижней эпидермы. У березы повислой в непосредственной близости к промзоне (1ПН) наблюдается тенденция к снижению толщины кутикулы и ширины клеток нижней эпидермы. У березы выявлено самое значительное количество анатомо-морфологических изменений листовой пластинки адаптивного характера: в непосредственной близости к промзоне (1ПН) обнаружено достоверное увеличение толщины столбчатого и губчатого мезофилла (на 27 и 28 %), толщины листовой пластинки (на 22 %), толщины тканей верхней эпидермы (на 19 %) (рисунок 7). На промежуточных площадках наблюдения изучаемые показатели меняются без определенной тенденции и их значения не достоверны в сравнении с 6ПН.



*Примечание:* *А* – 1ПН (сквер у проходной ГРЭС), *Б* – 6ПН (двор сельской больницы); 1 – верхняя эпидерма листа, 2 – столбчатый мезофилл, 3 – губчатый мезофилл, 4 – нижняя эпидерма листа;

Рисунок 7 – Поперечный срез листа березы повислой произрастающей в условиях действия выбросов промзоны

**4.5. Изучение аккумулирующей способности древесных растений в отношении серо- и азотсодержащих примесей атмосферы.** Для оценки загрязнения воздуха и снега серо- и азотсодержащими выбросами исследуемых ПН, проведен расчет показателя загрязнения атмосферы данными примесями (ПЗА) и исследован состав анионов (сульфатов и нитратов) в снеговых пробах. С целью повышения надежности оценки загрязнения атмосферы серо- и азотсодержащими выбросами в зоне распространения выбросов от промзоны (расстояние до 6,5 км), нами определено содержание общей серы и общего азота в сухих растительных образцах. Экспериментально установлено, что содержание общей серы в хвое ели, листьях березы и рябины по мере удаления от промзоны носит нелинейный характер. В целом следует отметить, что значения содержания общей серы в хвое ели и листьях березы и рябины, произрастающей на наиболее удаленной площадке наблюдения (6ПН, расстояние от источника выброса 6,5 км) меньше в сравнении с 1ПН, расположенной в непосредственной близости от промзоны. Но у деревьев, произрастающих на промежуточных площадках наблюдения данная зависимость отсутствует и значения данного показателя в большинстве случаев превосходят содержание общей серы растений с 1ПН (рисунок 8).

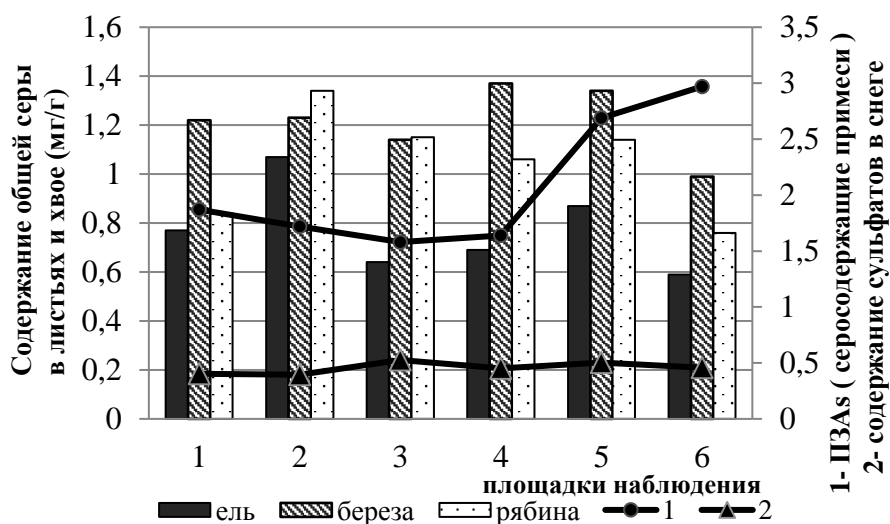


Рисунок 8 – Содержание общей серы в растительных образцах, сульфатов в снеге и ПЗAs серосодержащими примесями

Расчетные значения ПЗAs серосодержащими примесями существенно не отличаются на исследуемых ПН и варьируют без определенной тенденции в пределах 0,39–0,52, тогда как содержание общей серы в растительных образцах в большинстве случаев выше на 2ПН, 4ПН и 5ПН. Результаты содержания общей серы в листьях и хвое исследуемых растений показали их высокую сходимость у березы с загрязнением снега сульфатами на 1–5ПН ( $r=0,47$ , при  $n=54$ ,  $p<0,05$ ). Исключение составляет 6ПН, где минимальным значениям содержания общей серы в растительных образцах соответствуют максимальные значения содержания сульфатов в снеге (рисунок 8). Высокая концентрация сульфатов в снеге на 6ПН может быть связана с работой в зимний период стационарных котельных и печей частного сектора на прилегающей территории, загрязняющих атмосферу серосодержащими примесями. Что касается общего азота, то в большинстве случаев его значения в листьях и хвое исследуемых растений на 1ПН ниже, а по мере удаления от источника выбросов содержание общего азота в сухих растительных образцах возрастает (рисунок 9).

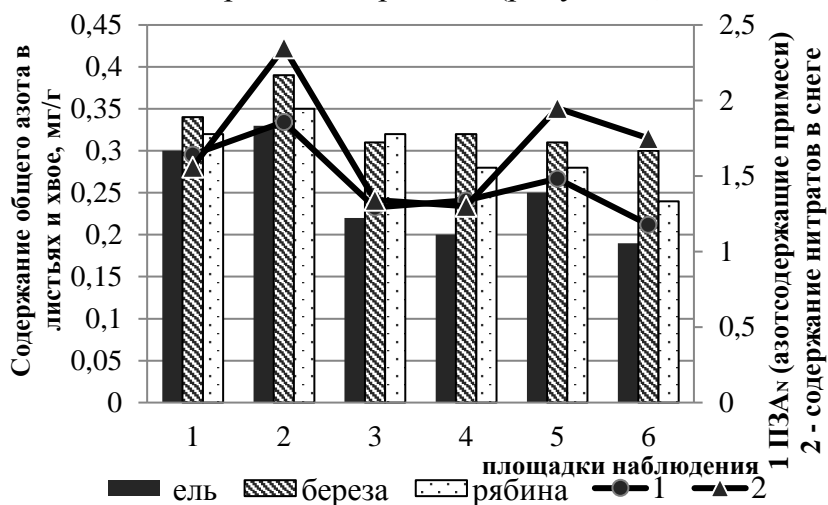


Рисунок 9 – Содержание общего азота в растительных образцах, нитратов в снеге и ПЗAN азотсодержащими примесями

Кривые значений содержания нитратов в снеге и ПЗА<sub>N</sub> азотсодержащими примесями на исследуемых ПН имеют достаточно выраженную сходимость. Выявлена высокая согласованность результатов по содержанию общего азота в хвое ели сибирской с ПЗА<sub>N</sub> азотсодержащими примесями ( $r=0,47$  при  $n=54$ ,  $p<0,05$ ) и содержанием нитратов в снеге ( $r=0,60$  при  $n=54$ ,  $p<0,05$ ) (рисунок 9).

#### 4.6. Оценка способности древесных растений метаболизировать бенз(а)пирен.

Результаты исследований полученных масс-хроматограмм показывают, что в экстрактах рябины сибирской в зоне действия выбросов предприятий промзоны г. Кемерово обнаружены следующие метаболиты бенз(а)пирена: Б(а)П-1,3-дион и моно- и дигидроксипроизводные бенз(а)пирена – 1-гидрокси-Б(а)П и Б(а)П-7,8-дигидродиол (рисунок 10).

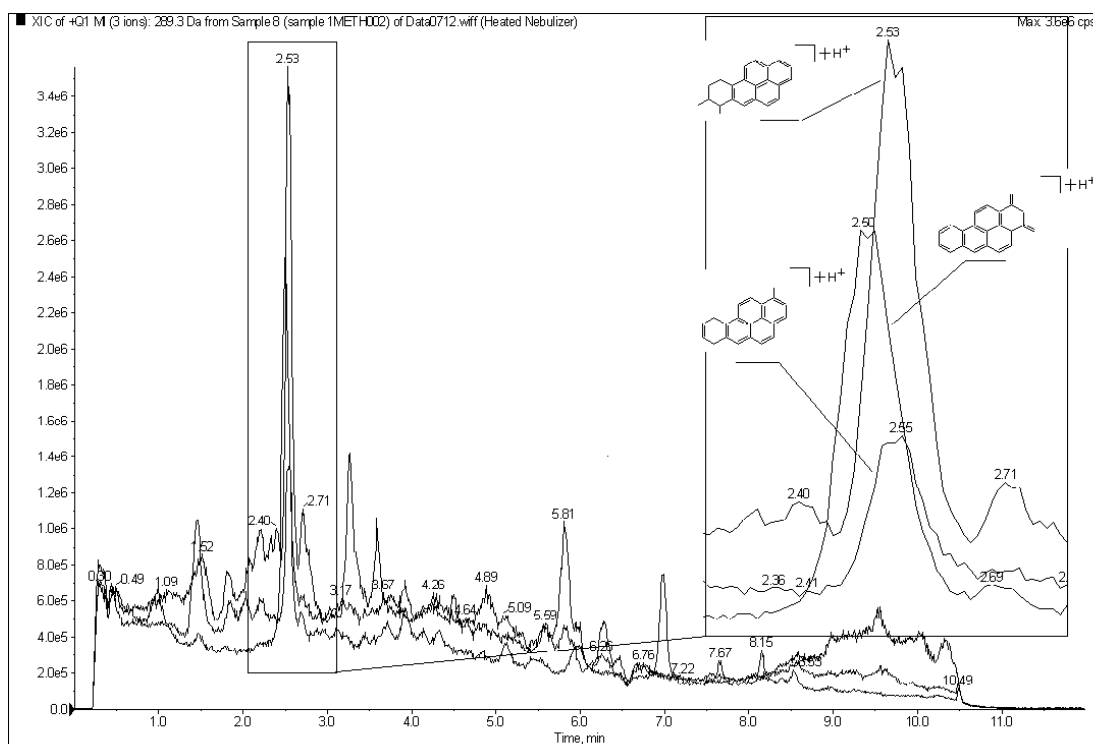


Рисунок 10 – Масс-хроматограмма протонированных метаболитов Б(а)П.

Экспериментально установлено, что в зависимости от расстояния до промзоны имеются качественные и количественные различия в содержании метаболитов Б(а)П в экстрактах рябины. Так на 1ПН (в непосредственной близости к промзоне) у рябины из трех исследуемых метаболитов Б(а)П обнаружен только Б(а)П-1,3дион. Его относительное содержание составляет 55 %. В листьях рябины, произрастающей на более удаленном расстоянии от промзоны (2–6ПН), выявлены моно- и дигидроксипроизводные бенз(а)пирена – Б(а)П-7,8-дигидродиол и 1-гидрокси-Б(а)П. Причем, у рябины, произрастающей на 2 и 4ПН преобладает содержание 1-гидрокси-Б(а)П (100 и 84 % соответственно), а на 3 и 5ПН – Б(а)П-7,8-дигидродиол (88 и 100 % соответственно). Минимальное содержание гидроксипроизводных Б(а)П у рябины



выявлено на 6ПН (наиболее удаленной от промзоны). Содержание Б(а)П-7,8-дигидродиола составляет 28 %, 1-гидрокси-Б(а)П – 37 %. Полученные данные, свидетельствуют о различной интенсивности метаболических процессов у рябины в зависимости от расстояния и уровня загрязнения ПН бенз(а)пиреном.

Результаты моделирования загрязнения атмосферы Б(а)П на исследуемых ПН свидетельствуют, что загрязнение атмосферного воздуха Б(а)П по мере удаления от промзоны носит нелинейный характер. В частности, на 5ПН содержание в воздухе Б(а)П выше, чем вблизи промзоны (1ПН). Данный факт объясняется влиянием дополнительных источников выброса Б(а)П, например отопительных печей частной застройки, расположенной в районе 3, 4 и 5ПН, использующих в качестве топлива уголь. Однако минимальные значения Б(а)П в воздухе отмечены на самой удаленной 6ПН (таблица 2).

Таблица 2 – Расчетные значения среднего за летний период загрязнения атмосферы Б(а)П на исследуемых ПН

Расчетные показатели	Исследуемые ПН					
	1	2	3	4	5	6
$C_r=C/ПДКс$	0,1485	0,1508	0,1740	0,1649	0,1760	0,1384
$Q=780 C_r$	116,0	117,6	135,7	128,5	137,1	108,0

Для оценки возможности индикации загрязнения атмосферного воздуха города Кемерово Б(а)П сопоставлены показатели суммы относительного содержания гидроксипроизводных Б(а)П ( $\Sigma$  ОН-Б(а)П) с условной величиной Q (рисунок 11).

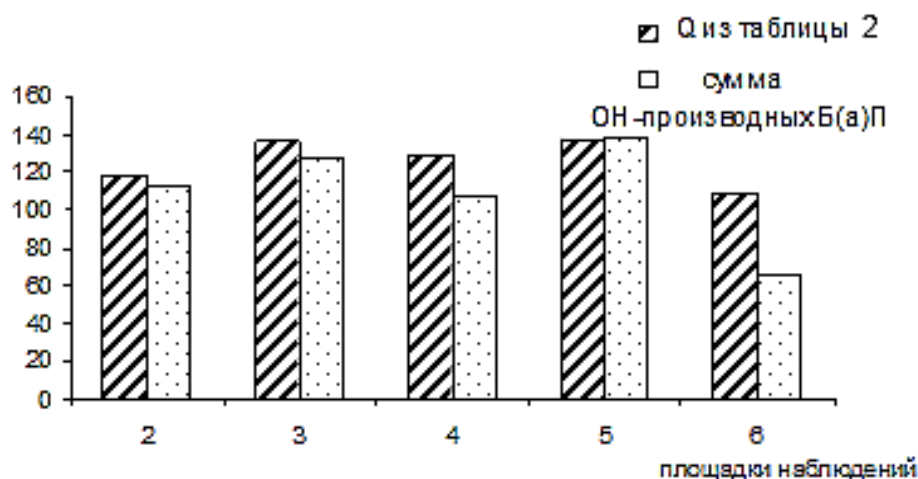


Рисунок 11 – Сопоставление расчетных средних концентраций Б(а)П (Q) с суммой относительного содержания моно- и дигидроксипроизводных Б(а)П ( $\Sigma$  ОН-Б(а)П) в листьях рябины сибирской

Результаты показывают высокую сходимость сравниваемых показателей на исследуемых ПН, подтвержденную корреляционным анализом ( $r=0,5$  при  $n=75$ ,  $p<0,05$ ).

Это дает основание заключить о возможности использования гидроксипроизводных Б(а)П растений для индикации загрязнения атмосферного воздуха Б(а)П.

#### 4.7. Оценка адаптивного потенциала древесных пород на исследуемых ПН.

Для интерпретации полученных данных в таблицах 3–5 представлены результаты корреляционного анализа комплекса изучаемых показателей растений с КПЗА. Анализ табличных данных показывает, что в условиях влияния выбросов промзоны у древесных растений возникают «+» и «-» корреляции изучаемых характеристик с КПЗА, которые формируют адаптивные и негативные перестройки на различных уровнях организации, которые определяют тот или иной уровень устойчивости. У исследованных древесных пород соотношение адаптивных перестроек к негативным составляет: у березы – 5/3, у рябины – 2/5, у ели – 4/7; при этом доля адаптивных перестроек в этих соотношениях составляет 1,7; 0,4 и 0,57 соответственно. Средняя сила корреляций по модулю составляет 0,39/0,58; 0,58/0,40 и 0,49/0,50 у березы, рябины и ели соответственно. Как показывают данные, самая большая доля адаптивных перестроек выявлена у березы (таблица 3): по мере приближения к промзоне в листьях возрастает относительное содержание хл. *а/б*, увеличивается толщина листовой пластинки, клеток нижней эпидермы, столбчатого и губчатого мезофилла. Однако следует отметить, что средняя сила корреляций адаптивных перестроек по модулю ниже, чем негативных.

Таблица 3 – Оценка адаптивного потенциала березы повислой в градиенте концентраций выбросов промзоны г. Кемерово

Исследуемые характеристики	Корреляции с КПЗА	
	Адаптивные перестройки	Негативные перестройки
Содержание малонового диальдегида	–	0,51
Содержание хлорофилла <i>а</i>	–	-0,58...-0,68
Содержание хлорофилла <i>б</i>	–	-0,48...-0,63
Относительное содержание хл. <i>а/б</i>	0,51	–
Толщина клетки нижней эпидермы	0,22	–
Толщина палисадного мезофилла	0,43	–
Толщина губчатого мезофилла	0,39	–
Толщина листовой пластинки	0,37	–
Средняя сила корреляций (по модулю)	<b>0,39</b>	<b>0,58</b>
<i>Общее количество адаптивных и негативных перестроек:</i>	<b>5</b>	<b>3</b>

У ели выявлен самый широкий спектр негативных перестроек при приближении к промзоне (таблица 4): отмечается стимуляция окислительных процессов, снижается содержание зеленых пигментов, снижается сухая масса хвои, уменьшается периметр поперечного сечения хвои, снижается толщина гиподермы, увеличивается величина асимметрии центрального проводящего пучка.

Таблица 4 – Оценка адаптивного потенциала ели сибирской в градиенте концентраций выбросов промзоны г. Кемерово

Исследуемые характеристики	Корреляции с КПЗА	
	Адаптивные перестройки	Негативные перестройки
Содержание малонового диальдегида	–	0,50...0,51
Фотосинтетическая активность	0,53	–
Содержание хлорофилла <i>a</i>	–	-0,48...-0,61
Содержание хлорофилла <i>b</i>	–	-0,53...- 0,64
Относительное содержание хл. <i>a/b</i>	0,49	–
Масса сухой хвои	–	-0,51
Периметр поперечного сечения хвои	–	-0,50
Величина асимметрии центрального проводящего пучка	–	0,41
Толщина гиподермы	–	-0,34
Толщина эндодермы	0,51	–
Диаметр смоляных каналов	0,42	–
Средняя сила корреляций (по модулю)	<b>0,49</b>	<b>0,5</b>
<i>Общее количество адаптивных и негативных перестроек:</i>	<b>4</b>	<b>7</b>

Однако при этом увеличивается относительное содержание хл. *a/b*, фотосинтетическая способность, толщина эндодермы, диаметр смоляных каналов, что можно рассматривать как адаптивные перестройки.

У рябины выявлено самое низкое количество адаптивных перестроек при нарастании техногенной нагрузки от помзоны (таблица 5). Они касаются только физиолого-биохимического уровня – повышается относительное содержание хл. *a/b* и возрастает фотосинтетическая способность.

Таблица 5 – Оценка адаптивного потенциала рябины сибирской в градиенте концентраций выбросов промзоны г. Кемерово

Исследуемые характеристики	Корреляции с КПЗА	
	Адаптивные перестройки	Негативные перестройки
Содержание малонового диальдегида	–	0,52
Фотосинтетическая активность	0,55	–
Содержание хлорофилла <i>b</i>	–	-0,52...-0,56
Относительное содержание хл. <i>a/b</i>	0,61	–
Толщина клетки верхней эпидермы	–	-0,37
Толщина клетки нижней эпидермы	–	-0,21
Ширина клетки нижней эпидермы	–	-0,24
Средняя сила корреляций (по модулю)	<b>0,58</b>	<b>0,40</b>
<i>Общее количество адаптивных и негативных перестроек:</i>	<b>2</b>	<b>5</b>

Но при этом повышается уровень окислительных процессов, снижается содержание хлорофилла *b*, толщина клеток верхней и нижней эпидермы и ширина клеток последней. Однако следует заметить, что у рябины средняя сила корреляций адаптивных перестроек превосходит по модулю силу корреляций негативных перестроек (0,58/0,40).

Таким образом, в условиях градиента концентрации промышленных выбросов от промзоны наиболее высоким адаптивным потенциалом обладает береза повислая, далее следует ель сибирская и наименьший адаптивный потенциал имеет рябина сибирская.

**4.8. Оценка фитоиндикационной способности древесных растений в условиях преобладающего влияния выбросов промзоны.** Сопоставление содержания общей серы в растительных образцах с ПЗАс серосодержащими примесями показало, что не наблюдается четкой связи между ними, в то время как обнаружена высокая сходимость содержания серы в листьях березы с загрязнением снега сульфатами на 1–5ПН ( $r=0,47$ , при  $n=54$ ,  $p<0,05$ ). Исключение составляет бПН, где минимальным значениям содержания общей серы в растительных образцах соответствуют максимальные значения содержания сульфатов в снеге, что, очевидно, связано с работой в зимний период стационарных котельных и печей частного сектора на прилегающей территории.

Кривые значений содержания нитратов в снеге и ПЗАн азотсодержащими примесями на исследуемых ПН имеют достаточно выраженную сходимость и коррелируют с содержанием общего азота в хвое ели сибирской ( $r=0,60$  и  $r=0,47$  соответственно при  $n=54$ ,  $p<0,05$ ).

Проведенные исследования показали, что моделирование загрязнения атмосферы серосодержащими примесями по данным сводного тома ПДВ не всегда отражают истинный характер их распространения в атмосфере по преобладающему направлению ветров. В частности существенное влияние на характер распространения серосодержащих примесей в зимний период влияют дополнительные источники загрязнения – отопительные печи частного сектора и мини-котельные.

Таким образом, экспериментальные методы исследования объектов окружающей среды – снега, листьев и хвои древесных растений позволяют детализировать информацию о характере загрязнения атмосферного воздуха и делают более объективными экологические прогнозы.

Данные корреляционного анализа подтверждают возможность применения березы повислой для индикации загрязнения атмосферы серосодержащими выбросами, а ели сибирской – азотсодержащими примесями.

Выявленная положительная корреляционная связь содержания гидроксиметаболитов бенз(а)пирена в листьях рябины с содержанием Б(а)П в воздухе, подтверждает способность растений метаболизировать бенз(а)пирен. Наличие положительной корреляционной связи активности пероксидазы с суммой относительного содержания гидроксипроизводных Б(а)П ( $\Sigma$  ОН-Б(а)П) подтверждает факт участия пероксидазы в трансформации Б(а)П у рябины.

### Заключение

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие основные выводы:

1. В градиенте концентраций выбросов предприятий промзоны г. Кемерово максимальная стимуляция окислительных процессов в листьях и хвое древесных растений (*Betula pendula* Roth, *Sorbus sibirica* Hedl., *Pecea obovata* Ledeb.), выражающаяся в увеличении активности пероксидазы и содержании малонового диальдегида; а также в снижении содержания хлорофилла *a* и *b*, увеличении соотношения хл. *a/b*, возрастании фотосинтетической способности отмечалось на расстоянии до 1 км по преобладающему направлению распространения выбросов от промзоны (КПЗА 17,968...10,429).

2. На расстоянии до 1 км по преобладающему направлению распространения выбросов от промзоны (КПЗА 17,968...10,429) обнаружены изменения интенсивности роста годичных побегов и их элементов, выражающиеся в большинстве случаев в удлинении побегов, снижении площади и массы листьев и хвои годичных побегов.

3. В непосредственной близости к промзоне (до 1 км по преобладающему направлению распространения выбросов от промзоны, КПЗА 17,968...10,429) толщина и площадь некоторых видов тканей и структур листьев и хвои древесных растений увеличивается, других – редуцируется. Количество и характер анатомо-морфологических изменений определяет степень устойчивости растений к техногенной нагрузке.

4. У исследуемых древесных растений в непосредственной близости к промзоне (до 1 км по преобладающему направлению распространения выбросов от промзоны, КПЗА 17,968...10,429) выявлены адаптивные перестройки: у березы отмечается возрастание относительного содержания хл. *a/b* и возрастание фотосинтетической способности, увеличение толщины листовой пластинки, клеток нижней эпидермы, столбчатого и губчатого мезофилла; у ели увеличивается относительное содержание хл. *a/b*, фотосинтетическая способность, толщина эндодермы, диаметр смоляных каналов; у рябины повышается относительное содержание хл. *a/b* и возрастает фотосинтетическая способность.

5. Методом корреляционного анализа было установлено, что наиболее высоким адаптивным потенциалом и, следовательно, наибольшей устойчивостью обладает береза повислая, далее следует ель сибирская и наименьший адаптивный потенциал имеет рябина сибирская. Соотношение адаптивных перестроек к негативным составляет: у березы – 5/3, у ели – 4/7, у рябины – 2/5.

6. Наличие достоверной положительной корреляции между содержанием серы в листьях березы повислой и количеством сульфатов в снеге подтверждает возможность использования данной древесной породы для индикации атмосферного загрязнения серосодержащими выбросами, а наличие достоверной положительной корреляции между содержанием азота в хвое ели сибирской и ПЗАН азотсодержащими примесями – для индикации загрязнения атмосферы азотсодержащими выбросами.

7. В листьях рябины сибирской обнаружены гидроксипроизводные бенз(а)пирена, которые положительно коррелируют с содержанием бенз(а)пирена в воздухе, это подтверждает способность растений метаболизировать бенз(а)пирен.

### СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Статьи в журналах, включённых в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук:*

1. Неверова О. А. Оценка интенсивности окислительных процессов у древесных растений в зоне действия промышленных выбросов / О. А. Неверова, **О. М. Легощина**, А. А. Быков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12, № 1 (3). – С. 776–779. – 0,31 / 0,11 а.л.

2. **Легощина О. М.** Анатомо-морфологические характеристики хвои ели сибирской в условиях влияния выбросов промзоны г. Кемерово / О. М. Легощина, О. А. Неверова, А. А. Быков // Вестник ИрГСХА. – 2011. – Вып. 44, ч. 8. – С. 54–61. – 0,5 / 0,12 а.л.

3. **Легощина О. М.** Изменчивость анатомической структуры хвои *Picea obovata* Ledeb. в условиях влияния выбросов промзоны г. Кемерово / О. М. Легощина, О. А. Неверова, А. А. Быков // Сибирский экологический журнал. – 2013. – Т. 20, № 5. – С. 733–739. – 0,44 / 0,19 а.л.

*в переводной версии журнала:*

**Legoshchina O. M.** Variability of the anatomical structure of *Picea obovata* Ledeb. Needles under the influence of emissions from the industrial zone of Kemerovo / O. M. Legoshchina, O. A. Neverova, A. A. Bykov // Contemporary Problems of Ecology. – 2013. – Vol. 6, is. 5. – P. 555–560. – DOI: 10.1134/S1995425513050065 (*Web of Science*)

4. Neverova O. A. Anatomy of leaves of *Betula pendula* (Roth) affected by air emissions in industrial area of Kemerovo city / O. A. Neverova, **O. M. Legoshchina**, A. A. Bykov // Middle East Journal of Scientific Research. – 2013. – Vol. 17, is. 3. – P. 354–358. – DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2013.17.03.12143. – 0,31 / 0,11 а.л. (*Scopus*)

5. Neverova O. A. Detection of metabolites of benzo(a)pyrene in *Sorbus sibirica* Hedl. leaves and their use in the assessment of air pollution of Kemerovo city (Russian Federation) / O. A. Neverova, A. A. Bykov, **O. M. Legoshina** // Bangladesh Journal of Botany. – 2013. – Vol. 42, is.1. – P. 145–153. – 0,56 / 0,20 а.л. (*Web of Science*)

6. **Легощина О. М.** Адаптация фотосинтетического аппарата хвои *Picea obovata* Ledeb. в условиях преобладающего влияния выбросов промзоны г. Кемерово / О. М. Легощина, О. А. Неверова, А. А. Быков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 2. – С. 132–135. – 0,25 / 0,10 а.л.

*Статья в электронном научном журнале:*

7. **Легощина О. М.** Оценка ростовых процессов у древесных растений в условиях преобладающего влияния выбросов промзоны г. Кемерово [Электронный ресурс] / О. М. Легощина, О. А. Неверова, А. А. Быков // Бюллетень науки и практики. –

2016. – № 5. – С. 14–19. – URL: [http://docs.wixstatic.com/ugd/208d22\\_ca5703d5fad24817825f0a622d8de741.pdf](http://docs.wixstatic.com/ugd/208d22_ca5703d5fad24817825f0a622d8de741.pdf) (дата обращения: 09.02.2018). – 0,38 / 0,14 а.л.

*Статья в сборнике научных трудов:*

8. **Легощина О. М.** Анатомические характеристики листового аппарата *Betula pendula* Roth в зоне действия промзоны г. Кемерово / О. М. Легощина, О. А. Неверова, А. А. Быков // Материалы научной сессии Института экологии человека СО РАН : сборник научных трудов Кемерово, 02 ноября 2011 г. – Кемерово, 2011. – Вып. 3. – С. 56–59. – 0,25 / 0,10 а.л.

*Публикации в сборниках материалов конференций:*

9. **Легощина О. М.** Применение морфометрических параметров древесных растений в оценке промышленного загрязнения г. Кемерово / О. М. Легощина // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий : материалы XIV Международной научной школы-конференции студентов и молодых ученых. Абакан, 17–20 ноября 2010 г. – Абакан, 2010. – Вып. 14, т. II. – С. 16–17. – 0,13 а.л.

10. Неверова О. А. Оценка экологической пластичности древесных растений в зоне действия предприятий промзоны г. Кемерово / О. А. Неверова, **О. М. Легощина** // Экология. Риск. Безопасность : материалы международной научно-практической конференции. Курган, 20–21 октября 2010 г. – Курган, 2010. – Т. 1. – С. 52–53. – 0,13 / 0,06 а.л.

11. **Легощина О. М.** Активность пероксидазы в листьях *Betula pendula* Roth в условиях промышленного загрязнения города Кемерово / О. М. Легощина // I Усовские чтения в Кузбассе : сборник трудов научной молодежи Кемеровского научного центра СО РАН. Кемерово, 08 февраля 2010 г. – Новосибирск, 2010. – С. 76–79. – 0,25 а.л.

12. Неверова О. А. Морфометрическая характеристика древесных пород в условиях действия выбросов промзоны г. Кемерово / О. А. Неверова, **О. М. Легощина** // Ботанические чтения : материалы международной научно-практической конференции. Ишим, 11 мая 2011 г. – Ишим, 2011. – С. 73. – 0,06 / 0,03 а.л.

13. **Легощина О. М.** Реакция пигментной системы *Picea obovata* Ledeb. на промышленное загрязнение города Кемерово / О. М. Легощина // Научное творчество молодежи : материалы XV Всероссийской научно-практической конференции. Томск, 28–29 апреля 2011 г. – Томск, 2011. – Ч. 1. – С. 236–238. – 0,19 а.л.

14. **Легощина О. М.** Особенности анатомического строения листа *Betula pendula* Roth в условиях влияния промзоны г. Кемерово / О. М. Легощина, О. А. Неверова, А. А. Быков // Найновите постижения на европейската наука – 2011 : материали за VII международна научна-практична конференция. София, България, 17–25-ти юни 2011 г. – София, 2011. – Т. 34 : Экология. – С. 26–28. – 0,25 / 0,10 а.л.

15. **Легощина О. М.** Влияние выбросов промзоны г. Кемерово на процесс перекисного окисления липидов в хвое *Picea obovata* Ledeb / О. М. Легощина // Кузбасс:

образование, наука, инновации : материалы Инновационного конвента. Кемерово, 24–25 ноября 2011 г. – Кемерово, 2011. – Т. 2. – С. 53–55. – 0,19 а.л.

16. **Легощина О. М.** Влияние выбросов промзоны города Кемерово на анатомическое строение листа рябины сибирской / О. М. Легощина, О. А. Неверова, А. А. Быков // Ботанические чтения : материалы II Международной научно-практической конференции. Ишим, 11–12 мая 2012 г. – Ишим, 2012. – С. 74–75. – 0,13 / 0,06 а.л.

17. **Легощина О. М.** Динамика накопления азота в хвое ели сибирской в условиях влияния выбросов промзоны г. Кемерово / О. М. Легощина, О. А. Неверова // Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов : материалы докладов III Международной конференции. Кемерово, 18–19 апреля 2012 г. – Кемерово, 2012. – С. 107–108. – 0,13 / 0,06 а.л.

18. **Легощина О. М.** Особенности накопления серы и азота листьями древесных растений в зоне влияния промышленных выбросов города Кемерово [Электронный ресурс] / О. М. Легощина // Научное творчество молодежи : материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции. Анжеро-Судженск, 17–18 мая 2012 г. – Анжеро-Судженск, 2012. – Ч. 2. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 201–202. – 0,13 а.л.

19. **Легощина О. М.** Морфологические особенности ассимиляционного аппарата *Betula pendula* Roth в градиенте техногенного загрязнения от выбросов предприятий промзоны г. Кемерово [Электронный ресурс] / О. М. Легощина // Развитие – 2016 : сборник трудов ежегодной конференции молодых ученых ФИЦ УУХ СО РАН. Кемерово, 11–13 мая 2016 г. – Кемерово, 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 174–183. – 0,63 а.л.



Издание подготовлено в авторской редакции.  
Отпечатано на участке цифровой печати  
Издательского Дома Томского государственного университета  
Заказ № 23-0418 от «27» апреля 2018 г. Тираж 100 экз.  
г. Томск Московский тр. 8 тел. 53-15-28