

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
УФИМСКИЙ ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

УДК 574.3; 574.5;572.1/.4



АМИНЕВА КЛАРА ЗАБИРОВНА

ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДУБА
ЧЕРЕШЧАТОГО (*Quercus robur* L.) В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ УФИМСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА)

Специальность 03.02.08 – Экология

Диссертация на соискание ученой степени кандидата

биологических наук

Научный руководитель: Уразгильдин Руслан Вилисович,

к.б.н., доцент

Уфа – 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1.1. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ДРЕВЕСНЫЕ НАСТЕНИЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)	12
1.2. ЖИЗНЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА	12
1.1.1 РАСТЕНИЯ В ТЕХНОГЕННОЙ СРЕДЕ.....	12
1.1.2 ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ЖИЗНЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВОСТОЕВ В ЗОНЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ	16
1.3. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА	19
1.4. РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПРОИЗРАСТАНИЯ	25
1.5. ВОДНЫЙ РЕЖИМ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ.....	30
1.6. ПИГМЕНТНЫЙ ФОНД ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ.....	35
1.7. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И СТРОЕНИЯ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА.....	38
1.8. ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В СИСТЕМЕ ПОЧВА – РАСТЕНИЕ	41
2. РАЙОН, ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	47
2.1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ	47
2.2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ	52
2.3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ	56
2.4. РАСПОЛОЖЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЕЙ..	66
3. ...ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В УСЛОВИЯХ УФИМСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА.....	74
3.1. ЖИЗНЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВОСТОЕВ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В УСЛОВИЯХ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ	74

3.2.	МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПАРАМЕТРОВ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ.....	77
3.2.1.	ДЛИНА ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ.....	77
3.2.2.	ШИРИНА ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ.....	78
3.2.3.	ПЛОЩАДЬ ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ.....	79
3.2.4.	ДЛИНА ЧЕРЕШКА.....	80
3.2.5.	УСТЬИЧНЫЙ ИНДЕКС.....	81
3.2.6.	СРЕДНЯЯ ДЛИНА ЖИЛОК.....	82
3.2.7.	СООТНОШЕНИЕ ПЛОЩАДИ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ С УСТЬИЧНЫМ ИНДЕКСОМ И СО СРЕДНЕЙ ДЛИНОЙ ЖИЛОК.....	83
3.2.8.	ПРИРОСТ ПОБЕГОВ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО.....	84
3.3.	ОЦЕНКА ГОДИЧНОГО РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ.....	86
3.4.	ВОДНЫЙ ОБМЕН ЛИСТЬЕВ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА.....	101
3.4.1.	ОТНОСИТЕЛЬНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ВОДЫ.....	101
3.4.2.	ДЕФИЦИТ ВОДНОГО НАСЫЩЕНИЯ.....	103
3.4.3.	ИНТЕНСИВНОСТЬ ТРАНСПИРАЦИИ.....	103
3.5.	ПИГМЕНТНЫЙ ФОНД ЛИСТЬЕВ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО.....	105
3.5.1.	СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА А.....	105
3.5.2.	СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА В.....	106
3.5.3.	СОДЕРЖАНИЕ КАРОТИНОИДОВ.....	107
3.5.4.	СУММАРНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ВСЕХ ПИГМЕНТОВ.....	109
3.5.5.	СООТНОШЕНИЕ ХЛОРОФИЛЛОВ К КАРОТИНОИДАМ.....	110
3.6.	ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ.....	112
3.7.	СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И ИХ НАКОПЛЕНИЕ В ЛИСТЬЯХ.....	116
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	123
	СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	125

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	126
СПИСОК РУССКИХ И ЛАТИНСКИХ НАЗВАНИЙ РАСТЕНИЙ И НАСЕКОМЫХ, УПОМЯНУТЫХ В ТЕКСТЕ	159
ПРИЛОЖЕНИЕ А	161
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	162
ПРИЛОЖЕНИЕ В	163

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Уфа – крупный промышленный центр Предуралья. Ведущие отрасли промышленности: нефтеперерабатывающая, включающая в себя три нефтеперерабатывающих завода, химическая, машиностроение и металлообработка, лесная и деревообрабатывающая, медицинская, предприятия по производству стройматериалов, легкой и пищевой промышленности. Основной вклад в атмосферу города составляют выбросы от стационарных источников: предприятия нефтеперерабатывающей промышленности (77,2%) и электроэнергетики (4,3%). На долю автотранспорта приходится 36% от общего объема выбросов. По данным Управления аналитического контроля Минэкологии РБ установлено, что летом и осенью 2013 года в пробах воздуха ПДК вредных веществ превышало в несколько раз: толуол 60 раз, ксилол 96 раз, этилбензол 137 раз, бензол 13 раз, сероводород 10 раз и др. Итого более 20 вредных веществ (Государственный доклад, 2015). Эти газообразные вещества по удельному весу тяжелее воздуха и находятся в приземном слое атмосферы и отрицательно влияют на растения в зоне хронического загрязнения.

Загрязнение окружающей среды вызывает формирование специфического природно-антропогенного комплекса с глубокими антропогенными изменениями окружающей среды. Согласно многочисленным работам, на территории г. Уфы основными факторами, негативно воздействующими на рост древесных растений и состояние почвенного покрова, служат: повышенный уровень техногенного загрязнения атмосферного воздуха, который вызывает нарушения биогенной миграции элементов питания в почве и растениях, и высокая рекреационная нагрузка, изменяющая физические свойства почв и морфоструктурные параметры растений. К настоящему времени достаточно основательно изучено действие отдельных загрязнителей на растительный организм (Кулагин, 1965; Илькун, 1971, 1978; Николаевский, 1971; Гудериан, 1973; Антипов, 1975; Тарабрин, 1984; Николаевский, 1999). Среди комплекса техногенных загрязнителей неорганической природы наиболее сильное негативное воздействие на жизненное состояние деревьев и физико-химические свойства почв оказывают диоксид серы

и аэрозоли тяжелых металлов, особенно свинца, кадмия, меди. В результате жизненное состояние древесных растений нарушается (Илькун, 1978; Кулагин, 1985; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Ильин, 1991; Матвеев и др., 1997; Кулагин, 2002; Неверова, 2002). Растения разных видов по-разному реагируют на увеличение токсических веществ. В условиях токсического действия загрязнителей в растительных организмах протекают приспособительные реакции (Кулагин, 1980; Розенберг, 1994; Кавеленова, 2006; Кулагин и др., 2010).

Ранее в районе Уфимского промышленного центра (УПЦ) был исследован ряд древесных растений: тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.) тополь черный (*Populus nigra* L.), тополь дрожащий (*Populus tremula* L.), тополь пирамидальный (*Populus pyramidalis* S.) (Кагарманов, 1995, Уразгильдин, 1998), береза бородавчатая (*Betula pendula* Roth.) (Бойко, Уразгильдин, 2003, 2004; Бойко, 2005), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), (Сейдафаров, 2009), клен остролистный (*Acer platanoides* L.) (Васильева, 2011), ива белая (*Salix alba* L.) (Ахмадуллин, 2014), ель сибирская (*Picea abies* (L.) H.Karst), ель колючая (*Picea pungens* Engelm) сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), сосна сибирская (*Pinus sibirica* DuRoi), лиственница Сукачева (*Larix Sukaczewii* Djil.) (Сметанина, 2000, Скотников, 2007, Кулагин, Зайцев, 2008, Полякова, 2011, Юсупов, 2011). У перечисленных видов выявлены реакции на техногенное загрязнение на различных уровнях (физиологическом, анатомическом, морфологическом, габитуальном и т.д.) и показаны адаптационные особенности ассимиляционного аппарата, побегов, водного обмена, радиального прироста стволовой древесины, корневых систем, габитуальных параметров деревьев к увеличению степени загрязнения.

На основе проведенного анализа работ по изучению различных древесных пород, произрастающих на территории аэротехногенного загрязнения г. Уфы, выявлено отсутствие значимых данных и недостаточная изученность эколого-биологических особенностей дуба черешчатого (*Quercus robur* L.). Особый интерес к этой древесной породе вызван тем, что дуб в районе исследований находится на границе ареала распространения, а значит, на фоне лимитирующих

факторов на нем может с большей силой проявляться действие техногенных факторов.

Под воздействием негативных климатических факторов (низкая температура воздуха, ранняя оттепель, заморозки, засуха, нехватка влаги и питательных элементов в почве), биологических (вредители леса, болезнетворные грибы), а также антропогенного воздействия (рубок, пожаров, хозяйственного освоения земель, промышленной деятельности) площадь дубовых древостоев сокращается. Например, если в 1966 г. дубовые древостои занимали 606,3 тыс. га, то к 1993 г. – 321,9 тыс. га, и на сегодняшний день площади дубовых древостоев продолжают сокращаться (Латыпов, 2008).

В связи с вышесказанным весьма актуальным видится оценка адаптации дуба черешчатого к изменениям окружающей среды в условиях промышленного загрязнения на основе его всесторонней эколого-биологической характеристики. Исходя из этого, разработаны цель, задачи и программа диссертационной работы.

Цель работы – представить эколого-биологическую характеристику дуба при произрастании в условиях промышленного загрязнения с преобладанием углеводородной составляющей.

Для реализации данной цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Оценить относительное жизненное состояние древостоев дуба;
2. Изучить особенности формирования и адаптационные реакции ассимиляционного аппарата и побегов (*морфологические особенности, линейный прирост побегов, водный обмен, пигментный фонд*);
3. Изучить особенности формирования и адаптационные реакции радиального прироста стволовой древесины;
4. Изучить особенности формирования и адаптационные реакции корневых систем;
5. Охарактеризовать эколого-геохимические особенности почв дубовых древостоев, аккумуляцию тяжелых металлов Cu, Cd, Zn, Fe, Pb в листьях дуба и в почвах древостоев;

Актуальность работы. Дуб в районе исследований находится на границе ареала распространения, а значит, на фоне лимитирующих факторов, на нем

может с большей силой проявляться действие техногенных факторов. В связи с этим весьма актуальным видится оценка адаптации дуба к изменениям окружающей среды в условиях нефтехимического загрязнения на основе его всесторонней эколого-биологической характеристики.

Научная новизна работы и практическая значимость. Впервые для Башкирского Предуралья показана сезонная динамика количественных данных, характеризующих видоспецифичность и адаптивный потенциал дуба к условиям нефтехимического загрязнения, что в совокупности с аналогичными исследованиями по другим древесным породам является базой для последующего экологического мониторинга лесных сообществ на территории промышленных предприятий.

Положения, выносимые на защиту:

1. По отношению к усилению промышленного загрязнения листья дуба характеризуются устойчивым водным обменом, повышенной чувствительностью пигментного комплекса и видоспецифическими адаптивными изменениями морфологических параметров.

2. При усилении степени загрязнения увеличивается общая корненасыщенность почвы (при этом во фракционном составе наблюдается увеличение доли проводящих и скелетных корней и уменьшение доли поглощающих корней) и увеличивается равномерность распределения корневых систем по почвенному профилю (причем наиболее равномерно в метровом слое почвы распределяются поглощающие и проводящие корни).

3. По отношению к накоплению тяжелых металлов дуб является аккумулятором Cd (его содержание в листьях в несколько раз превышает содержание этого металла в почве), индикатором Cu, Zn (содержание этих металлов в листьях соответствует их содержанию в почве), и исключателем Pb, Fe (поддерживается низкая концентрация этих металлов в листьях, несмотря на высокую их концентрацию в почве).

4. Техногенное загрязнение значительно ухудшает относительное жизненное состояние древостоев дуба, подавляет радиальный прирост стволовой древесины, повышает чувствительность прироста к воздействию стрессовых

факторов наряду с климатическими изменениями и оказывает сильное влияние на начальные стадии онтогенеза, значительно сокращая прохождение виргинильного периода.

Практическая значимость работы. Заложённая серия постоянных пробных площадей и полученные многочисленные количественные и качественные характеристики жизненного состояния древостоев, эколого-биологических особенностей дуба черешчатого, а также условия произрастания и типы почв представляют собой научный и практический интерес для долговременного экологического мониторинга лесных участков в зоне интенсивного техногенного загрязнения. Результаты исследований могут быть использованы при создании санитарно-защитных насаждений в крупных промышленных центрах Предуралья.

Полученные данные могут быть использованы Федеральным агентством лесного хозяйства Республики Башкортостан для разработки системы мер для повышения устойчивости дубрав и адаптации дуба черешчатого к факторам среды, для разработки программ сохранения и рационального использования вида на восточной границе его ареала, совершенствования лесосеменного и лесокультурного дела, сохранения и улучшения состава и состояния лесного фонда Республики Башкортостан. Теоретические и практические результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы для повышения уровня подготовки бакалавров, магистрантов по направлениям «Биология», «Экология» и «Лесное дело», а также магистров и аспирантов при проведении полевых практик, выполнении квалификационных работ.

Организация исследований. Работа выполнена диссертантом в 2010-2014 г. в качестве аспиранта очного обучения лаборатории лесоведения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Уфимского Института биологии Российской академии наук.

Личный вклад автора состоит в разработке программы исследований согласно поставленным задачам работы, в выборе объектов и методов, в проведении полевых и лабораторных исследований, в обработке и интерпретации полученных результатов, в их сопоставлении с литературными данными, в

подготовке рукописи диссертации, апробации полученных результатов. В работу включены материалы исследований, в которых автор принимала непосредственное участие и являлась автором и соавтором работ, опубликованных по их результатам.

Достоверность результатов и обоснованность выводов обеспечивается применением современных выводов, большим объемом фактического материала, использованием статистических методов обработки и анализа полученных данных. Обработка полученных данных проводилась методами дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов с применением современных математических методов, компьютерных технологий и пакетов прикладных программ обработки экспериментального материала.

Апробация работы. Основные результаты и положения работы были представлены и обсуждались на научных и научно-практических конференциях: Международного молодежного научного форума «Ломоносов-2012» (г. Москва, 2012 г.), IV Всероссийской школы-конференции «Актуальные проблемы геоботаники», (г. Уфа, 2012 г.), II (X) Международной ботанической конференции молодых ученых в Санкт-Петербурге (г. Санкт-Петербург, 2012 г.), Международной научной конференции молодых ученых «Современные проблемы биологии и экологии» (г. Челябинск, 2013 г.), Международной конференции молодых ученых «Актуальные проблемы ботаники и экологии» (г. Щёлкино, Украина, 2013 г.), Всероссийской школы-конференции молодых ученых «Современные методы и подходы в биологии и экологии», (г. Уфа, 2013 г.), Международной научной конференции «История ботаники в России. К 100-летию Русского ботанического общества» (г. Тольятти, 2015 г.), а также изложены в научных статьях, опубликованных в журналах, входящих в список ВАК Минобрнауки России: Известия Самарского научного центра Российской академии наук (2012 г., 2014 г.), Вестник Челябинского государственного университета (2013 г.), Биосфера (2014 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 5 статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения,

3 глав и заключения. Она изложена на 163 машинописных страницах, содержит 11 таблиц и 30 рисунков, 3 приложения. Список литературы включает 344 источника, из которых 48 – иностранных.

Благодарности: Выражаю глубокую благодарность научному руководителю к.б.н., доценту Уразгильдину Руслану Вилисовичу за организацию выполнения исследований и консультации при выполнении работы, консультанту д.б.н., доценту Сулейманову Руслану Римовичу за теоретическую и практическую помощь при проведении почвенных исследований. Слова искренней благодарности всем сотрудникам лаборатории лесоведения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Уфимского Института биологии Российской академии наук за своевременные и обоснованные замечания, за практическую помощь в работе и полезные советы при подготовке рукописи. Также выражаю благодарность директору филиала Федерального государственного учреждения «Российский центр защиты леса» «Центр защиты леса Республики Башкортостан» Крестьянову Андрею Александровичу за предоставленные материалы и консультации по энтомологии вредителей дуба района исследований. Отдельная благодарность к.б.н, доценту Денисовой Ангелине Владимировне за неоценимую всестороннюю помощь и поддержку.

1.1. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ДРЕВЕСНЫЕ НАСТЕНИЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.2. ЖИЗНЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА

1.1.1 РАСТЕНИЯ В ТЕХНОГЕННОЙ СРЕДЕ

Вокруг крупных промышленных центров создается своеобразная экологическая обстановка, характеризующаяся высокими концентрациями токсичных газов и пылевых частиц в воздухе, увеличением температуры воздуха, снижением солнечной радиации и относительной влажности воздуха (Ковальский, 1974; Верхунов, 1996; Николаевский, 1999; Розенберг, 2000;). В результате воздействия техногенного загрязнения на природные и антропогенные экосистемы отмечена значительная деградация всех элементов биоты, в том числе и лесных насаждений. Происходит изменение структурно-функциональной организации лесных экосистем, снижается общая фитомасса и видовая насыщенность лесных фитоценозов (Красинский, 1950; Тарчевский, 1964; Тарабрин, 1984, 1990; Пастернак и др., 1985; Ковалев и др., 1990; Горышина, 1991; Сергейчик, 1994; Гришко, 2002).

Степень поврежденности растения определяется, прежде всего, двумя факторами – концентрацией токсичного вещества и длительностью его воздействия (Ковальский, 1974; Кулагин, 1974; Курбатова и др., 2004).

Исследования показали, что многие химические соединения, компоненты промышленных выбросов, в том числе и углеводороды способны к самостоятельной миграции по профилю почвы, к переходу из атмосферы в почву и обратно (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Напрасникова, 1993). В связи с этим вокруг источников промышленных выбросов принято условно выделять зоны загрязнения по интенсивности, периодичности и продолжительности действия токсических газов (Кулагин, 1965; Тарабрин и др., 1970; Ковальский, 1974; Неверова, 1999; Compton, 1970, Glavas, 1986;). Ю. З. Кулагин (1974) применительно к Уфимским нефтеперерабатывающим заводам выделял

следующие зоны: 1) зона постоянного слабого загрязнения; 2) зона периодического средне-сильного загрязнения; 3) зона эпизодического сильного загрязнения, не имеющая строгой локализации в связи с переменными ветрами.

Под воздействием токсических выбросов промышленных предприятий и транспорта у древесных растений происходят значительные и часто необратимые физиологические и анатомо-морфологические изменения органов и тканей (Николаевская, 1992). Характер и масштаб повреждений во многом определяется эколого-биологическими особенностями растительного организма и характером техногенного загрязнения (Красинский, 1950; Антипов, 1957; Николаевский, 1963; Чуваев, 1973; Илькун, 1978; Сабан и др. 1982; Бухтояров и др., 1984; Вишневская, 1990; Тарабрин и др., 1990; Розенберг, 1994; Кулагин и др., 2000; Чернышенко, 2001; Яновский, 2002; Сарбаева, 2005; Кавеленова, 2006; Бухарина, 2007; Кулагин и др., 2010; Brasier, 1994). Кроме того, на степень повреждаемости растений заметное влияние оказывают различные метеорологические (температура и влажность воздуха, освещенность) и почвенно-грунтовые (почвенное плодородие, влажность почвы) факторы, а также время дня и вегетационного периода (Антипов, 1957; Кулагин, 1965, 1985; Вихров, 1967; Слейчер, 1970; Рутковский, 1973; Антипов, 1975; Марценюк, 1980; Веретенников, 1984; Шиятов, 1992; Данилов-Данильян и др., 1994; Рыжков, 1995; Экологические проблемы, 1998; Мазепа, 1999; Чернышенко, 2001; Рунова, 2005; Aoki, Ichii, 1990).

Установлено, что при стабильном снижении уровня техногенной нагрузки в лесных фитоценозах происходят восстановительные процессы, в том числе и восстановление роста растительности (Гетко, 1989; Кулагин, 2002).

Н. П. Красинским (1950) были разработаны теоретические основы газоустойчивости растений. Им выделены три вида газоустойчивости: физиолого-биохимическая, морфолого-анатомическая и биологическая. Ю. З. Кулагин (1965, 1974; 1980) предложил различать виды газоустойчивости на различных уровнях организации живой материи: анатомическую, физиологическую, биохимическую, габитуальную, феноритмическую, анабиотическую, регенерационную, популяционную. Итоговую устойчивость растений к промышленным газам он

предлагает считать как результат сочетаний различных видов газоустойчивости. Промышленное загрязнение окружающей среды в историческом плане относительно новое явление и, следовательно, адаптация к нему не могла возникнуть в процессе эволюционного развития видов. Ю. З. Кулагин (1965; 1980, 1985) выдвигает гипотезу, что приспособляемость растений базируется главным образом на преадаптациях. По степени газоустойчивости выделяют три категории растений: устойчивые, среднеустойчивые и неустойчивые. Большинство авторов рекомендуют использовать в качестве критерия устойчивости к токсичным газам процент повреждения площади листовой пластинки при искусственной фумигации (Антипов, 1957; Николаевский, и др., 1971; Смирнов, 1975; Марценюк, 1980; Ситникова, 1990; Спесивцева, 1998).

Древесные растения являются эффективным средством снижения загрязнения окружающей среды (Гетко, 1968; Фудзивара, 1968; Дурмишидзе, 1970; Илькун, 1971, 1978; Гудериан, 1973; Чуваев и др., 1973; Кулагин, 1974; Попов, 1980; Фролов, 1980; Тарабрин, 1984; Кулагин, Баталов, 1986; Ковалев и др., 1990; Сергейчик, 1994; Автухович, 2000; Чернышенко, 2001; Мацкунас, 2002; Majernik, 1970; Stone, 1974). Каждому растению характерен свой определенный уровень поглощения и аккумуляции токсических соединений. Ряд авторов отмечают, что наиболее подвержен воздействию токсичных газов ассимиляционный аппарат растений как орган, приспособленный к активному газообмену с окружающей средой (Кулагин, 1966, 1974, 1980; Вишневская, 1990). В условиях техногенного загрязнения происходит изменение физиологических процессов внутри органов растений (Холоденко, 1965; Ткаченко, 1969; Слейчер, 1970; Николаевский и др., 1971; Сухарюк, 1973; Терсков и др. 1973; Ган и др., 1974; Марценюк, 1980; Хисамутдинова, 1985; Чукпарова, 2005), меняется активность ферментативного аппарата (Силаева, 1978; Тарабрин, 1984), сокращается срок жизни хвои, угнетается процесс фотосинтеза (Сиянова, 1964; Фролов, 1980; Кайбияйнен, 1989), нарушается водный режим листьев (Николаевский, 1965; Петин, 1969; Смирнов, 1980; Тарабрин, 1980), происходят изменения в анатомической структуре листа (Николаевский, 1999), изменяются

морфологические показатели листовой пластинки (Николаевский, 1971; Тамм и др., 1977; Фролов, 1980; Неверова, Колмогорова, 2002; Турмухамметова, 2005).

Вредные компоненты выбросов промышленных предприятий, поступающие в растительный организм, вызывают широкий спектр изменений, которые можно характеризовать как стресс-индуцированные (Илькун, 1978). Благодаря различным морфологическим особенностям и физиологическим свойствам древесные растения обладают определенным уровнем адаптационного потенциала, реализуемого в условиях стресса, вызванного антропогенным загрязнением (Чернышенко, 2001). Разнообразие ответных реакций древесных растений на воздействие компонентов промышленных выбросов свидетельствует о различных стратегиях устойчивости видов (Усманов и др., 2001). В экстремальных условиях важнейшим механизмом устойчивости является активизация многоуровневой биохимической системы антиоксидантной защиты, в которую входит большое число компонентов. Среди них особое место занимают низкомолекулярные метаболиты, проявляющие антиоксидантные свойства (аскорбиновая кислота, глутатион, пролин, каротиноиды, флавоноиды и др.), и антиоксидантные ферменты (супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза) (Власюк и др., 1974; Thomas, 1937; Paul, 1974; Malhotra, 1976).

Растительность в значительной степени страдает от заводских выбросов, но «оздоровление» промышленных центров невозможно без озеленения. Создание системы санитарно-защитных насаждений вблизи предприятий заметно снижает содержание поллютантов в окружающей среде благодаря способности растений задерживать и частично аккумулировать газо- и пылевидные частицы, входящие в состав выбросов. Отмечается, что в максимальной степени санитарно-защитные функции выполняют древесные растения (Красинский, 1950; Николаевский, 1963; Сукачев, 1966; Гетко, 1968; Илькун, 1971; Гудериан, 1973; Антипов, 1975; Дашкевич, 1984; Кулагин, 1985; Ситникова, 1990; Захаров и др., 1993; Сергейчик, 1994; Демаков, 2002; Курбатова, 2004; Бухарина, 2007; Кулагин и др., 2010).

1.1.2 ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ЖИЗНЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВОСТОЕВ В ЗОНЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Жизненное состояние дерева и всего древостоя – наиболее комплексный показатель, позволяющий судить о влиянии условий произрастания на жизнедеятельность растительного организма и функционирование всего древостоя. Воздействие атмосферного загрязнения – сложное биохимическое явление, затрагивающее в первую очередь метаболические и физиологические процессы. В настоящее время имеются разнообразные методы, позволяющие сделать вывод о состоянии деревьев либо отдельных его частей в условиях городской среды (Антипов, 1957, 1975; Кулагин, 1965; Коловский, 1968; Илькун, 1971; Рутковский, 1973; Илькун, 1978; Алексеев, 1989, 1990; Полевой, 1991; Бурда, 1996; Авдеева и др., 1997; Николаевский, 1999; Гришко и др., 2002; Методы изучения..., 2002; Thomas, 1937; Taylor, 1959). Существуют часто применяемые шкалы оценки, позволяющие оценить жизненное состояние деревьев и насаждений по внешним признакам (Илькун, 1978; Алексеев, 1990; Николаевский, 1999; Методы ..., 2002).

Методика, разработанная сотрудниками Ботанического института им. В.Л. Комарова, предполагает выделение пяти категорий деревьев – «здоровое», «поврежденное», «сильно поврежденное», «отмирающее» и «сухостой» на основании обследования внешних признаков повреждений кроны и ствола, степени развития и повреждения лишайникового покрова на стволах деревьев, локализации мертвых и отмирающих ветвей, цвета сформированных листьев, повреждений листвы и хвои (Методы ..., 2002).

Одним из наиболее распространенных подходов к оценке влияния загрязнения атмосферного воздуха на лесные экосистемы является характеристика санитарного состояния насаждений с оценкой категорий состояния деревьев по следующей шкале: без признаков ослабления; ослабленные с долей усыхания ветвей менее 25 %; среднеослабленные с долей усыхания ветвей от 25 до 50 %; сильно ослабленные с долей усыхания ветвей от 50 до 75 %; сухостой текущего года; сухостой прошлых лет; ветровал; бурелом (Алексеев, 1990).

Согласно литературным данным (Журкова, 2002; Герасимов, 2003) вышеуказанные факторы могут быть основными причинами дифференциации растений в городской среде на классы жизненности. Широко распространена шкала В. С. Николаевского (1999), согласно которой жизненное состояние (ЖС) оценивается визуально (по десятибалльной шкале) по степени повреждения и состоянию ассимиляционного аппарата и крон растений. При этом учитывается: количество живых ветвей в кронах деревьев, степень облиствленности (охвоенности) крон, количество живых (без некрозов) листьев в кронах, среднее количество живой площади листа. В итоге ЖС дерева может быть охарактеризовано как хорошее, удовлетворительное, неудовлетворительное и усыхающее.

Методика В.А. Алексеева с соавторами (1990) основана на процентной оценке таких признаков каждого дерева, как густота кроны, очищаемость ствола от сучьев и степень повреждения листьев (хлорозы, некрозы, объедания, повреждения фитопатогенами и т. д.). Насаждение может быть классифицировано как здоровое, ослабленное, сильно ослабленное, отмирающее либо сухостой.

В то же время визуальные методы оценки имеют относительный характер полученных результатов. При выборе методики оценки жизненного состояния необходимо учитывать, что растения, произрастая в городской среде, испытывают стресс, который приводит к изменениям, прежде всего ассимиляционного аппарата, как наиболее чувствительного к условиям произрастания и как непосредственного контактируемого органа с токсикантами. Вне зависимости от характера применяемой к оценке жизненного состояния методики большинство авторов указывает на ту или иную степень дигрессии насаждений в условиях урбанизированной техногенной среды (Кулагин, 1965; Тарабрин и др., 1970; Илькун, 1971; Горышина, 1991; Состояние и устойчивость..., 1995; Николаевский, 1999; Неверова и др., 2002; Сарбаева, 2005; Турмухаметова, 2005; Бухарина, 2007; Миркин и др., 2012).

Наличие хлорозов и некрозов на листьях и хвоинках деревьев является важным диагностическим признаком повреждения растений атмосферным загрязнением. Вследствие появления хлорозов и некрозов в результате действия

других факторов: недостатка или избытка питательных веществ почвы, высоких и низких температур, засухи, подтопления корневых систем, в результате действия энтомовредителей и различных патогенов этот признак может быть недостаточно специфичным (Оскворидзе, 1975; Горышина, 1991; Автухович и др., 2000; Неверова, Колмогорова, 2002; Сарбаева, 2005). Действие на растения минеральных водорастворимых частиц нередко вызывает локальные ожоги на листьях, а при длительном опылении – ослабление и гибель растений (Илькун, 1978).

Наиболее важным, информативным признаком служит состояние крон (Кулагин, 1980; Ковалев, 1990; Уразгильдин, 1998; Мацкунас, 2002; Бойко, Уразгильдин, 2003; Шарифуллин, 2005; Кулагини и др., 2010). В городе деревья имеют редкую крону (Состояние и устойчивость..., 1995; Турмухаметова, 2005), отмечается большая изреженность крон, увеличение доли световых листьев в кроне (Фролов, 1980). По признакам состояния крон разработаны региональные критерии оценки состояния деревьев, позволяющие выявить насаждения с нарушенной устойчивостью до появления процессов усыхания (Ковалев, 1990).

Некоторые авторы указывают на перспективность использования комплексного подхода с изучением сезонной динамики содержания токсикантов в почве и древесных растениях ключевых участков на разном удалении от источников выбросов для установления взаимосвязи между аккумуляцией токсикантов в почве и растениях и их жизненным состоянием (Гетко, 1989; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Илькун, 1971; Кулагин, 1980; Ильин, 1991; MatznerE, Murach, 1995). Рекомендуется также использование обобщенной функции желательности Харрингтона, совокупности биометрических показателей деревьев и физиолого-биофизических характеристик тканей деревьев (Калинин и др., 1991).

Ослабленность насаждений крупных промышленных центров способствует развитию различных вредителей и болезней, что также ухудшает их состояние, а в некоторых случаях приводит к преждевременной гибели (Яновский, 2002). Промышленное загрязнение приводит к ослаблению относительного жизненного состояния дуба. У ослабленных деревьев наблюдается заражение

дендропатогенными грибами и энтомовредителями. Наблюдаются очаги заражения дуба с заметными и сильными повреждениями, как первичными вредителями (широколопастная дубовая галлица (*Macrodiplosis dryobio* L.), дубовая зеленая листовертка (*Tortrix viridana* L.), массовое минирование молю листьев дуба (*Dialectica simloniella* L.), желудевый долгоносик (*Curculio grandium* L.), так и вторичными вредителями (единичное появление желтопятнистого глазчатого усача (*Mesos amyops* L.), дубовой узкотелой златки (*Agrilus argustulus* L.)) (Положенцев, Ханисламов, 1962).

В условиях Уфимского промышленного центра из исследованных видов древесных растений относительно «здоровое» жизненное состояние отмечается у березы повислой (Бойко, 2005), клена остролистного (Васильева, 2011), ивы белой (Ахмадуллин, 2014), ели колючей (Сметанина, 2000). Несколько хуже – «ослабленное» жизненное состояние тополей (Уразгильдин, 1998), липы мелколистной (Сейдафаров, 2009), сосны сибирской, ели сибирской (Сметанина, 2000), «сильно ослабленное» состояние отмечается у деревьев сосны обыкновенной (Зайцев, Кулагин, 2006), лиственницы Сукачева, (Зайцев, Кулагин, 2008).

1.3. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА

Как известно, высокие концентрации загрязнителей в окружающей среде приводят к негативным последствиям и, в целом, загрязнение биологических объектов носит комплексный характер (Гудериан, 1979; Данилов-Данильян, 1994; Довгушина, 1994). У растений в условиях антропогенного загрязнения среды могут изменяться внешний облик, морфометрические параметры. Длительное или постоянное воздействие техногенных загрязнителей на растительность вызывает серьезное изменение анатомического строения листьев растений и увеличение их ксерофитизации, которое проявляется в изменении размеров листьев, клеток, толщины эпидермиса, мезофилла, в более мощном развитии механической ткани, увеличении числа устьиц на 1 мм^2 поверхности листа, уменьшении ширины устьичных щелей в течение дня и т.д. (Николаевский и др., 1971; Тутаюк, 1972;

Марценюк, 1980; Елисеева и др., 1981; Васильев, 1988; Бурда, 1996; Верхунов, 1996; Уразгильдин, 1998; Автухович, 2000; Кулагин, 2006).

Лист самый чувствительный и информативный орган растительного организма, отражающий влияние изменчивых условий окружающей среды (Якушев, 1974; Оскворидзе, 1975; Смирнов, 1975; Гетко, 1989; Горышина, 1991; Неверова и др., 2002; Косоп, 1990). Указывается, что благодаря своему анатомо-морфологическому строению листья нижних ярусов древесных растений в большей степени подвержены воздействию токсических компонентов промышленных выбросов, чем листья верхних ярусов (Васильев, 1988; Васфилов, 2003).

Степень изменений в анатомическом строении ассимиляционных органов зависит от концентрации и токсичности загрязняющих веществ, а также от длительности их действия и чувствительности видов. Существенным и наиболее общим признаком, возникающим в процессе адаптационного приспособления в условиях загрязнения, является редукция площади листа. Уменьшение размеров листовой пластинки в неблагоприятных условиях среды обусловлено в процессе онтогенеза короткой стадией деления клеток и быстрой дифференциацией тканей (Эсау, 1969; Тутаюк, 1972; Марценюк, 1980; Елисеева и др., 1981; Васильев, 1988). Сокращение листовой поверхности ведет в свою очередь к снижению транспирации. Слоистость мезофилла при этом у растений, не имеющих специализированной хлорофиллоносной обкладки проводящих пучков, увеличивается, особенно сильно развивается палисадная ткань (Эсау, 1969; Тутаюк, 1972). Увеличение числа слоев и плотности столбчатых клеток до некоторой степени компенсирует малую площадь листа. Вместе с тем, основные направления структурных адаптаций листьев в условиях стресса связывают с развитием плотной упаковки клеток мезофилла (пикноморфное), склеренхимной обкладки пучков прокамбиального происхождения (склероморфное) и большого объема водоносной паренхимы (суккулентное) (Василевская, 1965; Бутник, 1984).

В целом, растения, произрастающие в неблагоприятных условиях среды (засушливые, загрязненные местообитания), очень разнообразны по строению и адаптационные процессы у них осуществляются разными путями (Николаевский,

1971, 1999; Генкель, 1973). Анализ основных параметров листовой пластинки у большого числа видов растений из различных местообитаний позволил выявить их большую экологическую пластичность на разных уровнях организации. При этом у растений, обитающих в близких условиях, наблюдались общие черты структурных адаптаций листа. Поэтому для диагностики состояния растительного организма из разных сред обитания весьма актуальным является применение анатомо-морфологических методов фитоиндикации (Илькун, 1971; Масауки, 1971; Николаевский и др., 1971; Куркова, 1975; Мацков, 1976; Смирнов, 1980; Новицкая, 1984; Гетко, 1989; Горышина, 1991; Спесивцева, 1998; Гришко, 2002; Неверова, 2002).

Из всего комплекса морфологических параметров ассимиляционного аппарата древесных растений наиболее важными в плане оценки устойчивости растения к техногенезу и его адаптивного потенциала являются: линейные размеры и площадь листовой пластинки, суммарная длина жилок на единицу площади поверхности. При характеристике линейных размеров листовых пластинок приводятся сведения о средних размерах ассимиляционного аппарата и различных его параметров для древесной растительности в разнообразных местообитаниях (Панкова, 1954; Николаевский, 1971; Оскворидце, 1975; Тарабрин, 1990; Неверова, 1999).

Частой реакцией растений на атипичные условия существования, в том числе и на загрязнение, является появление уродливых форм – терат. Наиболее часто встречающимся видом тератогенеза является фасциация: перетяжка листовых пластинок, расщепление средней жилки, анастомозы, расщепление и неправильное чередование жилок (Тарабрин и др., 1970; Куркова, 1975; Гетко, 1989; Полевой, 1991). Вблизи источников промышленных выбросов также наблюдается значительное уменьшение размеров листьев (Тарабрин и др., 1970). Известно, что наибольшие морфологические изменения претерпевают листья, подвергающиеся действию химических веществ в состоянии зачатка. Поражение распускающихся почек и молодых листьев визуально не обнаруживается, за исключением признаков ксерофитизации (уменьшение линейных размеров,

увеличение густоты жилкования и опушения и др.) (Николаевский, 1971; Калиниченко, 1973; Лихолат и др., 1987).

Выявлено влияние выбросов промышленных предприятий у разных видов: длина жилки и характер жилкования у дуба черешчатого выразилось в его общем ослаблении, у липы мелколистной – в удлинении, у клена остролистного – в утолщении жилок. Сделан вывод, что увеличение плотности жилкования является показателем процесса адаптации к антропогенным нагрузкам, а его ослабление – признак постепенного умирания растения (Вишневская, 1990).

Для большей точности определения газоустойчивости растений необходимо измерять повреждаемость листьев после действия различными концентрациями газов в течение разных промежутков времени газирования (Кулагин, 1965). В результате подобных исследований установлено, что у устойчивых видов загрязнение вызывает закрывание устьиц и резкое уменьшение поглощения газа; у неустойчивых происходит не сокращение устьичных щелей, а наоборот, расширение их, приводящее, в свою очередь, к увеличению повреждаемости листьев (Красинский, 1950).

Результаты исследований устьичного аппарата листьев ряда древесных растений показывают, что нередко ни уменьшение количества устьиц в условиях задымления, ни уменьшение их размеров не обеспечивают видам газоустойчивости. На примере тополя дельтовидного, тополя бальзамического, ясеня обыкновенного показано, что решающая роль в приспособлении растений к задымлению состоит в их способности регулировать уровень газообмена путем изменения открытия устьичной щели, а также способности самой протоплазмы противостоять токсическому действию двуокиси серы (Гетко, 1968, 1989; Чуваев, Кулагин, Гетко, 1973).

Формирование устьиц – достаточно длительный процесс, происходящий, как правило, синхронно с ростом и развитием растения (Эсау, 1969; Тутаюк, 1972). В большинстве случаев под влиянием промышленных газообразных эмиссий в значительной степени изменяются размеры устьиц. Загрязнение атмосферы оказывает существенное влияние на количество устьиц. Нередко это влияние сопоставимо и даже превосходит действие такого фактора, как свет

(Rawson, Graven, 1975). В большинстве случаев число формируемых в условиях загрязнения устьиц отличается от контрольных – как в сторону увеличения, так и уменьшения (Гетко, 1989).

Адаптации растений в этом отношении имеют видовую специфику. Но, несмотря на неоднозначную реакцию видов на загрязнители, выявить четкую зависимость между повреждаемостью вида и формированием определенной плотности устьиц на поверхности листа не удалось. Отмечены различия в степени изменений изучаемых признаков у деревьев различных видов, а также у деревьев магистральных и парковых посадок (Неверова, Колмогорова, 2002).

При повреждениях, вызванных SO_2 , нарушалась регуляция движения устьиц, снижалась интенсивность ассимиляции CO_2 , но дыхание оставалось прежним (Антипов, 1957, 1975; Polter, 1964; Phillips, 1967; Paul, 1974).

Существуют данные, что ксерофитизация ассимиляционных органов растений в условиях загрязнения возникает подавлением фазы растяжения клеток из-за недостатка ассимилянтов (ингибирование фотосинтеза) и возможного нарушения гормональной регуляции роста. Поэтому листья на загрязненных территориях мелкие, у них мельче клетки тканей и больше устьиц на 1 мм^2 (Николаевский, 1971).

Высказывается предположение, что снижение концентрации углекислого газа вызывает физиологическое напряжение растений, в результате развиваются компенсаторные механизмы, включая повышение эффективности работы устьичного аппарата (Тамм и др., 1977; Фролов, 1980; Николаевская, 1992). Одной из форм подобного повышения является увеличение числа устьиц и уменьшение их размеров (Фролов, 1980).

Стабильность развития всего организма либо отдельных его морфофункциональных частей является одним из важнейших условий нормального функционирования организма как биологической системы (Кулагин, 1974; 1985; Гетко, 1989; Николаевский, 1999; Усманов и др., 2001).

Ранее в районе УПЦ были исследованы морфологические особенности ассимиляционного аппарата березы бородавчатой, тополя черного, тополя

пирамидального, тополя бальзамического, липы мелколистной, клена остролистного, ивы белой.

Анатомо-морфологическая структура листовой пластинки березы повислой в условиях техногенного загрязнения претерпевает значительные изменения, имеющие адаптивный характер. Отмечено уменьшение линейных размеров и площади листьев, увеличение длины жилок и количества устьиц на единице поверхности листа, снижение толщины покровных и паренхимных тканей листовой пластинки (Бойко, 2005).

Выявлены отклонения в характере изменения линейных размеров, площади листовой пластинки, длины жилок и устьичного индекса тополей в условиях загрязнения. В частности, на водоразделе увеличение линейных размеров морфометрических параметров при усилении загрязнения наблюдается у тополя бальзамического. В пойме подобная особенность характерна для тополя черного и бальзамического. Количество устьиц и длина жилок на плато при усилении загрязнения уменьшается у тополя дрожащего и тополя бальзамического, а в пойме – у тополя дрожащего и тополя черного. Имеются значимые изменения прироста побегов первого порядка тополя бальзамического – усиление атмосферного загрязнения приводит к уменьшению длины побегов (Уразгильдин, 1998).

На размеры листовой пластинки липы мелколистной оказывают влияние уровень загрязнения окружающей среды и положение в рельефе, что проявляется в уменьшении значений данного параметра с усилением загрязнения и в больших размерах листа в пойменных условиях произрастания, чем на водораздельном плато вне зависимости от зоны загрязнения (Сейдафаров, 2009).

У клена при усилении степени загрязнения происходит уменьшение морфологических параметров, площади листа, и значительное увеличение длины жилок. В зоне сильного загрязнения длина побегов первого, второго, третьего года больше побегов клена в контроле (Васильева, 2011).

У ивы белой в условиях нефтехимического загрязнения отмечается увеличение размеров листьев, но при этом отмечается нестабильный рост ширины листовых пластинок, с периодами увеличения и уменьшения этого параметра.

Длина побегов ивы белой всех возрастов (первого, второго и третьего годов) минимальна в зоне сильного уровня загрязнения (Ахмадуллин, 2014).

У ели сибирской в зоне сильного загрязнения средняя длина побегов больше, чем в других зонах. Различия по длине побегов значимы только между зоной сильного и среднего загрязнения. Наибольшая длина хвои 1 года наблюдается в контроле, хвои 2 и 3 года в зоне среднего загрязнения. Наибольшая площадь хвои 1 и 2 года наблюдается в зоне сильного загрязнения, хвои 3 года – в контроле. У ели колючей в зоне сильного загрязнения прирост побегов наименьший, наибольшей длины побеги достигают в зоне среднего загрязнения, однако различие в длине побегов по зонам статистически не значимо. Наибольшая длина хвои 1 и 3 года отмечается в зоне среднего загрязнения, наименьшая в зоне сильного загрязнения, а у хвои 2 года наибольшая – в контроле. Для всех возрастов наибольшая площадь хвои наблюдается в зоне среднего загрязнения. У сосны сибирской наибольшую длину побегов всех возрастов достигают в контроле, наименьшую в зоне среднего загрязнения. Наибольшая длина и площадь хвои наблюдается в зоне среднего загрязнения. У сосны обыкновенной в зоне среднего загрязнения наблюдается наибольшая длина, площадь хвои и толщина мезофилла в хвое 1, 2 и 3 года жизни. Рост побегов в зоне сильного загрязнения меньше, чем остальных зонах. Наибольшая длина побегов к концу вегетации наблюдается в зоне среднего загрязнения. В целом у изученных представителей сем. Pinaceae. произрастающих в условиях загрязнения характерно существенное снижение продолжительности жизни хвои; в то же время отмечается увеличение охвоенности однолетних побегов и увеличение веса хвои, что может расцениваться как адаптивная реакция, направленная на компенсацию снижения массы ассимиляционного аппарата деревьев в условиях загрязнения окружающей среды (Сметанина, 2000).

1.4. РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПРОИЗРАСТАНИЯ

Дерево, обладая значительным временем жизни, аккумулирует в годичных кольцах влияние целого комплекса факторов среды, определявших условия его

существования. Сюда относятся совокупность климатических показателей, характеристика биоценотического и фитоценотического положения дерева в древостое, гидрологический режим данного экотопа, а в последнее время, и усиливающееся антропогенное действие. Внешние условия весьма различно действуют на рост деревьев; факторы, определяющие утолщение слоев у одних деревьев, вызывают совершенно противоположные явления у других (Антанайтис и др., 1981; Большевцев, 1970; Pausch, 1967; *Methods of Dendrochronology*, 1990; Dalibor, 1991).

Радиальный прирост ствольной древесины лесобразующих древесных растений – сложный интегральный показатель, в формировании которого участвуют генотип каждого конкретного растения и комплекс факторов внешней среды. При этом ни индивидуальные генетические особенности, ни отдельные экологические факторы, исключая катастрофические события, не определяют полностью реально наблюдаемую изменчивость радиального прироста (Большевцев, 1970; Ловелиус, 1972; Битвинкас, 1974; Антанайтис и др., 1981; Хантемиров, 1990). В последние 20 лет заметно повысился интерес к установлению прямой причинно-следственной связи климат – годовое кольцо. Основными климатическими показателями, оказывающими влияние на прирост, являются температура и осадки (точнее режим увлажнения). Используются среднемесячные значения, суммы за вегетационный или гидрологический год, показатели отдельных месяцев. В последнее время прослеживается тенденция к использованию новых параметров как прироста (ранняя и поздняя древесина, плотность и размер клеток, площадь сечения колец и объемный годичный прирост древесины), так и новых метеорологических показателей (дефициты суммарного испарения, влажность почвы и воздуха) (Доценко, 1974; Грицан, 1990; Лазарева, 1991; Таранков, 1991; Тихомиров, 1991; Агафонов, 1995; Годичные кольца..., 1996; Кучеров, 1996; Мазепа, 1999).

Помимо метеорологических факторов на прирост древесины существенное влияние оказывают также гидрологические. Так как возраст, форма и видовой состав затопляемых лесов в значительной степени зависит от гидробиологических особенностей реки, растительный мир может дать возможность оценить

состояние лесов в условиях зарегулированного водного стока (Комин, 1970; Молчанов, 1970; Костюкович, 1971; Сухарюк, 1973; Доценко, 1974; Феклистов, 1978; Кучеров, 1988; Шиятов, Мазепа, 1992). Дендрохронологические данные позволяют оценить процесс дифференциации деревьев в разновозрастных древостоях (Пугачевский, 1983).

В природе события в своих существенных чертах повторяются через некоторый, не обязательно строго-равномерный, промежуток времени, т.е. развиваются циклично (Ловелиус, 1972; Ваганов, Шашкин, 2000; Николаева, Савчук, 2009; Тишин, 2011).

При установлении вековой цикличности привлекают индивидуальные хронологии максимальной длительности и используют метод среднего сглаживания. Наличие цикличности считается доказанным только в том случае, когда выявлено не менее трех циклов (Тишин, 2011). О наиболее благоприятных годах для роста деревьев можно судить только по ярко выраженным максимумам и минимумам графика прироста (Осаму и др., 1992; Матвеев и др., 1997, 2009; Николаева и др., 2009).

В настоящее время существуют различные методы изучения радиального прироста стволовой древесины. Большинство из них (традиционные методы) основано на анализе прироста за дискретные периоды времени в различных лесорастительных условиях (Кучеров, 1988). В последние годы методический аппарат дендрохронологии существенно пополнился новыми подходами. В частности, перспективными представляются методы, использующие данные по анатомическому строению годичного кольца (Ковалев и др., 1990; Ваганов, 1996), по химическому составу клеток древесины (Хантемиров, 1990), методы рентгенофотографии (Ота, 1991). Указывается на преимущества методики, объединяющей дендрохронологический метод с комплексной оценкой лесопатологического состояния дерева и древостоя в целом (Бикеев и др., 1991). Разработан метод синхронизации рядов ширины годичных слоев с помощью постоянных сумм разниц последних измерений (Шпалте, 1979). На величину годичного прироста оказывают влияние не только ныне действующие факторы, но и оказывают влияние, долгосрочные исторические причины, и

кратковременные последствия (Грицан, 1990). Ряд исследователей указывают на определенное влияние на радиальный прирост высоты (Булавин, 1986; Green, 1969; Bruchwald, Dudzińska, Wirowski, 1994) и возраста (Доценко, 1974; Сабан, Дмитрах, 1982; Белов, Выркина, 1990) дерева. В частности, имеются данные, что прирост по толщине не одинаков на различной высоте и увеличивается с возрастом (Stănescu, Popescu, Florescu et al., 1973). Имеются данные о существенном влиянии толщины дерева на радиальный прирост в условиях промышленного загрязнения (Lesinski, 1974).

Относительно влияния промышленного загрязнения на радиальный прирост стволовой древесины можно отметить, что многие авторы указывают на отрицательное влияние поллютантов на данный параметр (Шиятов, 1973; Алексеев, 1990; Белов, Выркина, 1990; Демьянов и др., 1996; Авдеева, Кузьмичев, 1997; Спесивцева, 1998; Горячев, Карасева, 1999; Ваганов, 2000; Щербинина, 2004). Также имеет значение удаленность от источника загрязнения (Пастернак и др., 1985; Демьянов и др., 1996).

Годичные кольца деревьев, растущих на открытой местности или в разреженных лесах, могут служить индикаторами среднего содержания радиоуглерода в атмосфере за вегетационный период (Ковалев и др., 1990; Дергачев, 1991). Показана возможность индикации радиоактивного загрязнения территории в прошлом при помощи дендрохронологических методов, особенно при анализе внутренней структуры годичного кольца (Мусаев, 1993). Также годичные кольца древесных растений могут служить индикатором для оценки содержания тяжелых металлов (главным образом Cd и Pb), определяемого поступлением из точечных и диффузных источников (Eklund, 1995).

Проводятся исследования о соотношении влияния климатических и антропогенных факторов на радиальный прирост в пределах одного древостоя. Некоторые авторы указывают на увеличение радиального прироста стволовой древесины в условиях повышенного уровня загрязнения (Пугачевский, 1983; Ваганов и др., 1996; Bender, Gilewska, Wójeik, 1985). Однако большинство из зарегистрированных случаев подобной динамики носят краткосрочный характер (Хантемиров, 1990; Матвеев, 1997). Устойчивого длительного увеличения

радиального прироста стволовой древесины в условиях повышенного хронического загрязнения не обнаружено. Общее ослабление лесных массивов под воздействием промышленных предприятий продолжается. Анализ динамики радиального прироста сосновых молодняков промышленными выбросами показал, что в период после начала воздействия выбросов произошло уменьшение приростов на 11-41%. Процесс снижения прироста обычно сопровождается увеличением участия поздней древесины в годичном кольце (Феклистов, 1978; Стравинскене, 1987; Тихомиров, 1991; Горячев, Карасева, 1999).

Работы, проведенные в УПЦ, показали, что значительного влияния уровня атмосферного загрязнения на величину годичного радиального прироста у некоторых видов тополей не обнаружено, снижение объемов выбросов нефтехимического производства оказывает благоприятное влияние лишь на некоторое время: наблюдается непродолжительное (3-4 года) увеличение годичного прироста, после чего снова наступает спад прироста (Уразгильдин, 1998). Отмечено значительное снижение радиального прироста в среднем на 17% и нарушение природной цикличности в формировании годичного кольца древесины березы повислой (Бойко, 2005). У клена остролистного в районе УПЦ отмечается значительное снижение радиального прироста по сравнению с относительным контролем (Васильева, 2011). Радиальный прирост стволовой древесины у липы мелколистной практически не зависит от степени промышленного загрязнения и положения в рельефе: в зоне хронического загрязнения, прирост незначительно меньше, чем других зонах (Сейдафаров, 2009). В зоне хронического нефтехимического загрязнения происходит снижение радиального прироста стволовой древесины сосны обыкновенной, которая не полностью выявляет действие загрязнителей (Шарифуллин, 2005), в то же время замечено, что углеводородное загрязнение в условиях УПЦ приводит к увеличению годичного прироста стволовой древесины сосны обыкновенной по сравнению с контрольными условиями, лишь на некотором временном отрезке (Полякова, 2013).

1.5. ВОДНЫЙ РЕЖИМ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Водный режим растений, водообмен, поступление воды в растение и отдача её растением, необходимы для его жизнедеятельности (обмена веществ, роста, развития, размножения) (Гусев, 1966; Слейчер, 1970; Воробьева, 1971). Водный режим растений складывается из трёх последовательно протекающих и тесно связанных между собой процессов: поступления воды в корни растений из почвы; поднятия воды по корням и стеблям в листья и в расположенные на стеблях растущие эмбриональные ткани, точки роста; испарения избыточной воды из листьев в окружающую атмосферу. Общее количество воды, проходящей через растение, чрезвычайно велико (Слейчер, 1970; Крамер, Козловский, 1983).

Вода в клетке выступает не только как растворитель и среда для компонентов протоплазмы, но и как строительный материал, необходимый для построения органических соединений в процессе обмена веществ. Поэтому обмен водой между растениями и окружающей средой – одно из важнейших условий существования растительного организма (Алексеев, 1948; Максимов, 1952; Гусев, 1966; Веретенников, 1980; Дашкевич, 1984; Гетко, 1989). Данный процесс зависит от целого комплекса факторов: направленности обмена веществ, состояния и свойств цитоплазмы клеток, структурных особенностей клеток ассимиляционного аппарата, запасов почвенной влаги (Гусев, 1966; Орлов и др., 1970; Слейчер, 1970; Иванченко и др., 1978; Елисеева и др., 1981; Крамер и др., 1983). Активная жизнедеятельность растений возможна только при высокой оводненности их тканей, поэтому водный режим является одним из важнейших звеньев в цепи процессов, которые играют существенную роль в жизни растений (Новицкая, 1984; Демаков, 2002; Сенькина, 2002).

К настоящему моменту накоплен значительный материал по изучению различных сторон водного режима растений в условиях промышленной среды (Николаевский, 1965; Кулагин, 1966, 1974; Илькун, 1971, 1978; Якушев, 1974; Дашкевич, 1984; Гетко, 1989; Кагарманов, 1995; Неверова, Колмогорова, 2002; Jahnelt, 1954; Косон, 1990). При этом существуют несколько направлений изучения водного режима растений в условиях техногенеза: определение

содержания общей воды в листьях (Гусев, 1960), характеристика состояния внутриклеточной воды и водоудерживающей способности растений (Гусев, 1966; Кулагин, 1966; Гетко, 1989; Молчанова, 1994), определение водного дефицита (Гетко, 1989; Кулагин, 2006), интенсивности транспирации (Иванов и др., 1950; Якушев, 1974; Иванченко и др., 1978; Илькун, 1978; Гетко, 1989; Костюченко, 2005).

По мнению некоторых авторов, устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды в большей мере определяется состоянием внутриклеточной воды, в том числе – соотношением свободной и связанной воды (Николаевский, 1965; Гусев, 1966). Растения способны снижать потери воды за счет перевода ее в осмотически неактивную форму при помощи связывания различными веществами (Николаевский, 1965, 1971, 1998; Илькун, 1971; Неверова и др., 2002; Костюченко, 2005). Показано, что некорневая подкормка макроэлементами положительно влияет на водоудерживающую способность древесных растений в условиях промышленного загрязнения (Веретенников, Горчакова, 1984). Некоторые авторы указывают на понижение водоудерживающей способности при некотором увеличении «связанной» воды в условиях загрязнения, что можно объяснить увеличением количества иммобилизованной воды, которая вследствие механической изоляции не влияет на структурированность протоплазменной воды (Смирнов, 1975). У более устойчивых видов при выращивании на задымляемых участках в условиях промышленного загрязнения происходит увеличение количества связанной воды (Ситникова, 1990). При нормальном водоснабжении для устойчивых видов характерно повышенное содержание общей и свободной воды и повышенная водоудерживающая способность (Николаевский, 1965).

В настоящее время в литературе имеются многочисленные исследования о связи водного режима с устойчивостью растений к ряду неблагоприятных факторов окружающей среды. Жаростойкость растений определяется вязкостью протоплазмы, водоудерживающая способность – эластичностью, а оба показателя зависят от степени упорядоченности биоколлоидов (Генкель, 1975). И.А. Смирнов (1975), изучавший длительное время влияние засоления, отмечает, что

водоудерживающая способность листьев вяза, как и других древесных пород, под влиянием засоления понижается.

Большую потерю воды при подсушивании у растений засоленного фона, вероятно, можно объяснить уменьшением упорядоченности протоплазменной воды, ослаблением водородных связей молекул, входящих в состав решетки, активизацией процессов самодиффузии и повышением активности воды. Предположительно, аналогичный процесс возможен и под действием токсичных выбросов алюминиевого завода (Павлов, 2004).

Отмечается значительная межвидовая и межструктурная вариабельность содержания воды в деревьях. Содержание воды в дереве может варьировать как сезонно, так и в течение дня. Характер изменения содержания воды зависит от климата, типа почвы, топографии и экспозиции (Gates, 1991).

Возрастающий водный дефицит в листьях ведет к закрыванию устьиц и снижает поступление двуокси углерода и других газов. Имеются сведения, что наибольшее содержание воды в листьях наблюдается в начале вегетационного периода. По мере старения листьев и усиления жесткости погодных условий оводненность тканей уменьшается (Ткаченко и др., 1970; Тарабрин, 1980).

Транспирация – наиболее важный фактор водного режима растений, так как испарение воды создает энергетический градиент, который является причиной передвижения воды по растению. В связи с этим она определяет скорость поглощения воды и подъема ксилемного сока и вызывает почти ежедневно водный дефицит листьев (Крамер, Козловский, 1983).

По мнению многих авторов, транспирация является основным процессом, характеризующим водный режим растения в условиях загрязнения (Гусев, 1960; Якушев, 1974; Илькун, 1978; Елисеева и др., 1981; Гетко, 1989; Кайбияйнен, 1989). Указывается, что для растений наиболее подходящими часами для определения дневного хода транспирации являются 9:00 – 14:00 – 17:00 (Слейчер, 1970). Сопоставление интенсивности транспирации с действием внешних факторов показало зависимость ее от радиации, температуры, влажности воздуха и ветра, особенно у интенсивно транспирирующих пород (Добросердова, 1967; Ганн и др., 1974; Молчанова, 1994; Donița, 1967; Kochenderfer J., Lee, 1973).

Большое значение имеют высота грунтовых вод и возраст дерева: продуктивность транспирации взрослого дерева ниже, чем у сеянцев (Šermák, Kučera, 1980). Часто интенсивность транспирации поверхностью листа находится в корреляции с устьицами (Холоденко и др., 1965).

Изменение расходования воды корнями растений на процесс транспирации в условиях загрязненной атмосферы носит сложный характер (Гетко, 1989). В опытах с токсикантами неорганической природы интенсивность транспирации листьями замедляется в зависимости от концентрации загрязнителя и длительности его воздействия на корни (Гетко, 1989; Кулагин, 2002).

Интенсивность транспирации каждого листа индивидуальна и зависит от количества поглощаемой им солнечной энергии, которая, в свою очередь, определяется углом наклона листовой пластинки к прямым лучам (Илькун, 1978). Более засухоустойчивые виды: белая акация и дуб черешчатый сохраняют во всех случаях более высокий уровень транспирации. Расположение листьев в кроне определяет суммарный расход воды на транспирацию (Илькун, 1978; Гетко, 1989).

Показана связь транспирации с возрастом растения, побега, а также с видовой принадлежностью дерева (Паутова, 1970).

Имеются сведения, что вместе с транспирационным током из листа идет значительная миграция солей. Следовательно, уменьшение интенсивности транспирации в условиях загрязнения приводит не только к нарушению температурного режима, но и, по-видимому, способствует большей аккумуляции некоторых токсикантов в растениях. В свою очередь, избыточное накопление различных ингредиентов в листьях увеличивает водоудерживающую способность тканей, что снижает количество воды, приводя к перегреву листьев (Николаевский, 1965). Экспериментально доказана тесная взаимосвязь транспирации и газообмена листьев (Якушев, 1974).

Первостепенное значение в водном режиме имеет целостность покровного слоя листьев. Наблюдения за воздействием SO_2 на хвою ели, показали, что газ первоначально разрушает структуру воскового слоя, тем самым способствуя расширению путей для потока водяного пара с лишенной устьиц поверхности

хвои (Илькун, 1978). Необходимо отметить, что в таких стрессовых ситуациях у некоторых видов наблюдается усиление интенсивности транспирации листьев (алыча обыкновенная, сирень венгерская, береза тополелистная, некоторые виды боярышников), а у других, напротив, ослабление (калина буддлеелистная, сирень бархатная, жимолость Уэбба). При этом последствия стресса могут проявиться и при формировании листьев новой генерации, не имеющих прямого контакта с газом (Гетко, 1989).

Замечено снижение суммарного содержания и изменения структуры пигментов при водном дефиците древесных растений (Хисамутдинова и др., 1985). Реакция на увеличивающийся водный дефицит у различных по экологическому типу растений различна. Физиологические процессы без заметных нарушений могут протекать при небольшой величине водного дефицита от 3 до 14%. Без ущерба переносится потеря воды до половины массы насыщения, а показатель, вызывающий серьезные нарушения, находится приблизительно между 1/4 и 3/4 общего содержания воды (Гетко, 1989).

Дефицит водного насыщения – лабильный и чувствительный к различным внешним воздействиям показатель. Информативность его недостаточна, чтобы охарактеризовать обеспеченность листьев водой, особенно у растений в экстремальных условиях (Гетко, 1989). Возникновение дефицита водного насыщения приводит часто к специфической последовательности изменений метаболизма, в частности – к изменениям структуры гидратационной решетки, окружающей белок (Klotz, 1958). В то же время некоторые авторы рассматривают подобные изменения в качестве адаптационных реакций, обеспечивающих устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды (Иванченко и др., 1978). Устойчивые виды отличаются повышенным содержанием трудно извлекаемой воды, повышают водоудерживающую способность на 6-22% по сравнению с контролем и имеют низкую величину водного дефицита (Лихолат, Мыцик, 1996; Николаевский, 1998; Неверова, Колмогорова, 2002). Водный дефицит и интенсивность транспирации в условиях загрязнения возрастает особенно сильно, если расчет вести на площадь листа (Смирнов, 1975).

Ранее в районе УПЦ был исследован водный обмен листьев тополей дрожащего, черного и бальзамического, березы повислой, липы сердцевидной, клена остролистного (Уразгильдин, Кужлева, 2003; Бойко, Уразгильдин, 2004; Бойко, 2005; Сейдафаров, 2009; Васильева, 2011). Показано, что листья исследованных древесных пород характеризуются высоким ОСВ и низким ДВН. Характерной особенностью этих двух параметров является то, что в условиях сильного загрязнения ОСВ в целом ниже, чем в условиях контроля, а ДВН выше, причем для липы эти различия являются значительными. В целом, значительного влияния загрязнения на эти параметры не обнаружено. Видоспецифические различия обнаруживаются при оценке влияния промышленного загрязнения на ИТ. У всех рассматриваемых видов (кроме березы) усиление загрязнения вызывает усиление ИТ: незначительное у клена и тополей черного и бальзамического, и значительное у липы и тополя дрожащего. У березы напротив, усиление степени загрязнения сопровождается значительным уменьшением ИТ. Кроме того, усиление загрязнения сопровождается нарушением суточного хода транспирации у всех рассматриваемых видов. В большинстве случаев наблюдается постоянный рост ИТ в течение дня, единичны случаи постоянного спада ИТ в течение дня или резкого спада ИТ к полудню и восстановления к вечеру. Отличительной особенностью березы является то, что усиление загрязнения вызывает постоянный суточный спад ИТ на протяжении всего вегетационного периода. В целом, из всех рассматриваемых листовых лесообразователей наибольшей среднесуточной ИТ характеризуются клен и тополь дрожащий, далее в ряду уменьшения среднесуточной ИТ идут: тополь бальзамический, тополь черный, береза, липа.

1.6. ПИГМЕНТНЫЙ ФОНД ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Изучение поведения пигментного фонда растений в онтогенезе и в зависимости от основных факторов внешней среды имеет особую ценность, так как создает возможность воздействия на фотосинтетическую продуктивность через ее основу – пигментный аппарат (Шлык, 1975).

Пожелтение, или хлороз, листьев – результат их неспособности увеличивать или сохранять содержание хлорофилла. Всесторонним изучением установлено, что это явление зависит от ряда внутренних и внешних факторов (Дончева-Бонева, 1996).

Считается, что различия в максимальном содержании пигментов у растений разных видов и экотипов связаны с теми радиационными условиями, в которых происходило их формирование (Шульгин, Ходоренко, 1969). Эти различия наследственно закреплены и выступают как фотоиндикаторы условий среды. Исследуя пластидный аппарат травянистых растений листопадных лесов, Т.К. Горышина с соавторами (Горышина и др., 1975; Горышина, 1991) пришли к выводу, что размеры хлоропластов и их количество в единице объема клетки довольно стабильны; изменяется лишь оптическая плотность хлоропластов. Содержание хлорофилла *a* и *b* значительно выше у теневых листьев.

Сравнение содержания пигментов с оводненностью листьев полярных растений показало корреляцию между ними только при сопоставлении целых групп растений. Так, например, у мезофитов наблюдалось большее содержание воды и большее содержание хлорофиллов (при расчете на сырой вес листьев), у ксерофитов меньшему содержанию воды соответствовало и меньшее количество хлорофиллов. Среди отдельных видов растений колебания весьма значительны (Залетухин, 1969; Силаева, 1978).

Актуальными являются вопросы синергического взаимодействия загрязняющих веществ. Установлено, что одновременное действие трех загрязняющих газов оказывает более сильное влияние на количество пигментов фотосинтеза, нежели действие каждого газа в отдельности (Дончева-Бонева, 1996).

В условиях интенсивной техногенной нагрузки могут происходить изменения в пигментном фонде растений, которые могут служить индикатором их толерантности к этому фактору (Илькун, 1978; Сергейчик, 1994; Кулагин, 2002; Malhotra, 1976).

Некоторые авторы указывают на то, что снижение величины *a/b* может характеризовать газоустойчивость растений (Суслова, Николаевский, 1971;

Сергейчик, 1994). Чаще всего, хлорофилл *a* является более лабильным в отношении любых нарушений естественного пигментного комплекса (Шлык, 1975; Кретович, 1986; Мацков, 1976; Силаева, 1978).

Интенсивное загрязнение атмосферы промышленными токсикантами по-разному влияет на содержание и соотношение пигментов в ассимиляционных органах древесных растений (Николаевский, 1963; Гетко, 1989). Известны случаи, когда промышленное загрязнение приводило к росту количества пигментов. Общей реакцией для всех видов растений является интенсивное разрушение всех пигментов при появлении видимых поражений на листьях (Гетко, 1989).

В условиях УПЦ у липы мелколистной в зоне сильного загрязнения отмечается снижение концентрации хлорофилла *a*. Содержание хлорофилла *b*, меньше, чем хлорофилла *a*. При усилении степени атмосферного загрязнения происходит увеличение содержания каротиноидов (Сейдафаров, 2009). Пигментный комплекс клена характеризуется высокой чувствительностью к усилению загрязнения: наблюдается снижение концентрации хлорофилла *a* и *b* и концентрации каротиноидов (Васильева, 2011). У ивы белой наблюдается увеличение синтеза хлорофилла *a* и каротиноидов в зоне сильного загрязнения (Ахмадуллин, 2014).

Изучение сезонной и годичной динамики содержания хлорофилла в хвое видов сем. Pinaceae показало, что у *Pinus sylvestris*, *Picea obovata*, *Picea pungens* в условиях загрязнения суммарное содержание хлорофилла существенно ниже, в то время как у *Pinus sibirica* – повышено. Установлено, что уровень содержания хлорофилла в хвое указанных видов связан с климатическими особенностями текущего вегетационного периода. В целом содержание хлорофилла – показатель лабильный, и поэтому не может широко использоваться при биоиндикации этих видов (Сметанина, 2000). В условиях загрязнения наблюдается значительный спад содержания хлорофилла в двухлетней хвое к концу вегетационного периода, но его содержание выше в зоне сильного загрязнения, чем в контроле (Зайцев, Кулагин, 2006). У лиственницы Сукачева в условиях Уфимского промышленного центра содержание пигментов ниже по сравнению с зоной среднего уровня загрязнения и контролем. Характерно увеличение доли каротиноидов и

хлорофилла *a* в зоне сильного и среднего уровня загрязнения (Кулагин, Зайцев, 2008).

1.7. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И СТРОЕНИЯ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА

Методический аппарат исследования корневых систем отличается противоречивостью и множеством нерешенных вопросов. Основным количественным методом исследования корневых систем растений является метод монолитов (Качинский, 1925; Шаин, 1940; Красильников, 1950; Тарановская, 1957; Шалыт, 1960; Станков, 1964; Коловский, 1968; Рустамов, 1968; Колесников, 1972; Мамаев, 2000; Методы ..., 2002).

При применении метода монолитов важными элементами являются: размер почвенных столбов, способы взятия почвенных образцов с подземными частями растения, способы выделения подземных частей растения из монолитов, размеры сит, применяемых для отмывки корней и других подземных органов растений, дробность фракций при разделении подземных органов растений, способы получения тех или иных количественных показателей (Шаин, 1940; Лавренко, 1947; Панкова, 1954; Тарановская, 1957; Шалыт, 1960; Ильин, 1961; Станков, 1964; Орлов, 1967; Рустамов, 1968; Колесников, 1972; Методы ..., 2002).

Особенности строения и развития корневых систем древесных растений, наряду с надземной фитомассой, влияют на устойчивость растительного организма в условиях техногенеза (Красильников, 1950; Ильин, 1961; Колесников, 1972; Калинин, 1989; Веселкин, 1999; Ярмишко, 2002; Murach, 1984; Persson, Majdi, 1995).

Корни древесных растений в зависимости от их диаметра делят на три группы: поглощающие, или сосущие (диаметр менее 1 мм), полускелетные, или проводящие (1-3 мм), скелетные (более 3 мм) (Рахтеенко, 1952). Наиболее чувствительными как к естественным, так и антропогенным факторам, являются самые тонкие, поглощающие корни (Рахтиенко, 1968; Зайцев, 2008). Экстремальные погодные условия существенно отражаются на состоянии тонких корней лиственных пород: в засушливые годы, в отличие от влажных,

новообразование сосущих корней происходит в сжатые сроки и синхронно в разных типах леса (Орлов, 1967; Мамаев, 2000). Непосредственное влияние токсикантов на корневые системы древесных растений в первую очередь связано с токсичностью загрязнителя. В условиях промышленного загрязнения происходит накопление токсических веществ в почве, что приводит к изменению распределения по глубине массы поглощающих корней (Качинский, 1925; Шалыт, 1960; Веселкин, 1999; Ярмишко, 2002; Кулагин и др., 2010; Murach, 1984; Persson, Majdi, 1995), наблюдается увеличение массы мертвых корней (Ярмишко, 2002), изменения в микоризообразовании (Еремин, Бойко, 1998; Веселкин, 1999; Gorissen ets, 1991; Wallander, Nylund, 1991; Kahle, 1993; Mauer, Palátová, 2003), изменения в химическом составе корней (Bauch, Schroder, 1982; Bengtsson, 1982; Persson, Majdi, 1995; Carnol et al., 1999).

Степень влияния техногенного загрязнения на формирование корневых систем имеет определенную противоречивость имеющихся сведений. Имеются данные об отрицательном влиянии данного фактора на подземные органы растений (Ярмишко, 2002). В то же время различные изменения корненасыщенности почвы, рассматриваются в качестве видоспецифических адаптивных механизмов компенсации повреждений надземных вегетативных органов под влиянием токсикантов (Зайцев, 2000, 2008; Ярмишко, 2002; Гиниятуллин, Кулагин, 2012; Persson, Majdi, 1995).

Главные природные факторы, которые оказывают влияние на формирование корневых систем: физико-механические свойства почвы, ее температура, содержание в почве питательных веществ и солей, условия и характер аэрации, уровень залегания грунтовых вод, геоморфологические и климатические условия (Ильин, 1961; Орлов, 1967; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Калинин, 1989; Касатиков, 1992; Кулагин и др., 2010). Особенности строения и формирования корневых систем древесных растений зависят также от генетических особенностей вида растений (Панков, 1954; Рахтеенко, 1968; Мамаев, 2000).

В последние несколько десятилетий все возрастающее влияние на развитие подземных вегетативных органов оказывает техногенез. Промышленное

загрязнения оказывает влияние на корневые системы двумя различными способами: прямое воздействие загрязняющих веществ или воздействием на естественную среду обитания корней – почву (Ильин, 1961; Barley, 1963; Warnars, Eavis, 1972; Goodman, Ennos, 1998). Промышленные эксгалаты изменяют, прежде всего, физико-химические свойства почвы, вызывая увеличение ее кислотности, подщелачивание, иногда вызывая уменьшение содержания минеральных веществ (Paavilainen, 1967) и изменение микробиологического состава ризосферы (Newman, Hart, 2006). Ряд авторов указывают на перспективность сочетания анализа негативного воздействия промышленного загрязнения на корневые системы с гидрологическими особенностями почвы (Орлов, 1967).

В настоящее время корневые системы в условиях Уфимского промышленного загрязнения хорошо изучены у сосны обыкновенной, лиственницы Сукачева, липы сердцевидной, березы повислой, клена остролистного, однако отсутствует информация об особенностях формирования корневых систем дуба черешчатого. Исследования корневых систем березы повислой, клена остролистного, сосны обыкновенной, лиственницы Сукачева, липы сердцевидной Предуралья показали факт увеличения общей корненасыщенности почвы в насаждениях указанных видов. При этом у лиственницы (Зайцев, 2000; Шарифуллин, 2005) и клена (Васильева, 2011) при усилении степени загрязнения происходит увеличение доли всех фракций корней, у липы (Сейдафаров, 2009) и березы (Бойко, 2005) увеличивается доля поглощающих и проводящих корней, но уменьшается доля скелетных корней, а у сосны (Веселкин, 1999; Зайцев, 2000) уменьшается доля поглощающих корней, но увеличивается доля проводящих и скелетных корней. Усиление степени загрязнения сопровождается увеличением общей корненасыщенности почвы, видоспецифические различия проявляются в реакциях различных фракций корней на усиление степени загрязнения.

1.8. ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В СИСТЕМЕ ПОЧВА – РАСТЕНИЕ

В последнее время в связи с развитием промышленности усиливается загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами в масштабах, которые несвойственны природе. В силу этого возрастание их содержания в окружающей среде становится серьезной экологической проблемой современности (Винник, 1961; Илькун, 1968; Вишаренко, 1982; Гетко, 1989; Кряжева и др., 1996; Мацкунас, 2002; Кулагин и др., 2010; Радостева, 2011; Гиниятуллин, 2012). Несмотря на то, что многие тяжелые металлы не являются необходимыми для растений, они могут ими активно поглощаться, накапливаться и по пищевым цепям поступать в организм человека (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Нестерова, 1989; Баимова, 2009). Кроме 22 радионуклидов, имеется ряд металлов (Be, Fe, Cr, As, Sc, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, Hg, Ti, Pb), токсичных во всех водо-, щелоче- и кислотно-растворимых соединениях. В настоящее время из 92 встречающихся в природе элементов, 81 обнаружен в организме человека. При этом 15 из них (Fe, I, Cu, Zn, Co, Cr, Mo, Ni, V, Se, Mn, As, F, Si, Li) признаны жизненно необходимыми. Однако они могут оказывать отрицательное влияние на растения, животных и человека, если концентрация их доступных форм превышает определенные пределы. Cd, Pb, Sn и Rb считаются условно необходимыми, т.к. они, по всей видимости, не очень важны для растений и животных и опасны для здоровья человека даже при относительно низких концентрациях (Островская, 1961; Крамер, 1983; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Ильин, 1991, 2001). Современные агрофитоценозы характеризуются круговоротом металлов, поступающих из многообразных техногенных источников. Это металлургические предприятия, автотранспорт, химические удобрения и т.д. Опасность усугубляется еще и тем, что металлы обладают кумулятивным действием и сохраняют токсические свойства в течение длительного времени (Ковальский, 1974; Ильин, Степанова, 1980; Гармаш, 1982; Касатиков, 1992; Напрасникова, 1993; Ильин, Сысо, 2001). Значительное увеличение содержания тяжелых металлов в окружающей среде сопровождается их накоплением в растениях, что оказывает негативное влияние на рост, развитие и продуктивность (Ткалич, 1970;

Николаевский, 1971; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Нестерова, 1989; Плеханова и др., 1992; Матвеев и др., 1997; Кулагин и др., 2010).

В связи с этим изучение реакции растений на действие тяжелых металлов вызывает не только большой научный, но и практический интерес. В частности, активно исследуются поглощение, транспорт и аккумуляция тяжелых металлов в тканях и органах растений, их влияние на основные физиологические процессы (рост, развитие, фотосинтез, водный обмен, минеральное питание), а также механизмы металлоустойчивости растений (Ильин, 1991; Кулагин, 2002; Радостева, 2011; Гиниятуллин, 2012).

Поступление тяжёлых металлов в растения во многом зависит от их концентрации в почве. Из корней металлы транспортируются в вышерасположенные органы по сосудам ксилемы с транспортирующим током (Ковальский, 1974; Ильин, 1980; 1991; Крамер, 1983; Нестерова, 1989; Матвеев, 1997; Федорова, 2005). Аккумуляция элементов техногенного происхождения в почвенном профиле определяется совокупным влиянием ряда процессов, важнейшими из которых являются поступление веществ с атмосферными осадками и пылью, адсорбция промышленных газов почвой, аккумуляция избыточных количеств элементов в растениях и поступление в почву с опадом, дополнительное накопление их в подстилке за счёт замедленной её трансформации (Орлов и др., 1966; Илькун, 1978; Матвеев, 1997; Кулагин и др., 2010).

Типичным результатом действия кадмия и ряда других тяжелых металлов является уменьшение содержания хлорофилла, причем концентрация хлорофилла *b* снижается сильнее, чем хлорофилла *a*. Это действие кадмия является следствием, как торможения синтеза хлорофилла, так и его деградации. В присутствии таких тяжелых металлов, как Cu, Pb, Cd снижается активность ключевых ферментов фотосинтеза РуБФ-карбоксилазы и ФЕП-карбоксилазы. Кроме того, ингибируется активность карбоангидразы при действии повышенных концентраций кадмия. Тяжелые металлы влияют и на световую фазу фотосинтеза, нарушая транспорт электронов, преимущественно связанный с фотосистемой II, что обусловлено изменением структуры тилакоидных мембран, нарушением

синтеза пластохинона и снижением активности ферредоксин-НАДФ⁺-оксидоредуктазы (Винник, 1961; Ткалич, 1970; Власюк, 1974; Ковальский, 1974; Гребинский, 1975; Гармаш, 1982; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Goodwin, 1980; Variumand..., 1994; Eklund, 1995).

Действие тяжелых металлов на дыхание изучено слабо. Установлено, что кадмий снижает поглощение кислорода корнями и изолированными клетками табака. Он ингибирует транспорт электронов и протонов в митохондриях, что может приводить к нарушению работы электронно-транспортной цепи. Кадмий ингибирует активность ключевых ферментов гликолиза и пентозофосфатного окислительного пути (Крамер и др., 1983; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Плеханова и др., 1992; Ильин, Сысо, 2001; Федорова, 2005).

Под действием тяжелых металлов нарушается водный статус растения. Замечено, что многие растения в промышленных районах характеризуются меньшей оводненностью тканей и пониженной интенсивностью транспирации, что нарушает тепловой режим листа. Изменение водного статуса растения является следствием многих причин: понижения эффективности осморегуляции, уменьшения эластичности клеточных стенок, нарушения водопоглотительной способности корня. Водопоглотительная способность корня падает вследствие ингибирования формирования новых боковых корней и корневых волосков, замедления линейного роста корня, снижения контакта корневой системы с почвой, торможения транспорта ассимилятов из побегов в корневую систему. Кроме этого, ускоряется отмирание кончика корня, возрастает лигнификация и суберинизация клеток, увеличивается содержание АБК (Островская, 1961; Нестерова, 1989; Напрасникова, 1993).

Тяжелые металлы в большинстве случаев ингибируют поглощение клетками корня как катионов, так и анионов. Наиболее чувствителен к действию тяжелых металлов рост. Причем рост корня более чувствителен, чем рост побега. Кадмий и свинец сильнее ингибируют рост главного корня проростка, чем образование боковых корней, в результате корневая система приобретает компактную форму. Наиболее устойчиво к тяжелым металлам прорастание семян, что обусловлено низкой проницаемостью для них семенной кожуры.

Ингибирование роста тяжелыми металлами является следствием снижения скорости деления и растяжения клеток. В основе этого явления могут быть уменьшение оводненности тканей, удлинение митотического цикла, нарушение эластичности клеточных стенок и формирования микротрубочек (Ильин, 1991; Полевой, 1991; Половникова, 2010).

Таким образом, практически все физиологические процессы в растении подвержены негативному действию тяжелых металлов. Несмотря на это растения способны произрастать и плодоносить на загрязненных тяжелыми металлами территориях, используя специальные адаптивные механизмы (Власюк, 1974; Кулагин, 1974; Илькун, 1978; Тарабрин, 1984; Матвеев, 1997; Кулагин, 2002).

Исследования влияния ТМ на тополь бальзамический показало, что присутствие в избытке в водном растворе металлов, действуя на растение задерживают распускание и развитие листьев, формирование корневой системы, приводят к снижению дыхания и нарушениям пигментного комплекса ассимиляционного аппарата. Излишнее содержание металлов в растворе часто приводит к необратимым изменениям морфометрических и физиологических параметров. Отмечены металлы высокой фитотоксичности для тополя: Са, Сu, Рb, средней фитотоксичности: Na, Ва, Mg, Mn, Zn, низкой фитотоксичности: К (Кулагин, 2002).

В условиях Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) выявлено, что повышенное содержание тяжелых металлов в почве приводит к существенной перестройке всасывающего корневого аппарата березы повислой. Высокое содержание Ni, Cu, Cd в корнях и почвах под насаждениями березы повислой в СПЦ негативно отражается на росте и развитии поглощающих и полускелетных корней. В слое 10см содержание Ni, Cu, Mn, Cd, Pb значительно выше, чем на глубине 20, 30, 40, 50 см (Гиниятуллин, 2012).

Исследования по изучению накопления тяжелых металлов при рекультивации отвалов показали, что наилучшими накопителями Ti, Mn, Sr – являются древостой осины и березы. Осина ограничивает распространение таких тяжелых металлов, как Fe, Pb, береза – Mn. Береза накапливает больше металлов,

чем сосна. Наибольшее содержание ТМ наблюдается в корнях, коре и ветвях (Радостева, 2012).

Изучение накопления ТМ в листьях и хвое основных лесообразователей УПЦ показало, что среди хвойных больше всех Рb накапливает хвоя ели сибирской и лиственницы Сукачева, а среди лиственных – тополь черный; при усилении степени загрязнения наблюдается увеличение этого показателя. Хвойные аккумулируют Cu гораздо меньше лиственных. Наибольшие показатели зафиксированы в зоне среднего загрязнения (тополь дрожащий). Также хвойные аккумулируют Cd гораздо меньше лиственных, наибольшее накопление замечено у тополя дрожащего. В целом для хвойных и лиственных характерно увеличение накопления Cd по мере уменьшения промышленного загрязнения. Наибольшее накопление Fe выявлено у ели сибирской, липы сердцевидной, четких закономерностей влияния загрязнения на накопление этого металла не выявлено. У всех изученных древесных накопление Zn находится близко к границе дефицита. При усилении степени загрязнения наблюдается увеличение содержания Zn. Больше всех его аккумулируют сосна обыкновенная и тополь дрожащий. Содержание Рb и Cu в листьях и хвое во всех условиях произрастания не превышает нормы и не достигает токсичных концентраций. В районе исследования все изученные древесные являются концентраторами Cd и Fe. В целом лиственные накапливают изученные ТМ гораздо больше, чем хвойные (Зиятдинова, Уразгильдин, Денисова, 2012).

В заключение обзора публикаций по эколого-биологическим особенностям древесных растений в условиях промышленного загрязнения следует отметить, что накоплен значительный материал по адаптивному потенциалу древесных растений. Необходимо отметить важную роль зеленых насаждений в снижении негативного воздействия на окружающую среду, в их способности к адаптации к неблагоприятным факторам природного и техногенного происхождения.

Разные виды древесных растений по-разному реагируют на увеличение степени загрязнения, и хотя внешне сохраняют стабильность, внутри организма происходят сложные биохимические и физиологические перестройки.

Промышленные газы вызывают у растений некрозы (ожоги) на листьях и хвое, снижение линейного роста побегов, количества и размеров ассимиляционных органов на годичных побегах, уменьшение площади ассимиляционного аппарата, сырой и сухой массы листьев годичного побега (ксерофитизация), снижение возраста хвои у хвойных пород, ускорение усыхания нижних ветвей в насаждениях (ель, пихта), сокращение сроков жизни деревьев, изменяется структура, форма и размеры крон, ухудшается жизненное состояние деревьев. Несмотря на обширность работ по дендрэкологии, полученная автором информации об эколого-биологических свойствах дуба черешчатого в условиях промышленного загрязнения является актуальной и дополнит общую картину адаптации древесных лесобразователей к техногенезу.

2. РАЙОН, ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение эколого-биологических особенностей ассимиляционного аппарата и корневых систем дуба черешчатого проводились в пределах административно-территориальных границ зеленой зоны городского округа город Уфа.

2.1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Рельеф. Район исследований находится в пределах Прибельской увалисто-волнистой равнины, являющейся частью обширных, сильно расчлененных текучими водами равнин Высокого Заволжья. Исследуемая территория расположена в центральной части Бельско-Уфимского междуречья, на западных, северо-западных и юго-западных склонах Бельско-Сутолокской антиклинали. Через Бельско-Уфимское междуречье проходит Черкасско-Стерлибашевский вал, который имеет простираение с северо-востока на юго-запад. Данная структура состоит из значительно приподнятых (от 150 до 370 метров) широких куполовидных складок. В геологическом отношении изучаемый район представлен складчато-кристаллическим фундаментом, перекрытым мощной толщей осадочных пород: песчаников, глин, мергелей, известняков, доломитов, а также легкорастворимых гипсов и ангидритов пермского периода (Физико-географическое районирование ..., 2005). Просечена речными долинами рек Белой, Уфы, Сутолоки. Водоразделы сложены легкоразмываемыми породами, поэтому изрезаны глубокой овражно-балочной сетью и осложнены карстовыми формами рельефа (Кудряшов, 1961; Немкова, 1968; Башкортостан..., 1996).

Климат. Климат территории имеет переходный характер от умеренно-континентального к континентальному. Средняя годовая температура воздуха +2,5 °С. Средняя температура января –14,6 °С, абсолютный минимум –50 °С. Средняя температура июля +19,3 °С, абсолютный максимум +40 °С. Среднегодовое количество осадков 419 мм. За вегетационный период обычно выпадает до 70 % осадков. Наибольшее количество в июле, наименьшее в феврале. Устойчивый снежный покров устанавливается в середине ноября и лежит до 1 декады апреля. В пределах УПЦ достаточная увлажненность, теплое

лето, умеренно суровая зима. В течение года преобладает юго-западный (повторяемость ветров 26%) и южный перенос воздушных масс (24%), повторяемость штилей – 21%. В теплое время года над УПЦ формируется теплый воздух умеренных широт с частой повторяемостью ветров северных румбов (С, СЗ и СВ). Данное обстоятельство, а также расположение промышленной зоны в северной части города, отрицательно влияет на состояние растительности зеленой зоны (Алисов, 1947; Немкова, Климанов, 1968; Климат Уфы, 1987). В целом, природно-климатические условия вполне благоприятны для произрастания хвойных и мягколиственных древесных пород. Твердолиственные породы, несмотря на относительно богатые лесные почвы, не имеют хороших условий для успешного произрастания, так как сумма положительных температур вегетационного периода для них недостаточна. Кроме того, периодические засухи, сильные морозы, систематическое затопление паводковыми водами в поймах рек Уфы и Белой в сочетании с другими неблагоприятными факторами оказывают отрицательное воздействие на рост и состояние дубовых насаждений в исследуемом районе (Кучеров, 1999; Леса Башкортостана, 2004; Латыпов, 2008). На экологическую ситуацию в городе помимо техногенных факторов влияют частая повторяемость, особенно в теплое время года, слабых (менее 1 м/с) ветров, штилей, приземных инверсий и застоев воздуха способствующих усилению влияния атмосферного загрязнения Уфимского промышленного центра (Агроклиматические ресурсы..., 1976; Климат Уфы ..., 1987; Государственный доклад..., 2014).

Почвы. Почвы зеленой зоны г. Уфы изучены достаточно подробно. Почвообразующие породы представлены делювиальными и элювиально-делювиальными отложениями. Состав почвенного покрова представлен черноземом выщелоченным, черноземом оподзоленным, темно-серой лесной почвой и серой лесной почвой с различным механическим составом (главным образом тяжелосуглинистым и глинистым). Небольшими контурами встречается чернозем типичный. Наиболее представленная на территории пробных площадок серая лесная почва характеризуется содержанием до 6% гумуса в перегнойно-аккумулятивном горизонте, среднекислой реакцией почвенной суспензии.

Пологие склоны водоразделов заняты черноземами оподзоленными, на которых произрастают высокопроизводительные насаждения. Черноземы характеризуются интенсивно темно-серой, почти черной окраской гумусового горизонта, мощность которого колеблется в пределах 50-44 см с содержанием от 8,2 до 12,8% гумуса, слабокислой, нейтральной реакцией почвенного раствора ($pH=5,4-6,0$) (Тайчинов, 1975; Мукатанов, 1994).

Серые и темно-серые лесные почвы пойм отличаются от соответствующих почв водоразделов наличием песка в профиле и увлажнением. Произрастают на этих почвах дуб, липа, осина, вяз, причем производительность их ниже, чем у соответствующих пород на водораздельных участках. Почвы притеррасной поймы образуются в наиболее пониженной и отдаленной от русла реки части, в которой долго стоят паводковые воды. В этих условиях развиваются дерново-глеевые, торфянисто-глеевые и иловато-болотные почвы и характеризуются пышной растительностью (Тайчинов, 1977; Попов, 1980).

Почвообразующие породы УПЦ представлены делювиальными и элювиально-делювиальными отложениями. Состав почвенного покрова представлен черноземом выщелоченным, черноземом оподзоленным, темно-серой лесной почвой и серой лесной почвой с различным механическим составом (главным образом тяжелосуглинистым и глинистым) (Мукатанов, 1993).

Гидрография. Территория г. Уфы расположена в бассейне рек Белая, Уфа и Дема, которые являются основными водными артериями республики Башкортостан. Ширина русла р. Белой в районе г. Уфы составляет в среднем 400 м. Средний уклон русла – 6 см на 1 км, глубина 2-5 м. Правобережье реки с круто поднимающимися склонами. Средняя продолжительность ледового покрытия этих рек 168 дней, толщина льда – 60 см. Весенний ледоход с 18 апреля, замерзание с 19 ноября. После недельного ледохода наступает весеннее половодье, которое длится около месяца. Навигация длится 190 дней. Река Уфа – правый приток р. Белой, вторая по величине река Республики Башкортостан. Ширина русла – 300 м, глубина 2-3 м. Судходна в нижнем течении. Впадает в р. Белую в южной части г. Уфы. Река Дема имеет ширину в границах г. Уфы 50 м и глубину 1.5-3 м, судходна. Впадает в р. Белую в южной части г. Уфы. Поймы рек

обильны озерами, старицами, болотистыми участками и сырыми местами. Уровень почвенно-грунтовых вод колеблется в зависимости от размеров паводка (Кудряшев, 1961; Башкортостан..., 1996).

Растительность. Исследуемый район находится в пределах лесостепной зоны. Леса занимают около 39% всей территории Башкортостана. Они образованы 20 видами деревьев. Основными лесообразующими породами являются хвойные – сосна, лиственница, ель, пихта, лиственные – дуб черешчатый, липа мелколистная, береза бородавчатая, клен остролистный, тополя (черный, бальзамический, дрожащий) и др. (латинские названия перечисленных видов – см. Приложение А) (Попов, 1980, Башкортостан..., 1996; Леса Башкортостана, 2004; Латыпов, 2008; Миркин, Наумова, 2012). Эти деревья вместе с различными кустарниками образуют широколиственные леса. В таких лесах довольно богат травяной покров. В поймах рек растет осокорь (черный тополь), а также белый тополь, ива, вяз, ольха, черемуха. На севере, в лесной зоне, распространены широколиственно-темнохвойные леса (Горчаковский, 1966).

Уфимский промышленный центр входит в категорию городов с недостаточной обеспеченностью зеленой зоны лесопокрытыми площадями: на 25-и тысячах гектар зеленой зоны лесистость территории составляет 18 %, из которых 2506 га занимают древостои дуба (186 га дуб низкоствольный, 2320 га дуб высокоствольный) (Государственный лесной реестр, 2015). Несмотря на интенсивное влияние человека зеленая зона г. Уфы включает 758 видов сосудистых растений, что составляет 43% флоры Республики Башкортостан (Миркин и др., 2005). Леса УПЦ представлены преимущественно широколиственными породами с преобладанием дуба, липы, березы, ильма, осины. В травяном покрове основным растением является сныть, к которой в низменной части г. Уфы встречается чина весенняя, ясменник пахучий, копытень европейский, звездчатка злаковая, а в более высоких – вишня кустарниковая, вейник наземный, калина обыкновенная и другие. Для подлеска широколиственных лесов характерны орешник, бересклет, рябина. Хвойные леса встречаются преимущественно в искусственных лесах, где древостой формируются из сосны и ели. В южной части городских лесов под пологом дуба

можно встретить малину, ежевику, бересклет бородавчатый, вяз. В центральной части города небольшими участками сохранились широколиственные леса в составе дуба, липы, клена, березы. Пойменные леса вдоль р. Белая образуют тополя, ивы. По заболоченным участкам поймы, вдоль коренного берега, чаще встречается тополь чёрный (Попов, 1980; Башкортостан, 1996; Леса Башкортостана, 2004).

Как и во флоре Республики, ведущими травянистыми растениями являются семейства *Asteraceae*, *Posaceae*, *Fabaceae*, *Cyperaceae*, *Lamiaceae* (Миркин и др., 2005).

Травянистая растительность господствует на незастроенных участках вдоль рек Белая, Уфа, также в парках и местах отдыха. Среди основных степных трав в Уфе распространен клевер, лютик, различные ковыли, типчак, костер, пырей и другие растения. На пойменных лугах произрастает костер, пырей, мятлик, клевер. Болотная растительность представлена осоками, камышом, хвощом и другими болотными группировками (Миркин, 1985; Миркин, Наумова, 2012).

Энтомология. Анализ материалов вспышек непарного шелкопряда на территории Республики с 1970 года показал, что фазы кульминации вспышек массового размножения наблюдались в 1975-1979 гг., 1985-1989 гг., 1995-1998 гг., а большая часть площадей очагов находилась в Предуралье. Во всех исследуемых зонах в древостоях дуба наблюдалось неоднократное массовое размножение энтомовредителей: непарный шелкопряд (*Lymantria dispar* L.) 1942-1944 гг., 1950-1956 гг., 1961 г., 1978-1982 гг., 1996-1998 гг., 2010-2013 гг., кольчатый шелкопряд (*Malacosoma Neustria* L.) 1947-1950 гг., 1967 г., 2003 г., майский хрущ (*Melolontha melolontha* L.) 1987 г. На конец 2004 года очаги непарного шелкопряда зарегистрированы в 13 лесничествах на общей площади 126844 га, а в сочетании с благоприятными погодными условиями для развития непарного шелкопряда это привело к полному объеданию древостоев и дальнейшему росту очага и миграции особей вредителя на прилегающие территории (Положенцев и др., 1962; Санитарный..., 2013).

2.2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследования. На протяжении многих лет дубравы г. Уфы находятся в зоне интенсивного техногенного загрязнения. На территории района исследований дуб представлен высокополнотными молодняками, средневозрастными, спелыми и перестойными насаждениями и куртинами. Объектом исследований служили одновозрастные естественные древостои дуба черешчатого, произрастающие в пределах административно-территориальных границ Уфимского промышленного центра и испытывающие влияние многолетнего интенсивного техногенного загрязнения.

Из числа нескольких видов дуба, встречающихся на территории РФ, наиболее широко распространен дуб черешчатый. Дуб черешчатый – основная лесобразующая порода лесостепи, растёт рядом с сосной, грабом, ясенем, елью, буком. В средней лесной зоне крупных массивов не образует (Булыгин, 1991).

Древесинное, лекарственное, фитонцидное, пищевое, медоносное, красильное, кормовое, декоративное и фитомелиоративное растение. Кора и дерево дуба являются источником для получения одного из лучших дубителей. В коре содержится 10-20% дубильных веществ пирогалловой группы, галловая и эллаговая кислоты, также присутствует сахар, жиры. В жёлудях содержится до 40% крахмала, 5-8% дубильных веществ, сахара, жирное масло – до 5%. В листьях найдены дубильные вещества кверцитин и кверцитрин, а также пентозаны. Кора его является красивым дубителем, её используют непосредственно как дубильный материал, а из дерева производят дубильные экстракты и танниды (Булыгин, 1991).

Древесина дуба имеет красивую окраску и текстуру. Она плотная, крепкая, упругая, хорошо сохраняется на воздухе, в земле и под водой, умеренно растрескивается и коробится, легко колется, стойка против загнивания и домашнего грибка. Дуб используется в судостроении, мебельной промышленности, для производства клёпки, паркета, шахтных и гидротехнических сооружений, для изготовления ободьев, полозков, фанеры и строганого шпона, токарных и резных изделий, деталей конных повозок. Древесина дуба не имеет особого запаха, из неё изготавливают бочки под коньяк,

вино, пиво, спирт, уксус, масло. Особенно ценится «морёный дуб» – стволы деревьев, пролежавшие на дне озёр или рек много лет. Такая древесина приобретает необыкновенную прочность и почти чёрный цвет. Дуб даёт прекрасное топливо (Brasier, Scott, 1994).

Дуб черешчатый – весенний пыльценос. Пчёлы собирают на нём много высокопитательной пыльцы, в отдельные годы с женских цветков собирают нектар. Листья дуба содержат пигмент кверцитин, которым в зависимости от концентрации красят шерсть и валяные изделия в жёлтый, зелёный, зеленовато-жёлтый, коричневый и чёрный цвета (Горчаковский, 1966; Булыгин, 1991; Леса Башкортостана, 2004).

В научной медицине используют кору дуба, в которой, кроме дубильных веществ, содержатся эллаговая и галлусовая кислоты, углевод левулин, слизь, сахар, крахмал, белки, минеральные вещества. Она имеет вяжущие и противовоспалительные свойства. Отвар коры используют для полосканий при гингивитах, стоматитах, ангинах и при воспалении слизистой оболочки глотки и гортани, а также для лечения ожогов и при отравлениях алкалоидами и солями тяжёлых металлов. В народной медицине кору дуба используют для лечения фурункулов, для прекращения кровотечения из раны; внутренне отвар дубовой коры используют при язве желудка, при кровотечениях из желудка, чрезмерных менструальных кровотечениях, поносах и частых позывах на мочеиспускание. В виде ванн дубовую кору применяют от чрезмерного потения ног. Используют её также для лечения рахита, золотухи и т.п. Высушенные семена дуба, растолчённые в порошок, применяют при заболевании мочевого пузыря, при поносах. Из жёлудей изготавливают суррогат кофе, который является не только питательным, но и лечебным средством при желудочно-кишечных заболеваниях, рахите, анемии и золотухе у детей. Он полезен также нервным и при чрезмерных менструальных кровотечениях (Булыгин, 1991).

Дуб черешчатый используют в зелёном строительстве как декоративное и фитонцидное растение при создании пригородных роц, аллей, куртин, одиночных насаждений в парках и лесопарках (Попов, 1980; Верхунов, 1996).

Дуб рекомендуется как главная порода в лесомелиоративных насаждениях, в полевых защитных лесных полосах, в противоэрозионных насаждениях по балкам и оврагам, на смытых грунтах. Его можно высаживать вдоль оросительных каналов, поскольку его корневая система не дренирует стенок каналов и не разрушает их покрытия (Леса Башкортостана, 2004).

Для дубления шкур кору дуба заготавливают с молодых деревьев (до 20-летнего возраста). На более старых деревьях образуется корка, которая совсем непригодна и даже вредна при использовании её для дубления. Дуб черешчатый распространен почти во всей Европе до Урала. Является типичным доминантным видом зоны широколиственных лесов на Восточно-Европейской равнине. Изредка встречается и в подзоне южной тайги. В степной зоне растет главным образом по долинам рек, и в балках, образуя долинные и балочные леса. Высокие деревья до 40 м высотой и метра в диаметре с ветвистой кроной. Корневая система мощная, широко и глубоко уходит в почву. Это делает его эдификаторным видом в пределах зоны широколиственных лесов. Корневая система дуба обладает высокой регенеративной способностью. При обрезке довольно быстро восстанавливается как стержневой корень, так и боковые. В то же время на южной границе ареала дуб неконкурентоспособен с ясенем, формирующим более мощную корневую систему и характеризующимся более высокой фотосинтетической активностью (Мамаев, 2000; Громадин, Матюхин, 2010).

На северной границе ареала легко вытесняется елью (Булыгин, 1991). Цветение весеннее, одновременное с распусканием листьев. Во время сухой и теплой слабоветренной погоды лучше протекает процесс оплодотворения. Семенные годы случаются раз в 4-6 лет. На урожайность желудей могут влиять весенние заморозки в период цветения, а также повреждение долгоносиком и плодовой жоркой, вызывающих преждевременное опадение желудей. Они быстро теряют всхожесть. Распространяются птицами, в основном сойками. Дуб черешчатый возобновляется семенным путем и порослью. Семенное возобновление зависит от качества желудей, а также от условий произрастания и дальнейшего существования всходов, самосева и подроста. При хорошем плодоношении дуба, наличии незадернелой почвы, ее рыхлости, плодородия и

достаточной влажности, при хорошем освящении и отсутствии пастьбы скота дуб хорошо возобновляется семенным путем (Булыгин, 1991; Габитова, 2012).

Дуб теплолюбив. Иногда страдает от весенних заморозков. Зимние морозы также нередко повреждают деревья на северной и восточной границе ареала. Характеризуется средней теневыносливостью. На протяжении вегетационного периода энергия роста и величина прироста дуба по диаметру за одинаковые отрезки времени все время изменяется, и в разные годы кривые, отражающие эти изменения, имеют разный вид. На фоне изменения сезонного ритма ростовых процессов изменяющиеся погодные условия оказывают влияние на деятельность камбия и рост дуба по диаметру (и по объему) на протяжении вегетационного периода. Камбий интенсивно функционирует и прирост у дуба по диаметру увеличивается наиболее сильно при влажной и теплой погоде. При недостатке влаги в почвогрунте во время летней засухи рост дуба по диаметру может совершенно прекратиться и возобновиться снова после обильных дождей. В отношении влияния всего комплекса экологических условий на рост дуба по диаметру можно выразить закономерную связь: чем благоприятнее экологические условия произрастания дуба черешчатого, тем продолжительнее период его роста, выше энергия роста и больше прирост по диаметру (по объему) на протяжении вегетационного периода (Тихомиров, 1991; Кучеров, 1996).

К почве требователен. Хорошо растет на плодородных почвах. На маломощных и бедных песчаных почвах рост замедленный. Сравнительно засухоустойчив и не выносит переувлажнения. Лучше клена, ясеня и липы выносит засоление. В пределах своего естественного ареала в лесной зоне лучше всего растет и образует высокопродуктивные чистые и смешанные насаждения на более или менее глубоких слабоподзоленных дренированных суглинистых и супесчаных дерновых почвах, постилаемых мореной, карбонатными породами, а также на аллювиальных почвах речных пойм, более дренированных, в северных условиях богатых питательными веществами и менее оподзоленных (Громадин, Матюхин, 2010).

Широко распространён в Западной Европе и европейской части России, встречается на севере Африки и в западной Азии. В России границы

распространения дуба черешчатого на север и восток определяются температурными факторами, на юг и юго-восток – фактором влажности. Экологические факторы, лимитирующие распространение вида, не всегда очевидны. В Башкортостане проходит восточная граница ареала дуба черешчатого, поэтому климатические условия для него суровы (Состояние и пути..., 1975; Попов, 1980; Рубцов, Уткина, 1995; Леса Башкортостана, 2004).

2.3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методы исследования подбирались с учетом цели и задач исследования, анализа литературных данных о преимуществах и недостатках каждого из методов и практики их применения.

Вначале было проведено рекогносцировочное обследование территории Уфимского промышленного центра (Методы..., 1966; Сукачев, 1966; Клейн, Клейн, 1974; Методы..., 2002). Основываясь на приведенных выше данных о степени загрязненности атмосферы г. Уфы, а также в зависимости от удаленности от нефтехимических предприятий и степени их воздействия, район исследований был условно разделен на 3 зоны (Рисунок 1): зона сильного загрязнения, зона слабого загрязнения и контроль. После проведения рекогносцировочных обследований на территории исследования было выделено три дубовых древостоя (по одному в каждой зоне) наиболее близких по возрасту (в пределах класса возраста), условиям произрастания и таксационным показателям, согласно методике, были заложены пробные площади: ПП 1 – в зоне сильного техногенного загрязнения в 30 м от нефтеперерабатывающих заводов, ПП 2 – в жилебной зоне в 15 км от заводов (зона слабого загрязнения), ПП 3 – в южной части города, 50 км от нефтеперерабатывающих заводов (контроль).

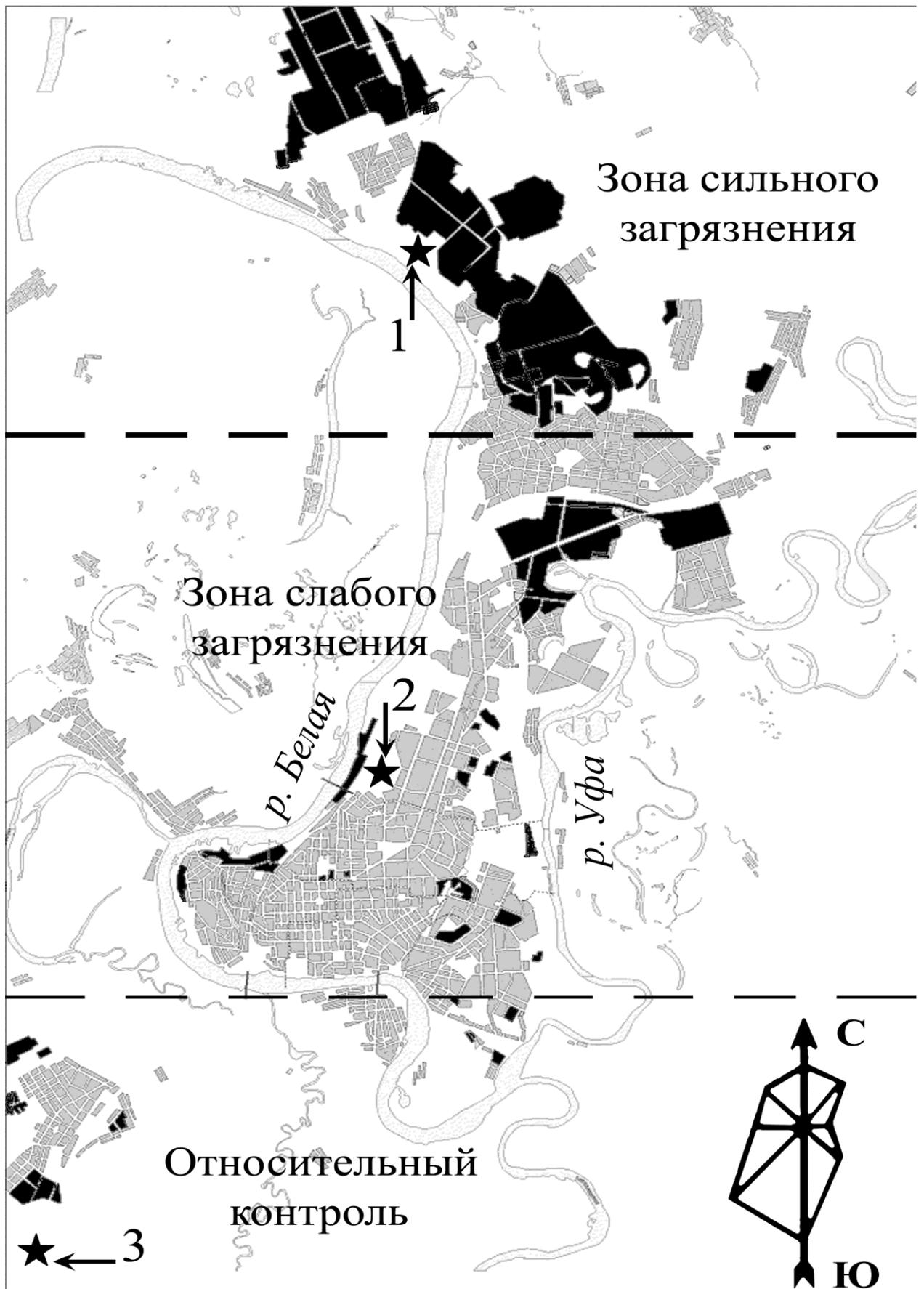


Рисунок 1 – Разделение территории исследования на условные зоны загрязнения и расположение пробных площадей

Закладка пробных площадей проводилась согласно стандартным методикам (Глазовская, 1964; Методы..., 1966; Сукачев, 1966; Клейн, Клейн, 1974; Агрохимические..., 1975; Адлер и др., 1976; Алексеев, 1990; Методы..., 2002). При закладке пробной площади использовались почвенные карты, данные по направлению и периодичности господствующих ветров, геоморфологические и фенологические данные, учитывалось также расстояние до автодороги (более чем на 300 м).

Вначале были определены первичные таксационные параметры: высота дерева, диаметр ствола на высоте 1,3 м, возраст дерева (Ушаков, 1997; Методы..., 2002). Высота деревьев замерялась эклиметром ЭВ-1 (Россия) с точностью до 0,1 м, диаметр определялся на высоте 1,3 м мерной вилкой с точностью до 0,5 см (Mantax Precision Blue MA 800 Haglof, Sweden).

После завершения работ по таксационным характеристикам насаждений была проведена оценка относительного жизненного состояния (ОЖС) насаждений дуба черешчатого, используя методику В.А. Алексеева (1990), модифицированную применительно к лиственным породам. После геоботанического описания пробных площадей (Определитель высших растений ..., 1988, 1989) проводилась визуальная оценка основных диагностических параметров жизненного состояния деревьев. Оценивались следующие признаки: густота кроны (% от нормальной густоты), наличие мертвых сучьев (в % от общего количества сучьев на стволе), степень повреждения листьев токсикантами, патогенами и насекомыми (средняя площадь некрозов, пятнистостей и объеданий в % от площади листа). Для обследованных деревьев определялись средние показатели наличия на стволе мертвых сучьев и степень поврежденности листьев различными агентами в трех условно выделенных частях кроны: верхней, средней и нижней с последующим усреднением.

Оценивалось ОЖС каждого отдельного дерева (Алексеев, 1990; Методы изучения..., 2002) с последующим выведением жизненного состояния насаждения по пяти категориям: здоровое, ослабленное, сильно ослабленное, усыхающее и сухостой по формуле:

$$L_v = \frac{100 \cdot v_1 + 70 \cdot v_2 + 40 \cdot v_3 + 5 \cdot v_4}{V},$$

где L_v – относительное жизненное состояние насаждения;

v_1 – запас древесины здоровых деревьев на пробной площади;

v_2, v_3, v_4 – то же для ослабленных, сильно ослабленных и отмирающих деревьев соответственно.

100, 70, 40, 5 – коэффициенты, выражающие (в %) относительное жизненное состояние здоровых, ослабленных, сильно ослабленных и отмирающих деревьев соответственно.

V – общий запас древесины деревьев на пробной площади (включая сухостой).

При определении принадлежности дерева к той или иной категории использовалась вспомогательная таблица 1.

Таблица 1 – Категории относительного жизненного состояния деревьев

Категория дерева	Диагностические признаки			
	густота кроны, %	наличие мертвых сучьев, %	степень повреждения листьев, %	Индекс ОЖС, %
Здоровое	85-100	0-15	0-10	80-100
Ослабленное	55-85	15-45	10-45	50-79
Сильно ослабленное	20-55	45-65	45-65	20-49
Отмирающее	0-20	65-100	65-100	5-19
Сухостой	0	100	нет листьев	<5

Изучение водного обмена листьев проводилось в полевых условиях в течение вегетационного периода (май-август). Измерения параметров водного обмена осуществлялось в последнюю декаду каждого месяца. Определялись следующие параметры: относительное содержание воды (ОСВ), дефицит водного насыщения (ДВН) и интенсивность транспирации (ИТ). Измерения проводились: утром - с 8:00 до 10:00, в полдень - с 12:00 до 14:00 и вечером – с 16:00 до 18:00 ч. Повторность – 20 листьев из нижней части кроны с нескольких экземпляров растений. ИТ воды определялась методом быстрого взвешивания на торсионных весах (Techniprot Pruszkov) с последующим экспонированием на рассеянном свете в течение 3 минут и повторным взвешиванием. Расчет ИТ – в мг воды на 1 г

сырых листьев за 1 час (мг/г в час). Определение ОСВ и ДВН листьев проводилось методом быстрого взвешивания на торсионных весах с последующим экспонированием на рассеянном свете, в эксикаторе с погруженными в воду черешками в течение 3 часов и повторным взвешиванием. Кроме того, для определения ОСВ определялся вес абсолютно сухих листьев. Расчет показателей ОСВ и ДВН – в процентах (%) (Гусев, 1966; Слейчер, 1970; Веретенников, 1980). Полевые исследования проводились в сухую погоду с равномерной облачностью в течение дня. Исключались дни для исследований, перед которыми ночью шел сильный дождь (Слейчер, 1970).

Согласно литературным источникам (Иванов, 1950; Бейдеман, 1956), для проведения анализа водного обмена древесных наряду с гидро и метеорологическими показателями атмосферного воздуха необходимым условием является непрерывная сезонная регистрация гидро и метеорологических показателей почвы. Средняя $t_{\text{воздуха}}$ в период с мая по август 2014 г. находилось в пределах $+21^{\circ}\text{C}$ $-+25^{\circ}\text{C}$, среднее атмосферное давление воздуха составляло 749-752 мм рт. ст., средняя влажность воздуха 60-62%. Средняя $t_{\text{в поверхностных слоях почвы}}$ $+14^{\circ}\text{C}$ $-+16^{\circ}\text{C}$, средняя влажность почвы на глубине 0-10 см составляла 46%.

Листья для морфологических исследований собирались в течение вегетационного периода (май, июнь, июль, август). Образцы (60 листьев) брались с нижней части кроны с южной стороны дерева на высоте до 2 м, с последующей гербаризацией, для дальнейших исследований. Из каждой партии листьев рандомизированно (Клейн, Клейн, 1974; Методы ..., 2002) выбирались 20 листьев, у которых измерялись следующие параметры: длина листа (мм), ширина листа (мм), площадь листа (см^2), длина черешка (мм). Прирост побегов (см) определяли на меченных побегах непосредственно на растущих деревьях в полевых условиях.

Длину, ширину листа и прирост побегов в длину определяли при помощи штангенциркуля с точностью до 0,01 мм. В качестве длины листовой пластинки принимали отрезок от верхушки листа до места прикрепления к нему черешка. В качестве ширины измеряли самый протяженный из отрезков, проведенных перпендикулярно тому, что был принят за длину листа. При измерении длины черешка использовали курвиметр. Площадь листовой поверхности измеряли двумя

методами: методом «палетки» и методом нанесения на миллиметровую бумагу с последующим усреднением полученных данных. При использовании метода «палетки» на прозрачном полиэтилене вычерчивали квадрат со стороной 100 мм и делили его на сто более мелких квадратов со сторонами 10 мм. Далее накладывали полиэтилен на лист и вычисляли его площадь. При втором методе каждый лист перечерчивали на миллиметровую бумагу и вычисляли площадь каждой отдельной фигуры, входящей в состав листа с последующим суммированием полученных значений. Необходимость применения двух методов при определении площади листовой пластинки продиктована недостатками обоих и разным характером погрешностей, имеющих место при их использовании (Тамм, 1977).

Длину жилок и устьичный индекс определяли на гербаризированных образцах листьев. Из каждой партии листьев рандомизированно выбирались двадцать, у которых изучалась суммарная длина жилок и количество устьиц на единице площади поверхности листа в трех условно выделенных плоскостях: апикальной, срединной и базальной с последующим усреднением. При измерениях и подсчетах использовался микроскоп Carl Zeiss Jena, Germany.

Длину жилок измеряли при помощи курвиметра на проекционном экране. Объекты предварительно отбеливались в хлорсодержащем отбеливающем растворе «Белизна» (1 часть раствора: 1 часть воды) в течение приблизительно 15 часов. Расчет морфологических показателей: длина жилок – в миллиметрах на квадратный сантиметр ($\text{мм}/\text{см}^2$), количество устьиц – штук на квадратный сантиметр ($\text{шт.}/\text{см}^2$) (Клейн, Клейн, 1974; Методы ..., 2002).

Для определения содержания пигментов в листьях дуба образцы отбирались из средней части кроны с 20 модельных деревьев (Клейн, Клейн, 1974). Листья отбирались в последнюю декаду каждого месяца вегетационного периода в период с 11:00 – 14:00 ч, поскольку в это время наблюдается наибольшее содержание пигментов в листьях. Собранные листья измельчали. Далее готовились навески массой 0,1 г, которые взвешивались на электронных весах Zakładymechanikiprecyzyjnej (Poland). После чего навески помещали в пробирки и заливали 10 мл 96%-го этилового спирта. Пробирки выдерживались в течение 12 часов в темном помещении во избежание разрушения пигментов. По

истечения указанного времени проводили измерения содержания фотосинтетических пигментов – хлорофилла *a* и *b*, а также каротиноидов методом спектрофотометрии при помощи спектрофотометра КФК – 5М (Россия). Исследования пигментного состава проводились на здоровых листья с четырех сторон одиночно стоящих деревьев с высоты 1,5 м (Пигменты пластид..., 1964; Силаева, 1978; Полевой, 1991, Кулагин, 2002). Содержание пигментов в листьях рассчитывали по следующим формулам:

$$C_{\text{хлорофилл } a} = 13,7 \cdot D_{665} - 5,76 \cdot D_{649};$$

$$C_{\text{хлорофилл } b} = 25,8 \cdot D_{649} - 7,6 \cdot D_{665};$$

$$C_{\text{каротиноиды}} = 4,695 \cdot D_{440,5} - 0,268 \cdot (C_{\text{хлорофилл } a} + C_{\text{хлорофилл } b});$$

где D_{665} , D_{649} , $D_{440,5}$ – показатели оптической плотности спиртового раствора при соответствующих длинах волн (665, 649 и 440,5 нм).

Установив концентрацию пигмента в вытяжке, определяют его содержание в исследуемой навеске с учётом объёма вытяжки и массы пробы:

$$A = \frac{V \cdot C}{P \cdot 1000} \text{ [мг/г сыр.массы]}$$

где: A — содержание пигмента в растительном материале, [мг/г сыр.массы];

V — объём вытяжки, [л];

C — концентрация пигмента, [мг/л];

P — навеска растительного материала, [г].

Рассчитывают соотношение пигментов $Chla/Chlb$ и $(Chla+b)/car$.

Количество пигментов выражают в миллиграммах на единицу сырой или сухой массы, на единицу площади листа и в % от сухой (сырой) массы.

Обычно в нормальных зелёных листьях содержание хлорофилла составляет 0,5-3,0 мг/ г сыр. массы при отношении $Chla/Chlb = 2,5-3,0$. Содержание каротиноидов – 0,1-0,5 мг/г сырой массы. Отношение $(Chla+b)/car = 3-8$, отношение ксантофиллов к каротину 3-5 (Пигменты пластид..., 1964).

Отбор почвенных образцов для определения физико-химических свойств почвы проводили методом «конверта» с каждого участка в соответствии с ГОСТ 17.4.2.01-81 и ГОСТ 17.4.3.01-85. Почвенные образцы анализировались по параметрам: гранулометрический состав, содержание гумуса, рН водный,

содержание щелочно-гидролизуемого азота, валового и подвижного фосфора, ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , нефтепродуктов. Для оценки содержания ТМ почвенные образцы отбирались по 10 см слоям до глубины 1 м. Отбор листьев дуба для определения ТМ проводили из нижней части кроны с южной стороны дерева рандомизированно. В условиях контрольно-аналитической лаборатории определялись содержание Cu, Cd, Zn, Fe, Pb методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии. Метод основан на кислотной минерализации навески пробы и последующим атомно-абсорбционным определением поглощения каждого элемента при введении в пламя ацетилен-воздух градуировочных растворов и анализируемых проб (Брицке, 1982).

На основании таксационных данных были выбраны двадцать модельных деревьев в каждой пробной площади, у которых определялся возраст при помощи дендрохронологических методов исследования. Дендрохронологические исследования проводились по общепринятым методикам (Белов, 1990; Ваганов и др., 1996; Ваганов, Шашкин, 2000; Methods..., 1990). Для установления возраста древостоев у деревьев на пробной площади на высоте 0,3 м с помощью возрастного бурава Suunto (Finland) отбирались керны. Отобранные с деревьев образцы (керны) древесины, если они в течение 1-2 суток не анализируются, то теряют натуральную влажность и укорачиваются в среднем на 3-5 % первоначальной длины (Тишин, 2011). Поэтому образцы древесины перед измерением размачивали в воде. Тогда они становятся длиннее образцов, имеющих натуральную влажность на 1-2 %. Изменение длины керна в таких пределах не влияет на точность результатов измерений (Битвинкас, 1974). Влажные образцы имеют более яркую окраску. Их поверхность лучше зачищается. Обрезка кернов проводилась острым лезвием в направлении от коры к центру образца, остро отточенной стамеской. Для датировки и измерения ширины годичных колец используется стереоскопический микроскоп-бинокуляр МБС-1, снабженный окуляр-микрометром и измерительной лупой. Точность измерений - 0,05 мм. Для выявления возрастных особенностей роста ряды и серии радиального прироста преобразуются в ряды и серии прироста по площади поперечного сечения ствола, динамика которого наглядно отражает специфику накопления стволовой биомассы деревом в его онтогенезе (Фильрозе,

1987; Веретенников, 1992; Николаева, Савчук, 2009). Для выделения на кривой площади поперечного прироста участков со сходной динамикой изменения прироста используют логарифмирование, которое подтверждает наличие этапов с определенной скоростью роста, а также переходов между ними, когда скорость роста резко изменяется (Комин, 1970; Фильрозе, 1987; Ваганов и др., 2000; Николаева, Савчук, 2009; Тишин, 2011). Данные участки со сходной динамикой изменения прироста определяют онтогенетические периоды растений, а переходы между ними – границы периодов. Изломы в пределах онтогенетических периодов указывают на стрессовое воздействие внешних факторов (Веретенников, 1992; Николаева, Савчук, 2009).

Онтогенез дуба включает следующие последовательные возрастные и структурные физиологические периоды: латентный, виргинильный, генеративный и сенильный. Каждому из периодов соответствует определенное онтогенетическое состояние. Латентный – семена, желуди. Виргинильный период обычно имеет состояния: проростков, ювенильное, имматурное, виргинильное. В этот период развития растения полностью освобождаются от палеоморфных структур, формируются настоящие листья, стволовая древесина, перидерма, крона, разветвленная корневая система, возрастает резистентность тканей и стабильность протекания физиолого-биохимических процессов. Генеративный период проходит в молодом, среднем и старом генеративном состоянии. Этот период характеризуется высокой скоростью роста, увеличением накопления биомассы и активным приростом и плодоношением дуба. Сенильный период обычно растянут на несколько десятков лет и проходит в субсенильном, сенильном и отмирающем состоянии. В этом периоде наблюдается сокращение регенерационных способностей, происходят структурные и физиологические изменения, приводящие к снижению прироста, усилению деструктивных пропорций и снижению устойчивости к воздействию окружающей среды. Переход деревьев в каждое последующее состояние и прохождение всех периодов онтогенеза возможно лишь при наличии оптимальных условий, необходимых и достаточных для роста и развития растений (Ловелиус, 1972; Кулагин, 1974; Антанайтис, 1981; Алексеев, 1990; Усманов и др., 2001). Результаты описанных

реакций прироста различных пород деревьев на уровень промышленного загрязнения окружающей среды позволяют активно использовать дендрохронологический метод при биоиндикации состояния лесных насаждений.

Измерения проводились от периферии к центру образца. Последнее годовое кольцо (год взятия образца) измеряли, но в расчеты не включали. Измеряли, и в дальнейшем анализировали общую ширину годового кольца и отдельно ширину поздней и ранней зоны годового кольца. Сдатировано и измерено более 70 кернов различного возраста (от 56 до 74 лет).

Далее были проведены расчеты прироста ствола по объему с целью характеристики средней продуктивности (средней скорости роста ствола дерева) возможным показателем влияния качества среды произрастания (Ваганов, Шашкин, 2000).

Прирост ствола по объему (Z_v) определяли по формуле:

$$Z_v = \sqrt{\frac{V}{A}}, \text{ м}^3/\text{ГОД},$$

где V – объем ствола, м^3 ;

A – возраст дерева.

Объем ствола рассчитывали по формуле Денцина (Ушаков, 1997):

$$V = 0,001 \cdot D^2_{1,3},$$

где D – диаметр ствола (на высоте 1,3 м), м.

Исследование корневых систем проводили методом количественного учета – методом монолитов (Красильников, 1950; Рахтеенко, 1952; Тарановская, 1957; Шалыт, 1960; Ильин, 1961; Орлов, 1967; Рахтеенко, Якушев, 1968; Колесников, 1972).

При отборе корневых систем использовали монолиты размером 20x20 см объемом 4 000 см^3 (высота монолита 10 см). Почвенные столбы (монолиты) закладывались вдоль траншеи так, чтобы одна сторона почвенного столба являлась стенкой траншеи. В каждой траншее закладывалось по 10 почвенных столбов (монолитов). Почвенные образцы отбирались по 10 см слоям до глубины 1 м. Выборку корней проводили при помощи пинцета с последующей отмывкой корней водой на ситах с диаметром ячеек 0,25 мм. После отмывки корней

производили их разделение на фракции. В исследованиях использовали дробность фракций, предложенную И.Н. Рахтеенко: до 1 мм – поглощающие, 1-3 мм – проводящие, более 3 мм – скелетные. Вес корней определялся в воздушно-сухом состоянии на электронных лабораторных весах ВЛТЭ-150 с точностью до 0,001 г (Госметр, Россия). Корненасыщенность почвы определяли на единицу площади горизонтальной поверхности (г/м^2).

Важным аспектом характеристики корневой системы является равномерность распределения корней в пределах почвенного разреза. Для оценки равномерности распределения корневых систем по почвенному профилю рассчитан коэффициент, предложенный Сейдафаровым Р.А. (2009).

$$K_p = \frac{|\Delta_1| + |\Delta_2| + |\Delta_3| + \dots + |\Delta_{n-1}| + |\Delta_n|}{n-1},$$

где K_p - коэффициент равномерности распределения корней в почве; $|\Delta_1|$, $|\Delta_2|$, ... Δ_n - модуль разности значений исследуемого количественного параметра (количество выходов корней, масса, длина корней) между двумя соседними десятисантиметровыми слоями; n – количество измерений.

Данная формула позволяет количественно оценить степень равномерности распределения корней в почве. Чем меньше значения K_p (коэффициента равномерности), тем корни в почве распределены более равномерно.

2.4. РАСПОЛОЖЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЕЙ

Пробные площади в древостоях дуба черешчатого закладывались на разном удалении от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха – группы Уфимских нефтеперерабатывающих заводов (Уфимских НПЗ) (см. Рисунок 1). Таксационная характеристика пробных площадей представлена в таблице 2.

Как видно из таблицы, при усилении степени загрязнения прослеживается четкая тенденция ухудшения таких важных таксационных параметров древостоя, как диаметр, высота, полнота, класс бонитета, запас древостоя и прирост стволов по объему.

Таблица 2 – Таксационная характеристика пробных площадей в дубовых древостоях на территории УПЦ

Местоположение	Состав древостоя	Средний возраст, лет	Средний * диаметр, см	Средняя высота, м	Полнота	Класс бонитета	Запас, м ³ га	Прирост по объему, м ³
Зона сильного загрязнения	8Д 1Лп1 Кл+В	61	24	18	0,5	III	264	0,08
Зона слабого загрязнения	6Д4Лп+В ед Кл	71	26	19	0,6	II	278	0,10
Условный контроль	8Д2Лп +Б	72	26	19	0,9	II	308	0,11

Приведем морфологические описания почвенных разрезов:

Разрез №1 – Зона сильного загрязнения, (в 30 м от нефтеперерабатывающих заводов) естественный древостой дуба черешчатого, почва – серая лесная

A ₀ 0-2 см	Лесная подстилка, растительные остатки (частично разрушенные).
A ₁ 3-25 см	Гумусово-аккумулятивный. Темно-серый, сухой, средний суглинок, мелко-средне-ореховатый, включения корней, переход постепенный
A ₁ B 25-39 см	Элювиальный. Серый, сухой, средний суглинок, мелко-ореховатый, включения корней и мелкой щебенки, гипса, вскипает от 10% соляной кислоты, переход постепенный
B 39-60 см	Иллювиальный. Серовато-коричневый, влажноватый, суглинок, мелко-средне комковатый, вскипает от 10% соляной кислоты, переход заметный
Д 60-80 см	Плотная щебенка гипса.

Разрез № 2 – Зона слабого загрязнения (селитебная зона), естественный древостой дуба черешчатого, почва – серая лесная

A ₀ 0-3 см	Лесная подстилка, опад растений.
A ₁ 3-29 см	Гумусово-аккумулятивный. Темно-серый, сухой, средний суглинок, мелко-средне-ореховатый, включения корней, переход постепенный
A ₁ B 29-45 см	Элювиальный. Серый, сухой, средний суглинок, мелко-средне-комковатый, включения корней, переход постепенный
B 45-72 см	Иллювиальный. Серовато-коричневый, влажноватый, средний суглинок, крупно-комковатый, вскипает от 10% соляной кислоты, переход постепенный
C 72-100 см	Светло-коричневый, влажный, глина, бесструктурная, белоглазка карбонатов

Разрез № 3 – Зона условного контроля (50 км южнее от нефтеперерабатывающих заводов), естественный древостой дуба черешчатого, почва – серая лесная

А 0-3 см	Лесная подстилка, растительные остатки.
А ₁ 3-24 см	Гумусово-аккумулятивный. Серый, сухой, средний суглинок, мелко-средне-ореховатый, переплетен корнями, переход постепенный
А ₁ В 24-37 см	Элювиальный. Серый, сухой, средний суглинок, крупно-средне-ореховатый, переплетен корнями, переход постепенный
В 37-49 см	Иллювиальный. Серовато-коричневый, влажноватый, суглинок, средне-крупно комковатый, включения мелкой гальки, переход постепенный
С 49-110 см	Рыжевато-коричневая, влажноватая, глина, плотная, бесструктурная, вскипает от 10% соляной кислоты с глубины 110 см.

Исследования показали, что почвенный покров УПЦ представлен серыми лесными почвами, характеризующимися очень слабыми признаками оподзоливания и неглубоким залеганием карбонатов. По содержанию гумуса почвы всех зон относятся к среднегумусовым почвам 4-6 % (Таблица 3). В контроле степень гумусированности изменяется от 4,08% в горизонте А₁ и до 0,68% в горизонте С. В зоне слабого загрязнения степень гумусированности меняется от 3,90% в горизонте А₁ и до 0,89% в горизонте С. В зоне сильного загрязнения степень гумусированности несколько выше, чем в контроле и зоне слабого загрязнения – от 5,19% в горизонте А₁ и до 1,45% в горизонте В. При усилении степени загрязнения наблюдается увеличение степени гумусированности почвы.

Таблица 3 – Физико- химические и химические свойства почв дубовых древостоев на территории УПЦ

Местоположение	горизонт, мощность, см	рН _{H2O}	Гумус,%	N, щелгидр., мг/кг	P		Ca, мг- экв/100г почвы	Mg, мг- экв/100г почвы	Нефтепроду кты, мг/кг
					Валовый, мг/кг	Подвижный, мг/100г почвы			
Зона сильного загрязнения	A ₁ 0-25	6,74±0,01*	5,19±0,03*	364±4,6*	141,4±0,15*	3,9±0,04	57±1,73*	13±0,58	580±7,51*
	A ₁ B 25-39	7,26±0,006*	3,14±0,02*	112±1,73*	118,9±0,06*	5,3±0,09*	51±1,16*	10±1,16	470±4,62*
	B39-60	7,46±0,006*	1,45±0,04	84±1,15*	106,6±0,12*	4,5±0,03	44±1,73*	10±1,53	80±1,16*
	C 61-90	7,58±0,008	1,0±0,03	68±1,53	98,4±0,03	3,2±0,06	37±1,2	9±1,4	32±3,1*
Зона слабого загрязнения	A ₁ 0-29	6,25±0,01*	3,9±0,17*	196±1,73*	135,2±0,15*	5,4±0,08*	42±2,01*	13±1,53	280±2,31*
	A ₁ B 29-45	6,56±0,006*	2,88±0,08	154±1,73*	101,5±0,07*	5,10±0,15	49±1,53	10±1,16	150±4,62*
	B 45-72	7,48±0,006	1,35±0,04	70±1,73	106,6±0,06*	5,3±0,08	47±1,53	10±2,01	Следы
	C 72-100	7,61±0,006	0,89±0,02	56±1,15	100,4±0,11	4,8±0,06	41±1,58	10±1,16	0
Условный контроль	A ₁ 0-24	6,18±0,01	4,08±0,03	294±0,58*	100,4±0,76*	4,1±0,15*	34±1,16	11±1,16	0
	A ₁ B 24-37	5,68±0,006	2,13±0,04	126±1,15	147,5±0,54	4,0±0,12	34±1,0	10±1,53	0
	B 37-49	5,67±0,006	1,24±0,05	70±0,58	86,1±0,12	5,5±0,17	34±1,53	13±0,58	0
	C 49-100	7,22±0,006	0,68±0,06	56±0,58	100,4±0,12	4,6±0,15	40±2,5	13±1,16	0

*различия между зонами загрязнения достоверны при уровне значимости 95%, число степеней свободы n=5

Почвы УПЦ также характеризуются относительно высоким содержанием щелочно-гидролизуемого азота. При усилении загрязнения отмечается увеличение щелочно-гидролизуемого азота: в гумусово-аккумулятивных горизонтах его содержание увеличивается от 294 мг/кг в контроле и 194 мг/кг в зоне слабого загрязнения до 364 мг/кг в зоне сильного загрязнения.

Почвы зоны сильного и слабого загрязнения характеризуются наличием в них нефтепродуктов. В зоне сильного загрязнения наибольшее содержание нефтепродуктов наблюдается в гумусово-аккумулятивном горизонте A_1 – до 580 мг/кг и незначительно уменьшается по мере углубления (наблюдается вымывание нефтепродуктов в более глубокие горизонты почвы) – до 80 мг/кг на горизонте В. В зоне слабого загрязнения наибольшее содержание нефтепродуктов также наблюдается на поверхностных слоях почвы до 280 мг/кг на горизонте А и 150 мг/кг на горизонте АВ. В контроле содержания нефтепродуктов не обнаружено. При усилении степени загрязнения наблюдается увеличение содержания в почве нефтепродуктов примерно в 2 раза.

Между содержанием нефтепродуктов и гумусом в зоне сильного загрязнения наблюдается положительная корреляция ($r = 0,93$), таким образом, загрязнение почв приводит к увеличению содержания гумуса. Аналогичная ситуация в зоне сильного загрязнения наблюдается по соотношению нефтепродуктов и азота ($r = 0,85$), что также демонстрирует повышение уровня азота в почве за счет уровня увеличения в почве нефтепродуктов.

Коэффициент корреляции между нефтепродуктами и гумусом в зоне слабого загрязнения положителен ($r = 0,84$), корреляция между нефтепродуктами и азотом также имеет положительное значение ($r = 0,82$), что говорит о том, что повышение уровня нефтепродуктов ведет к увеличению уровня азота в почве.

В почвах зоны сильного загрязнения отмечается повышенное содержание щелочно-гидролизуемого азота, что вероятнее всего связано с деятельностью заводов и выбросами продукции переработки нефти и его аккумуляцией в течение нескольких десятилетий на поверхности почвы.

Аналогичные результаты были показаны Кодиной (1988) и Кахаткиной (1986) которые отмечали, что при загрязнении нефтью увеличивается в 1,5–3 раза абсолютное содержание органических соединений, не растворяющихся в процессе фракционирования гумуса или так называемого негидролизуемого остатка (НО). Было установлено, что чем сильнее выражено нефтяное загрязнение и больше срок взаимодействия нефти с почвой, тем в большей степени происходит возрастание содержания НО, за счет углеводов нефти (Кодина, 1988; Халимов, 1996). Новообразованные высокомолекулярные соединения могут закрепляться в почве в виде прочного органоминерального комплекса, и не извлекаться из почвы органическими растворителями (Батуева и др., 1984; Кодина, 1988; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Ильин, 1991; Донник, 1996).

Почвы УПЦ во всех зонах характеризуется низкой обеспеченностью подвижным фосфором. Содержание подвижного фосфора на поверхностных слоях почвы изменяется от 4,0 мг/100 г в контроле и 4,5 мг/100 г в зоне слабого загрязнения, до 3,9 мг/100г в зоне сильного загрязнения. Почвы района исследований характеризуются слабой обеспеченностью валовым фосфором. Содержание валового фосфора изменяется от 100,4 мг/кг в контроле, и 135,2мг/кг в зоне слабого загрязнения, до 141,4 мг/кг в зоне сильного загрязнения. Строгой закономерности изменения содержания фосфора под влиянием загрязнения не выявлено.

Кислотность почвы изменяется от слабокислой (на поверхностных слоях почвы от 6,18 в контроле и 6,25 в зоне слабого загрязнения) до щелочной (6,74 в зоне сильного загрязнения). В целом, при усилении степени загрязнения наблюдается некоторое подщелачивание почвы.

Содержание ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} на поверхностных слоях почвы варьирует от 34 мг-экв/100 г в контроле до 57 мг-экв/100 г в зоне сильного загрязнения и с 11 мг-экв/100 г в контроле до 13 мг-экв/100 г в зоне сильного загрязнения соответственно. Среди поглощающих оснований преобладают ионы Ca^{2+} .

Таким образом, результаты анализов почв показали, что повышенное содержание гумуса, щелочно-гидролизуемого азота и повышенная кислотность

почвы в зоне сильного загрязнения, по сравнению с остальными зонами, объясняется наличием в почве остаточных продуктов нефтепереработки, а также их поступлением в виде растворов углеводов различных классов (остаточных продуктов обессоливания и очистки) с территории заводов. На такие параметры как содержание валового и подвижного фосфора, ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} степень промышленного загрязнения практически не оказывает никакого влияния и изменения значений этих параметров незначительны.

При помощи дендрохронологических методов установлено, что древостой дуба черешчатого в заложенных пробных площадях имеют средний возраст 61-72 лет, что соответствует средневозрастной группе возраста для твердолиственных пород (Ушаков, 1997; Методы..., 2002; Леса Башкортостана, 2004).

Ниже приводится характеристика пробных площадей дуба черешчатого, расположенных в пределах административных границ Уфимского промышленного центра.

ПП № 1. Расположена на расстоянии приблизительно 30-35 м от группы Уфимских НПЗ; зона сильного загрязнения; естественный древостой; возраст 61 год.

Первый ярус: 8 Дуб черешчатый 1 Липа мелколистная 1 Клен остролистный + Вяз шершавый; $D_{ср}$ = 24 см; $H_{ср}$ = 18 м; полнота 0,5; бонитет III.

Подрост: дуб черешчатый, редкий.

Подлесок: клен остролистный, лещина обыкновенная, бересклет бородавчатый, ежевика сизая, вишня кустарниковая, калина обыкновенная, рябина обыкновенная, редкий.

Живой напочвенный покров (ЖНП): купена душистая, полынь горькая, полынь обыкновенная, лазурник трехлопастный, молочай Вальтштейна, чертополох Термера, звездчатка жестколистная, коротконожка перистая, василек шероховатый, перловник поникающий, серпуха венценосная, орляк обыкновенный, зопник клубненосный, спаржа лекарственная, подмаренник душистый, коровяк фиолетовый, фиалка удивительная, вероника дубровник, чина Литвинова, проективное покрытие 10 %.

ПП № 2. Расположена в центральной селитебной зоне городского округа г.Уфа, зона слабого загрязнения; естественный древостой; возраст 71 лет.

Первый ярус: 6 Дуб черешчатый 4 Липа мелколистная +Вяз шершавый ед.Клен остролистный; Дср=26; Нср=19 м; полнота 0,6; бонитет II.

Подрост: дуб черешчатый, вяз шершавый; ясень обыкновенный, липа мелколистная, густой.

Подлесок: клен остролистный, лещина обыкновенная, бересклет бородавчатый, рябина обыкновенная, черемуха обыкновенная, ежевика сизая, редкий.

ЖНП: купена душистая, чертополох Термера, овсяница лесная, борец высокий, овсяница луговая, норичник шишковатый, чистотел большой, колокольчик крапиволистный, воронец колосовидный, гравилат городской, мать-и-мачеха обыкновенная, осока лесная, чина Литвинова, полынь горькая, одуванчик лекарственный, подорожник большой; проективное покрытие 25 %.

ПП № 3. Расположена на окраине южной селитебной части города; зона относительного контроля, естественный древостой; средний возраст 72 года.

Первый ярус: 8 Дуб черешчатый 2 Липа мелколистная + Береза повислая; Дср=26 см; Нср=19 м; полнота 0, 9; бонитет II.

Подрост: дуб черешчатый, липа мелколистная, густой.

Подлесок: клен остролистный, вяз шершавый, клен остролистный, черемуха обыкновенная, бересклет бородавчатый, смородина черная, густой

ЖНП: фиалка удивительная, копытень европейский, чина весенняя, сныть обыкновенная, осока лесная, колокольчик крапиволистный, борец высокий, лопух большой, орляк обыкновенный, гравилат городской, гравилат речной, крапива двудомная, подмаренник душистый, кострец безостый, звездчатка жестколистная; проективное покрытие 40%.

3. ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В УСЛОВИЯХ УФИМСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА

3.1. ЖИЗНЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВОСТОЕВ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В УСЛОВИЯХ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Оценка ОЖС дуба черешчатого в условиях промышленного загрязнения Уфимского промышленного центра позволила выявить ряд особенностей. Промышленное загрязнение оказывает сильное влияние на жизненное состояние древостоев дуба. Под влиянием техногенных факторов происходит существенное изменение соотношения между категориями жизненного состояния деревьев (Таблица 4).

В условиях максимального уровня загрязнения в окрестностях нефтеперерабатывающих заводов отмечается ослабление и гибель древостоев. ОЖС насаждений оценивается в целом как «сильно ослабленное», в то же время встречаются, с разной частотой, деревья всех категорий, в том числе и сухих. Ниже приводится комплексное описание основных диагностических признаков относительного жизненного состояния древостоев дуба в зависимости от уровня техногенной нагрузки.

Древостой на ПП № 1. Состояние дуба характеризуется как «сильно ослабленное» ($L_V = 43\%$), липа, относятся к категории «ослабленных» ($L_V = 72\%$). В данном древостое имеется наибольшее среди всех исследованных пробных площадей количество деревьев, относящихся к категории «сухостоя», и наименьшее количество «здоровых» деревьев. Кроме того, данный древостой характеризуется наименьшими значениями густоты кроны (50%) и наибольшим количеством мертвых сучьев на стволе (55%). Наибольшее количество мертвых и отмирающих ветвей сосредоточено в верхней и средней части кроны. Более 40% площади листовых пластинок характеризуются наличием хлорозов и некрозов. Некротические зоны, составляющие большинство поражений, сосредоточены как на адаксиальной, так и на абаксиальной поверхности листа. Симптомами

вредного воздействия служат бронзовая окраска листьев, а также хлоротичные пятна и некрозы. Примерно половина зон поражения кажутся мокрыми, имеют темно-зеленую и местами тускло-черную окраску. Поражения преимущественно расположены в средней части листовой пластинки в межжилковых промежутках. Энтомопоражения зарегистрированы в сравнительно большом (более 35-40%) количестве в основном в центральной части листовой пластинки. Деревья, поврежденные различными гнилями, в 65% случаев имеют не заросшие морозобойные трещины. Ослабленные деревья чаще подвергаются воздействию стволовых вредителей.

Таблица 4 – Относительное жизненное состояние дубовых древостоев на территории УПЦ

Местоположение	Порода	Сумма объемов ствола (м ³)						ОЖС насаждения	
		Здоровые	Ослабленные	Сильно ослабленные	Усыхающие	Свежий сухой	Старый сухой	L _v , %	Категория
Зона сильного загрязнения	Д	-	6,96	13,14	1,26	2,21	0,14	43	Сильно ослабленные
	Лп	1,67	2,36	0,91	-	0,16	-	72	Ослабленные
	Кл	1,63	0,58	-	-	-	-	92	Здоровые
	В	-	0,87	-	-	-	-	70	Ослабленные
Зона слабого загрязнения	Д	9,13	11,38	1,27	-	0,44	-	79	Ослабленные
	Лп	10,85	1,88	-	-	0,52	0,78	89	Здоровые
	Кл	2,25	-	-	-	-	-	91	Здоровые
	В	0,39	5,25	-	-	-	-	72	Ослабленные
Условный контроль	Д	20,03	6,76	-	-	0,59	-	91	Здоровые
	Лп	7,62	0,38	-	-	-	-	98,5	Здоровые
	Б	1,1	-	-	-	-	-	96	Здоровые
	Кл	0,23	-	-	-	-	-	98	Здоровые

Древостой на ПП № 2. Состояние дуба характеризуется как «ослабленное» ($L_V = 79\%$). Липа по данному показателю ближе к категории «здоровой» с признаками ослабления ($L_V = 89\%$). Вяз относится к категории «ослабленных» ($L_V = 72\%$), в то же время зарегистрировано достаточно большое количество «здоровых» деревьев клена ($L_V = 98\%$). Деревья имеют лучше сформированную крону, чем в зоне сильного загрязнения (густота кроны – 60%). Стволы достаточно хорошо очищаются от мертвых сучьев: их количество составляет меньше 1/3 от общего количества ветвей. Мертвые ветви распространены в пределах кроны весьма равномерно, и составляет около 15% всей кроны. Листья характеризуется слабым поражением хлорозами (не более 20%, в среднем – 0-15%). Некротических пятен зарегистрировано несколько больше (в среднем 10-30%). Они имеют преимущественно зеленовато-черную либо зеленовато-серую окраску. До 50% энтомопораженных участков, локализованных преимущественно в центральной части листовой пластинки между жилками (дубовой листоверткой). В целом листья поражены на треть от своей площади (35%).

Древостой на ПП № 3. Данный древостой – единственный из всех, который характеризуется «здоровыми» деревьями дуба ($L_V = 91\%$), липы ($L_V = 98\%$), клена ($L_V = 98\%$), березы ($L_V = 96\%$). По-видимому, подобному состоянию насаждения благоприятствует целый комплекс факторов: удаленность от источников нефтехимического загрязнения, населенного пункта, а также микроклиматические особенности. В древостое отмечено наименьшее количество ослабленных деревьев дуба и «свежего сухостоя». Характерным является также полное отсутствие деревьев, относящихся к категории «сильно ослабленных». Отмечено максимальное среди всех исследованных древостоев среднее значение густоты кроны (85%), наименьшие значения таких параметров, как наличие на стволе мертвых сучьев (15%) и степень поврежденности листьев (60%). Мертвые и отмирающие ветви расположены преимущественно в верхней части кроны. Хлорозов и некротических образований не наблюдается. Энтомопоражения локализованы в периферической части листа и представляют собой небольшие участки светло-серого цвета.

Выводы

1. Усиление промышленного загрязнения сопровождается значительным ухудшением жизненного состояния древостоев дуба: в зоне сильного загрязнения они относятся к категории «сильно ослабленные» (основные диагностические признаки ухудшения состояния – значительное повреждение суммарной листовой поверхности (более 40%), снижение густоты кроны (до 50%) и наличие мертвых сучьев в верхней части кроны (до 55%)), в зоне слабого загрязнения – к категории «ослабленные» (основным диагностическим признаком ухудшения состояния является только снижение густоты кроны (до 60%), наличие мертвых сучьев до (15%)), в контроле – к категории «здоровые» (диагностические признаки ухудшения состояния незначительны).

3.2. МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПАРАМЕТРОВ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

3.2.1. ДЛИНА ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ

Средняя длина листа дуба черешчатого в рассматриваемых условиях, в течение вегетационного периода находится в пределах 8,1-12,1 см (Рисунок 2, Приложение А). В конце вегетационного периода у сформировавшихся листьев при усилении промышленного загрязнения наблюдается значительное и достоверное уменьшение длины листовой поверхности (с 12,1 см в контроле до 8,1 см в зоне сильного загрязнения), что является усилением ксероморфности данного параметра. В условиях сильного загрязнения в течение вегетационного периода происходит незначительное увеличение длины листа (с 8,1 в мае до 8,2 см в августе), в зоне слабого загрязнения – незначительное уменьшение (с 11,5 см в мае до 11,3 см в августе), а в контроле – незначительное увеличение (с 11,8 см в мае до 12,1 см в августе). В зонах сильного и слабого загрязнения наблюдается общая закономерность – уменьшение длины листа в июле относительно общей вегетационной динамики.

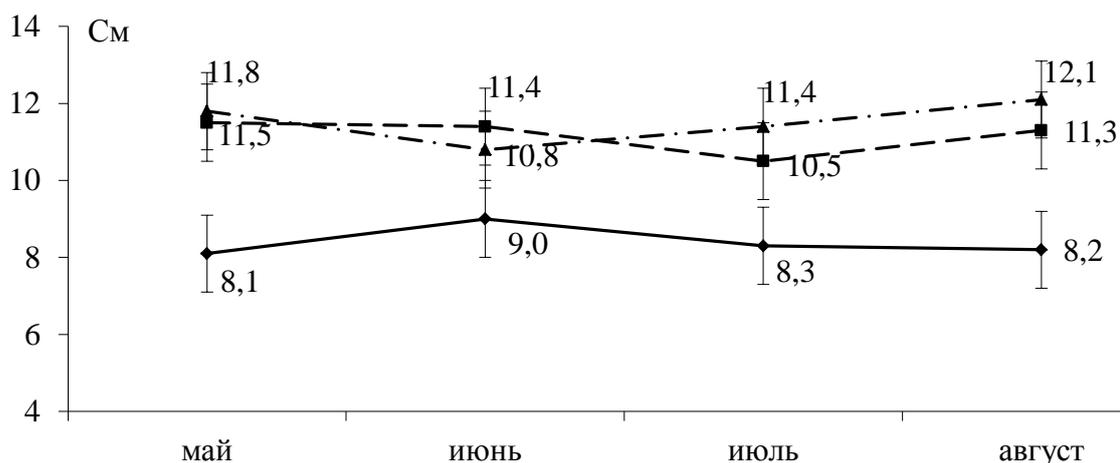


Рисунок 2 – Длина листовой пластинки дуба на территории УПЦ, см. Здесь и далее по разделу «Морфологическая характеристика параметров ассимиляционного аппарата дуба черешчатого в условиях техногенного загрязнения» условные обозначения: —◆— зона сильного загрязнения, —■— зона слабого загрязнения, —▲— контроль

*- различие между зонами загрязнения достоверно при уровне значимости $W=5\%$, число степеней свободы $\nu=18$, значении критерия Стьюдента $t_{теор}=2,04$

3.2.2. ШИРИНА ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ

Средняя ширина листа в течение вегетационного периода находится в пределах от 4,9 см до 6,5 см (Рисунок 3, Приложение А). В конце вегетационного периода у сформировавшихся листьев при усилении промышленного загрязнения наблюдается незначительное и недостоверное увеличение ширины листа (с 5,5 см в контроле до 5,9 см в зоне сильного загрязнения), что является ослаблением ксероморфности данного параметра. В условиях сильного загрязнения в течение вегетационного периода происходит незначительное увеличение ширины листа (с 5,7 см в мае до 5,9 см в августе), в зоне слабого загрязнения ширина листа не меняется (с 6,1 см), в контроле – незначительное увеличение (с 4,9 см в мае до 5,5 см в августе). Во всех зонах наблюдается общая закономерность – уменьшение ширины листа в июле относительно общей вегетационной динамики.

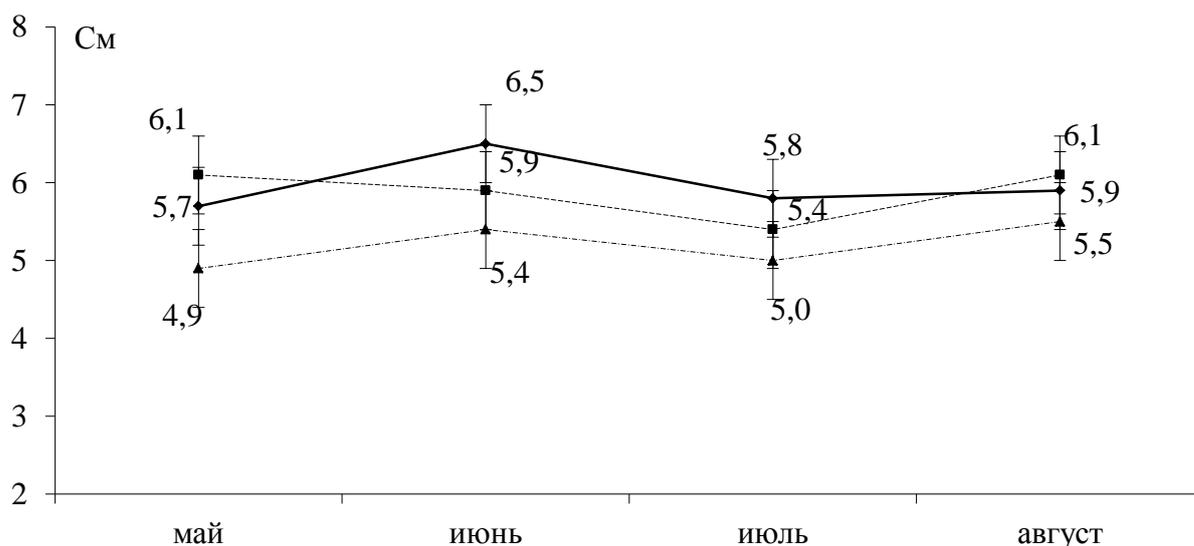


Рисунок 3 – Ширина листовой пластинки дуба на территории УПЦ, см

*- различие между зонами загрязнения достоверно при уровне значимости $W=5\%$, число степеней свободы $\nu=18$, значении критерия Стьюдента $t_{теор}=2,04$

3.2.3. ПЛОЩАДЬ ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Средняя площадь листовой поверхности дуба черешчатого в течение вегетационного периода находится в пределах от $22,4 \text{ см}^2$ до $38,2 \text{ см}^2$ (Рисунок 4, Приложение А). В конце вегетационного периода у сформировавшихся листьев площадь листовой пластинки при усилении степени загрязнения значительно и достоверно уменьшается (с $32,0 \text{ см}^2$ в контроле до $22,9 \text{ см}^2$ в зоне сильного загрязнения), что является усилением ксероморфности данного параметра. В условиях сильного загрязнения в течение вегетационного периода наблюдается незначительное уменьшение площади листовой пластинки (с $24,3 \text{ см}^2$ в мае до $22,9 \text{ см}^2$ в августе), в зоне слабого загрязнения – значительное и достоверное уменьшение (с $38,2 \text{ см}^2$ в мае до $33,8 \text{ см}^2$ в августе), а в контроле – незначительное увеличение (с $30,1 \text{ см}^2$ до 32 см^2). Во всех зонах наблюдается общая закономерность – уменьшение площади листа в июле относительно общей вегетационной динамики.

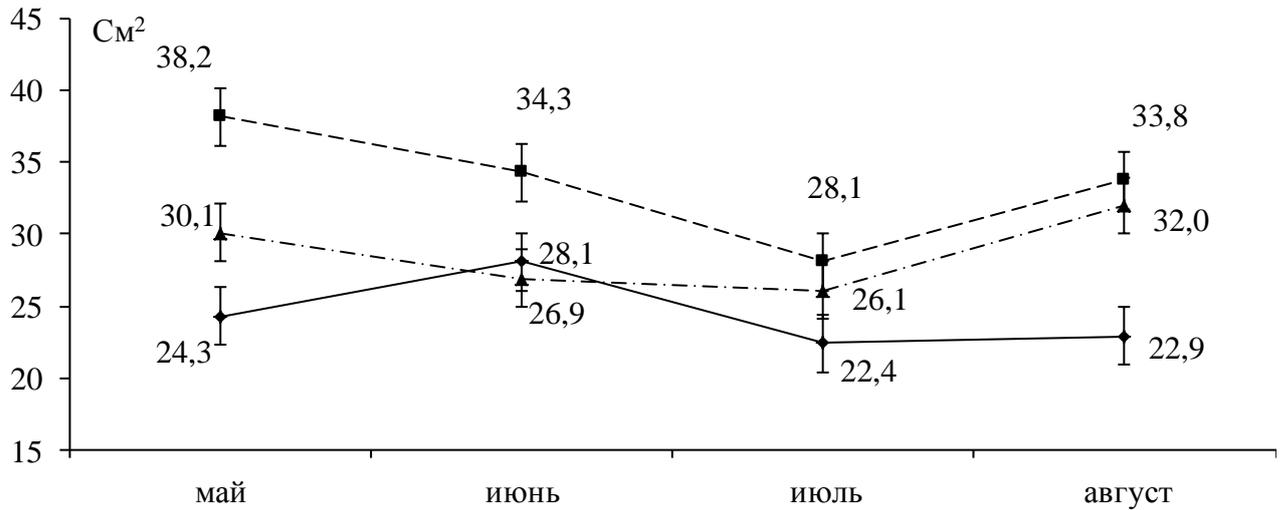


Рисунок 4 – Площадь листовой поверхности дуба на территории УПЦ, см²

*- различие между зонами загрязнения достоверно при уровне значимости $W=5\%$, число степеней свободы $\nu=18$, значении критерия Стьюдента $t_{теор}=2,04$

3.2.4. ДЛИНА ЧЕРЕШКА

Средняя длина черешка (Рисунок 5, Приложение А) в течение вегетационного периода находится в пределах 0,5-0,9 см. В конце вегетационного периода у сформировавшихся листьев при усилении степени промышленного загрязнения наблюдается незначительное уменьшение длины черешка (с 0,7 см в контроле до 0,6 см в зоне сильного загрязнения), что является усилением ксероморфности данного параметра. В условиях сильного загрязнения в течение вегетационного периода длина черешка не меняется (0,6 см), в зоне слабого загрязнения – незначительно уменьшается (с 0,6 см в мае до 0,5 см в августе), в контроле – незначительно увеличивается (с 0,5 см в мае до 0,7 см в августе). Общих закономерностей в рассматриваемых зонах в вегетационной динамике не наблюдается.

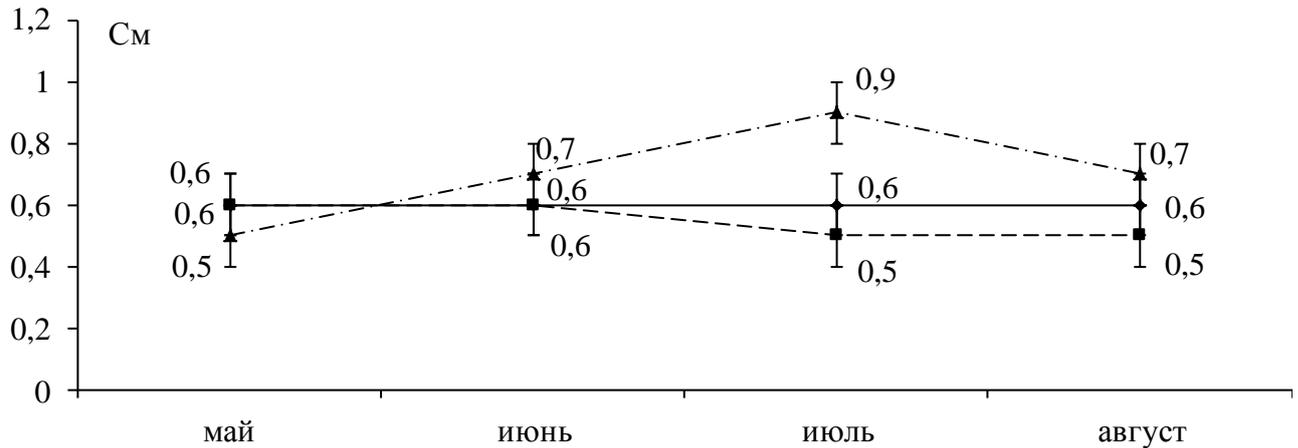


Рисунок 5 – Длина черешка листьев дуба на территории УПЦ, см

*- различие между зонами загрязнения достоверно при уровне значимости $W=5\%$, число степеней свободы $\nu=18$, значении критерия Стьюдента $t_{теор}=2,04$

3.2.5. УСТЬИЧНЫЙ ИНДЕКС

Значения устьичного индекса дуба черешчатого варьирует от 115 до 151 шт/см² (Рисунок 6, Приложение А). В конце вегетационного периода у сформировавшихся листьев при усилении степени промышленного загрязнения наблюдается незначительное уменьшение устьичного индекса (со 131 шт/см² в контроле до 119 шт/см² в зоне сильного загрязнения), что является ослаблением ксероморфности данного параметра. В условиях сильного загрязнения в течение вегетационного периода устьичный индекс незначительно увеличивается к середине вегетации (со 120 шт/см² в мае до 151 шт/см² в июне) и значительно уменьшается к концу вегетации (до 119 шт/см² в августе), в зоне слабого загрязнения – незначительно увеличивается (со 125 шт/см² в мае до 131 шт/см² в августе), в контроле – незначительно увеличивается к середине вегетации (со 118 шт/см² в мае до 146 шт/см² в июне) и незначительно уменьшается к концу вегетации (до 126 шт/см² в августе). Во всех зонах наблюдается общая закономерность – уменьшение устьичного индекса в июле относительно общей вегетационной динамики.

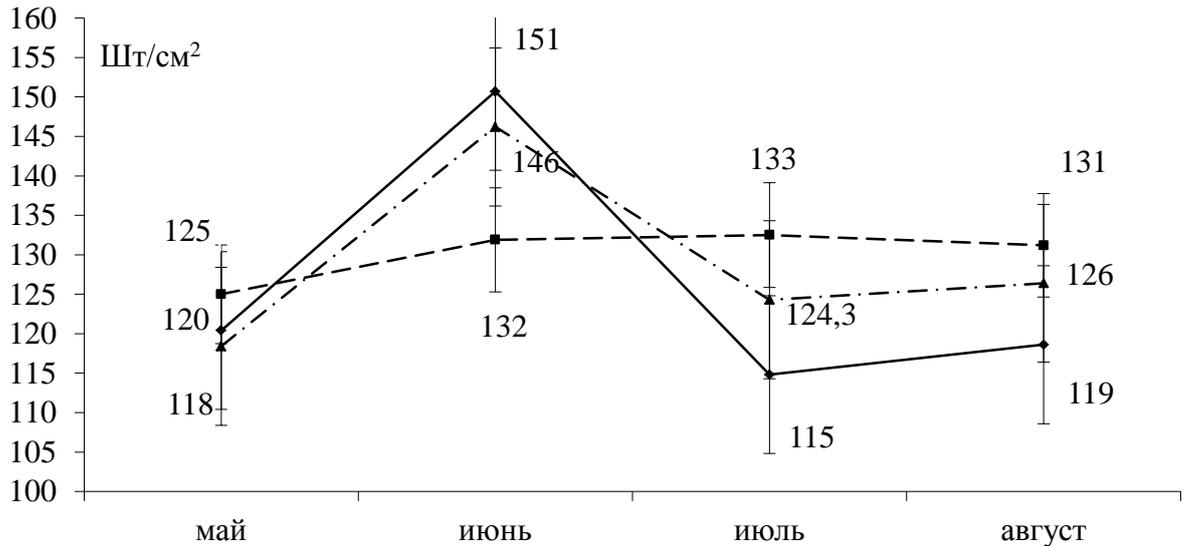


Рисунок 6 – Устьичный индекс листовой пластинки дуба на территории УПЦ, шт/см²

*- различие между зонами загрязнения достоверно при уровне значимости $W=5\%$, число степеней свободы $\nu=18$, значении критерия Стьюдента $t_{теор}=2,04$

3.2.6. СРЕДНЯЯ ДЛИНА ЖИЛОК

Средняя длина жилок (Рисунок 7, Приложение А) в течение вегетационного периода колеблется от 17,4 мм/см² до 24,5 мм/см². В конце вегетационного периода у сформировавшихся листьев при усилении степени промышленного загрязнения наблюдается значительное уменьшение длины жилок (с 24,5 мм/см² в контроле до 23,7 мм/см² в зоне сильного загрязнения), что является ослаблением ксероморфности данного параметра. В течение вегетационного периода происходит незначительное увеличение длины жилок как в условиях сильного

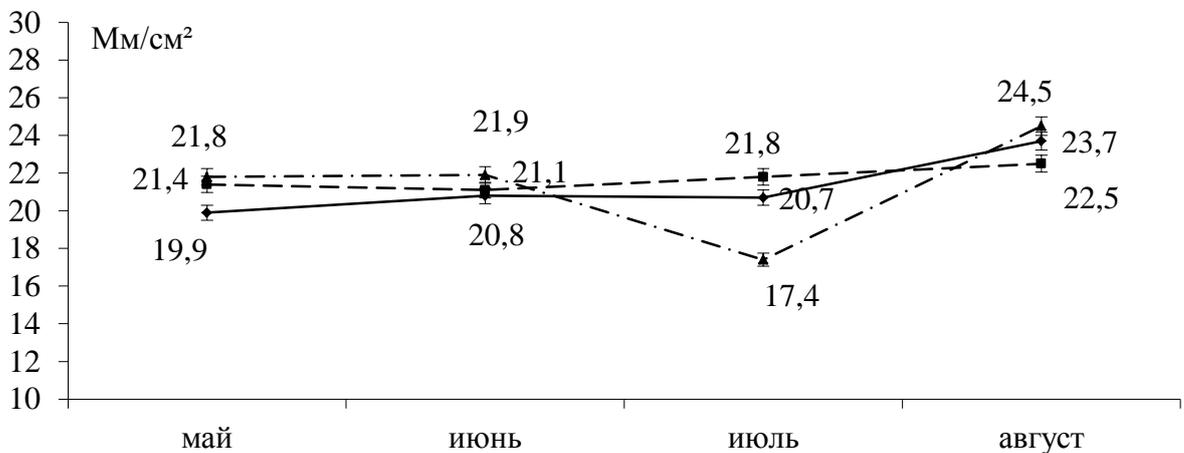


Рисунок 7 – Средняя длина жилок на единицу площади листовой пластинки дуба на территории УПЦ, мм/см²

*- различие между зонами загрязнения достоверно при уровне значимости $W=5\%$, число степеней свободы $\nu=18$, значении критерия Стьюдента $t_{теор}=2,04$

загрязнения (с 19,9 мм/см² в мае до 23,7 мм/см² в августе), так и в зоне слабого загрязнения (с 21,4 мм/см² в мае до 22,5 мм/см² в августе), и в контроле (с 21,8 мм/см² в мае до 24,5 мм/см² в августе). Во всех зонах наблюдается общая закономерность – уменьшение длины жилок в июле относительно общей вегетационной динамики.

3.2.7. СООТНОШЕНИЕ ПЛОЩАДИ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ С УСТЬИЧНЫМ ИНДЕКСОМ И СО СРЕДНЕЙ ДЛИНОЙ ЖИЛОК

При усилении степени промышленного загрязнения на фоне значительного уменьшения площади листовой пластинки (с 32,0 см² в контроле до 22,9 см² в зоне сильного загрязнения) наблюдается значительное уменьшение длины жилок (с 24,5 мм/см² в контроле до 23,7 мм/см² в зоне сильного загрязнения) и незначительное уменьшение устьичного индекса (со 131 шт/см² в контроле до 119 шт/см² в зоне сильного загрязнения). Таким образом, у дуба проявляется “видоспецифическая” реакция листового аппарата на усиление атмосферного загрязнения: усиление ксероморфности по площади листа сопровождается ослаблением ксероморфности устьичного индекса и длины жилок.

В динамике вегетационного периода прослеживаются следующие закономерности: в зоне сильного загрязнения на фоне незначительного уменьшения площади листовой пластинки (с 24,3 см² в мае до 22,9 см² в августе) наблюдается незначительное увеличение длины жилок (с 19,9 мм/см² в мае до 23,7 мм/см² в августе) и незначительное уменьшение устьичного индекса (со 120 шт/см² в мае до 119 шт/см² в августе); в зоне слабого загрязнения на фоне значительного уменьшения площади листовой пластинки (с 38,2 см² в мае до 33,8 см² в августе) наблюдается незначительное увеличение длины жилок (с 21,4 мм/см² в мае до 22,5 мм/см² в августе) и незначительное увеличение устьичного индекса (со 125 шт/см²

в мае до 131 шт/см² в августе); в контроле на фоне незначительного увеличения площади листовой пластинки (с 30,1 см² в мае до 32,0 см² в августе) наблюдается незначительное увеличение длины жилок (с 21,8 мм/см² в мае до 24,5 мм/см² в августе) и незначительное увеличение устьичного индекса (со 118 шт/см² в мае до 126 шт/см² в августе). Таким образом, в динамике вегетационного периода общих закономерностей для исследуемых зон не прослеживается, можно отметить лишь незначительное увеличение длины жилок в течение вегетации во всех зонах.

3.2.8. ПРИРОСТ ПОБЕГОВ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО

Установлено, что степень промышленного загрязнения оказывает существенное влияние на прирост побегов дуба черешчатого (Рисунок 8, Приложение А). Значения этого параметра варьирует от 1,1 до 3 см. В конце вегетационного периода у сформировавшихся побегов при усилении степени промышленного загрязнения наблюдается значительное и достоверное увеличение длины (с 1,7 см в контроле до 3,1 см в зоне сильного загрязнения), что является ослаблением ксероморфности данного параметра. В течение вегетационного периода происходит незначительное увеличение длины побегов как в условиях сильного загрязнения (с 2,9 см в мае до 3,1 см в августе), так и в зоне слабого загрязнения (с 1,3 см в мае до 1,5 см в августе), и в контроле (с 1,1 см в мае до 1,7 см в августе). Во всех зонах наблюдается общая закономерность – равномерное увеличение длины побегов в течение вегетационной динамики.

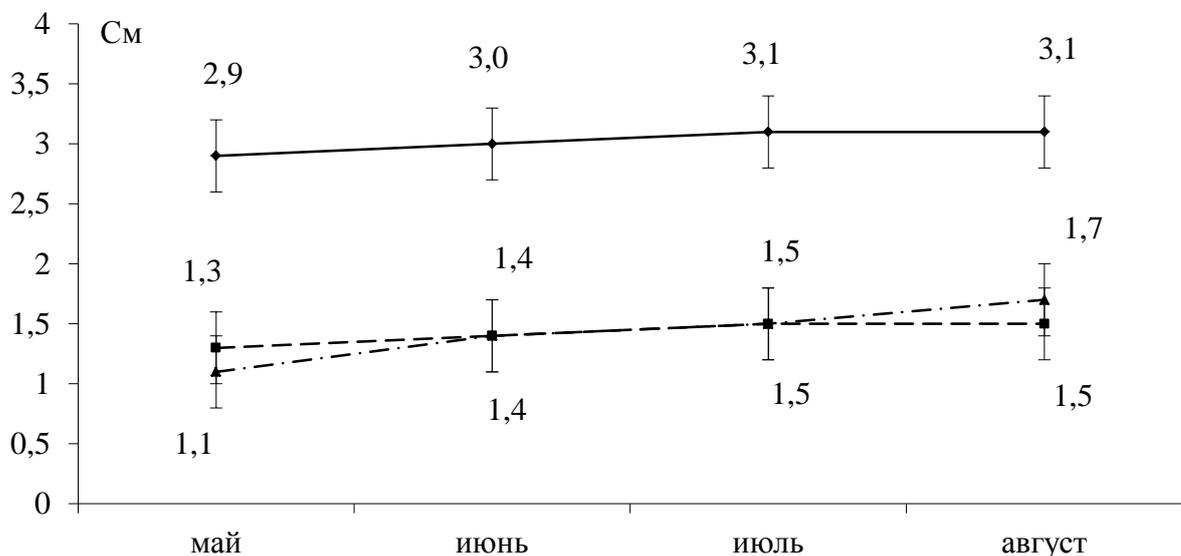


Рисунок 8 – Прирост побегов дуба на территории УПЦ, см

*- различие между зонами загрязнения достоверно при уровне значимости $W=5\%$, число степеней свободы $v=18$, значении критерия Стьюдента $t_{теор}=2,04$

Выводы

1. Показана экологическая видоспецифичность ассимиляционного аппарата дуба черешчатого по отношению к усилению промышленного загрязнения: усиление атмосферного загрязнения сопровождается усилением ксероморфности по длине листа, площади листа, длине черешка, и ослаблением ксероморфности по ширине листа, длине жилок, устьичному индексу и линейному приросту побегов.

2. Указанные соизменения проявляют разнонаправленный характер к одному и тому же фактору (атмосферному загрязнению), даже в пределах одного органа – листовой пластинки, и являются защитной адаптационной реакцией ассимиляционного аппарата в условиях техногенеза. Наиболее наглядно это проявляется в соотношении площади листовой пластинки с длиной жилок и устьичным индексом, когда усиление ксероморфности первой не влечет за собой адекватного усиления ксероморфности двух последних.

3. В динамике вегетационного периода также проявляется разнонаправленный характер соизменений рассматриваемых параметров в ответ на воздействие внешнего стрессового фактора. Это наблюдается у всех изученных параметров во всех зонах, причем с усилением степени загрязнения растет степень разнонаправленности соизменений.

4. Для всех рассмотренных параметров (за исключением прироста побегов) наблюдается одна общая закономерность – уменьшение линейных или количественных размеров в июле относительно общей вегетационной динамики, что указывает на повторное облиствление пораженных крон деревьев в этот период.

3.3. ОЦЕНКА ГОДИЧНОГО РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Результаты полученных реакций прироста различных пород деревьев на степень промышленного загрязнения позволяет активно использовать дендрохронологический метод в качестве биоиндикации лесных насаждений.

Для оценки влияния погодных условий на прирост сопоставлены дендрохронологические параметры со среднелетними данными по метеостанции г. Уфы (Рисунок 9). Среднелетняя температура воздуха в период 1941-2013 гг. составляет $+16,9^{\circ}\text{C}$, амплитуда температур – $6,3^{\circ}\text{C}$. Самое холодное лето было в 1969 г. (среднелетний минимум $+14^{\circ}\text{C}$), самое теплое в 2010 г. (среднелетний максимум $+20,3^{\circ}\text{C}$). Среднелетняя сумма осадков в период 1966-2010 гг. составляет 53,8 мм.

Анализ радиального прироста стволовой древесины (Рисунок 10) позволил установить следующий факт: изменение климатических факторов (см. рис. 9) влечет за собой изменение величины радиального прироста во всех рассматриваемых зонах, наиболее четко прослеживаемое в 1969, 1973, 1981, 1989, 1998, 2003, 2010 годах, максимумы прироста совпадают с периодами значительного повышения температуры воздуха, а минимумы – ее понижения, но также имеются и периоды расхождения в 1972, 1991, 1996 годы.



Рисунок 9 – Среднелетние данные по температуре воздуха и осадкам по метеостанции г. Уфы

Сопоставление метеорологических данных в благоприятные и неблагоприятные климатические периоды совместно с радиальным приростом дает возможность установить влияние степени промышленного загрязнения на

радиальный прирост древесины. Анализ климатического отклика обобщенных хронологий проводится с помощью расчета коэффициентов корреляций (R_s) между средними показателями радиального прироста и среднелетними значениями осадков и температуры воздуха за период, в течение которого возможно влияние климатических факторов на годичный радиальный прирост древесины (Комин, 1970; Тишин, 2011).

Коэффициент корреляции радиального прироста и среднелетних температур показал, что в зоне сильного загрязнения между исследуемыми параметрами существует сильная отрицательная связь ($R_s=-0,84$), в зоне слабого загрязнения статистическая взаимосвязь средняя ($R_s=-0,43$), а в контроле – слабая ($R_s=-0,35$). Обнаруженные связи считаются достоверными при уровне значимости $p=0,05$ ($t_{\text{крит}}=0,234$). При усилении степени загрязнения наблюдается увеличение зависимости прироста от температуры. Анализ корреляции радиального прироста стволовой древесины и осадков выявил, что между этими показателями взаимосвязь очень слабая во всех зонах: в зоне сильного загрязнения $R_s=0,17$; в зоне слабого загрязнения $R_s=0,08$; в контроле $R_s=0,15$. Наименьшая зависимость прироста от осадков наблюдается в зоне слабого загрязнения.

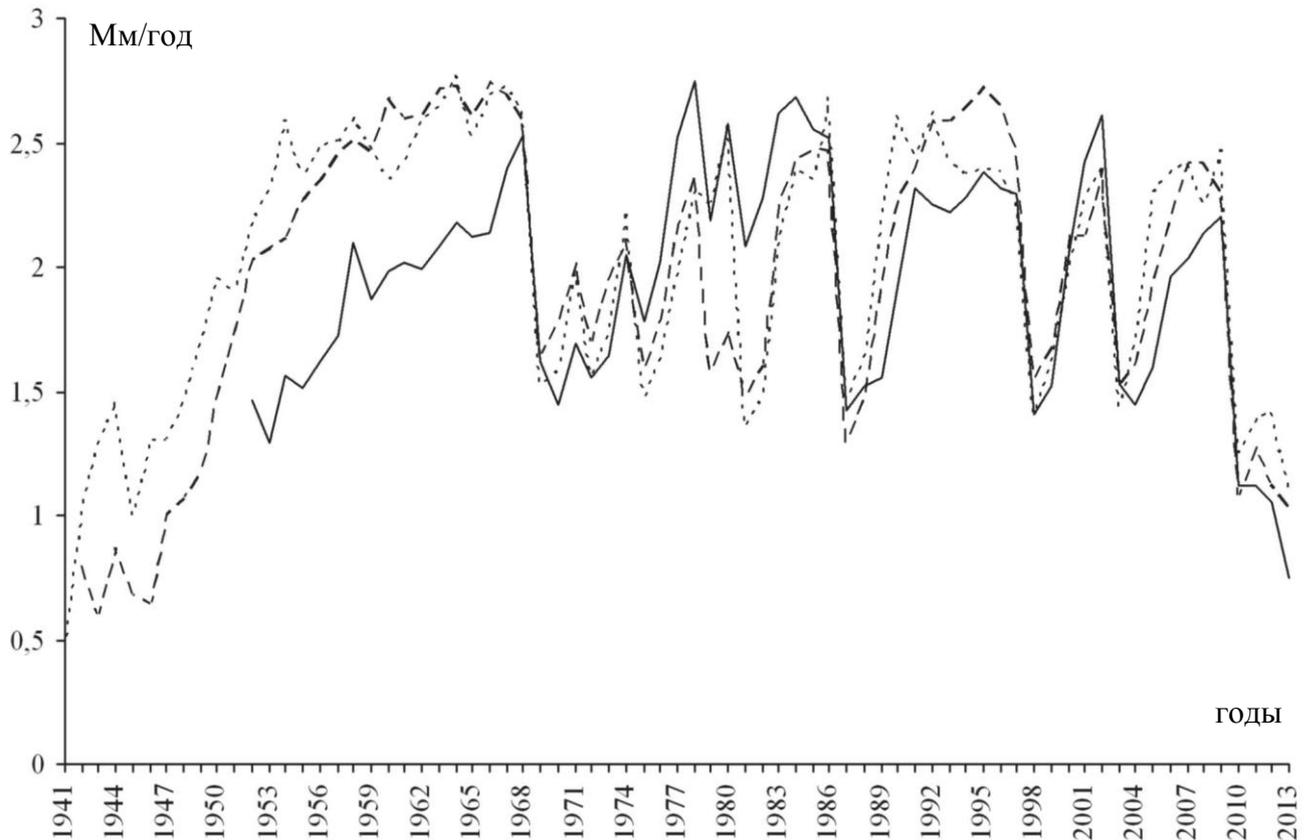


Рисунок 10 – Динамика радиального прироста древесины дуба на территории УПЦ, мм/год. Здесь и далее: ———— – зона сильного загрязнения, - - - - - зона слабого загрязнения, ········ – контроль

У дуба черешчатого на всех исследуемых территориях наблюдается неравномерное, скачкообразное изменение прироста стволовой древесины. В контроле максимальный прирост приходится на период ранней стадии онтогенеза до 28 лет (наибольший в 1966-1967 годы – 2,7 мм). В зоне слабого загрязнения максимальный прирост дуба приходится на период до 27 лет (максимум в 1967-68 годы – 2,75 мм). В зоне сильного загрязнения до 16 лет (максимум в 1967-1968 годы – 2,37 мм). Дрестой дуба в зоне сильного загрязнения характеризуются более низким показателем годичного радиального прироста в виргинильный период, чем в других зонах (различия средних значений радиального прироста зоны сильного загрязнения и контроля достоверны при уровне значимости $p=0,05$ ($t_{\text{табл}}=1,98$, $t_{\text{эмп}}=2,3$ по критерию Стьюдента)), что подтверждает негативное влияние промышленного загрязнения на раннем этапе роста растений, и неустойчивость молодняков дуба к высокому уровню загрязнения и к условиям

межвидовой конкуренции (Усманов и др., 2001). Период с 1969 по 1975 годы характеризуется неблагоприятными природными условиями (низкая температура воздуха, малое количество осадков, вспышка энтомо вредителей), что повлекло «депрессию» прироста во всех зонах: прирост в этот период практически не отличается и варьирует от 1,75 мм/год в зоне сильного загрязнения до 2 мм/год в зоне слабого загрязнения и в контроле. На этом промежутке времени наблюдается синергетическое действие промышленного загрязнения и климатических условий в зоне сильного загрязнения: низкий показатель радиального прироста объясняется увеличением количества промышленных выбросов в период интенсивной промышленной деятельности нефтехимических предприятий.

В последующем генеративном этапе развития наблюдается уменьшение прироста древесины в контроле и зоне слабого загрязнения: максимальный прирост в 1986 году – 2,44 мм, в 1986 году – 2,43 мм/год соответственно. В зоне сильного загрязнения, напротив, наблюдается значительно больший прирост стволовой древесины, чем в других зонах, вследствие высокого жизненного потенциала деревьев дуба, относящихся к средневозрастной группе, который компенсирует неблагоприятное промышленное загрязнение, но лишь на кратковременный отрезок времени. Наибольший прирост в зоне сильного загрязнения приходится на 1978 год – 2,59 мм и 1984-1985 годы – 2,56 м, что возможно связано с благоприятным действием углеводородного загрязнения, как внекорневой подкормки, конкретно на данном этапе развития дуба. Достоверность различий средней ширины годичного прироста зоны сильного загрязнения и контроля, проверенная с помощью критерия Стьюдента, позволяет считать расхождение достоверным при $p=0,05$ ($F_{\text{расч}}=2,05 > F_{\text{табл}}=1,98$).

У дуба наблюдается уменьшение радиального прироста с 50 лет во всех исследуемых зонах, что объясняется переходом к следующему периоду онтогенеза и естественным возрастным снижением прироста. Наибольший прирост в контроле приходится на 1990-1992, 2004-2005, 2006-2009 годы, в зоне слабого загрязнения 1991-1993, 1993-1997, 2008-2009 годы. В зоне сильного загрязнения, наблюдается значительно меньший прирост стволовой древесины,

чем в других зонах. Наибольший прирост в зоне сильного загрязнения приходится на 1991-1993, 1996-1997, 2001-2003, 2008-2009 годы. Различия средних значений радиального прироста зоны сильного загрязнения и контроля достоверны при уровне значимости $p=0,05$ ($t_{\text{табл}}=1,98$, $t_{\text{эмп}}=2,14$ по критерию Стьюдента).

Для установления связей между хронологиями радиальных приростов вычисляется коэффициент синхронности S , разработанной В.С. Мазепой. Коэффициент синхронности S оценивает число однонаправленных изменений от года к году между двумя хронологиями. В наших исследованиях коэффициент синхронности между хронологиями радиальных приростов в зоне сильного загрязнения и в контроле $S=76\%$. Это соответствует средней синхронности изменения радиального прироста, что подтверждает значительное влияние внешних условий на данный параметр.

Радиальный прирост дуба носит циклический характер (характер прироста повторяется через определенный промежуток времени). В динамике радиального прироста ясно прослеживается 20-летняя цикличность: 1950-1969 гг., 1969-1987 гг. и 1987-2010 гг. Проявляется эта цикличность в схожести характера увеличения прироста в начале периодов и резком падении в конце. Характерной особенностью является увеличение глубины «депрессий» внутри указанных периодов по мере увеличения возраста деревьев. Например, для зоны сильного загрязнения эти сходные углубляющиеся «депрессии» проявляются в 1959-1979-1998 годы и в 1965-1981-2004 годы. В других зонах эти сходные углубляющиеся «депрессии» проявляются практически в те же годы, кое-где с небольшим опережением или отставанием. Кроме того, 20-летняя ритмичность соответствует разделению жизненного цикла дуба на классы возраста – у дуба класс возраста составляет 20 лет. Во всех исследуемых условиях прослеживается тенденция к увеличению радиального прироста стволовой древесины к 1967 году, что связано с переходом дуба ко II классу возраста (период активного роста и продуцирования) и последующее уменьшение с 1998 года, которое объясняется естественным уменьшением прироста при увеличении возраста.

В зоне сильного загрязнения наблюдается частое выпадение годовых колец. Такие серии колец называются «чувствительными» (Комин, 1970; Битвинскас, 1974; Ловелиус, 1979). Коэффициент чувствительности (КЧ) является важным показателем, при помощи которого можно отбирать виды древесных растений и местообитания, наиболее пригодные для дендрохронологического анализа. Чем выше коэффициент, тем более сильный климатический сигнал содержится в древесно-кольцевых хронологиях (Битвинскас, 1974). В зоне сильного и слабого загрязнения у КЧ прослеживается относительно одинаковая тенденция: в начальном периоде роста КЧ меньше, и к концу изучаемого периода он значительно увеличивается, что говорит о более сильной подверженности радиального прироста воздействию антропогенного фактора, наряду с климатическими изменениями (Таблица 5). В контроле КЧ сравнительно одинаков за весь период исследования, что позволяет сделать вывод о незначительном влиянии факторов окружающей среды. Таким образом, снижение радиального прироста стволовой древесины дуба черешчатого при усилении степени загрязнения и выявленные периоды «депрессий» вызваны воздействием техногенного фактора.

Таблица 5 – Коэффициент чувствительности рядов радиального прироста дуба на территории УПЦ

Местоположение	Годы							
	1969	1975	1979	1987	1998	2003	2010	2013
Зона сильного загрязнения	0,44	0,14	0,23	0,56	0,48	0,52	0,65	0,35
Зона слабого загрязнения	0,45	0,28	0,40	0,63	0,46	0,44	0,73	0,08
Контроль	0,53	0,41	0,52	0,58	0,46	0,51	0,55	0,24

График изменения площади прироста дуба полностью отражает динамику общего прироста стволовой древесины (Рисунок 11). Наименьшие значения площади прироста зафиксированы на ранней стадии онтогенеза – в виргинильный период, а затем постепенное его увеличение вследствие перехода в генеративный период во всех зонах. С 2010 года наблюдается уменьшение площади прироста,

что объясняется старением и началом перехода в сенильный (пострепродуктивный) период. За весь рассматриваемый период для дуба во всех зонах характерно естественное увеличение площади прироста древесины. Наибольшая суммарная площадь общего прироста дуба наблюдается в контроле ($688,04 \text{ см}^2$) и зоне слабого загрязнения ($628,79 \text{ см}^2$), наименьшая – в зоне сильного загрязнения ($456,73 \text{ см}^2$).

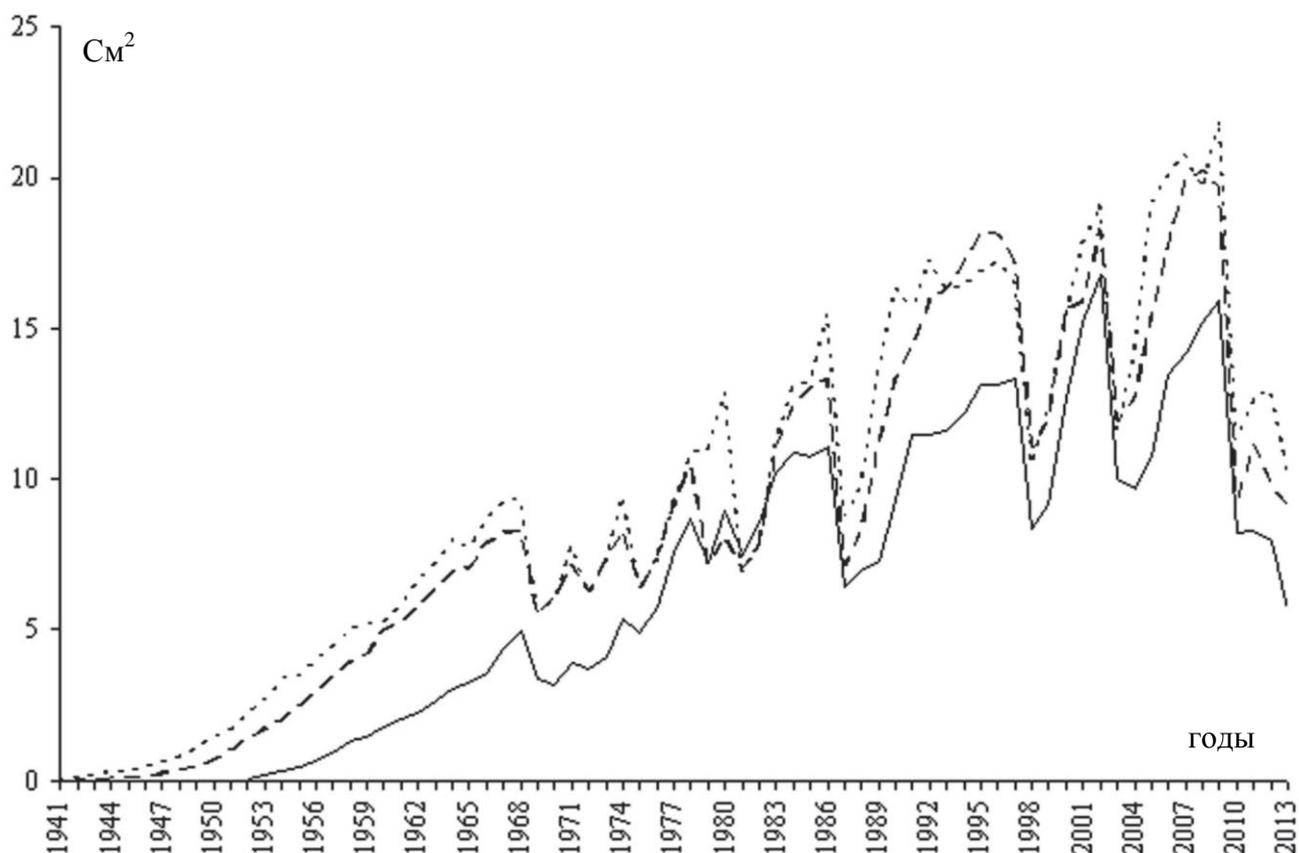


Рисунок 11– Изменение площади прироста древесины дуба на территории УЩ, см²

Как видно из графика изменения десятичного логарифма прироста по площади поперечного сечения дуба в зоне сильного загрязнения в виргинильном периоде наблюдается глубокая «депрессия» прироста (Рисунок 12). Необходимо отметить более быстрое прохождение дубом виргинильного периода в зоне сильного загрязнения (с 1954 по 1967 годы), чем в контроле и зоне слабого загрязнения (с 1945 по 1967 годы).

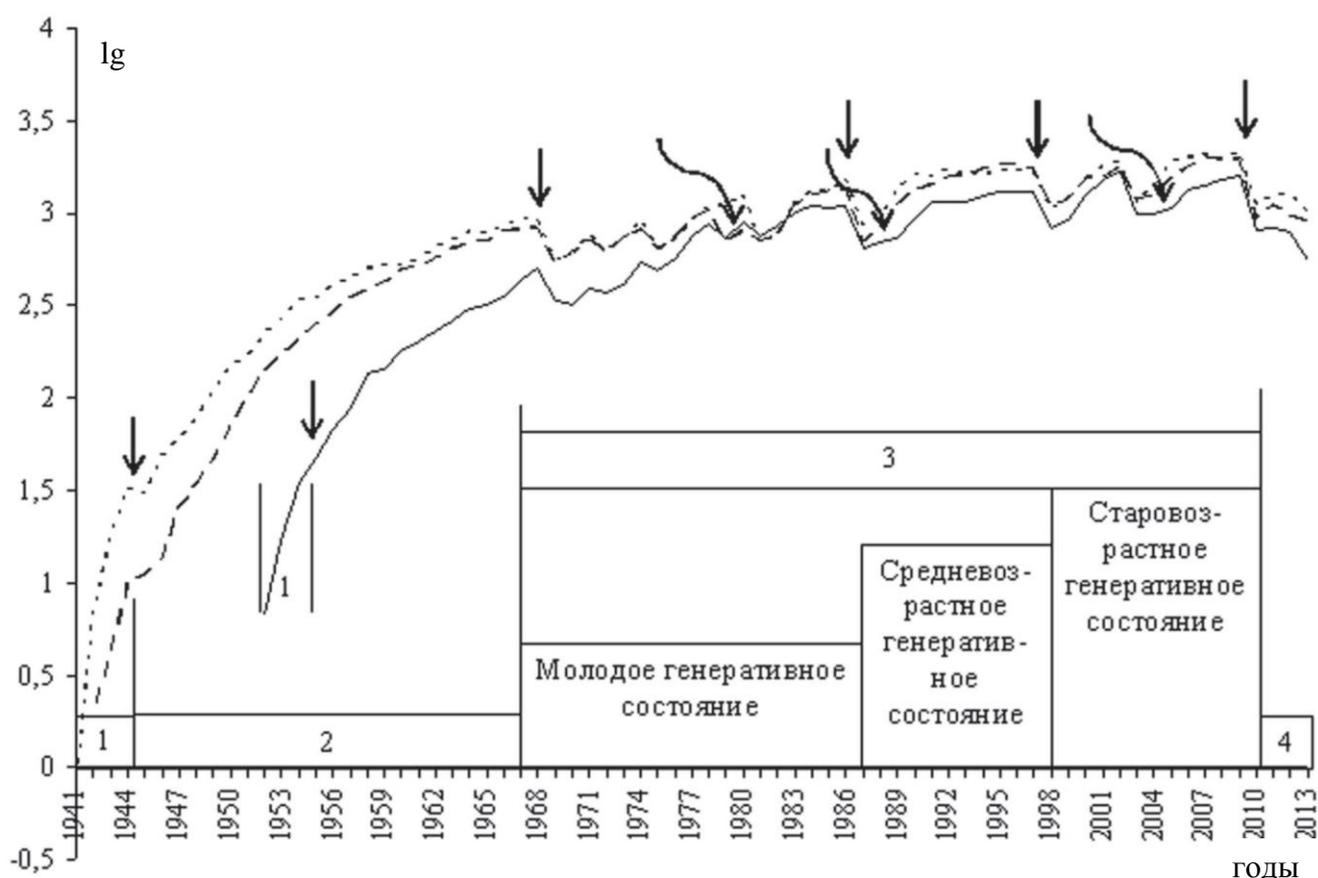


Рисунок 12 – Изменение \lg прироста по площади поперечного сечения древесины дуба на территории УЩ. Здесь и далее по разделу «Оценка годичного радиального прироста стволовой древесины в условиях техногенного загрязнения» условные обозначения: 1 – ювенильный период, 2 – виргинильный период, 3 – вегетативно-репродуктивный период, 4 – пострепродуктивный период, —> – переход от одного этапа развития к другому, ~> – излом логарифмического прироста

Снижение величины десятичного логарифма прироста по площади поперечного сечения в зоне сильного загрязнения в период с 1968 по 1970 годы демонстрирует угнетающее воздействие промышленного загрязнения, так как в зоне слабого загрязнения и в контроле наблюдается увеличение прироста по площади поперечного сечения. Усиленный рост и стабилизация прироста дуба в зоне сильного загрязнения наблюдается при переходе из молодого генеративного состояния в средневозрастной генеративный период к 1977 году. Излом, приходящийся на 1979-1981 годы во всех рассматриваемых зонах, отражает высокую чувствительность дуба к изменениям окружающей среды (вспышка

непарного шелкопряда, наряду с угнетающим воздействием аэротехногенного загрязнения). В очагах с полным объеданием листвы наблюдается эффект «последствия»: наблюдается уменьшение прироста на следующие 2-3 года. В средневозрастном генеративном состоянии прирост по площади поперечного сечения дуба в зоне сильного загрязнения немного ниже (3,10) показателей прироста контроля (3,40) и слабого загрязнения (3,41). Наряду с естественным снижением прироста в старовозрастном генеративном состоянии наблюдается существенное влияние техногенного загрязнения в период с 2003 по 2007 годы, что отражается в изломе графика изменения десятичного логарифма прироста по площади поперечного сечения. Таким образом, влияние промышленного загрязнения на прирост дуба наиболее четко отражается на начальном периоде роста и развития дуба, а также в сенильном периоде.

Соотношение доли поздней и ранней древесины в общем приросте, показал, что поздняя древесина составляет 90% от общего радиального прироста во всех зонах. Радиальный прирост ранней древесины (Рисунок 13) во всех зонах в течение всего периода произрастания сравнительно равномерен, без четких циклов роста. Максимальные значения ранней древесины в зоне сильного загрязнения достигают до 2 мм/год в 1979 году, в целом показатели ранней древесины в этой зоне меньше, чем в остальных зонах. Достоверность различий средней ширины годичного прироста ранней древесины зоны сильного загрязнения и контроля, проверенная с помощью критерия Стьюдента подтверждает нулевую гипотезу – различия не значительны при $p=0,05$ ($F_{\text{расч}}=1,45 < F_{\text{табл}}=1,98$). Это позволяет сделать вывод, что техногенное загрязнение практически не влияет на раннюю древесину, но сильнее влияет на прирост поздней древесины. Кроме того, полученные результаты подтверждают исследования Косиченко и др. (2012), что у кольцесосудистых древесных растений ширина ранней древесины в онтогенезе изменяется незначительно, мало подвержена влиянию экологических факторов и находится в генетическом контроле.

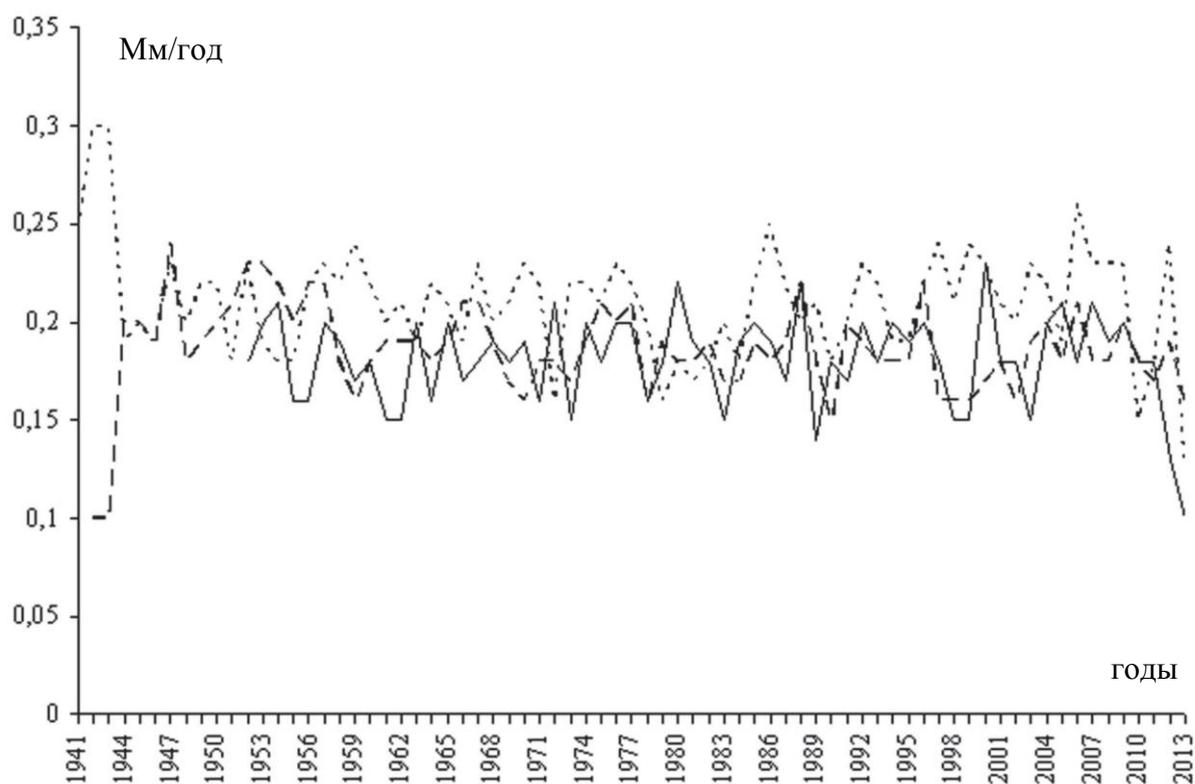


Рисунок 13 – Динамика радиального прироста ранней древесины дуба на территории УПЦ, мм/год

График изменения площади прироста ранней древесины (Рисунок 14) не позволяет выявить существенных особенностей. Следует отметить естественное увеличение площади прироста в течение исследуемого периода во всех зонах. Наибольшая суммарная площадь прироста ранней древесины дуба наблюдается в контроле ($7,32 \text{ см}^2$) и зоне слабого загрязнения ($5,52 \text{ см}^2$), наименьшая – в зоне сильного загрязнения (до $4,01 \text{ см}^2$). Площадь прироста ранней древесины в зоне сильного загрязнения достигает наименьших значений, почти в 1,5 раза меньше, чем в контроле.

Из графика изменения десятичного логарифма прироста по площади поперечного сечения (Рисунок 15) видно, что показатели ранней древесины годового прироста изменяются незначительно и, следовательно, являются малоинформативными. Это возможно связано с тем, что древесина дуба увеличивается за счет поздней зоны, поэтому увеличивается прочность, плотность и твердость древесины. В ранней древесине располагаются крупные сосуды, образуя кольцо из 1-3 рядов крупных сосудов, идущих параллельно годичному слою. Древесина дуба лучше гнется, так как в ранней зоне расположены крупные

сосуды, которые дают возможность древесине уплотняться без разрушения (Хантемиров, 1990; Кучеров, 1996; Тишин, 2011; Косиченко и др., 2012).

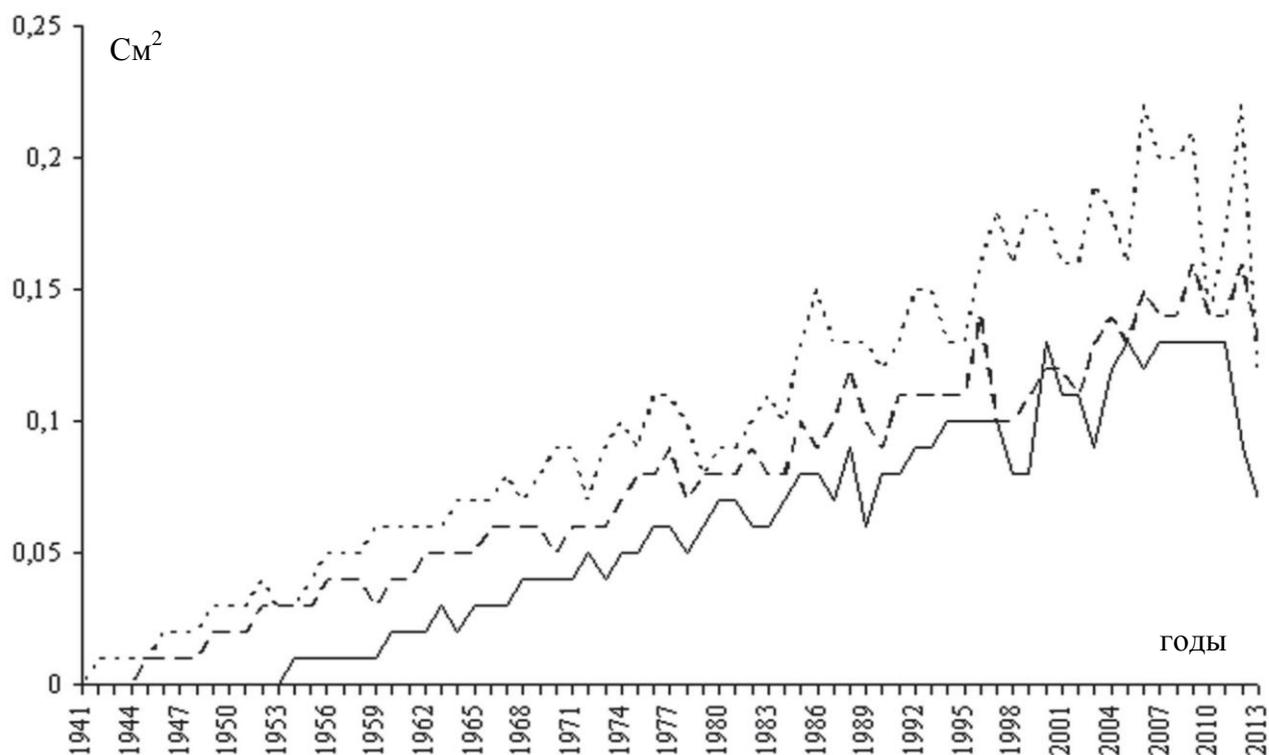


Рисунок 14 – Изменение площади прироста ранней древесины дуба на территории УПЦ, см²

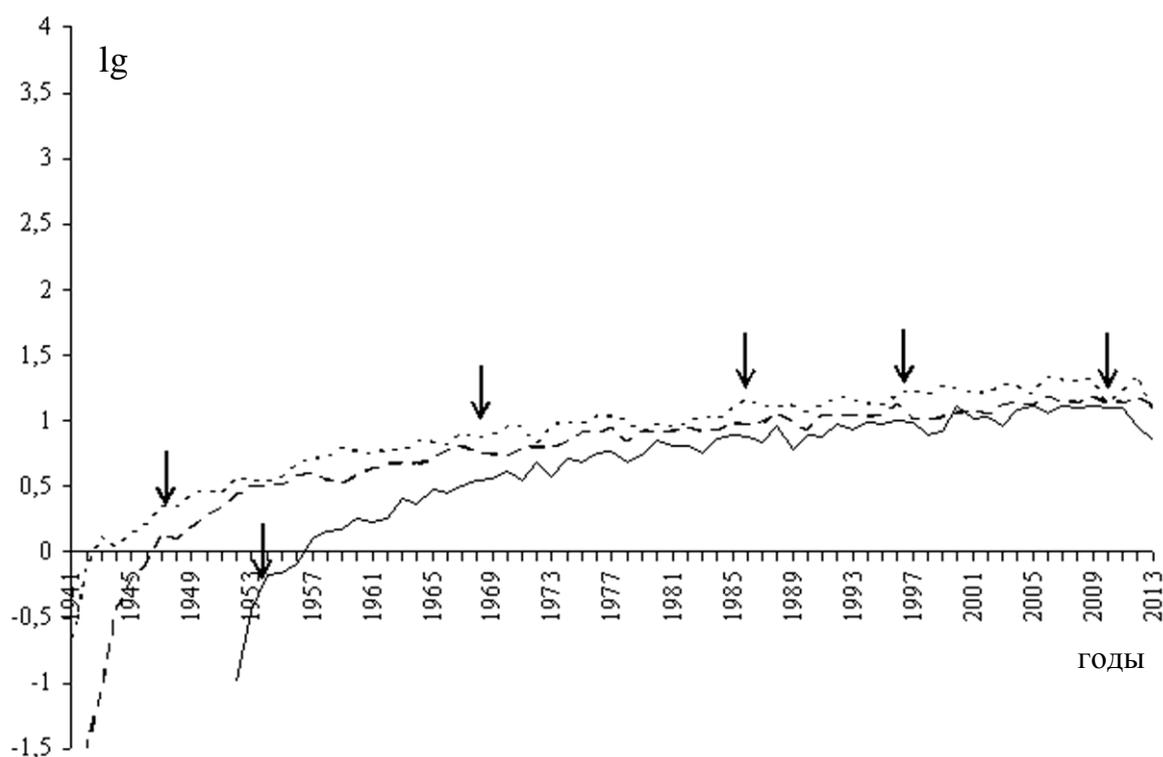


Рисунок 15 – Изменение десятичного логарифма прироста по площади поперечного сечения ранней древесины дуба на территории УПЦ

В приросте поздней древесины наблюдается отмеченная ранее 20-летняя цикличность (Рисунок 16). В отличие от контроля и зоны слабого загрязнения, в зоне сильного загрязнения прослеживается «депрессия» прироста поздней древесины до 1967 года – 2,3 мм/год. Максимальное значение радиального прироста поздней древесины наблюдается в контроле и зоне слабого загрязнения до 2,5 мм/год в 1965 году, а в зоне сильного загрязнения до 2,6 мм/год в 1978 году. Достоверность различий средней ширины годичного прироста поздней древесины зоны сильного загрязнения и контроля, проверенная с помощью критерия Стьюдента, подтверждает различия значений при $p=0,05$ ($F_{\text{расч}}=2,25 > F_{\text{табл}}=1,98$). Динамика прироста поздней древесины полностью повторяет динамику общего прироста и отражает все воздействия внешних стрессовых факторов, как и в общем приросте древесины.

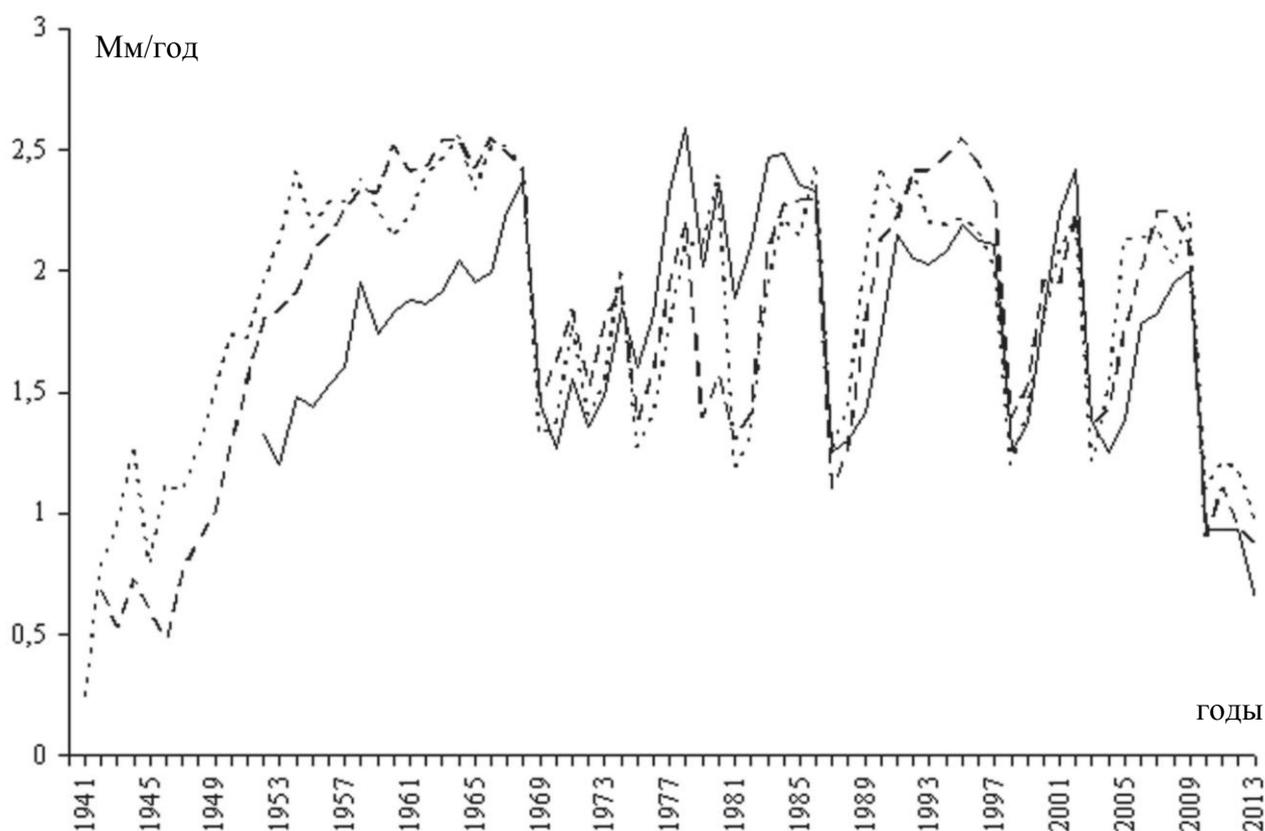


Рисунок 16 – Динамика радиального прироста поздней древесины дуба на территории УПЦ, мм/год

График изменения площади прироста поздней древесины также полностью отражает изменение общей площади прироста древесины дуба (Рисунок 17). Площадь прироста поздней древесины меняется скачкообразно. Следует отметить

естественное увеличение суммарной площади прироста поздней древесины к концу исследуемого периода во всех зонах. Наибольшая суммарная площадь прироста поздней древесины в контроле – до 553,09 см², в зоне слабого загрязнения – до 518,41 см², наименьшая в зоне сильного загрязнения – до 381,44 см². Площадь прироста поздней древесины в зоне сильного загрязнения меньше, чем в контроле. Площадь прироста наибольшая в промежутке времени с 1984 года по 2008 годы, что соответствует генеративному периоду онтогенеза дуба, с некоторыми периодами спада, связанными с климатическими изменениями. Установлено, что на начальном этапе роста в период с 1955 по 1976 годы в зоне сильного загрязнения площадь прироста намного «отстает» от площади прироста в других зонах, но с 1977 по 1986 годы заметна нормализация прироста. В период с 1989 по 1998 годы в зоне сильного загрязнения наблюдается глубокая «депрессия» по площади прироста, чем в зоне слабого загрязнения и в контроле, а также в период с 2004 по 2009 годы. В остальные периоды глубоких «депрессий» не наблюдается.

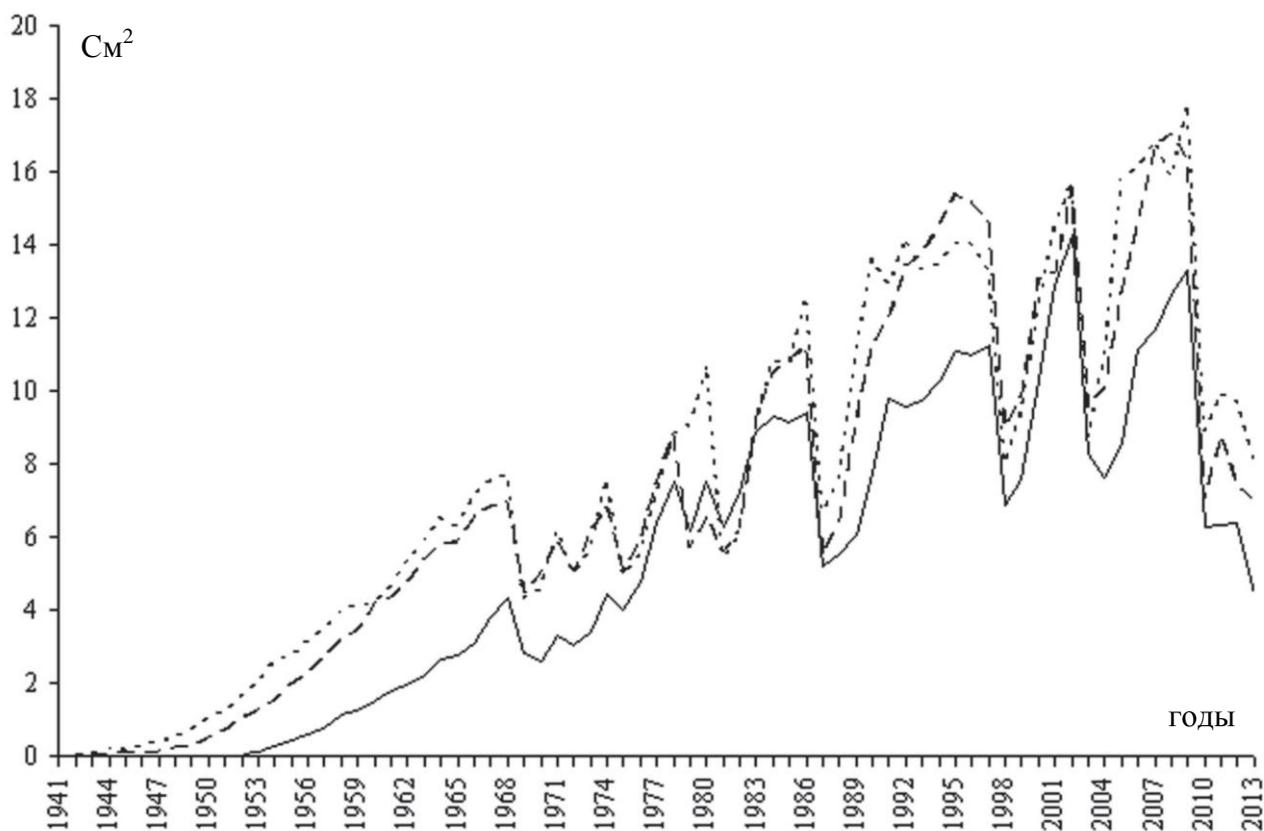


Рисунок 17 – Изменение площади прироста поздней древесины дуба на территории УПЦ, см²

Динамика изменения десятичного логарифма прироста по площади поперечного сечения поздней древесины также полностью отражает динамику десятичного логарифма прироста по площади поперечного сечения общего прироста (Рисунок 18). Процесс снижения общего прироста во всех зонах к концу исследуемого периода обусловлен уменьшением прироста поздней древесины. Как следует из графика, в зоне сильного загрязнения в виргинильном периоде наблюдается глубокая «депрессия» прироста. Снижение величины десятичного логарифма по площади поперечного сечения в зоне сильного загрязнения в период с 1968 года по 1970 год имеет затяжной характер и «депрессия» переходит на несколько лет, в то время как в зоне слабого загрязнения и контроле наблюдается увеличение прироста по площади поперечного сечения.

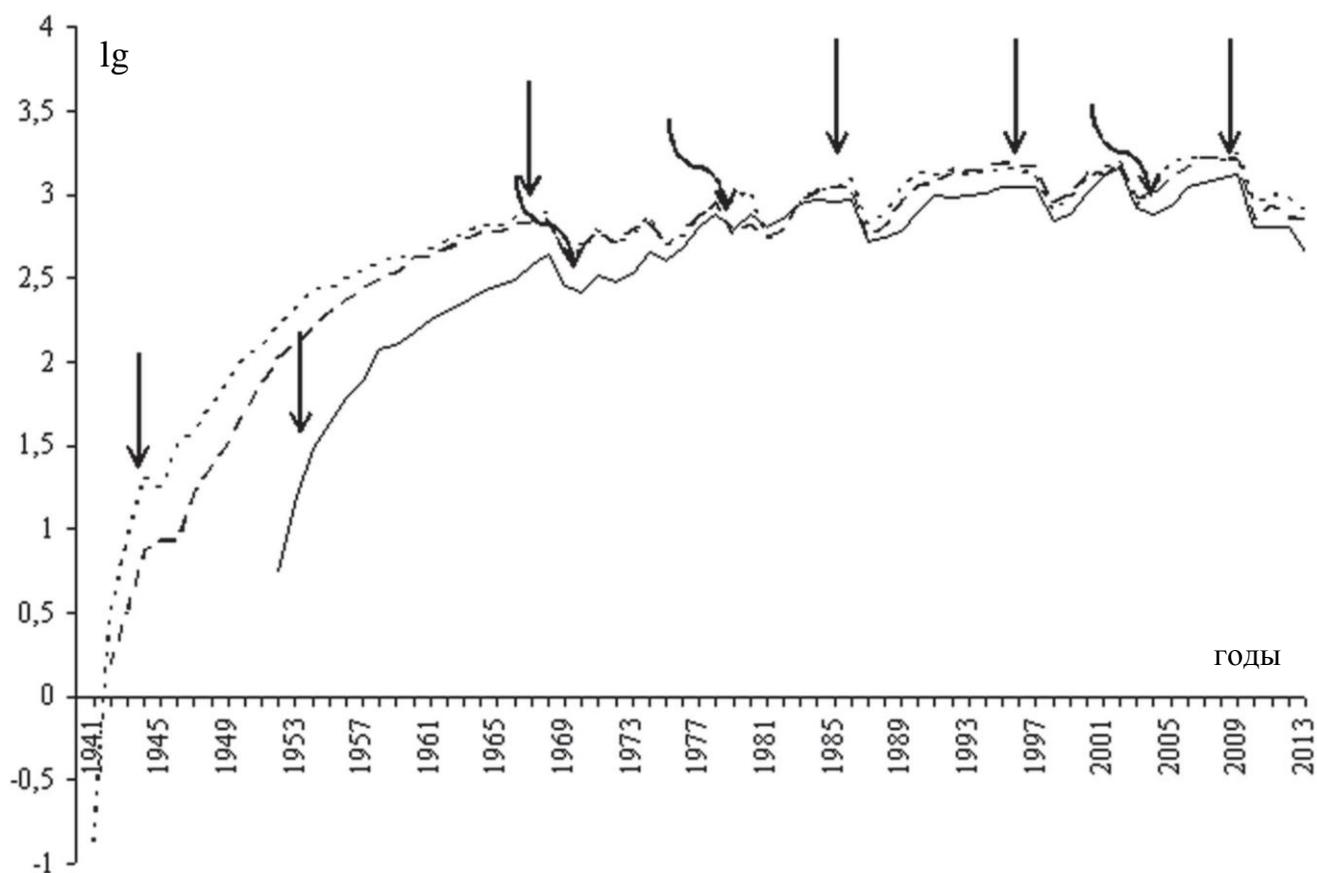


Рисунок 18 – Изменение десятичного логарифма прироста по площади поперечного сечения поздней древесины дуба на территории УЩ

Наибольшее отрицательное влияние промышленного загрязнения на прирост поздней древесины наблюдается в начале и в конце исследуемого периода – подавление прироста в виргинильном и сенильном периоде развития. В

генеративном периоде онтогенеза наблюдается стимулирующее действие аэротехногенного загрязнения к большему приросту эффектом «смягчения» резких климатических изменений и «экспрессией» радиального прироста в 1983-1985 годы. Увеличение радиального прироста поздней древесины в условиях повышенного уровня загрязнения носит краткосрочный характер, устойчивого длительного увеличения не обнаружено.

Выводы

1. Техногенное загрязнение оказывает сильное влияние на начальные стадии онтогенеза дуба значительно сокращая прохождение виргинильного периода. На длительность прохождения остальных онтогенетических периодов промышленное загрязнение практически не оказывает влияния.

2. В зоне хронического техногенного загрязнения наблюдается «депрессия» общего радиального прироста и прироста поздней древесины дуба на ранней стадии онтогенеза. В генеративный период в зоне сильного загрязнения отмечено некоторое стимулирование прироста и приравнивание значений прироста к показателям прироста в зоне слабого загрязнения и в контроле.

3. Радиальный прирост поздней древесины дуба полностью отражает динамику изменения общего прироста, а прирост ранней древесины дуба является малоинформативным параметром.

4. В целом значения радиального прироста дуба в зоне сильного загрязнения намного ниже значений прироста в зоне слабого загрязнения и контроле, что четко отражается в динамике изменения площади общего прироста дуба, прироста ранней и поздней древесины.

5. Коэффициент чувствительности позволяет сделать вывод о существенной зависимости прироста от изменений окружающей среды: в зоне промышленного загрязнения деревья становятся более чувствительными к техногенному воздействию наряду с климатическими изменениями.

6. Таким образом, снижение радиального прироста стволовой древесины дуба черешчатого при усилении степени загрязнения и выявленные периоды «депрессий» вызваны воздействием техногенного фактора. Выявленные особенности радиального прироста дуба черешчатого подтверждают, что в

динамичных условиях окружающей среды с выраженными критическими природно-климатическими и техногенными характеристиками при лесовосстановлении и озеленении промышленных зон следует отказаться от широкого использования дуба черешчатого в пользу других древесных растений.

3.4. ВОДНЫЙ ОБМЕН ЛИСТЬЕВ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА

3.4.1. ОТНОСИТЕЛЬНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ВОДЫ

Листья дуба черешчатого характеризуются высоким ОСВ 80,45-97,2% (Рисунок 19А). Отмечается общая тенденция снижения ОСВ в течение дня, причем к концу вегетационного периода это снижение становится значительным и достоверным. Так, если в мае в течение дня ОСВ снижается на 4,9% в зоне сильного загрязнения, на 1,1% в зоне слабого загрязнения, на 6,9% в контроле, то в августе на 7,7%, 9,0%, 12,0% соответственно. В течение вегетационной динамики во всех зонах прослеживается снижение среднесуточного ОСВ: с 91,0% до 89,1% в зоне сильного загрязнения, с 95,2% до 84,5% в зоне слабого загрязнения, и с 93,2% до 87,4% в контроле. Наиболее ярко это выражено в зоне слабого уровня загрязнения, что является следствием засушливого лета 2012 г. и более засушливыми условиями городской среды. В целом ОСВ во всех зонах находится в норме и не достигает критических повреждающих значений. Строгих закономерностей существенного и достоверного влияния промышленного загрязнения на ОСВ не прослеживается, можно лишь отметить несколько больший уровень ОСВ в зоне сильного загрязнения по сравнению с зоной слабого загрязнения и контролем.

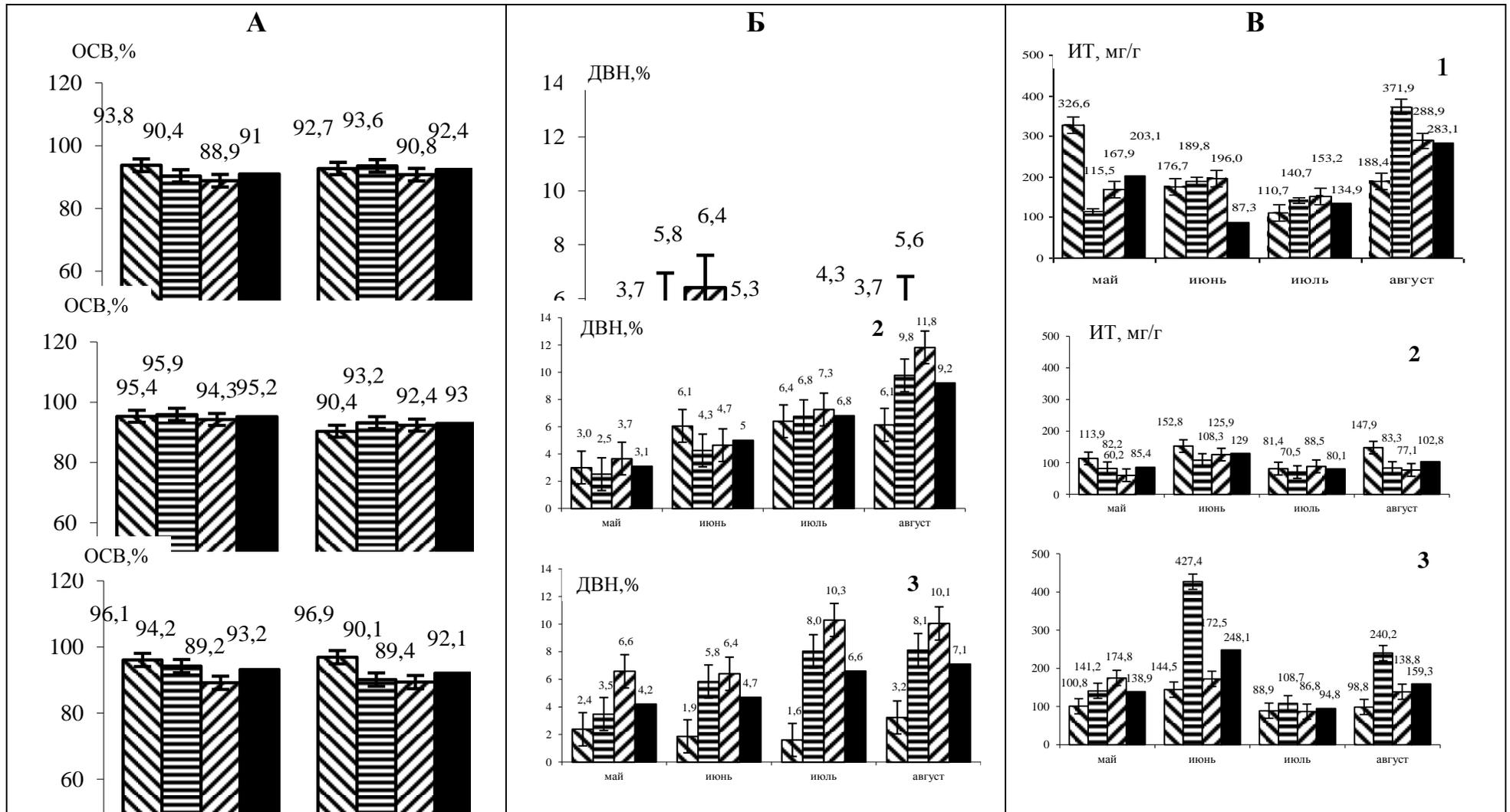


Рисунок 19 – Изменение: А – относительного содержания воды (%), Б – дефицита водного насыщения (%), В – интенсивности транспирации (мг/г сырого веса в час) в листьях дуба черешчатого в течение суток и вегетационного периода на территории УПЦ. Условные обозначения: 1 – зона сильного загрязнения, 2 – зона слабого загрязнения, 3 – контроль; ▨ – утро, ▩ – полдень, ▧ – вечер, ■ – среднесуточный показатель.

3.4.2. ДЕФИЦИТ ВОДНОГО НАСЫЩЕНИЯ

Соответственно, при таком уровне ОСВ листья дуба не испытывают ДВН (Рисунок 19Б). Отмечается общая тенденция значительного и достоверного повышения ДВН в течение дня, причем к концу вегетационного периода это повышение увеличивается. Так, если в мае в течение дня ДВН увеличивается на 2,7% в зоне сильного загрязнения, на 3,0% в зоне слабого загрязнения, на 4,2% в контроле, то в августе на 4,5%, 5,7%, 6,9% соответственно. В течение вегетационной динамики во всех зонах прослеживается увеличение среднесуточного ДВН: с 5,3% до 6,1% в зоне сильного загрязнения, с 3,1% до 9,2% в зоне слабого загрязнения, и с 4,2% до 7,1% в контроле. Наиболее ярко это выражено в зоне слабого уровня загрязнения, что возможно связано с засушливыми условиями лета. В целом ДВН во всех зонах находится в норме и не достигает критических повреждающих значений (критическое значение 12-14%). Строгих закономерностей существенного и достоверного влияния промышленного загрязнения на ДВН не прослеживается, можно лишь отметить несколько меньший уровень ДВН в зоне сильного загрязнения по сравнению с зоной слабого загрязнения и контролем.

3.4.3 ИНТЕНСИВНОСТЬ ТРАНСПИРАЦИИ

Из трех изученных параметров водного обмена наибольшим изменениям в течение дня, вегетационного периода и при усилении атмосферного загрязнения подвергается ИТ (Рисунок 19В). Суточный ход транспирации нарушен: в ряде случаев наблюдается значительный спад ИТ к полудню (например в мае с 326,6 мг/г до 115,5 мг/г в зоне сильного загрязнения) и возрастание к вечеру (с 115,5 мг/г до 168 мг/г) или постоянный спад ИТ в течение дня (например в мае с 113,9 мг/г утром до 82,2 мг/г днем и 60,2 мг/г вечером, в зоне слабого загрязнения), что может быть связано с потерей возможности контроля транспирации устьицами из-за атмосферного загрязнения и угнетением транспирационного процесса. Наиболее ярко этот дисбаланс проявляется в зоне сильного загрязнения в мае и в зоне слабого загрязнения в июне, июле, а в контроле в целом наблюдается нормальный ход суточной транспирации

(например в июле возрастание утреннего значения с 88,9 мг/г к полудню до 108,7 мг/г, и уменьшение к вечеру до 86,8 мг/г).

В среднесуточной динамике ИТ в течение вегетационного периода выявлен значительный и достоверный спад ИТ в течение вегетации в зоне сильного загрязнения (с 203,2 в мае до 134,9 в июле мг/г сырого веса в час) и «нормализация» в августе (283,1 мг/г сырого веса в час). В зоне слабого загрязнения и в контроле наблюдаются значительные колебания ИТ в течение вегетационного периода без каких-либо закономерностей: периоды повышения ИТ в июне и спада в июле (в контроле 138,9 в мае – 248,1 в июне – 94,8 в июле – 159,3 в августе мг/г сырого веса в час). Это может быть связано с относительно меньшим количеством выбросов по сравнению с зоной сильного хронического загрязнения, и с последующим спадом ИТ в июле, связанным с изменением климатических показателей – увеличение температуры окружающей среды и уменьшение влажности воздуха. Наблюдается тесная взаимосвязь между ИТ и ОСВ, ИТ и ДВН, наиболее сильно выраженная в зоне сильного загрязнения.

Выводы

1. Установлена экологическая видоспецифичность водного обмена дуба черешчатого по отношению к промышленному загрязнению: листья дуба характеризуются высоким ОСВ и низким ДВН. Отмечается снижение ОСВ и адекватное повышение ДВН в течение дня и в течение вегетационной динамики во всех зонах. Промышленное загрязнение не оказывает на них существенного и достоверного влияния. Наиболее подверженным параметром водного обмена к действию внешних стрессовых факторов среды является ИТ. Показано нарушение суточного транспирационного процесса и подавление его в динамике вегетационного периода в условиях промышленного загрязнения.

2. Водный обмен листьев дуба черешчатого характеризуется устойчивостью к действию промышленного загрязнения, что подтверждает положение о большом адаптивном потенциале аборигенных видов к техногенезу по сравнению с интродуцентами.

3.5 ПИГМЕНТНЫЙ ФОНД ЛИСТЬЕВ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО

3.5.1 СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА А

Концентрация хлорофилла *a* (Рисунок 20, Приложение Б) колеблется в пределах от 0,720 мг/г сырого веса (в мае в контроле) до 0,457 мг/г сырого веса (в августе в зоне сильного загрязнения). Анализ содержания хлорофилла *a* в листьях дуба черешчатого показывает, что данный фотосинтетический пигмент чувствителен к промышленному загрязнению: на протяжении всего вегетационного периода при усилении степени промышленного загрязнения происходит значительное уменьшение его содержания. Причем в динамике вегетационного периода незначительно увеличивается разница в содержании хлорофилла *a* между зоной сильного загрязнения и контролем. Так, если в мае его содержание при усилении степени промышленного загрязнения падает на 0,135 мг/г сырого веса, то в августе оно уменьшается на 0,145 мг/г сырого веса. В целом в контроле содержание хлорофилла *a* значительно выше, чем в остальных зонах, причем разница с зоной сильного загрязнения составляет в среднем 1,3 раза.

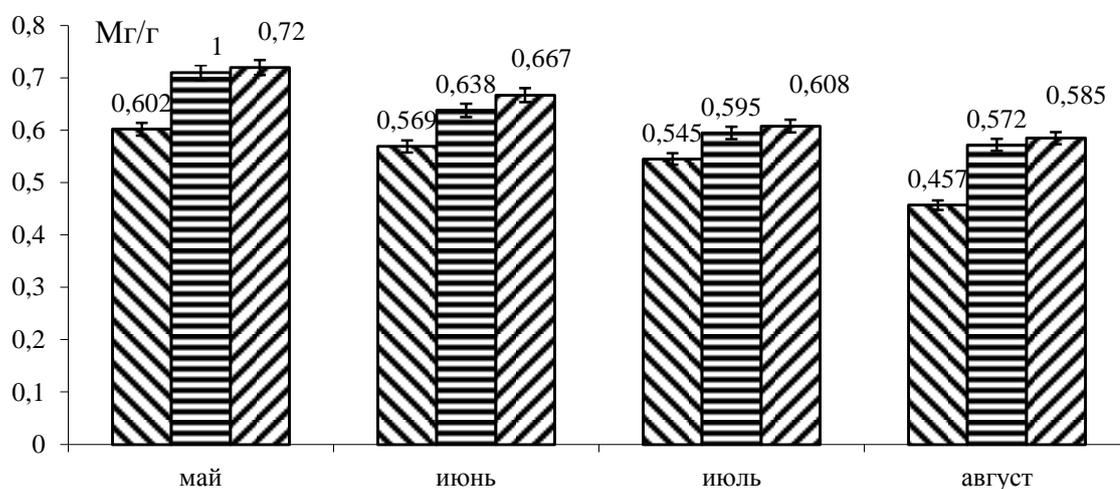


Рисунок 20 – Содержание хлорофилла *a* в листьях дуба на территории УПЦ, мг/г сырого веса. Здесь и далее по разделу «Пигментный фонд дуба черешчатого» условные обозначения: ▨ – зона сильного загрязнения, ▤ – зона слабого загрязнения, ▩ – контроль

В течение вегетационного периода наблюдается значительное уменьшение содержания хлорофилла *a* во всех зонах: в контроле с 0,720 мг/г сырого веса в мае

до 0,585 мг/г сырого веса в августе, в зоне слабого загрязнения с 0,710 мг/г сырого веса в мае до 0,572 мг/г сырого веса в августе, и в зоне сильного загрязнения с 0,602 мг/г сырого веса в мае до 0,457 мг/г сырого веса в августе. Данное обстоятельство можно объяснить естественным разрушением пигментов в ходе вегетации по мере старения листьев и связанного с ним комплекса процессов: уменьшения синтетической активности фосфорилирующей системы хлоропластов, содержания белков, РНК и ДНК и активности ряда ферментов (Мокроносов, 1983; Васфилов, 1983). В зоне сильного загрязнения в динамике вегетационного периода содержание хлорофилла *a* падает больше (разница между маем и августом составляет 0,145 мг/г сырого веса), чем в зоне слабого загрязнения и контроле (0,138 мг/г сырого веса и 0,135 мг/г сырого веса соответственно).

3.5.2 СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА *b*

Содержание хлорофилла *b* в целом значительно меньше, чем хлорофилла *a* (Рисунок 21, Приложение Б). Его концентрация колеблется в пределах от 0,286 мг/г сырого веса (в августе в зоне сильного загрязнения) до 0,451 мг/г сырого веса (в мае в контроле). Анализ содержания хлорофилла *b* в листьях дуба черешчатого показывает, что данный фотосинтетический пигмент также чувствителен к промышленному загрязнению, как и хлорофилл *a*: на протяжении всего вегетационного периода при усилении степени промышленного загрязнения происходит значительное уменьшение его содержания. Причем, в отличие от хлорофилла *a*, в динамике вегетационного периода практически не увеличивается разница в содержании хлорофилла *b* между зоной сильного загрязнения и контролем. Так, если в мае его содержание при усилении степени промышленного загрязнения падает на 0,085 мг/г сырого веса, то в августе оно уменьшается на 0,091 мг/г сырого веса. В целом в контроле содержание хлорофилла *b* значительно выше, чем в остальных зонах, причем разница с зоной сильного загрязнения составляет в среднем 1,3 раза.

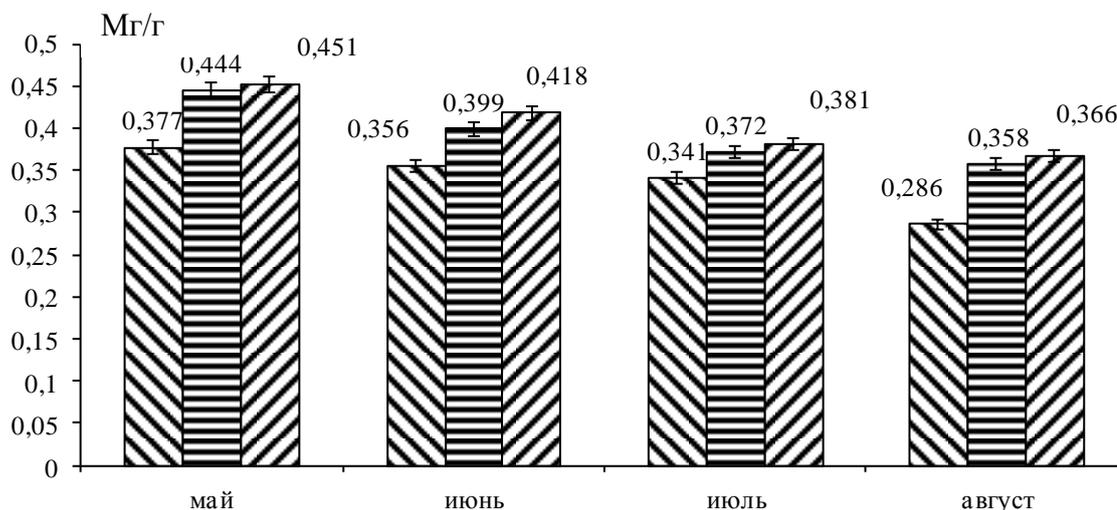


Рисунок 21 – Содержание хлорофилла *b* в листьях дуба на территории УПЦ, мг/г сырого веса

В течение вегетационного периода наблюдается значительное уменьшение содержания хлорофилла *b* во всех зонах: в контроле с 0,451 мг/г сырого веса в мае до 0,366 мг/г сырого веса в августе, в зоне слабого загрязнения с 0,444 мг/г сырого веса в мае до 0,358 мг/г сырого веса в августе, в зоне сильного загрязнения с 0,377 мг/г сырого веса в мае до 0,286 мг/г сырого веса в августе. Данное обстоятельство также объясняется естественным разрушением пигментов в ходе вегетации по мере старения листьев. В зоне сильного загрязнения в динамике вегетационного периода содержание хлорофилла *b* падает незначительно (разница между маем и августом составляет 0,091 мг/г сырого веса), по сравнению с зоной слабого загрязнения и контролем (0,086 мг/г сырого веса и 0,085 мг/г сырого веса соответственно).

3.5.3 СОДЕРЖАНИЕ КАРОТИНОИДОВ

Содержание каротиноидов в целом значительно меньше, чем хлорофилла *a* и хлорофилла *b* (Рисунок 22, Приложение Б). Из всего комплекса пигментов дуба черешчатого каротиноиды – единственная группа, для которой характерно увеличение их концентрации при усилении промышленного загрязнения. Их концентрация колеблется в пределах от 0,229 мг/г сырого веса (в мае в контроле) до 0,305 мг/г сырого веса (в августе в зоне сильного загрязнения). На протяжении всего вегетационного периода при усилении степени промышленного загрязнения

происходит значительное увеличение их содержания. Причем в динамике вегетационного периода практически не увеличивается разница в содержании каротиноидов между зоной сильного загрязнения и контролем. Так, если в мае их содержание при усилении степени промышленного загрязнения возрастает на 0,034 мг/г сырого веса, то в августе оно возрастает на 0,037 мг/г сырого веса. В целом в контроле содержание каротиноидов значительно ниже, чем в остальных зонах, причем разница с зоной сильного загрязнения составляет в среднем 1,15 раза.

В течение вегетационного периода наблюдается незначительное увеличение содержания каротиноидов во всех зонах: в контроле с 0,229 мг/г сырого веса в мае до 0,263 мг/г сырого веса в августе, в зоне слабого загрязнения с 0,232 мг/г сырого веса в мае до 0,272 мг/г сырого веса в августе, в зоне сильного загрязнения с 0,263 мг/г сырого веса в мае до 0,305 мг/г сырого веса в августе. В зоне сильного загрязнения в динамике вегетационного периода содержание каротиноидов увеличивается незначительно (разница между маем и августом составляет 0,042 мг/г сырого веса), по сравнению с зоной слабого загрязнения и контролем (0,04 мг/г сырого веса и 0,039 мг/г сырого веса соответственно). Описанная выше динамика изменения содержания каротиноидов может объясняться их ролью в функционировании и защите пигментного фонда ассимиляционного аппарата: увеличение концентрации каротиноидов при усилении загрязнения может быть связано с их фоторецепторной и антиоксидантной функциями и может рассматриваться в качестве адаптационного механизма пигментного состава дуба черешчатого к техногенным воздействиям.

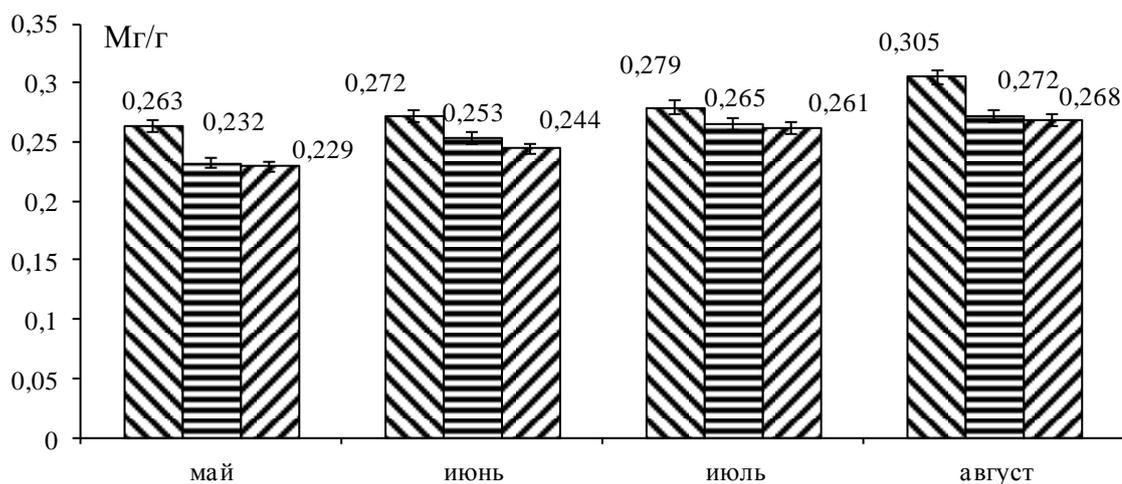


Рисунок 22 – Содержание каротиноидов в листьях дуба на территории УПЦ, мг/г сырого веса

3.5.4 СУММАРНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ВСЕХ ПИГМЕНТОВ

Содержание суммы всех пигментов в листьях дуба (Рисунок 23, Приложение Б) колеблется в пределах от 1,043 мг/г сырого веса (в зоне сильного загрязнения в августе) до 1,4 мг/г сырого веса (в контроле в мае). На протяжении всего вегетационного периода при усилении степени промышленного загрязнения происходит значительное уменьшение их содержания. Причем в динамике вегетационного периода значительно увеличивается разница в содержании суммы всех пигментов между зоной сильного загрязнения и контролем. Так, если в мае их содержание при усилении степени промышленного загрязнения падает на 0,158 мг/г сырого веса, то в августе оно уменьшается на 0,176 мг/г сырого веса. В целом в контроле содержание суммы всех пигментов значительно выше, чем в остальных зонах, причем разница с зоной сильного загрязнения составляет в среднем 1,15 раза.

В течение вегетационного периода наблюдается значительное уменьшение содержания суммы всех пигментов во всех зонах: в контроле с 1,4 мг/г сырого веса в мае до 1,219 мг/г сырого веса в августе, в зоне слабого загрязнения с 1,386 мг/г сырого веса в мае до 1,202 мг/г сырого веса в августе, и в зоне сильного загрязнения с 1,242 мг/г сырого веса в мае до 1,043 мг/г сырого веса в августе. В зоне сильного загрязнения в динамике вегетационного периода содержание

суммы всех пигментов падает больше (разница между маем и августом составляет 0,199 мг/г сырого веса), чем в зоне слабого загрязнения и контроле (0,184 мг/г сырого веса и 0,181 мг/г сырого веса соответственно).

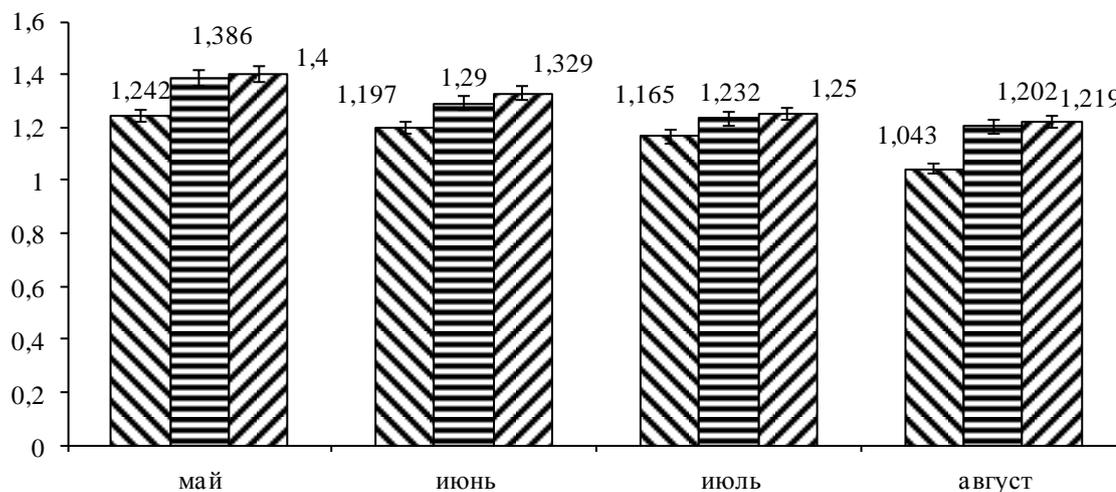


Рисунок 23 – Суммарное содержание всех пигментов в листьях дуба на территории УПЦ, мг/г сырого веса

3.5.5 СООТНОШЕНИЕ ХЛОРОФИЛЛОВ К КАРОТИНОИДАМ

О степени сформированности фотосинтетического аппарата можно судить по отношению «Хл *a* / Хл *b*» (Мокроносов, 1983; Дудыч, 1989; Ладыгин, 2006). Результаты исследований показали (Таблица 5), что четких различий между зонами загрязнения по отношению «Хл *a* / Хл *b*» не выявлено: оно составляет 1,6 во всех зонах, что считается нормальным для древесных растений. Таким образом, листья дуба во всех зонах характеризуются достаточно хорошей сформированностью и стабильностью пигментного состава в отношении хлорофилла *a* и хлорофилла *b*.

Наиболее информативным показателем служит соотношение «(Хл*a* + Хл*b*) / Каротиноиды». Для высших растений величина этого соотношения изменяется от 4,6 до 8 (Дудыч, 1989; Ладыгин, 2006). У дуба черешчатого в зоне сильного загрязнения этот показатель наименьший, и варьирует в пределах 2,47-3,72. В зоне слабого загрязнения этот показатель находится в пределах 3,42-4,97, а в контроле – 3,55-5,11, что принято считать «нормальным». В целом приведенные данные говорят о существенном увеличении доли каротиноидов на фоне

уменьшения долей хлорофилла *a* и хлорофилла *b* при усилении загрязнения. Между зоной слабого загрязнения и контролем в отношении «(Хл *a* + Хл *b*) / Каротиноиды» существенных и достоверных различий не обнаружено. В динамике вегетационного периода во всех зонах наблюдается значительное уменьшение данного параметра, причем в зоне сильного загрязнения меньше (разница между маем и августом составляет 1,25) чем в зоне слабого загрязнения и контроле (1,55 и 1,56 соответственно).

Соотношение между содержанием хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидами во всех рассматриваемых зонах практически не отличаются друг от друга и уменьшается в ряду: содержание хлорофилла *a* > содержание хлорофилла *b* > содержание каротиноидов (Приложение Б). Существенных и достоверных различий не выявлено.

Таблица 5 – Показатели соотношения пигментов листьев дуба на территории УПЦ

Местоположение	Соотношение	май	Июнь	июль	август
Зона сильного загрязнения	(Хл <i>a</i> + Хл <i>b</i>) / Кар	3,72*	3,4*	3,18*	2,47*
	Хл <i>a</i> / Хл <i>b</i>	1,60	1,60	1,60	1,60
Зона слабого загрязнения	(Хл <i>a</i> + Хл <i>b</i>) / Кар	4,97	4,10	3,65	3,42
	Хл <i>a</i> / Хл <i>b</i>	1,60	1,60	1,60	1,60
Условный контроль	(Хл <i>a</i> + Хл <i>b</i>) / Кар	5,11	4,45	3,79	3,55
	Хл <i>a</i> / Хл <i>b</i>	1,60	1,60	1,60	1,60

* –различие достоверно при уровне значимости $W=5\%$, число степеней свободы $\nu=4$, значении критерия Стьюдента $t_{\text{теор}}=2,78$

Выводы

1. Пигментный комплекс дуба черешчатого характеризуется повышенной чувствительностью к уровню промышленного загрязнения: при усилении загрязнения значительно уменьшается содержание пигментов хлорофилльного комплекса и растет концентрация каротиноидов; суммарное содержание всех пигментов при этом также значительно уменьшается. Такая видоспецифическая реакция наблюдается стабильно на протяжении всего вегетационного периода, причем к концу вегетации возрастает разница в количественных показателях между сильным загрязнением и контролем.

2. Вследствие естественного разрушения пигментов по мере старения листьев в динамике вегетационного периода во всех рассматриваемых зонах наблюдается значительное уменьшение содержания пигментов хлорофилльного комплекса и суммарного содержания всех пигментов на фоне роста концентрации каротиноидов, причем в зоне сильного загрязнения этот процесс выражен более ярко, чем в контроле.

3. Оценка соотношения хлорофиллов и каротиноидов выявила, что наиболее информативным показателем служит соотношение «(Хл a + Хл b) / Каротиноиды», количественные данные которого также говорят о существенном увеличении доли каротиноидов на фоне уменьшения долей хлорофилльного комплекса при усилении загрязнения, что проявляется на протяжении всего вегетационного периода. Соотношение «Хл a / Хл b » является одинаковым для всех рассматриваемых условий и свидетельствует о достаточной стабильности уровня биосинтеза хлорофилла a и хлорофилла b .

3.6 ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Исследования показали (Рисунок 24А), что общая корненасыщенность метрового слоя почвы в насаждениях дуба черешчатого при усилении загрязнения значительно увеличивается с 2216,39 (контроль) до 2730,48 г/м² (зона сильного загрязнения). Максимальная корненасыщенность почвы в условиях сильного загрязнения отмечается на глубине 10-20 и 20-30 см (638,68 и 690,28 г/м², 39% всей массы корней), в условиях слабого загрязнения на горизонте 30-40 см (284,96 г/м², 12% всей массы корней), в условиях контроля на глубине 40-50 см (631,76 г/м², 28% всей массы корней).

Максимальная насыщенность почвы поглощающими корнями (Рисунок 24Б), во всех зонах наблюдается в слое почвы 0-20 см. Ниже по профилю их масса распределяется практически равномерно и колеблется в пределах 0,4-4,0 г/м². В целом во всех зонах загрязнения и контроле отмечается нормальное закономерное распределение поглощающих корней по почвенному профилю: основная масса располагается в верхних слоях и постепенно уменьшается по мере углубления.

При усилении степени загрязнения наблюдается значительное и достоверное снижение массы поглощающих корней в верхних слоях почвенного профиля. Строгой закономерности влияния увеличения загрязнения на распределение поглощающих корней в остальных слоях почвенного профиля не наблюдается.

Максимум насыщенности почвы проводящими полускелетными корнями (Рисунок 24В), отмечается на глубине 0-20 см. Наблюдается неравномерность распределения проводящих корней в слоях ниже 20 см, но в целом прослеживается общая тенденция уменьшения их массы по мере увеличения глубины. При усилении степени загрязнения наблюдается увеличение массы проводящих полускелетных корней в верхнем 0-10 см слое почвы (от 3,04 до 5,76 г/м²). В остальных слоях при небольшом варьировании отмечается незначительное увеличение их массы.

Максимальная корненасыщенность почвы скелетными корнями (Рисунок 24Г) в зоне сильного загрязнения располагается в слоях 10-40 см, в зоне слабого загрязнения – 30-40 см, в контроле – 30-50 см. Таким образом, для скелетных корней характерно «поднятие» уровня максимальной корненасыщенности с усилением степени загрязнения. Нормальное распределение скелетных корней по почвенному профилю наблюдается только в зоне сильного загрязнения, где максимальная корненасыщенность сосредоточена в слое 10-40 см и постепенный спад до слоя 90-100 см. В зоне слабого загрязнения и контроле по всему профилю наблюдается практически одинаковая, с небольшими вариациями, насыщенность скелетными корнями с единственными пиками резкого увеличения на глубине 30-40 см (зона слабого загрязнения) и 30-50 см (контроль).

Установлено (Рисунок 25), что в условиях сильного загрязнения наблюдается наиболее равномерное распределение корней в почвенном профиле (коэффициент равномерности всех фракций варьирует в пределах 4-5%). Наиболее неравномерное распределение корней в почве наблюдается в условиях слабого загрязнения. При рассмотрении фракционного состава во всех зонах наиболее равномерно в метровом слое почвы распределяются поглощающие и проводящие корни (таблица 6).

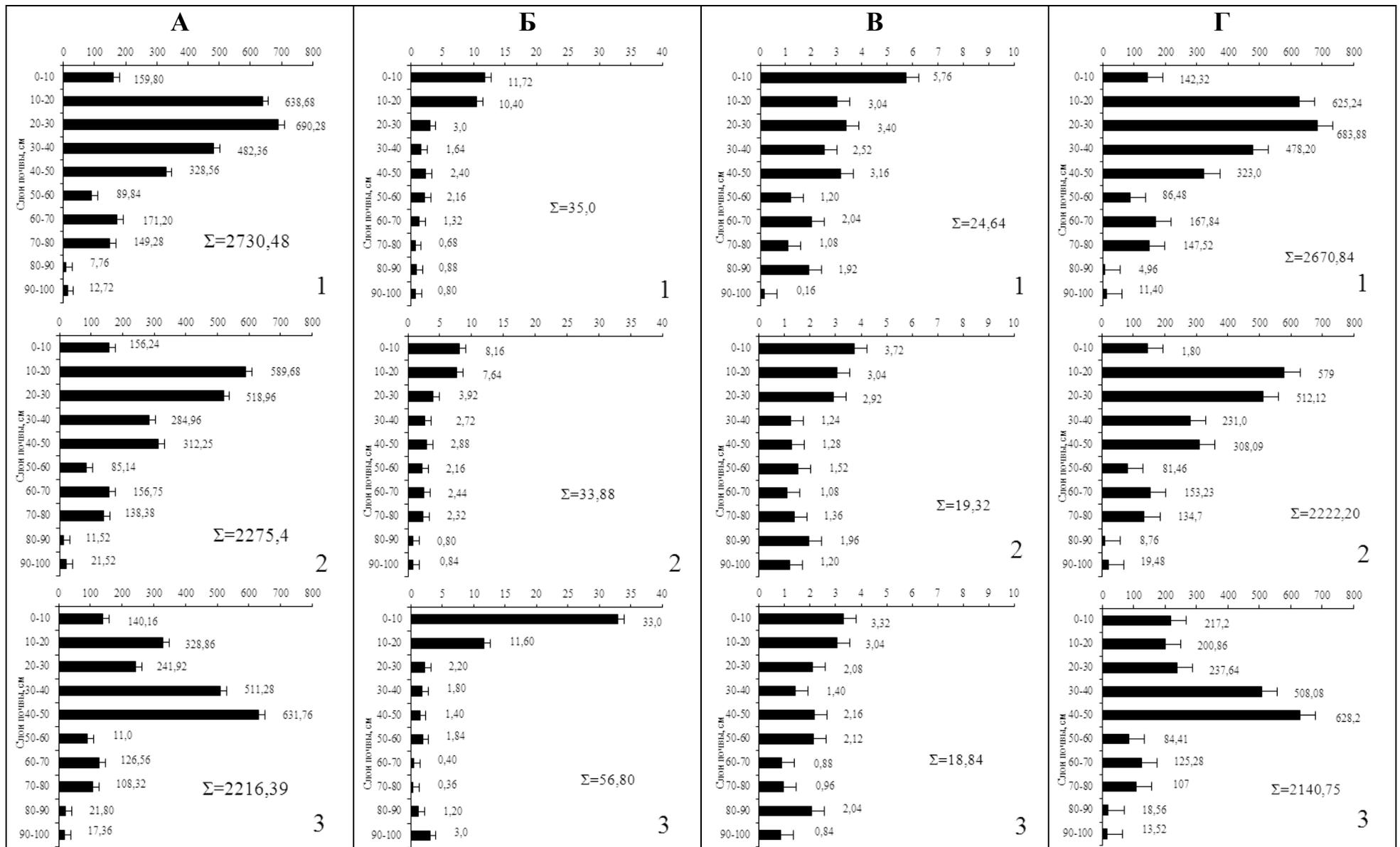


Рисунок 24 – Изменение: А – общей массы корней всех диаметров ($\text{г}/\text{м}^2$), Б – массы поглощающих корней ($d < 1 \text{ мм}$) ($\text{г}/\text{м}^2$), В – массы полускелетных проводящих корней ($1 < d < 3 \text{ мм}$) ($\text{г}/\text{м}^2$), Г – массы скелетных проводящих корней ($d > 3 \text{ мм}$) ($\text{г}/\text{м}^2$) дуба черешчатого в условиях УЩ. Условные обозначения: 1 – зона сильного загрязнения, 2 – зона слабого загрязнения, 3 – контроль.

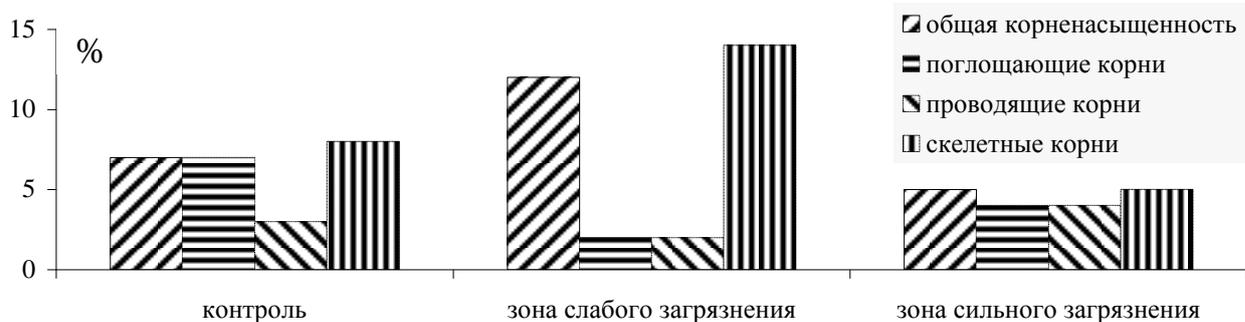


Рисунок 25 – Значение коэффициента равномерности распределения в почве корней дуба на территории УПЦ, %

Таблица 6 – Фракционный состав корневой системы дуба на территории УПЦ

Слои почвы, см	Доля каждой фракции в общей массе корней, %								
	Сильное загрязнение			Слабое загрязнение			Условный контроль		
	<1 мм	1-3 мм	>3мм	<1 мм	1-3 мм	>3мм	<1 мм	1-3 мм	>3мм
0-10	7,3	3,6	89,1	59,4	19,8	20,7	70,6	7,1	22,3
10-20	1,6	0,5	97,9	14,2	6,2	79,6	54,1	14,2	31,7
20-30	0,4	0,5	99,1	17,3	8,5	74,3	25,5	24,1	50,5
30-40	0,3	0,5	99,1	1,2	0,5	98,3	4,9	3,8	91,2
40-50	0,7	1,0	98,3	7,2	3,2	89,7	2,5	3,8	93,7
50-60	2,4	1,3	96,3	15,8	11,1	73,0	16,7	19,3	64,0
60-70	0,8	1,2	98,0	10,4	4,6	85,0	2,2	4,8	93,0
70-80	0,5	0,7	98,8	11,2	6,5	82,3	2,9	7,8	89,3
80-90	11,3	24,7	63,9	6,9	17,0	76,0	5,5	9,4	85,1
90-100	6,3	4,1	89,6	2,0	2,9	95,1	17,3	4,8	77,9

Выводы

1. Таким образом, у корневых систем дуба при усилении степени загрязнения увеличивается общая корненасыщенность почвы, при рассмотрении фракционного состава наблюдается увеличение доли проводящих полускелетных и скелетных корней и уменьшение доли поглощающих корней. Увеличение корненасыщенности является адаптивным механизмом компенсации

повреждений надземных вегетативных органов под влиянием токсикантов. Видоспецифическая особенность корневых систем дуба проявляется в том, что во всех рассматриваемых условиях общая корненасыщенность почвы проводящими корнями в 1,5-3 раза меньше, чем поглощающими. Это нарушение развития корневой системы может рассматриваться как адаптивная реакция, направленная на уменьшение поступления токсикантов через корни.

2. У дуба усиление загрязнения сопровождается увеличением равномерности распределения корневых систем по почвенному профилю, причем наиболее равномерно в метровом слое почвы распределяются поглощающие и проводящие корни. Рассмотренные адаптивные реакции позволяют говорить о значительном адаптивном потенциале корневых систем дуба черешчатого к техногенному загрязнению.

3.7 СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И ИХ НАКОПЛЕНИЕ В ЛИСТЬЯХ

В листьях дуба Cu накапливается значительно меньше токсических концентраций (Рисунок 26, Приложение В) и не превышает 17,44 мг/кг (область избыточных концентраций более 30 мг/кг). При усилении степени загрязнения в листьях дуба наблюдается значительное увеличение накопления Cu (в контроле – 7,57 мг/кг, в зоне сильного загрязнения 10,04 мг/кг), а в зоне слабого загрязнения почти в 2 раза больше, чем в зоне контроля – 17,44 мг/кг. В зонах сильного и слабого загрязнения концентрация Cu в листьях незначительно превышает накопление этого металла в почве, а в контроле напротив его содержание меньше, чем в почве. Это может быть связано с привлечением Cu как элемента, повышающего устойчивость растений против неблагоприятных условий среды и болезней.

Анализ содержания ТМ в почве выявил следующие особенности: при усилении степени промышленного загрязнения происходит значительное уменьшение средней концентрации Cu в почве (Рисунок 26, Таблица 7) – с 12,15 мг/кг в контроле до 6,56 мг/кг в зоне сильного загрязнения (в 2,7 раз). В целом содержание Cu в почве не превышает предельно допустимые нормы и не достигает токсичных концентраций (токсические значения до 100 мг/кг).

Максимальная аккумуляция Cu в условиях сильного загрязнения (Приложение В) наблюдается в слое почвы 0-30 см (максимум на горизонте 20-30см – 10,58 мг/кг), и постепенно уменьшается по мере углубления, с минимумом на горизонте 40-50 см – 5,07 мг/кг. Максимальное накопление Cu в зоне слабого загрязнения также происходит в поверхностных слоях почвы, на горизонте 0-30 см, с максимумом на горизонте 20-30 см – 15,42 мг/кг. Максимальная аккумуляция Cu в контроле наблюдается в слое 0-70 см, с максимумом на горизонте 50-60 см – 16,58 мг/кг, и постепенно уменьшается по мере углубления.

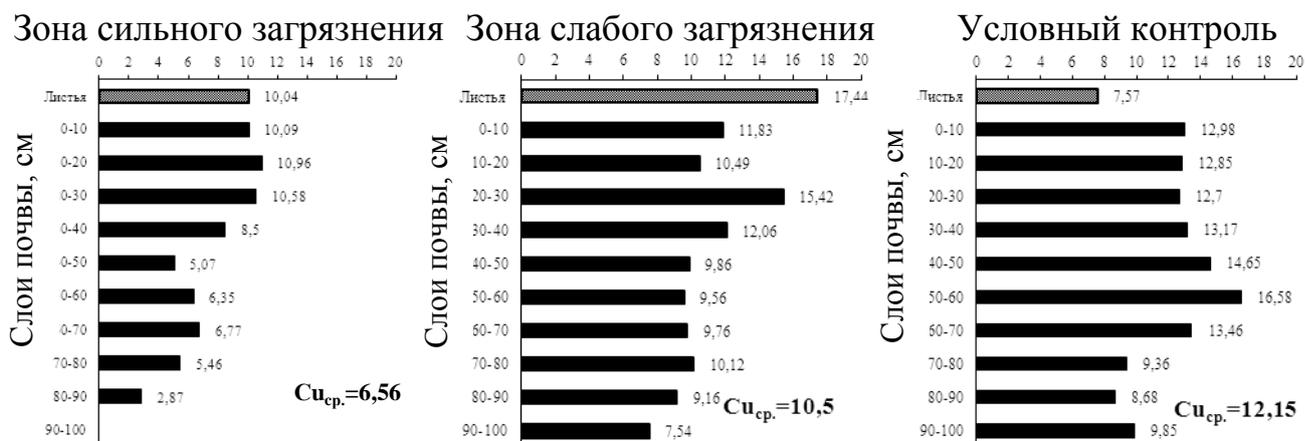


Рисунок 26 – Содержание Cu в листьях дуба и слоях почвы УПЦ, мг/кг

Таблица 7 – Среднее содержание тяжелых металлов в слоях почвы в дубовых древостоях на территории УПЦ

Местоположение	Среднее содержание, мг/кг сухой массы				
	Cu	Cd	Zn	Fe	Pb
Зона сильного загрязнения	6,56*	0,25*	27,17*	12842*	13,28*
Зона слабого загрязнения	10,58*	0,13	46,11*	28480*	7,17*
Контроль	12,15*	0,12	47,01*	26516*	6,45*
ПДК (валовое содержание)	55	1,5	100	1000	32

* – различие достоверно при уровне значимости $W=5\%$, число степеней свободы $\nu=4$, значении критерия Стьюдента $t_{теор}=2,78$

В районе исследования листья дуба накапливают Cd в токсических концентрациях (Рисунок 27, Приложение В), иногда почти в 3 раза превышающих пороговые (область избыточных концентраций более 1,0 мг/кг). При усилении степени атмосферного загрязнения наблюдается незначительное уменьшение концентрации Cd в листьях (с 2,49 мг/кг в зоне контроля до 2,02 мг/кг в зоне сильного загрязнения), а в зоне слабого загрязнения отмечается наименьшая

концентрация Cd – 1,15 мг/кг, но также превышающего допустимые нормы. Это может быть связано с тем, что контроль находится в зоне ведения сельского хозяйства и внесение в почву кадмий содержащих удобрений способствует распространению его в близлежащие лесные экосистемы вместе с талыми водами. Кроме того, накопление Cd в листьях значительно превышает содержание этого металла в почве.

Усиление промышленного загрязнения сопровождается значительным увеличением средней концентрации Cd в почве (Рисунок 27, Таблица 7): с 0,12 мг/кг в контроле до 0,25 мг/кг в зоне сильного загрязнения (в 2 раза). Содержание Cd в почве во всех зонах не достигает токсичных концентраций (область избыточных концентраций более 1,5 мг/кг). Максимальная аккумуляция Cd в условиях сильного загрязнения (Приложение В) наблюдается в слое 0-30 см (максимум на горизонте 0-10см – 0,48 мг/кг) и уменьшается по мере углубления с минимумом на горизонте 80-90 см – 0,03 мг/кг. Максимальное накопление Cd в зоне слабого загрязнения также происходит в поверхностных слоях почвы 0-20 см, с максимумом на горизонте 0-10 см – 0,20 мг/кг и постепенно уменьшается по мере углубления, достигая минимального значения на горизонте 90-100 см – 0,08 мг/кг. По мере усиления промышленного загрязнения отмечается увеличение содержания Cd в поверхностных слоях почвы.

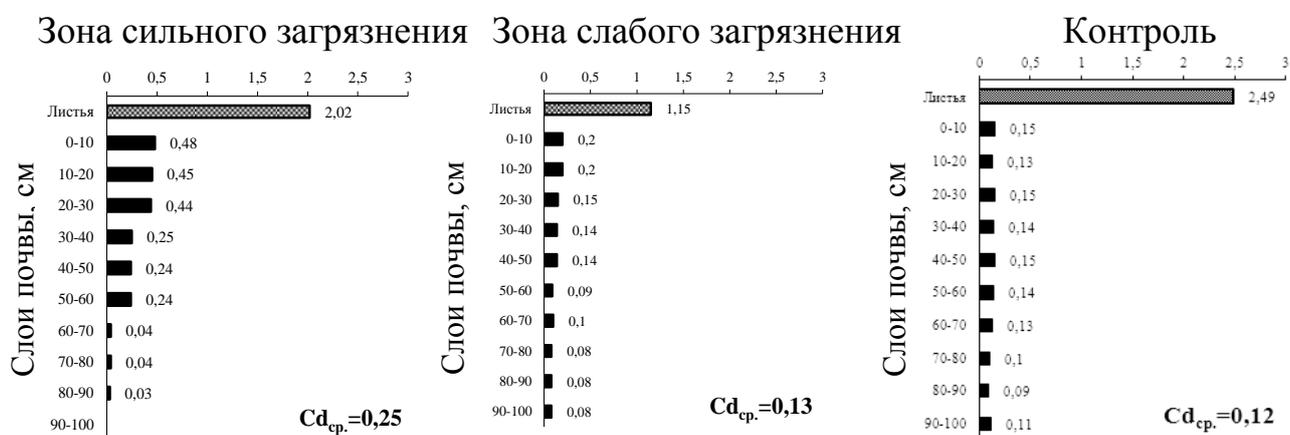


Рисунок 27 – Содержание Cd в листьях дуба и слоях почвы УПЦ, мг/кг

Высокий уровень накопления в листьях Cd подавляет поступление Zn (Рисунок 28, Приложение В) – он находится близко к границе дефицита (от 53 мг/кг до 82,9 мг/кг, область избыточных концентраций для листьев более 400 мг/кг). Отмечена тенденция значительного увеличения содержания Zn по мере усиления промышленного загрязнения (от 58,2 мг/кг в контроле до 82,9 мг/кг в зоне сильного загрязнения). В контроле и зоне слабого загрязнения концентрация Zn в листьях незначительно превышает накопление этого металла в почве, а в зонах сильного загрязнения его содержание в 3 раза выше, чем в почве.

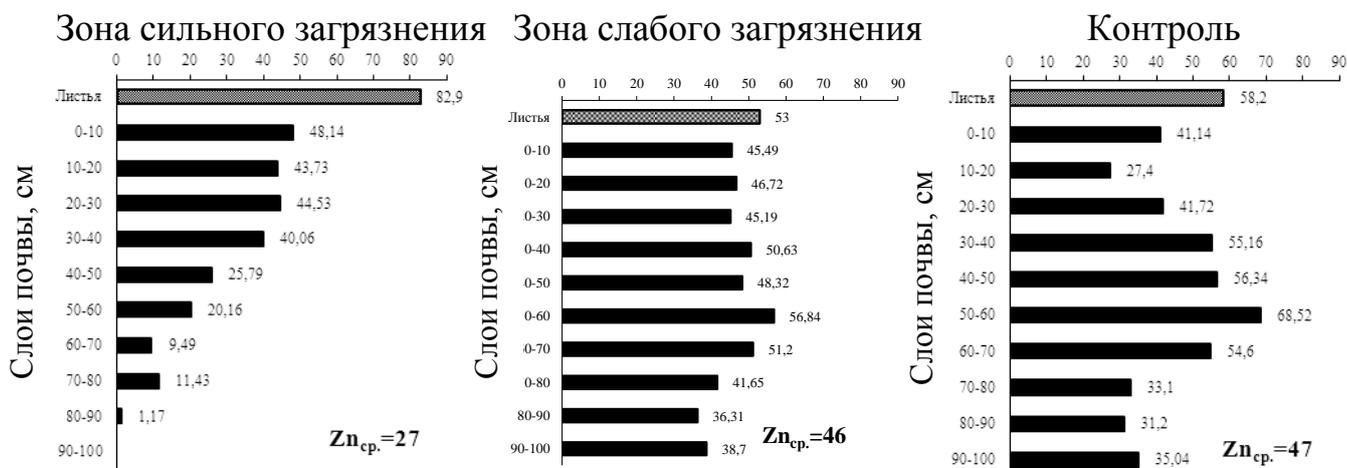


Рисунок 28 – Содержание Zn в листьях дуба и слоях почвы УПЦ, мг/кг

При усилении степени промышленного загрязнения происходит уменьшение средней концентрации Zn в почве (Рисунок 28, Таблица 7): с 47,01 мг/кг в контроле до 27,17 мг/кг в зоне сильного загрязнения (в 2,5 раза). Содержание Zn не превышает нормы и не достигает токсичных концентраций (ПДК валового содержания для почв 100 мг/кг). Максимальная аккумуляция Zn в условиях сильного загрязнения (Приложение В) наблюдается в слое 0-40 см (максимум на горизонте 0-10 см – 48,14 мг/кг), и значительно уменьшается по мере углубления, с минимумом на горизонте 80-90 см – 1,17 мг/кг. Максимальное накопление Zn в зоне слабого загрязнения происходит значительно глубже – до 70 см, с максимумом на горизонте 50-60 см – 56,84 мг/кг, и незначительно уменьшается до глубины 90-100 см – 38,70 мг/кг, что может говорить о более глубоком вымывании Zn из поверхностных слоев. Максимальная аккумуляция Zn в контроле наблюдается в слое 0-60 см, с максимумом на горизонте 50-60 см – 68,52

мг/кг, и постепенно уменьшается по мере углубления, минимум на горизонте 80-90 см – 31,20 мг/кг.

У дуба накопление Fe в листьях (Рисунок 29, Приложение В) не превышает нормы – от 210,2 до 681,6 мг/кг, но находится на пороге токсических концентраций (область избыточных концентраций более 750 мг/кг). При усилении промышленного загрязнения наблюдается увеличение аккумуляции Fe (с 528,8 мг/кг в контроле до 681,6 мг/кг в зоне сильного загрязнения), а наименьшая аккумуляция Fe в зоне слабого загрязнения – 210,2 мг/кг. Дуб черешчатый можно рассматривать как растение-исключатель Fe, т.к. концентрация этого элемента в листьях гораздо ниже, чем его концентрация в почве (в среднем от 50 до 150 раз).

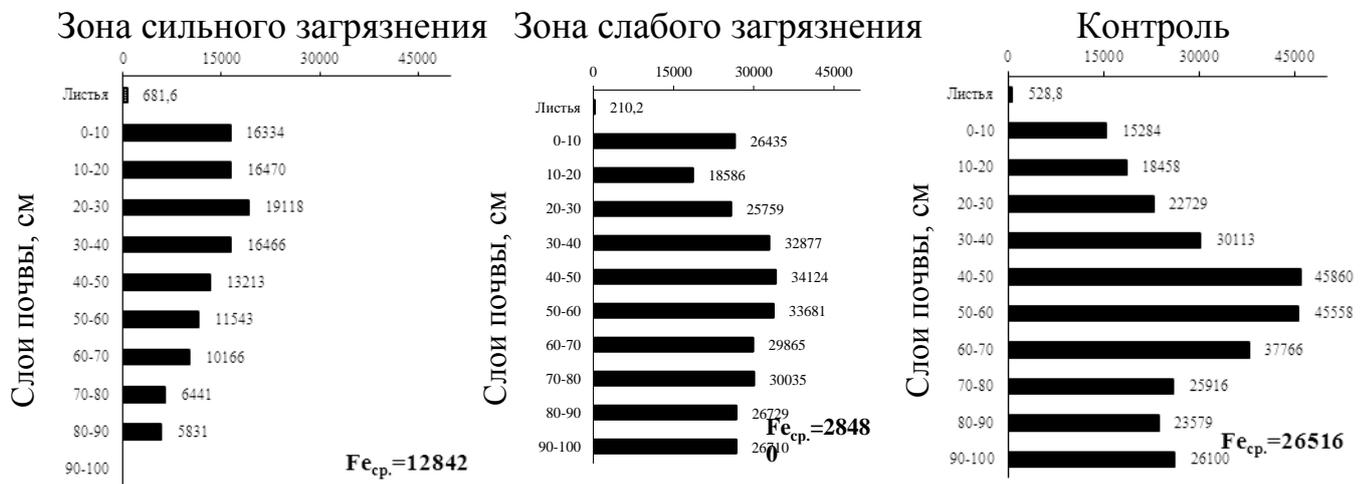


Рисунок 29 – Содержание Fe в листьях дуба и слоях почвы УПЦ, мг/кг

Усиление промышленного загрязнения сопровождается уменьшением средней концентрации Fe в почве (Рисунок 29, Таблица 7): с 26516 мг/кг в контроле до 12842 мг/кг в зоне сильного загрязнения (в 2 раза). Содержание Fe превышает нормы и достигает токсичных концентраций (область избыточных концентраций более 1000 мг/кг). Максимальная аккумуляция Fe в условиях сильного загрязнения (Приложение В) наблюдается в слое 0-30 см (максимум на горизонте 20-30 см – 19118 мг/кг), и значительно уменьшается по мере углубления, с минимумом на горизонте 80-90 см – 5831 мг/кг. Максимальное накопление Fe в зоне слабого загрязнения происходит глубже – до 60 см, с максимумом на горизонте 40-50 см – 34124 мг/кг, и незначительно уменьшается до глубины 90-100 см – 26710 мг/кг. Максимальная аккумуляция Fe в контроле

наблюдается в слое 30-70 см с максимумом на горизонте 40-50 см – 45860 мг/кг, и постепенно уменьшается к горизонту 90-100 см – 26100 мг/кг, что возможно связано с вымыванием Fe из верхних горизонтов в более глубокие слои почвы.

Содержание Pb в листьях дуба (Рисунок 30, Приложение В) во всех условиях произрастания не превышает нормы и не достигает токсичных концентраций (область избыточных концентраций более 10 мг/кг). Прослеживается четкая тенденция увеличения содержания Pb в листьях при усилении промышленного загрязнения (с 1,37 мг/кг в контроле до 4,2 мг/кг в зоне сильного загрязнения). Во всех рассматриваемых условиях содержание этого металла в листьях значительно ниже, чем в почве.

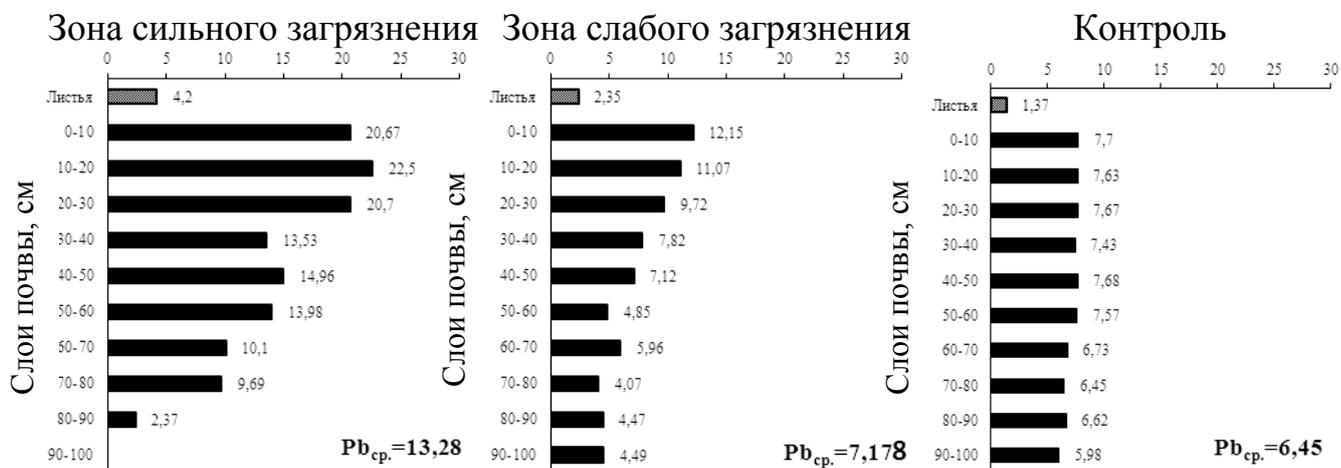


Рисунок 30 – Содержание Pb в листьях дуба и слоях почвы УПЦ, мг/кг

При усилении степени промышленного загрязнения происходит значительное увеличение средней концентрации Pb в почве (Рисунок 30, Таблица 7): с 6,45 мг/кг в контроле до 13,28 мг/кг в зоне сильного загрязнения (в 2 раза). В целом содержание Pb во всех зонах не превышает нормы и не достигает токсичных концентраций (ПДК 32 мг/кг). Прослеживается четкая тенденция увеличения содержания Pb в поверхностных слоях почвы при усилении промышленного загрязнения. Максимальная аккумуляция Pb в условиях сильного загрязнения (Приложение В) наблюдается в слое 0-30 см (максимум на горизонте 10-20 см – 22,58 мг/кг), и постепенно уменьшается по мере углубления, с минимумом на горизонте 80-90 см – 2,37 мг/кг. Максимальное накопление Pb в зоне слабого загрязнения также происходит в поверхностных слоях почвы 0-30 см, с максимумом на горизонте 0-10 см – 12,15 мг/кг и постепенно уменьшается

по мере углубления, достигая минимального значения на горизонте 70-80 см – 4,07 мг/кг. Максимальная аккумуляция Pb в контроле наблюдается в слое 0-50 см, с максимумом на горизонте 0-10 см – 7,70 мг/кг, и постепенно уменьшается по мере углубления, минимум на горизонте 90-100 см – 5,98 мг/кг.

Выводы

1. Из изученных ТМ содержание Cu, Cd, Zn, Pb в почвах дубовых древостоев во всех зонах находится в норме и не превышает токсических значений. Содержание Cu, Cd, Zn, Pb практически не изменяется как при усилении загрязнения, так и при увеличении глубины взятия образцов. Содержание Fe в почве древостоев во всех зонах превышает нормы и достигает токсических значений. При усилении степени загрязнения наблюдается значительное увеличение концентрации Cd и Pb, в поверхностных слоях почвы, что предположительно вызвано их длительным накоплением при производстве этилированного бензина и его использовании.

2. Содержание Pb и Cu в листьях дуба находится в норме и не превышает токсических концентраций. Для листьев дуба характерно увеличение накопления Cd в токсических концентрациях, почти в 3 раза превышающих пороговые. Избыточное накопление Cd подавляет поступление Zn, находящегося близко к границе дефицита. Накопление Fe в листьях находится на пороге токсических концентраций, однако при этом его содержание в листьях намного ниже его содержания в почве.

3. По отношению к накоплению ТМ дуб черешчатый является аккумулятором Cd (его содержание в листьях в несколько раз превышает содержание этого металла в почве), индикатором Cu, Zn (содержание этих металлов в листьях соответствуют их содержанию в почве), и исключателем Pb, Fe (поддерживается низкая концентрация этих металлов в листьях, несмотря на высокую их концентрацию в почве).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из поставленных задач исследования, представлена эколого-биологическая характеристика дуба черешчатого, произрастающего в условиях Уфимского промышленного центра:

1. Адаптивной экологической видоспецифичностью дуба по отношению к нефтехимическому загрязнению является усиление ксероморфности по площади листа и ослабление ксероморфности по устьичному индексу, длине жилок и линейному приросту побегов. Уменьшение линейных и количественных размеров в июле относительно общей вегетационной динамики указывает на повторное облиствление пораженных крон деревьев.

2. Нефтехимическое загрязнение подавляет радиальный прирост стволовой древесины и оказывает сильное влияние на начальные стадии онтогенеза дуба, значительно сокращая прохождение виргинильного периода, в результате чего прирост деревьев становятся более чувствительными к техногенному воздействию наряду с климатическими изменениями.

3. Листья дуба характеризуются высоким относительным содержанием воды и низким дефицитом водного насыщения, промышленное загрязнение не оказывает на них существенного и достоверного влияния. Наиболее чувствительным параметром является интенсивность транспирации: показано нарушение суточного транспирационного процесса и подавление его в динамике вегетационного периода.

4. Пигментный комплекс листьев дуба характеризуется повышенной чувствительностью к усилению промышленного загрязнения: значительно уменьшается содержание пигментов хлорофилльного комплекса и растет концентрация каротиноидов, что подтверждается соотношением « $(X_{л a} + X_{л b}) / \text{Каротиноиды}$ ». Соотношение « $X_{л a} / X_{л b}$ » свидетельствует о достаточной стабильности уровня содержания хлорофиллов a и b .

5. При усилении нефтехимического загрязнения в почвенном покрове древостоев значительно увеличивается содержание гумуса и щелочно-гидрализованного азота, тесно коррелирующих с увеличением содержания

углеводородов и изменением кислотности почвы от слабокислой до щелочной. При этом увеличивается общая корненасыщенность почвы, доля проводящих полускелетных и проводящих скелетных корней и уменьшается доля поглощающих корней, а также увеличивается равномерность распределения поглощающих и проводящих корней по почвенному профилю.

6. В почвах древостоев содержание Cu, Cd, Zn, Pb не превышает ПДК, их содержание не изменяется как при усилении загрязнения, так и при увеличении глубины почвы; содержание Fe превышает ПДК. В листьях дуба содержание Pb и Cu не превышает токсических концентраций, но накопление Cd в 3 раза превышает токсические концентрации, что подавляет поступление Zn, находящегося на границе дефицита; накопление Fe находится на пороге токсических концентраций. Усиление загрязнения сопровождается увеличением накопления металлов в листьях, по отношению к которым дуб является: «аккумулятором» Cd, «индикатором» Cu, Zn и «исключателем» Pb, Fe.

7. Общая оценка состояния древостоев дуба показала, что усиление промышленного загрязнения сопровождается значительным ухудшением их жизненного состояния. Таким образом, в условиях с выраженными критическими природно-климатическими и техногенными характеристиками при озеленении промышленных зон следует отказаться от широкого использования дуба, но содействовать его естественному возобновлению и поддержанию санитарного состояния существующих древостоев.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВР – водный режим,

ДВН – дефицит водного насыщения,

ЖНП – Живой напочвенный покров

ИТ – интенсивность транспирации

КЧ – коэффициент чувствительности

ОСВ – относительное содержание воды,

ТМ – тяжелые металлы

УПЦ – Уфимский промышленный центр,

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеева, А. В. Влияние городской среды на состояние природных лесов / А. В. Авдеева, В. В. Кузьмичев // Экология. – 1997. – №4. – С. 248-252.
2. Автухович, И. Е. Деревья как индикаторы экологически неблагоприятных условий крупного мегаполиса / И. Е. Автухович, Б. А. Ягодин // Известия ТСХА. – 2000. – Вып. 1. – С. 180-183.
3. Агафонов, Л. И. Влияние гидрологического и температурного режимов на радиальный прирост лиственных пород в пойме Нижней Оби / Л. И. Агафонов // Экология. – 1995. – №6. – С. 428-436.
4. Агроклиматические ресурсы Башкирской АССР. – Л.: Гидрометеиздат. – 1976. – 235 с.
5. Агрохимические методы исследования почв / Под ред. Соколова А. В. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
6. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
7. Алексеев, А. М. Водный режим растений и влияние на него засухи / А. М. Алексеев. – Казань: КГУ, 1948. – 227 с.
8. Алексеев, А. С. Колебания радиального прироста в древостоях при атмосферном загрязнении / А. С. Алексеев // Лесоведение. – 1990. – № 2. – С. 82-86.
9. Алексеев, В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев / В. А. Алексеев // Лесоведение. – 1989. – №4. – С. 51-57
10. Алексеев, В. А. Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем / В. А. Алексеев // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. – Л.: Наука, 1990. – С. 38-54.
11. Алисов, Б. П. Климатические области и районы СССР / Б. П. Алисов. – М.: Географиз, 1947. – 127 с.
12. Антанайтис, В. В. Прирост леса / В. В. Антанайтис, В. В. Загреев. – Лесная промышленность, 1981. – 200 с.
13. Антипов, В. Г. Влияние дыма и газа, выбрасываемых промышленными предприятиями, на сезонное развитие деревьев и кустарников /

В. Г. Антипов // Ботанический журнал. – 1957. – Т. 42.– № 1.– С. 92-95.

14. Антипов, В. Г. Отношение древесных растений к промышленным газам : автореф. дисс. ... докт. биол. наук : / Антипов В. Г.– Л., 1975. – 42 с.

15. Ахмадуллин Р. Эколого-биологическая характеристика ивы белой (*Salix alba* L.) в условиях Уфимского промышленного центра: автореф. дисс... канд. биол. наук: 03:02:01 / Ахмадуллин Рустем Шамилович. – Оренбург, 2014. – 24с.

16. Баимова, С. Р. Тяжелые металлы в системе «Почва – Растение – Животные» в условиях Башкирского Зауралья: автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Баимова Светлана Ринатовна. – Уфа, 2009. – 22с.

17. Батуева, И. Ю. Химия нефти / И. Ю. Батуева, А. А. Гайле, Ю. В. Паконова. – Ленинград: Химия, 1984. – 360 с.

18. Башкортостан: Краткая энциклопедия // Энциклопедия. – Уфа: НИ Башкирская энциклопедия, 1996. – 672с.

19. Белов, А. В. Дендрохронологический метод в проблеме изучения техногенной устойчивости растительного покрова Южного Прибайкалья / А. В. Белов, Л. А. Выркина // Проблемы дендрохронологии и дендроклиматологии. – Свердловск: УрО АН СССР, 1990. – С. 15.

20. Бикеев, Л. Г. Дендрохронологический метод в лесопатологическом мониторинге лесов / Л. Г. Бикеев, И. А. Алексеев, Е. И. Шведов // Проблемы лесопатологического мониторинга в таежных лесах Европейской части СССР.– 1991. – С. 7-9.

21. Битвинскас, Т. Л. Дендро-климатические исследования / Т. Л. Битвинскас. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 172 с.

22. Бойко, А. А. Дендрэкологическая характеристика березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в условиях смешанного типа загрязнения окружающей среды (Уфимский промышленный центр): автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.05 / Бойко Александр Анатольевич. – Оренбург: Оренбургский государственный педагогический университет, 2005. – 22 с.

23. Бойко, А. А. Особенности водного режима ассимиляционного аппарата древесных растений в условиях техногенного загрязнения / А. А. Бойко,

Р. В. Уразгильдин // Лесной вестник. – 2004. – №5 (36). – С.118-121.

24. Большевцев, В. Г. Годичные кольца у дуба как показатель вековых циклов колебаний климата / В. Г. Большевцев // Лесоведение. – 1970. – № 1. – С. 15-23.

25. Бриллиант, В. А. Фотосинтез как процесс жизнедеятельности растений / В. А. Бриллиант. – М.: Изд-во АН СССР, 1949. – С. 160

26. Брицке, М. Э. Атомно - абсорбционный спектрохимический анализ (Методы аналитической химии) / М. Э. Брицке. – М.: Химия, 1982. – 224 с.

27. Булавин, Е. С. Однородность связи скорости роста по высоте и диаметру сосны / Е. С. Булавин // Материалы 9 конференции аспирантов и научных сотрудников ВНИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства. – М., 1986. – С. 264-268.

28. Булыгин, Н. Е. Дендрология /Н. Е. Булыгин. – Л.: Агропромиздат. Ленинградское отделение, 1991. – 352 с

29. Бурда, Р. И. К вопросу об антропогенной трансформации флоры / Р. И. Бурда // Украинский ботанический журнал. – 1996. – 53, № 1. – 2. – С. 26-31.

30. Бутник, А. А. Адаптация анатомического строения видов семейства Chenopodiaceae Vent, к аридным условиям: автореф. дисс. ... д-р биол. наук: 03.02.01 /Бутник А. А. – Ташкент, 1984. – 41 с.

31. Бухарина, И. Л. К вопросу о влиянии техногенной среды на формирование и биохимический состав годичного побега древесных растений / И. Л. Бухарина, К. Е. Ведерников, Т. М. Поварничина // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2007. – № 2. –С. 145-148.

32. Бухтояров, В. А. Воздействие антропогенных факторов на состояние лесных насаждений / В. А. Бухтояров, О. Д. Цыплакова // Лесное хозяйство. – 1984. – № 7. – С. 33-34.

33. Ваганов, Е. А. Роль и структура годичных колец хвойных / Е. А. Ваганов, А. В. Шашкин. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 232 с.

34. Ваганов, Е. А. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике / Е. А. Ваганов, С. Г. Шиятов В. С. Мазепа. – Новосибирск: Наука, 1996. – 246 с.

35. Василевская, В. К. Структурные приспособления растений пустынь Средней Азии / В. К. Василевская // Проблемы современной ботаники. – М.: Наука, 1965. – С. 71 – 104.
36. Васильев, Б. Р. Строение листа древесных растений различных климатических зон / Б. Р. Васильев. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1988. – 208 с.
37. Васильева, К. А. Эколого-биологические особенности клена остролистного (*ACER PLATANOIDES L.*) в условиях техногенного загрязнения: автореф... канд. биол. наук: 03.02.08 / Васильева Ксения Анатольевна. – Уфа, 2011. – 22с.
38. Васфилов, С. П. Возможные пути негативного влияния кислых газов на растения / С. П. Васфилов // Журнал общей биологии. – 2003. – Т. 64. – № 2. – С. 146-159.
39. Веселкин Д. В. Реакция эктомикориз хвойных на техногенное загрязнение: автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Веселкин Денис Васильевич. – Екатеринбург, 1999. – 21 с.
40. Веретенников, А. В. Фотосинтез древесных растений / А. В. Веретенников. – Воронеж: ВЛТИ, 1980. – 420с.
41. Веретенников, А. В. Влияние некорневой подкормки макроэлементами на водоудерживающую способность древесных растений, произрастающих на промышленных отвалах КМА / А. В. Веретенников, Т. Е. Горчакова. – Воронеж: ВЛТИ, 1984. – 9 с.
42. Веретенников, А. В. Основные физиологические процессы и условия внешней среды в онтогенезе древесных растений / А. В. Веретенников // Лесной журнал. – 1992. – № 5. – С. 9-14.
43. Верхунов, П. М. Влияние природных и антропогенных факторов на современное состояние дубовых лесов Чувашской Республики / П. М. Верхунов, И. П. Курненко, Н. Ш. Шукенбаева // Междунар. науч. конф. Влияние атмосферного загрязнения и др. антропогенных и природных факторов на дестабилизацию состояния лесов Центр. и Вост. Европы. – М., 1996. – С. 125-127.

44. Винник, М. А. Биологическая аккумуляция микроэлементов в почвах под пологом леса / М. А. Винник // Труды Воронежского государственного заповедника. – 1961. – Вып.3. – С.26-29.
45. Вихров, В. Е. Некоторые принципы дендроклиматологии. / В. Е. Вихров, Б. А. Колчин // Вопросы лесного хозяйства лесного и химической промышленности. Минск: Высшая школа, 1967. – С. 22-37.
46. Вишневская, Л. И. Некоторые экологические аспекты исследования жилкования листа древесных / Л. И. Вишневская. – М.: Главный ботанический сад АН СССР, 1990. – С. 3-9.
47. Власюк, П. А. Химические элементы и аминокислоты в жизни растений, животных и человека / П. А. Власюк, Н. М. Шкварук, С. Е. Сапатый, Г. Д. Шамотиенко. – Киев: Наукова думка, 1974. – 218 с.
48. Воробьева, М. Г. Водный режим лип в культуре ботанического сада АН Киргизской ССР / М. Г. Воробьева // Интродукция и акклиматизация растений в Киргизии. – Фрунзе: Илим, 1971. – 9с.
49. Габитова, А. А. Дуб черешчатый (*QUERCUS ROBUR L.*) на Южном Урале: эколого-генетический анализ популяционной структуры: автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / Габитова Айгуль Айдаровна. – Уфа, 2012. – 18 с.
50. Ган, П. А. Водный режим ели Шренка в Северном Тянь-Шане / П. А. Ган, Г. Н. Десятников. // Тезисы докладов VI Всесоюзного совещания по вопросам изучения и освоения флоры и растительности высокогорий. – Ставрополь, 1974. – С. 32-33.
51. Гармаш, Г. А. Содержание свинца и кадмия в различных частях картофеля и овощей, выращенных на загрязненной этими металлами почве / Г. А. Гармаш // Химические элементы в системе почва-растение. – Новосибирск: Наука, 1982. – С. 105-110.
52. Генкель, П. А. Физиология растений / П. А. Генкель. –4-е изд-е, перераб. и доп.– М.: Просвещение, 1975. – 335 с.
53. Герасимов, А.О. Устойчивость хвойных пород в уличных посадках Санкт-Петербурга: авторефер. дисс.... канд. биол. наук: 06.03.03 / Герасимов

Александр Олегович. – СПб, 2003. – 181 с.

54. Гетко, Н. В. Газопоглотительная способность деревьев и кустарников / Н. В. Гетко. – Киев: Наукова думка, 1968. – С. 112-115.

55. Гетко, Н. В. Растения в техногенной среде: Структура и функция ассимиляционного аппарата / Н. В. Гетко. – Мн.: Наука и техника, 1989. – 208 с.

56. Гиниятуллин, Р. Х. Состояние корневой системы березы повислой в условиях стерлитамакского промышленного центра / Р. Х. Гиниятуллин, А. Ю. Кулагин // Вестник Удмуртского Университета. – 2012. – Вып. 4. – С.21-24.

57. Глазовская, М. А. Геохимические основы и методики исследования природных ландшафтов / М. А. Глазовская. – М.: Изд-во МГУ, 1964. – 230 с.

58. Годичные кольца – тема для практического лесного исследования. Jahrring, ein Thema der praktischen forstlichen Forschung / Schweingruber Fritz H. // Schweiz Z. Forstw. – 1996. – № 12. – С. 939-960.

59. Горчаковский, П. Л. Флора и растительность высокогорного Урала / П. Л. Горчаковский // Тр. Ин-та биол. УФАН СССР. – Свердловск, 1966. – 70с.

60. Горышина, Т. К. Растения в городе / Т. К. Горышина. – Л.: ЛГУ, 1991. – 152 с.

61. Горышина, Т. К. Пластидный аппарат травянистых растений лесостепной дубравы в разных условиях освещённости / Т. К. Горышина, Т. Н. Заботина, Е. Г. Пружина // Экология. – 1975. – №5. С. 15 - 22.

62. Горячев, В. М. Анализ естественного и антропогенного воздействия на радиальный прирост сосны обыкновенной в лесопарковой зоне Екатеринбурга / В. М. Горячев, Ю. В. Карасева // Актуальные проблемы биологии и экологии. Тезисы докладов IV молодежной научной конференции. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1999. – С. 48.

63. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Башкортостан в 2014 году. – Уфа, 2015. – 336 с.

64. ГОСТ 17.4.3.0Г – 1983. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. – М.: Стандартиформ, 2008. – 3 с.

65. ГОСТ 17.4.3.0Г-1985 Охрана природы. Почвы. Требования к охране

плодородного слоя почвы при производстве земляных работ. – М.: Стандартиформ, 2008. – 3 с.

66. Гребинский, С. О. Биохимия растений / С. О. Гребинский. – 2-е изд., доп. – Львов: Издательство при Львовском университете, 1975. – 279 с.

67. Грицан, Ю. И. Экоклиматический аспект дендроиндикации / Ю. И. Грицан // Возможности методов измерения сверхмалых количеств изотопов. – Л., 1990. – С. 143-154.

68. Гришко, В. Н. К методике оценки состояния древесных растений в условиях городской среды / В. Н. Гришко, К. Б. Плюто, З. Н. Столяренко // Роль ботаничних садів в зеленому будівництві міст, курортних та рекреаційних зон. – 2002. – С. 126-131.

69. Громадин, А. В. Дендрология / А. В. Громадин, Д. Л. Матюкин – М.: Академия. – 2010. – 366с.

70. Гудериан, Р. Загрязнение воздушной среды / Р. Гудериан, У Мэннинг, Р. Шуберт. – М.: Мир, 1973. – 200 с.

71. Гусев, Н. А. Некоторые закономерности водного режима растений / Н. А. Гусев. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 158 с.

72. Гусев, Н. А. Физиология водообмена растений / Н. А. Гусев. – Казань: КГУ, 1966. – 135 с.

73. Гусев, Н. А. Диагностика состояния воды в растениях по ходу почвенной засухи в зависимости от изменения внешних и внутренних факторов / Н. А. Гусев, Л. П. Хохлова, А. А. Седых, М. А. Коршунов, Л. Х. Гордон, Т. М. Белькович, А. А. Залялов // Растительность и промышленные загрязнения. – Свердловск, 1966. – С. 25-27.

74. Данилов-Данильян, В. И. Окружающая среда между прошлым и будущим / В. И. Данилов-Данильян, В. Г. Горшков, Ю. М. Арский, К. С. Лосев. – М.: Зеленый мир, 1994. – №25.– С. 12-13

75. Дашкевич, А. П. Водный режим [древесных] растений в условиях промышленного загрязнения рудного Алтая / А. П. Дашкевич // Актуал. задачи физиологии и биохимии растений в ботан. садах СССР. – Пущино, 1984. – С. 52.

76. Демаков, Ю. П. Защита растений. Жизнеспособность и жизнестойкость древесных растений / Ю. П. Демаков. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 76 с.

77. Демьянов, В. А. Влияние промышленного загрязнения на радиальный прирост *Larix Gmelinii* (Pinaceae) / В. А. Демьянов, Л. И. Китсинг, В. Т. Ярмишко // Изв. РАН. Сер.биол. – 1996. – № 4. – С. 490-494.

78. Дергачев, В. А. Космический радиоуглерод в кольцах деревьев и солнечная активность / В. А. Дергачев // Вид и его продуктивность в ареале. Программа ЮНЕСКО «Человек и биосфера». – М., 1991. – С. 76.

79. Добросердова, И. В. Влияние засухи на водный режим некоторых гибридов тополей / И. В. Добросердова // Бюллетень Всесоюзного института агролесомелиорации. – 1967. – вып. 2 (54) – С. 39-42.

80. Довгушина, В. В. Антропогенные воздействия на природную среду / В. В. Довгушина, М. Н. Тихонов // Медицинские катастрофы. – 1994. – № 3-4. – С. 154-160.

81. Донник, И. М. Содержание радионуклидов, солей тяжелых металлов и фтора в воде, растительных кормах, органах и тканях животных из районов промышленного загрязнения / И. М. Донник // ЦНТИ. – Екатеринбург, 1996. № 1014. – С. 4-96.

82. Дончева-Бонева, М. Н. Воздействие токсических газов на содержание пигментов в хвое сосны обыкновенной / М. Н. Дончева-Бонева // Влияние атмосферного загрязнения и других антропогенных и природных факторов на дестабилизацию состояния лесов Центральной и Восточной Европы. – М.: МГУЛ, 1996. – Т. 1. – С. 56-57.

83. Доценко, А. П. Прирост важнейших древесных пород по диаметру ствола в подзоне елово-грабовых дубрав БССР в связи с гидротермическими условиями и возрастом / А. П. Доценко // Повышение продуктивности елово-грабовых дубрав БССР. – Минск: Наука и техника, 1974. – С. 146-187.

84. Дудыч, Я. И. Особенности роста и накопления пигментов у полусибсовых сеянцев сосны обыкновенной / Я. И. Дудыч // Проблемы

физиологии и биохимии древесных растений. – Петрозаводск, 1989. – С. 175.

85. Дурмишидзе, С. В. Усвоение газообразного аммиака разными растениями / С. В. Дурмишидзе, Н. Н. Нуцибидзе // Сообщения АН ГрССР. – 1970. –Т. 59. – № 2. –С. 457-460.

86. Елисеева, Н. С. Водообмен и физиологические процессы растений / Н. С. Елисеева, Л. Л. Федяева, И. П. Денисова. – Казань, 1981. – С. 38.

87. Еремин, В. М., Бойко В.И. Анатомическое строение коры стебля некоторых видов семейства Ericaceae / В. М. Еремин, В. И. Бойко // Ботанический журнал. – 1998. –Т.83. – № 8. – С. 1-15.

88. Журкова, Н. В. Биомониторинг состояния древесных пород в условиях большого города: автореф. дисс....канд. биол. наук: 03.00.16. / Журкова Наталья Владимировна. – М.: 2002. –25 с.

89. Зайцев, Г. А. Особенности формирования корневых систем сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.) в техногенных условиях Предуралья (Уфимский промышленный центр): автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Зайцев Глеб Анатольевич. – Уфа: БГУ, 2000. –16 с.

90. Зайцев, Г. А. Сосна обыкновенная и нефтехимическое загрязнение / Г. А. Зайцев, А. Ю. Кулагин. – М.: Наука, 2006. – 124с.

91. Закман, Л. М. Сезонные изменения содержания пигментов пластид в листьях местных и интродуцированных растений за Полярным кругом / Л. М. Закман // Ботанический журнал. – 1969. –Т.54. –№8. –С.1142 - 1157.

92. Залетухин, В. Д. Физиология растений / В. Д. Залетухин. – 1969. – Т.3. – С.425-531.

93. Захаров, В. М. Биотест: Интегральная оценка здоровья экосистемы и отдельных видов / В. М. Захаров, Д. Кларк. – М.: Московское отделение международного фонда "Биотест", 1993. – 79 с.

94. Зиятдинова, К. З. Накопление тяжелых металлов в листьях основных лесобразователей Предуралья на примере Уфимского промышленного центра / К. З. Зиятдинова, Р. В. Уразгильдин, А. В. Денисова // Материалы XIX Международной молодежной научной конференции студентов, аспирантов и

молодых ученых «Ломоносов». – 2012. – [Электронный ресурс].

95. Иванов, Л. А. О методе быстрого взвешивания для определения транспирации в естественных условиях / Л. А. Иванов, А. А. Силина, Ю. Л. Цельникер // Ботанический журнал – 1950. – Т. 35.– №2. – С. 171-185.

96. Иванченко, В. М. Водный режим растений в связи с различными экологическими условиями / В. М. Иванченко, Б. И. Легенченко, С. С. Кручинина. – Казань: КГУ, 1978. – С. 236-244.

97. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 152 с.

98. Ильин, В. Б. Распределение свинца и кадмия в растениях пшеницы, выращенной на почвах, загрязненных этими элементами / В. Б. Ильин, М. Д. Степанова // Агрехимия – 1980. – № 5. – С. 114-119.

99. Ильин, В. Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В. Б. Ильин, А. И. Сысо. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.

100. Ильин, С. С. К методике изучения корневой системы растений / С. С. Ильин // Ботанический журнал. – 1961. – Т. 46. – № 10. – С. 1533-1537.

101. Илькун, Г. М. Газоустойчивость растений / Г. М. Илькун. – Киев: Наукова думка, 1971. – 146 с.

102. Илькун, Г. М. Растения и промышленная среда / Г. М. Илькун, В. В. Мотрук. – Киев: Наукова думка, 1971 – С. 15-21.

103. Илькун, Г. М. Загрязнители атмосферы и растения / Г. М. Илькун. – Киев: Наукова думка, 1978. – 246 с.

104. Кабата - Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата - Пендиас, Х. Пендиас. – Мир, 1989. – 439 с.

105. Кайбияйнен, Л. К. Макроскопические характеристики и статистические закономерности в водном обмене соснового ценоза / Л. К. Кайбияйнен // Проблемы физиологии и биохимии древесных растений.– Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1989.– С. 50-51.

106. Кавеленова, Л.М. проблемы организации системы фитомониторинга

городской среды в условиях лесостепи. – Самара: Универс групп. – 2006. – 223с.

107. Кагарманов, И. Р. Биологические особенности тополей в связи с лесовосстановлением в техногенных условиях Предуралья: автореф. дисс.... канд. биол. наук: 03.00.05 / И. Р. Кагарманов. – Уфа: Изд-во БГУ, 1995. – 18с.

108. Калинин, В. А. Экология / В. А. Калинин, В. И. Крюк, Н. А. Луганский, С. А. Шавнин. – 1991. – № 3. – С. 21-28.

109. Калинин, М. И. Корневедение: учебное пособие / М. И. Калинин. – Киев: УМК ВО, – 1989. – 196 с.

110. Калиниченко, А. А. Влияние хлорхолинхлорида на изменение некоторых морфологических признаков у древесных растений / А. А. Калиниченко // Научные труды Украинской сельскохозяйственной академии. – 1973. – Вып. 94. – Т. 2. – С. 56-58.

111. Касатиков, В. А. Влияние осадков городских сточных вод на микроэлементный состав дерново-подзолистой супесчаной почвы / В. А. Касатиков, В. Е. Рунин, С. М. Касатикова, Н. П. Шабардина // Агрехимия. – 1992. – №4. – С. 85-95.

112. Кахаткина, М. И. Состав гумуса пойменных почв, загрязненных нефтью / М. И. Кахаткина, В. В. Цуцаева, А. В. Новак // Рациональное использование почв и почвенного покрова Западной Сибири. – Томск: ТГУ, 1986. – С. 89–97.

113. Качинский, Н. А. Корневая система растений в почвах подзолистого типа / Н. А. Качинский // Исследования в связи с водным и питательным режимом почв. – М.:МОСХОЗ – 1925. – Вып.7. – 126 с.

114. Киреева, Н. А. Оценка степени загрязнения лесных почв нефтепродуктами по структуре их микробоценозов / Н. А. Киреева, Г. Г. Кузяхметова // Лесопользование, экология и охрана лесов: фундаментальные и прикладные аспекты. – Томск, 2005. – С. 177-178.

115. Клейн, Р. М. Методы исследования растений / Р. М. Клейн, Д. Т. Клейн. – М.: Колос, 1974. – 527 с.

116. Климат Уфы. / Под ред. В. Н. Бабиченко, М. А. Еремина. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 119 с.

117. Ковалев, П. В. Использование дендроиндикации для экологического мониторинга в районе г. Боржоми / П. В. Ковалев, А. И. Попов, К. Г. Сараджишили, А. В. Острянин // Проблемы дендрохронологии и дендроклиматологии. – Свердловск: УрО АН СССР, 1990. – С. 80-81.

118. Ковальский, В. В. Геохимическая экология / В. В. Ковальский. – М.: Наука, 1974. – 298 с.

119. Кодина, Л. А. Геохимическая диагностика нефтяного загрязнения почвы / Л. А. Кодина // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. – М.: Наука, 1988. – С. 112–122.

120. Колесников, В. А. Методика изучения корневой системы древесных растений / В. А. Колесников. – 2-е изд-е – М.: Лесная промышленность, 1972. – 152 с.

121. Колмогорова, Е. Ю. Жизненное состояние древесных и кустарниковых растений на территории дендрария «Зона Западной Сибири» / Е. Ю. Колмогорова // Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов: мат. междунар. конф. – Кемерово: КРЭОО «Ирбис», 2006. – С. 54-55.

122. Коловский, Р. А. О механизме корневой конкуренции / Р. А. Коловский // Лесоведение.– 1968–. №1.– С. 45-50.

123. Комин, Г. Е. К методике дендроклиматологических исследований / Г. Е. Комин // Труды Института экологии растений и животных Уральского филиала АН СССР. – 1970. – Вып. 67. – С. 234-241.

124. Косиченко, Н. Е. Связь гистологического состава и ширины годичного слоя различных типов древесины / Н. Е. Косиченко, И. Н. Вариводина, Н. Ю. Неделина // Науч журнал. КубГАУ. –2012. – №75(01). –С.1-13.

125. Костюкевич, Н. И. Исследование взаимосвязи прироста сосны выпадающими осадками и температурой воздуха по Лунинскому лесничеству / Н. И. Костюкевич, К. В. Манукова // Лесоведение и лесное хозяйство. – Минск: Высшая школа, 1971. – Вып. 4. – С. 53-57.

126. Костюченко, Р. Н. Особенности суточной и сезонной транспирации некоторых представителей рода *Salix* / Р. Н. Костюченко // Лесопользование, экология и охрана лесов: фундаментальные и прикладные аспекты: мат.

междунар. науч. - практ. конф. – Томск, 2005. – С. 19.

127. Крамер, П. Д. Физиология древесных растений / П. Д. Крамер, Т. Т. Козловский. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 464 с.

128. Красильников, П. К. К вопросу о методике изучения корневых систем древесных пород при экспедиционных геоботанических исследованиях / П. К. Красильников // Ботанический журнал. – 1950. – Т.35. – № 1. – С.57-67.

129. Красинский, Н. П. Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые ассортименты / Н. П. Красинский. – М.: Горький, 1950. – 495 с.

130. Кретович, В. Л. Биохимия растений / В. Л. Кретович. – М.: Высшая школа, 1986. – 503 с.

131. Крот, Л. А. О взаимоотношениях дуба, липы и клена через их корневые выделения / Л. А. Крот // Фитоцено-экологические исследования в Белоруссии. – Минск: Наука и техника, 1972. – С. 113-119.

132. Кудряшов, И. К. Районирование карста Башкирии (принципы районирования) / И. К. Кудряшов // Мат. шестого Всеуральского совещ. по вопросам географии и охраны природы, физико-географическое районирование. – Уфа, 1961. – С. 145-159.

133. Кулагин, А. А. Эколого-физиологические особенности тополя бальзамического (*Populusbalsamifera*L.) в условиях загрязнения окружающей среды металлами: автореф. дисс. канд. биол. наук: 03.00.16 / Кулагин Андерей Алексеевич. – Тольятти: Институт экологии, 2002. – 22 с.

134. Кулагин, А. А. Лиственница Сукачева в экстремальных лесорастительных условиях Южного Урала / А. А. Кулагин, Г. А. Зайцев. – М.: Наука. – 2008. – 56 с.

135. Кулагин, А. А. Реализация адаптивного потенциала древесных растений в экстремальных лесорастительных условиях: автореф. докт. биол. наук: 03.00.16 / Кулагин Андрей Алексеевич. – Тольятти: Институт экологии, 2006. – 36 с.

136. Кулагин, А. Ю. Средостабилизирующая роль лесных насаждений в условиях Стерлитамакского промышленного центра / А. Ю. Кулагин, Р. Х. Гиниятуллин, Р. В. Уразгильдин. – Уфа: Гилем, 2010. – 108 с.

137. Кулагин, А. Ю. Особенности размещения защитных лесных насаждений близ нефтехимических предприятий / А. Ю. Кулагин, А. А. Баталов // Охрана окружающей среды и здоровья населения в районах размещения крупных нефтехимических комплексов. – Уфа: Гилем, 1986. – С. 18-19.

138. Кулагин, Ю. З. Водный режим и газоустойчивость древесных растений / Ю. З. Кулагин // Растительность и промышленные загрязнения. – Свердловск, 1966. – С. 25-27.

139. Кулагин, Ю. З. Газоустойчивость и засухоустойчивость древесных пород / Ю. З. Кулагин // Тр. Ин-та биологии Уральский филиал АН СССР. – Свердловск, 1965. – Вып. 43. – С. 129-132.

140. Кулагин, Ю. З. Древесные растения и промышленная среда / Ю. З. Кулагин. – М.: Наука, 1974. – 125 с.

141. Кулагин, Ю. З. Лесообразующие виды, техногенез и экологическое прогнозирование / Ю. З. Кулагин. – М.: Наука, 1980. – 116 с.

142. Кулагин, Ю. З. Индустриальная дендрэкология и прогнозирование / Ю. З. Кулагин. – М.: Наука, 1985. – 117 с.

143. Курбатова, А. С. Экология города / А. С. Курбатова, В. Н. Башкин, Н. С. Касимов. – М.: Научный мир, 2004. – 624 с.

144. Куркова, Е. Б. Изменение ультраструктур клеток различных по холодостойкости сортов огурцов / Е. Б. Куркова // Физиология растений. – 1975. – Т. 2. – Вып. 6. – С. 1121-1126.

145. Кучеров, С. Е. Влияние массовых размножений листогрызущих насекомых и климатических факторов на радиальный прирост древесных растений: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Кучеров Сергей Евгеньевич. – Свердловск, 1988. – 24 с.

146. Кучеров, С. Е. Характеристика радиального прироста дуба в лесных насаждениях г. Уфы / С. Е. Кучеров // Дендрэкология: техногенез и вопросы лесовосстановления. – Уфа: Гилем, 1996. – С. 65-79.

147. Лавренко, Е. М. К методике изучения подземных частей фитоценозов / Е. М. Лавренко // Ботанический журнал – 1947. – Т.32. – № 6. – С.273-280.

148. Ладыгин, В. Г. Редукция мембранной системы хлоропластов при нарушении ранних этапов биосинтеза хлорофилла / В. Г. Ладыгин // Физиология растений. – 2006. – Т. 53. – № 1. – С. 15-30.

149. Лазарева, Н. Н. Дендрохронологические исследования в Калининградской области / Н. Н. Лазарева // Вестник ЛГУ. – Сер. 7. – 1991. – № 2. – С. 114.

150. Латыпов, Ф. Ш. Лесоводственная характеристика дубрав и почвенные условия их произрастания в Башкирском Предуралье: автореф. дис...канд. с.-х. наук: 06.03.03 / Латыпов Фидаиль Шафикович. – Башкирская научно-исследовательская лесная опытная станция. – Уфа, 2008. – 131 с.

151. Леса Башкортостана / Под.ред. А. Ф. Хайретдинова. – Уфа: БГАУ, 2004. – 400 с.

152. Лихолат, Ю. В. Оценка жизнедеятельности растений древесных группировок в условиях Индустриального Приднепровья с помощью показателей водного режима / Ю. В. Лихолат, Л. П. Мыщик // Влияние атмосферного загрязнения и других антропогенных факторов на дестабилизацию состояния лесов Центральной и Восточной Европы. – М.: МГУЛ, 1996. – Т. 1. – С. 70-71.

153. Ловелиус, Н. В. Колебания прироста древесных растений в 11-летнем цикле солнечной активности / Н. В. Ловелиус // Ботанический журнал. – 1972. – № 1. – С. 64-68.

154. Мазепа, В. С. Влияние осадков на динамику радиального прироста хвойных в субарктических районах Евразии / В. С. Мазепа // Лесоведение. – 1999. – № 6. – С. 14-21.

155. Майдебура, И. С. Влияние загрязнения воздушного бассейна города Калининграда на анатомо-морфологические особенности и биохимические показатели древесных растений: автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Майдебура Ирина Сергеевна. – Калининград, 2006. – 22 с.

156. Максимов, Н. А. Физиологические основы засухоустойчивости растений / Н. А. Максимов // Избранные работы по засухоустойчивости и морозостойкости растений. – М., 1952. – Т. 1. – 294 с.

157. Мамаев, В. В. Сезонные изменения биомассы молодых поглощающих корней дуба в южной лесостепи / В. В. Мамаев // Лесоведение. – 2000. – № 4. – С. 44-50.

158. Марценюк, В. Б. Зависимость повреждаемости листьев растений от концентрации газа и экспозиции опыта / В. Б. Марценюк // Газоустойчивость растений. – Новосибирск: Наука, 1980. – 243 с.

159. Масауки, А. Зависимость удельной площади листы у лиственницы японской от интенсивности освещения сезона, густоты насаждений и удобрений / А. Масауки // Jap. Forest. Soc. – 1971. – № 11. – P. 359-367.

160. Матвеев, Н. М. Экологические основы аккумуляции тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями в степном и степном Поволжье / Н. М. Матвеев, В. А. Павловский, Н. В. Прохорова. – Самара: Самарский университет, 1997. – 100с.

161. Матвеев, С. М. Некоторые направления и результаты дендроиндикации состояния лесных экосистем в Центральной лесостепи / С. М. Матвеев, В. И. Таранков. – М.: Лесной вестник, 2009. – № 1. – С. 45-55.

162. Мацков, Ф. Ф. Распознавание живых, мертвых и поврежденных хлорофиллоносных тканей растений по реакции образования феофитина при оценке устойчивости к экстремальным воздействиям / Ф. Ф. Мацков // Методы оценки устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды.– Л.: Колос, 1976.– С. 54-60.

163. Мацкунас, А. А. Воздействие на лесные экосистемы аэральных выбросов транспорта Московской кольцевой дороги / А. А. Мацкунас, О. Б. Бутусов, А. М. Степанов, А. А. Маслов, Л. П. Рысин // Лесоведение. – 2002. – № 4. – С. 69-73.

164. Методы биохимического анализа растений: учеб.пособие / под ред. В. В. Полевого, Г. Б. Максимовой. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. – 192с.

165. Методы изучения лесных сообществ / Е. Н. Андреева, И. Ю. Баккал, В. В. Горшков и др.. – СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. – – 240 с.

166. Методы фенологических наблюдений при ботанических

исследованиях. – М.: Наука, 1966. – 103 с.

167. Миркин, Б. М. Теоретические основы современной фитоценологии / Б. М. Миркин. – М.: Наука, 1985. – 136с.

168. Миркин, Б. М. Экология Башкортостана / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова, У. Г. Ибатуллин. – Уфа: Табигат, 2005. – 239 с.

169. Миркин, Б. М. Современное состояние основных концепций науки о растительности / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова. – Уфа: АН РБ, Гилем, 2012. – 488 с.

170. Мокроносов, А. М. Фотосинтетическая функция и целостность растительного организма / А. М. Мокроносов. – М.: Наука, 1983. – 64 с.

171. Мокроносов, А. Т. Фотосинтез: физиолого-экологические и биохимические аспекты / А. Т. Мокроносов, В. Ф. Гавриленко. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. – 320 с.

172. Молчанов, А. А. Изменчивость ширины годичного кольца в связи с изменениями солнечной активности / А. А. Молчанов // Формирование годичного кольца и накопление органической массы у деревьев. – М.: Наука, 1970. – С. 7-49.

173. Молчанова, Е. Г. Влияние метеорологических условий на интенсивность транспирации дуба при недостатке почвенной влаги / Е. Г. Молчанова // Лесоведение. – 1994. – № 1. – С. 55-71.

174. Мукатанов, А. Х. Почвенно-экологическое районирование Башкирии / А. Х. Мукатанов // Почвоведение. – 1993. – №9. – С.47-50.

175. Напрасникова, Е. В. Биохимические и микробиологические показатели экологических функций почв / Е. В. Напрасникова // Почвы и повышение их производительной способности. – Новосибирск: Краснояр. НИИ с.х., 1993. – С. 57-60.

176. Неверова, О. А. Древесные растения и урбанизированная среда: экологические и биотехнологические аспекты / О. А. Неверова, Е. Ю. Колмогорова. – Новосибирск: Наука, 2003. – 222 с.

177. Неверова, О. А. Некоторые особенности физиолого-биохимического и анатомического строения ассимиляционного аппарата березы бородавчатой в условиях техногенного загрязнения г. Кемерово / О. А. Неверова // Экологические

и метеорологические проблемы больших городов и промышленных зон. – СПб.: РГГМУ, 1999. – С. 98-100.

178. Неверова, О. А. Ксерофитизация листьев древесных растений как показатель загрязнения атмосферного воздуха (на примере г. Кемерово) / О. А. Неверова, Е. Ю. Колмогорова // Лесное хозяйство. – 2002. – № 3. – С. 29-33.

179. Немкова, В. К. Характеристика климата Башкирского Предуралья в голоцене / В. К. Немкова, В. Н. Климанов // Некоторые вопросы биостратиграфии, палеомагнетизма и тектоники кайнозоя Предуралья. – Уфа: Изд-во ИГБНЦ УО АН СССР, 1968. – С. 65-71.

180. Нестерова, А. М. Действие тяжелых металлов на корни растений. Поступление свинца, кадмия, цинка в корни, локализация металлов и механизмы устойчивости растений / А. М. Нестерова // Биол. науки. – 1989. – №9. – С.72-86.

181. Николаева, С. А. Комплексный подход и методика реконструкции роста и развития деревьев и лесных сообществ / С. А. Николаева, Д. А. Савчук // Вестник Томского ГУ. – Томск. – 2009. – № 2 (6). – С. 111-125.

182. Николаевская, Т. В. Эколого-физиологическая оценка устойчивости растений к трем газам (SO_2 , H_2S , NH_3): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Николаевская Татьяна Владимировна. – М.: ТСХА, 1992. – 17 с.

183. Николаевский, В. С. О показателях газоустойчивости древесных растений (по исследованию в г. Красноуральске) / В. С. Николаевский // Труды ин-та биологии УФААН СССР – Свердловск, 1963. – С. 31.

184. Николаевский, В. С. Вопросы водного режима древесных растений в связи с их газоустойчивостью / В. С. Николаевский // Труды Института биологии УФААН УССР. – Свердловск, 1965. – Вып. 43. – С. 133-136.

185. Николаевский, В. С. Влияние анатомо-морфологического строения листьев и биологических особенностей растений на поглощение $S^{35}O_2$ и газоустойчивость / В. С. Николаевский, В. Н. Цодикова, В. В. Фиргер, А. Т. Мирошникова, В. В. Сулова, В. П. Галеева // Учен. зап. Пермск. ун-та. – 1971. – Вып. 2. – № 256. – С. 5-55.

186. Николаевский, В. С. Некоторые закономерности поглощения

сернистого ангидрида древесными растениями / В. С. Николаевский // Учен. зап. Пермск. ун-та. – 1971. – Вып. 2– № 277. – С. 29-35.

187. Николаевский, В. С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации / В. С. Николаевский. – М.: МГУЛ, 1999. – 193 с.

188. Новицкая, Ю. Е. Физиолого-биохимические механизмы адаптации хвойных растений к экстремальным факторам среды / Ю. Е. Новицкая // Адаптация древесных растений к экстремальным условиям среды. – Петрозаводск, 1984. – С. 42 – 51.

189. Ожиганов, Д. Г. Схема тектонического районирования территории Башкирской АССР и Оренбургской области / Д. Г. Ожиганов // Матер.шестого Всеуральского совещ. по вопросам географии и охраны природы, физико-географическое районирование. – Уфа, 1961. – С.109-129.

190. Определитель Высших растений Башкирской АССР. – М.: Наука, 1988. – 290 с.

191. Определитель Высших растений Башкирской АССР. – М.: Наука, 1989. – 375 с.

192. Орлов, А. Я. Метод определения массы корней деревьев в лесу и возможность учета годичного прироста органической массы в толще лесной почвы / А. Я. Орлов // Лесоведение. – 1967. – № 1. – С. 64 – 70.

193. Орлов, А. Я. Водный режим сосняков южной тайги / А. Я. Орлов, С. П. Кошельков, Н. А. Взнуздаев // Лесоведение. – 1970. – № 2. – С. 46 – 58.

194. Орлов, Ф. Я. Содержание микроэлементов в почве и хвое основных типов сосновых лесов южной тайги / Ф. Я. Орлов, Л. П. Орлова // Агрехимия. – 1966. – №4. – С.86-97.

195. Осаму, К. Анализ годичных колец древесины в связи с воздействием факторов окружающей среды, вызывающих угнетение роста ели европейской на опытном лесном участке Хоккайдского университета / К. Осаму, Ф. Казуми, Н. Жан // Res. Bull. Coll. Exp. Forests. – Hokkaido Univ., 1992. – № 1. – С. 37-57.

196. Оскворидзе, Т. Д. Анатомическое строение листьев и хвои основных

лесообразующих пород / Т. Д. Оскворидзе.– Тбилиси: Мицнерба, 1975.– 115 с.

197. Островская, Л. К. Физиологическая роль меди и основы применения медных удобрений / Л. К. Островская. – Киев: Урожай, 1961. – С. 16-17.

198. Ота, С. Анализ годичных колец деревьев с помощью рентгенофотографии / С. Ота // IsotNews. – 1991. – № 441. – С. 10-12.

199. Павлов, И. Н. Снижение водоудерживающей способности листьев в условиях высокого техногенного загрязнения / И. Н. Павлов // Непрерывное экологическое образование и экологические проблемы. – Красноярск: СибГТУ, 2004. – Т.1. – С. 157-161.

200. Панкова, Н. А. Учет надземной массы и корней растений / Н. А. Панкова // Агрохимические методы исследования почв. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – С.45-46.

201. Пастернак, П. С. Влияние промышленных эмиссий на радиальный прирост сосны / П. С. Пастернак, Г. К. Приступа, В. Г. Мазепа // Лесоводство и агролесомелиорация. – Киев, 1985. – №70. – С.16-19.

202. Паутова, В. Н. Транспирация основных древесных пород на большом Ушканьем острове (оз. Байкал) в разные периоды года / В. Н. Паутова // Лесоведение, 1970. – № 6. – С. 59-62.

203. Петин, Н. С. Состояние и перспективы изучения водного режима растений в СССР / Н. С. Петин // Водный режим сельскохозяйственных растений. – М.:Наука, 1969. – С. 7-71.

204. Пигменты пластид зеленых растений и методика их исследования / под ред. Сапожникова. – М.: Наука, 1964. – 123 с.

205. Пельтихина, Р. И. Аккумуляция микроэлементов при избыточном содержании их в окружающей среде растениями / Р. И. Пельтихина, В. П. Тарабрин // Газоустойчивость растений. – Учен.записки Пемского университета. – 1975. – вып.3. – №355. – С. 91-102.

206. Плавильщиков, Н. Н. Определитель насекомых. 2-е доп. издание / Н. Н. Плавильщиков. – М.: Топикал, 1994. – 544с.

207. Плеханова, И. О. Цинк и кадмий в почвах и растениях городской

среды / И. О. Плеханова, А. И. Обухов // Цинк и кадмий в окружающей среде. – М.: Наука, 1992. – С. 144-159.

208. Полевой, В. В. Физиология роста и развития растений / В. В. Полевой, Т. С. Саламатова. – Л.: ЛГУ, 1991. – С. 55-60.

209. Полякова, Г. Р. Влияние техногенного загрязнения на дендрохронологические параметры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / Г. Р. Полякова, Р. В. Уразгильдин // Вестник ЧелГУ. – 2013. – № 7 (298). – Вып. 2. – С. 191–194.

210. Половникова, М. Г. Экофизиология стресса / М. Г. Половникова. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2010. – 360 с.

211. Половникова, М. Г. Влияние условий городской среды на водообмен газонных трав в процессе онтогенеза / М. Г. Половникова, О. Л. Воскресенская // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». – 2007. – № 3. – С. 19-26.

212. Положенцев, П. А. Энтомовредители дуба в Башкирии / П. А. Положенцев, М. Г. Ханисламов // Исследования очагов вредителей леса Башкирии. – Уфа: АН СССР ИБ, 1962. – С. 105-112.

213. Попов, Г. В. Леса Башкирии / Г. В. Попов. – Уфа: Башкир.книжн. изд-во, 1980. – 144 с.

214. Пугачевский, А. В. Анализ динамики радиального прироста ели в связи с дифференциацией деревьев / А. В. Пугачевский // Лесоведение. – 1983. – № 3. – С. 71-73.

215. Радостева, Э. Р. Эколого - биологическая характеристика насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth) при лесной рекультивации отвалов горнодобывающей промышленности): автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / Радостева Эльза Рауфовна. – Уфа: ИБ РАН, 2011. – 22 с.

216. Рахтеенко, И. Н. Корневые системы древесных и кустарничковых пород / И. Н. Рахтеенко. – М.: Гослесбумиздат, 1952. – 106 с.

217. Рахтеенко, И. Н. Комплексный метод исследования корневых систем

растений / И. Н. Рахтеенко, Б. И. Якушев // Методы изучения продуктивности корневых систем и организмов ризосферы. – Л.: Наука, 1968. – С. 174-178.

218. Розенберг, Г.С. Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии / Г.С. Розенберг, Д.П. Мозговой, Д.Б. Гелашвили.– Самара: Самарский научный центр, 2000. – С. 396.

219. Розенберг, Г.С. Биоиндикация: теория, методы, приложения / Г.С. Розенберг, С.В. Викторов, А. В. Терехова и др. –Тольятти: Рос. АН, Ин-т Волжского бассейна, 1994. – С. 266.

220. Рубцов, В. В. Влияние метеофакторов на прирост древесины дуба черешчатого / В. В. Рубцов, И. А. Уткина // Лесоведение. – 1995. – № 1. – С. 24-34.

221. Рунова, Н. Г. Влияние биотических факторов на состояние зеленых насаждений в городской среде / Н. Г. Рунова, Е. М. Рунова, Л. Ч. Ворошилова // Лесопользование, экология и охрана лесов: фундаментальные и прикладные аспекты. – Томск, 2005. – С. 27-29.

222. Рустамов, И. Г. К методике количественного учета подземной части пустынных сообществ / И. Г. Рустамов // Методы изучения продуктивности корневых систем и организмов ризосферы. – Л.: Наука, 1968. – С.196-200.

223. Рутковский, И. В. Биоэлектрическая активность тополей разного физиологического состояния в суточном и сезонном ритмах / И. В. Рутковский // Лесоведение. – 1973. – №1. – С. 51-57.

224. Рыжков, О. В. Результаты изучения динамики строения по диаметру древостоев дуба в Центрально-Черноземном заповеднике / О. В. Рыжков // Проблемы изучения и охраны заповедных природных комплексов. – Воронеж, 1995. – С. 148-150.

225. Рязанцева, Л. А. Влияние промышленного загрязнения атмосферы на водный режим древесных растений / Л. А. Рязанцева, А. С. Спахова // Газоустойчивость растений. – Новосибирск: Наука, 1980. – 243 с.

226. Сабан, Я. А. Исследование роста сосновых насаждений в различных типах леса / Я. А. Сабан, О. А. Дмитрах // Лесное хозяйство, лесной, бумажная и деревообрабатывающая. – 1982. – № 13. – С. 50-52.

227. Санитарный и лесопатологический обзор состояния лесов Республики Башкортостан – Уфа: МПР РБ – 2013. – 58с.

228. Сарбаева, Е. В. Эколого-физиологические адаптации различных декоративных форм туи западной в городских условиях / Е. В. Сарбаева // Современные аспекты экологии и экологического образования: мат. Всерос. конф. – Казань, 2005. – С. 162-164.

229. Сейдафаров, Р. А. Эколого-биологические особенности липы мелколистной в условиях техногенного загрязнения (на примере Уфимского промышленного центра): автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Сейдафаров Рустэм Адылевич. – Уфа: ИБ УНЦ РАН, 2009. – 24 с.

230. Сенькина, С. Н. Эколого-физиологическая характеристика транспирации хвойных древесных растений в фитоценозах севера / С. Н. Сенькина // Экология. – 2002. – №4. – С.254-260.

231. Сергейчик, С. А. Устойчивость древесных растений в техногенной среде / С. А. Сергейчик. Минск: Наука и техника, 1994. – 279 с.

232. Силаева, А. М. Структура хлоропластов и факторы среды / А. М. Силаева. – Киев: Наукова думка, 1978. – 203с.

233. Ситникова, А. С. Влияние промышленных загрязнений на устойчивость растений / А. С. Ситникова. – Алма-Ата, 1990. – 87 с.

234. Сиянова, Н. С. Влияние аммиака на фотосинтез. II. Распределение C_{14} среди различных соединений / Н. С. Сиянова // Физиология растений. – 1964. – Т. 3. – Вып. 3. – С. 524-529.

235. Скотников, Д. В. Дендрэкологическая характеристика ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) в условиях нефтехимического загрязнения (Уфимский промышленный центр): автореф. дисс.... канд. биол. наук: 03.00.16 / Скотников Дмитрий Валерьевич. – Уфа: Институт биологии УНЦ РАН, 2007. – 20 с.

236. Слейчер Р. Водный режим растений / Слейчер Р. – М.: Мир, 1970. – 366 с.

237. Сметанина, Е. Э. Сравнительная эколого-биологическая характеристика видов семейства Pinaceae в условиях техногенного загрязнения (на примере Уфимского промышленного центра): автореф. дисс. ... канд. биол.

наук: 03.00.05 / Сметанина Евгения Эдуардовна. – Уфа: БГУ, 2000. – 16 с.

238. Смирнов, И. А. Влияние сернистого газа на водный режим древесных и кустарниковых растений / И. А. Смирнов // Газоустойчивость растений. – Новосибирск: Наука, 1980. – 243 с.

239. Смирнов, Н. А. Изменение структурных элементов листа и водный режим древесных и кустарниковых растений в условиях хлоридно-сульфатного засоления / Н. А. Смирнов // Актуальные вопросы озеленения и устойчивости древесных и кустарниковых пород в Центральном Казахстане. – Алма-Ата: Кайнар, 1975. – С. 5-26.

240. Состояние и пути улучшения дубрав РСФСР. – Воронеж: Воронежский университет, 1975. – 163 с.

241. Состояние и устойчивость хвойных лесов в условиях аэротехногенного загрязнения на Среднем Урале / В. Э. Власенко, С. Л. Менщиков, А. К. Махнев // Экология. – 1995. – № 3. – С. 193-196.

242. Спесивцева, В. И. Структурные изменения стебля древесных растений в условиях аэротехногенного загрязнения / В. И. Спесивцева // Проблемы ботаники на рубеже XX-XXI веков. – Санкт-Петербург, 1998. – Т.1. – С.75-76.

243. Станков, Н. З. Корневая система полевых культур / Н. З. Станков. – Москва, 1964. – 280 с.

244. Стравинскене, В. П. Изменение радиального прироста деревьев в зоне действия промышленного загрязнения / В. П. Стравинскене // Лесное хозяйство. – 1987. – №5. – С.34-36.

245. Сукачев, В. Н. Программа и методика биогеоценологических исследований / В. Н. Сукачев. – М.: Наука, 1966. – 333 с.

246. Сулова, В. В. Влияние кислых газов на пигментный состав листьев древесных и газонных растений / В. В. Сулова, В. С. Николаевский // Учен.зап. – Пермь: Перм. ун-т, 1971. – Вып. 256. – С. 93-132.

247. Сухарюк, Д. Д. Деятельность камбия, годичный прирост и анатомическое строение древесины в связи с условиями произрастания / Д. Д. Сухарюк // Научные труды Ленинградской лесотехнической академии. – 1973. –

№ 155. – С. 18-22.

248. Тайчинов, С. Н. Природное и агропочвенное районирование Башкирской АССР / С. Н. Тайчинов, П. Я. Бульчук. – Ульяновск: Ульяновский сельхозинститут, 1975. – 160 с.

249. Тамм, Ю. А. О морфометрии листа осины / Ю. А. Тамм, Я. М. Ханнус // *Metsanduslikuduurimused* 13.– Tallinn: Valgus, 1977. – С 33-40.

250. Тарабрин, В. П. Изменение содержания серы в листьях растений под влиянием промышленных выбросов металлургических и коксохимических заводов / В. П. Тарабрин, Л. В. Чернышова, В. С. Макагонов, В. И. Ханахбаев // *Зеленое строительство в степной зоне УССР*. – Киев, 1970. – С. 185-190.

251. Тарабрин, В. П. Водный режим и устойчивость древесных растений к промышленным загрязнениям / В. П. Тарабрин // *Газоустойчивость растений*. – Новосибирск: Наука, 1980. – 243 с.

252. Тарабрин, В. П. Природа устойчивости растений к промышленным эксгалатам / В. П. Тарабрин // *Адаптация древесных растений к экстремальным условиям среды*. – Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1984. – С. 90-97.

253. Тарабрин, В. П. Физиолого-биохимические механизмы взаимодействия загрязнений и растений / В. П. Тарабрин // *Растения и промышленная среда*. – Днепропетровск: Наука, 1990. – С. 64-71.

254. Таранков, В. И. Дендроклиматические аспекты экологии хвойных пород // *Охрана лесных экосистем и рациональное использование лесных ресурсов*. – М., 1991. – С. 65-67.

255. Тарановская, М. П. Методы изучения корневых систем / М. П. Тарановская. – М., 1957. – 216 с.

256. Тарчевский, В. В. Влияние дымогазовых выделений промышленных предприятий Урала на растительность / В. В. Тарчевский // *Растения и промышленная среда*. – Свердловск: изд-во Уральского ун-та, 1964. – С. 5-24.

257. Терсков, И. А. Влияние климатических условий на рост и строение годичных колец / И. А. Терсков, Е. А. Ваганов, В. В. Спиров // *Управление скоростью и направленностью биосинтеза у растений*. – Красноярск, 1973. – С. 98-99.

258. Тихомиров, А. В. Ранняя и поздняя древесина как показатель состояния у дуба черешчатого / А. В. Тихомиров // Научные основы ведения лесного хозяйства в дубравах. – Воронеж, 1991. – С. 40-42.

259. Тишин, Д. В. Дендрэкология. Методика древесно-кольцевого анализа / Д. В. Тишин. – Казань: Казанский университет. – 2011. – 33 с.

260. Ткалич, С. М. Фитогеохимический метод поисков месторождений полезных ископаемых / С. М. Ткалич. – Л.:Недра, 1970. – 176с.

261. Ткаченко, Г. В. Водный режим некоторых древесно-кустарниковых растений Одесского ботанического сада / Г. В. Ткаченко, Н. А. Соколова // Физиология приспособлений и устойчивости растений при интродукции. – Новосибирск: Наука, 1969. – С. 196-200.

262. Турмухаметова, Н. В. Адаптация *Tiliacordata* Mill. в городских условиях / Н. В. Турмухаметова // Современные аспекты экологии и экологического образования. – Казань, 2005. – С. 168-169.

263. Тутаюк, В. Х. Анатомия и морфология растений / В. Х. Тутаюк. – М.: Высшая школа, 1972. – 336 с.

264. Уразгильдин, Р. В. Эколого-биологическая характеристика тополей в условиях загрязнения окружающей среды (на примере Уфимского промышленного центра): автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.05 / Уразгильдин Руслан Вилисович. – Уфа: БГУ, 1998. – 22 с.

265. Уразгильдин Р. В. Водный режим листьев тополей в условиях промышленного загрязнения / Р. В. Уразгильдин, Н. Г. Кужлева // Лесное образование, наука и хозяйство. Сборник докладов научно-практической конференции, посвященной 125-летию Уфимского лесхоз-техникума. - Уфа: РИО РУНМЦ МО РБ, 2003. - С.174-188.

266. Усманов, И. Ю. Экологическая физиология растений / И. Ю. Усманов, З. Ф. Рахманкулова, А. Ю. Кулагин. – М.:Логос, 2001. – 224с.

267. Уткина, И. А. Определение площади листьев дуба по их линейным размерам / И. А. Уткина, В. В. Рубцов, А. В. Дудоров // Лесоведение. – 1997. – № 4. – С. 49-55.

268. Ушаков, А. И. Лесная таксация и лесоустройство: Учебное пособие для студентов / А. И. Ушаков. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та леса, 1997. – 192 с.

269. Федорова, Е. В. Биоаккумуляция металлов растительностью в пределах малого аэротехногенно - загрязненного водосбора / Е. В. Федорова, Г. Я. Одинцова // Экология. – 2005. – №3. – С. 26-31.

270. Феклистов, П. А. Дендроклиматологический анализ прироста сосны и ели в северной подзоне тайги Архангельской области: автореф. дисс. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Феклистов П. А. – Тарту: ТГУ, 1978. – 19 с.

271. Физико-географическое районирование Башкирской АССР // Ученые записки. – Уфа, 2005. – Т.ХVI – 212 с.

272. Фильрозе, Е. М. Выявление и оценка этапов роста деревьев и насаждений / Е. М. Фильрозе // Дендрохронологические методы в лесоведении и экологическом прогнозировании. – Иркутск. – 1987. – С. 206-208.

273. Фролов, А. К. Изменение фотосинтетического аппарата некоторых растений в условиях городской среды / А. К. Фролов // Газоустойчивость растений. – Новосибирск: Наука, 1980. – 243 с.

274. Фудзивара, Т. Н. Накопление серы и появление повреждения в растениях, которые поглощают SO_2 из атмосферы / Т. Н. Фудзивара // Ann. Phytopathol. Soc. – Япония, 1968. – № 5. – С. 336-341.

275. Халимов, Э. М. Экологические и микробиологические аспекты повреждающего действия нефти на свойства почвы / Э. М. Халимов, С. В. Левин, В. С. Гузев // Почвоведение. – М.: МГУ, 1996. – № 2. – С. 59–64.

276. Хантемиров, Р. М. Возможность использования элементного состава годичных слоев деревьев для индикации загрязнения окружающей среды / Р. М. Хантемиров // Проблемы дендрохронологии и дендроклиматологии. – Свердловск: УрО АН СССР, 1990. – С. 156-157.

277. Хисамутдинова В. И. Водный и энергетический обмен растений / В. И. Хисамутдинова, Г. И. Пахомова, Е. А. Ожиганова и др. – Казань: КГУ, 1985. – С. 39-47.

278. Холоденко, Б. Г. Об особенностях водного режима белопестролистной

формы клена ясенелистного (*Acer negundo* L. f. *variegatum* Jacques) / Б. Г. Холоденко, Л. Б. Кержнерман, М. Н. Соломон // Изв. АН МолдССР. Серия биологических и химических наук. – 1965. – №6. – С. 30-41.

279. Черепанов, С. К. Сосудистые растения СССР / С. К. Черепанов. – Л.: Наука, 1981. – 510 с.

280. Чернышенко, О. В. Древесные растения в экстремальных условиях города / О. В. Чернышенко // Экология, мониторинг и рациональное природопользование: науч. труды. – М.: МГУЛ, 2001. – Вып. 307(1). – С. 140-146.

281. Чуваев, П. П. Вопросы индустриальной экологии и физиологии растений / П. П. Чуваев, Ю. З. Кулагин, Н. В. Гетко. – Минск: Наука и техника, 1973. – 53с.

282. Чукпарова, А. У. Изучение состояния сосновых насаждений в условиях аэротехногенного загрязнения / А. У. Чукпарова // Лесопользование, экология и охрана лесов: фундаментальные и прикладные аспекты. – Томск, 2005. – С. 208-210.

283. Шаин, С. С., Чекмарева П. Г. О методе количественного определения корней трав при помощи бура / С. С. Шаин, П. Г. Чекмарева // Докл. ВАСХНИЛ. – 1940. – Вып. 8. – С. 22-23.

284. Шалыт, М. С. Методика изучения морфологии и экологии подземных частей отдельных растений и растительных сообществ / М. С. Шалыт // Полевая геоботаника. – Л.: Изд-во АН СССР, 1960. – Т.2. – С.369-447.

285. Шарифуллин, Р. Н. Лиственница Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) в условиях нефтехимического загрязнения: характеристика проводящей корневой системы: автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.05/ Шарифуллин Рафаэль Насимович. – Оренбург: Оренбургский государственный педагогический университет, 2005. – 20 с.

286. Шиятов, С. Г. Дендрохронология, ее принципы и методы / С. Г. Шиятов // Зап. Свердлов. отделения Всесоюзного ботанического общества, 1973, – Вып. 6. – С. 53-81.

287. Шиятов, С. Г. Влияние климатических факторов на радиальный прирост

деревьев в высокогорьях Урала / С. Г. Шиятов, В. С. Мазепа // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 1992. – 14. – С. 125-134.

288. Шлык, А. А. Биосинтез и состояние хлорофиллов в растении / А. А. Шлык, И. В. Прудникова, Т. К. Парамонова и др. – Минск, 1975. – С. 42-57.

289. Шульгин, И. А. Формирование оптического аппарата зеленого листа в связи с энергетической адаптацией и солнечной радиацией / И. А. Шульгин, Л. А. Ходоренко // Науч. докл. высшей школы. – 1969. – № 5. – С. 87-92.

290. Шпальте, Э. П. Дендрошкалы сосновых древостоев Литовской ССР / Э. П. Шпальте. – Каунас: Изд-во ин-та ботаники АН Литовской ССР, 1979. – С. 113-115.

291. Экологические проблемы урбанизированных территорий. – Иркутск: ИГ СО РАН, 1998. – 200 с.

292. Эсау, К. Анатомия растений / К Эсау. – М.: Мир, 1969. – Т.1, Т.2. – 564 с.

293. Юсупов, А. А. Экологические адаптации Лиственницы Сукачева (*LARIX SUKACZEWII DYL.*) в различных лесорастительных условиях на территории Республики Башкортостан: автореф. дисс. ...канд. биол. наук: 03.02.08 / Юсупов Айдар Айратович. – Саратов, 2011. – 22 с.

294. Якушев, Б. И. Роль транспирации в газообмене листа / Б. И. Якушев // Докл. АН БССР. – 1974. – Т. 18. – №4. – С. 373-375.

295. Яновский, В. М. Энтомоиндикация состояния лесных экосистем / В. М. Яновский // Мониторинг состояния лесных и урбо-экосистем. – М.: МГУЛ, 2002. – С. 78-79.

296. Ярмишко, В. Т. Методы изучения подземных частей растений / В. Т. Ярмишко // Методы изучения лесных сообществ. – СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. – С. 139-153.

297. Aoki, M. Seavage sludge use in agriculture and evaluation of composting facilities / M. Aoki, H. Ichii // Trans.14 th Int. Congr. Soil Sci.– Kyoto, 1990. – P. 210-215.

298. Barium and manganese trends in tree-rings as monitors of sulphur deposition / Richard P. Guyette, Bruce E. Cutter // Water, Air and Soil Pollut. – 1994. –

№ 1 – 4. – P. 213-233.

299. Barley, K. P. Influence of soil strength on growth of roots / K. P. Barley // Soil Science. – 1963. – №96 – P. 175-180.

300. Bauch, J. Biological alterations in stem and root fir and spruce due to pollution influence / J. Bauch, W. Schroder // Forest Central blatt. – 1982. – №1. –P. 195-206.

301. Bender, J. Przydatność robinii akacjowej do zadrzewień cruntów pogórnicych / J. Bender, M. Głowska, A. Wójcik // Arch. ochr. środow. – 1985. – № 3-4. – P. 113-133.

302. Bengtsson, B. Influence of aluminium and nitrogen on uptake and distribution of minerals in beech roots (*Fagus sylvatica*) / B. Bengtsson // Vegetatio. – 1992. – №1. – P.35-41.

303. Brasier, C. M. European oak declines and global warming: A theoretical assessment with special reference to the activity of *Phytophthora cinnamomi* / C. M. Brasier, J. K. Scott // Bull. OEPP. – 1994. –№ 1. – P. 221-232.

304. Bruchwald, A. Uniform height curves for oak stands / A. Bruchwald // Ann. Warsaw Arg. Univ. – SGGH-AR Arg. – 1994. – № 45. – P. 3-5.

305. Carnol, M. Impacts of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ deposition on Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) roots / M. Carnol, P. Cudlin, P. Ineson // Water, Air and Soil Pollution. – 1999. – № 1-2. – P. 11-120.

306. Čermák J., Kučera J. Sezonní prubem transpirachino proudu a spotřeba vody u dubu (*Quercus robur* L.) v luzním lese / J. Čermák, J. Kučera // Zb. ref. z 3-go Zjazdu Slov. bot. spoločn. pri SAV. – Bratislava, 1980. – P. 233-238.

307. Compton, O. C. Plant tissue monitoring for fluorides / O. C. Compton. – Hortscience, 1970. – № 4. –P. 244-246.

308. Dalibor, J. Dendroclimatological study of turkey oak (*Quercus cerris* L.) at Báb (SW Slovakia) / J. Dalibor, B. Miloš // Ecologia. – 1991. –№ 1. – P. 31-42.

309. Donița, N. Transpirația la puietii unor specii lemnoase din pădurile amestecate ale podisukui Babadag in corelație cu factorii de mediu. / N. Donița // Contrib bot. Grăd. bot. Univ. – Cluj, 1967. – P. 119-124.

310. Eklund, M. Cadmium and lead deposition around a Swedish plant as recorded in oak tree rings / M. Eklund // *J. Environ. Qual.* – 1995. – 24, № 1. – P. 126-131.
311. Fischer, R. A. Plant water relations, irrigation management and crop yield / R. A. Fischer, R. M. Hagan // *Exp. Agr.* – 1965. – № 1. – P. 233-241.
312. Gates, D. M. Water relations of forest trees / D. M. Gates // *IEEE Trans. Geosci. and Remote Sens.* – 1991. – № 6. – P. 836-842.
313. Glavac, V. Die Wurzelkammer, eine einfache Einrichtung zur experimentellen Nachprüfung der Bodentoxizität an ausgewachsenen Bäumen im Freiland / V. Glavac, U. Ebben // *Angew. Bot.* – 1986. – № 1-2. – P. 95-102.
314. Goodman, A. M. Responses of the root systems of sunflower and maize to unidirectional stem flexure / A. M. Goodman, A. R. Ennos // *Annals of Botany.* – 1998. – № 82. – P. 347-358.
315. Goodwin, T. W. The biochemistry of the carotenoids / T. W. Goodwin // *Plants.* – N. Y., 1980. – P. 17-21.
316. Gorissen, B. A. Effects of ozone and ammonium sulphate on carbon partitioning to mycorrhizal roots of juvenile Douglas fir / B. A. Gorissen, N. N. Joosten, A. E. Jansen // *New Phytol.* – 1991. – № 1. – P. 243-250.
317. Green, J. W. Continuous measurements of radial variation in *Eucalyptus pauciflora* Sieb. ex. Spreng / J. W. Green // *Austral. J. Bot.* – 1969. – № 2. – P. 191-198.
318. Jahnel, H. Physiologisches über Einwirkung von Schwefeldioxid auf die Pflanzen / H. Jahnel // *z. Techn. Hochschule.* – Dresden, 1954. – № 3. – P. 54-65.
319. Josip, F. Morfometrijska analiza varijabilnosti lista posavskih i podravskih i populacija hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L., Fagaceae) u Hrvatskoj / F. Josip // *Glas. sum. pokuse.* – 1996. – № 33. – P. 153-214.
320. Kahle, H. Response of roots of trees to heavy metals / H. Kahle // *Environmental and Experimental Botany.* – 1993. – № 1. – P. 99-119.
321. Klotz, R. M. Hydration and protein structure / R. M. Klotz // *Science.* – 1958. – № 128. – P. 812-815.
322. Kochenderfer, J. Indexes to transpiration by forest trees / J. Kochenderfer, R. Lee // *Oecol. Plant.* – 1973. – № 2. – P. 175-184.

323. Kocon, J. Influence of NO₂ and SO₂ as well as of acid rain of the structure of needles and wood quality of *Abies alba* Mill. stand / J. Kocon // Ann. Warsaw Arg. Univ. SGGWAR Forest. and Wood Technol, 1990. – № 40. – P. 75-81.
324. Lesinski, G. Dynamics of basal area increment on sample trees in selected stands of Scots Pine in the Niepolomice Forest near Krakow / G. Lesinski // Mitt. Forstl. Bundesversuchsanst. Wien. – 1974. – №105. – P. 39-46.
325. Majernik, O. Can stomata play a plant in protestiny plants against air pollutanti / O. Majernik, T. A. Mansfield // Environ. Pollut. – 1970. – №2. –P. 149-154.
326. Malhotra, S. S. Effects of sulphur dioxide on biochemical activity and ultrastructural organization of pine needles chloroplasts / S. S. Malhotra // New Phytol. – 1976. – № 2. – P. 239-245.
327. Matzner, E. Soil changes induced by air pollutant deposition and their implication for forests in Central Europe / E. Matzner, D. Murach // Water, Air, and Soil Pollut. – 1995. – № 1. – P. 63-76.
328. Mauer, O. The role of root system in silver birch (*Betula pendula* Roth.) dieback in the air-polluted area of Krusne hory Mts / O. Mauer, E. Palatova // Journal of Forest Science. – 2003. – №5. – P. 191-199.
329. Methods of Dendrochronology. Application in Environmental Science / E. R. Cook, L. A. Kairiukstis. – Dordrecht: Kluwer Publ, 1990. – 394 p.
330. Murach, D. Die reaktion der Feinwurzeln von Fichten (*Picea abies*(L.) H.KARST.) auf zunehmende Bodenversauerung. / D. Murach // Göttinger Bodenkundliche. – Berichte, 1984. – P. 1-126.
331. Newman, G. S. Nutrient covariance between forest foliage and fine root / G. S. Newman, S. C. Hart // Forest Ecology and Management. – 2006. – №2-3. – P.136-141.
332. Paavilainen, E. The effect of fertilisation on the root systems of swamp pine stands / E. Paavilainen // Folia Forest Polonica. – 1967. – №31. – P. 1-9.
333. Paul, R. L'absorption foliaie de dioxyde de soufre atmospherique et son ultiltization eventuelle par la plante / R. Paul // Ann. Gembloux. – 1974. – №2. –P. 95-103.
334. Pausch, E. Anwendungsbeispiele der Jahresringchronologie und –analyse / E. Pausch // Allgem. Forstzeitung. – 1967. – № 12. – P. 271-274.

335. Persson, H. Effects of acid deposition on tree roots in Swedish forest stands. *Water Air and Soil Pollution* / H. Persson, H. Majdi // *Ecological Bulletins*. – 1995. – P. 1287–1292.
336. Phillips, S. O. Growth fluctuation of loblolly pine due to periodic air pollution levels: Interactions of rainfall and age / S. O. Phillips, J. M. Skelly, H. E. Burkhart // *Phytopatology*. – United States, 1977. – 14 p.
337. Polter, H. Gasstoffwechsel physiologische Untersuchungen an Gehölzen / H. Polter // *Zur Frage der vitalität der Pflanzen*. – Berlin: Dtsch. Akad. Landwirtschaftswiss, 1964. – 19. – P. 255.
338. Rawson, H. M. Plant life and air pollution / H. M. Rawson, C. L. Graven // *Austral. J. Bot.* – 1975. – № 2. – P. 253-261.
339. Robson, A. D. Interaction between nutrients in higher plants / A. D. Robson, M. G. Pitman // *Inorganic plant nutrition: Encycl. Plant Physiol.* – 1983. – № 15. – P. 147-180.
340. Stone, L. L. The growth of two forest tree species adjacent to a periodic source of air pollution / L. L. Stone, J. M. Skelly // *Phytopatology*. – 1974. – № 64 – P. 773-778.
341. Taylor, O. C. Air pollution with relation to argonomic crops / O. C. Taylor // *Plant growth suppressed by exposure to airborne oxidants (smog)*. – 1959. – № 9. – P. 556-558.
342. Thomas, M. D. Relation of SO₂ in the atmosphere to photosynthesis and respiration of alfalfa / M. D. Thomas, G. R. Hill // *Plant Physiol.* – 1937. – P. 12.
343. Wallander, H. Effects of excess nitrogen on carbohydrate and mycorrhizal development of *Pinus sylvestris* L. seedlings / H. Wallander, J. E. Nylund // *New Phytologist*. – 1991. – №3. – P. 405-411.
344. Warnars, B. C. Soil physical conditions affecting seedling root growth / B. C. Warnars, B. W. Eavis // *Mechanical impedance, aeration and moisture availability as influenced by grain size distribution and moisture content in silica sands. PlantonSoil*. – 1972. – №36. – P. 623-634.

СПИСОК РУССКИХ И ЛАТИНСКИХ НАЗВАНИЙ РАСТЕНИЙ И НАСЕКОМЫХ, УПОМЯНУТЫХ В ТЕКСТЕ

(растения по: Черепанов, 1981; насекомые по: Плавильщиков, 1994)

Береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth),	Копытень европейский (<i>Asarum</i>
Бересклет бородавчатый (<i>Euonymus</i>	<i>europaeum</i> L.),
<i>verricosa</i> Scop.),	Коровяк фиолетовый (<i>Verbascum</i>
Борец высокий (<i>Aconitum septentrionale</i>	<i>phoeniceum</i> L.),
Koelle),	Коротконожка перистая (<i>Brachypodium</i>
Василек шероховатый (<i>Centaurea</i>	<i>pinnatum</i> L.),
<i>scabiosa</i> L.),	Кострец безостый (<i>Bromopsis inermis</i>
Вероника весенняя (<i>Veronica verna</i> L.),	(<i>Leys</i>) Holub),
Вероника дубровник (<i>Veronica teucrium</i> L.),	Крапива двудомная (<i>Urtica dioica</i> L.),
Вишня кустарниковая (<i>Cerasus</i>	Купена душистая (<i>Polygonatum odoratum</i>
<i>fruticosa</i> Pall),	(Mill) Druce),
Воронец колосовидный (<i>Actaea spicata</i> L.),	Лазурник трехлопастный (<i>Laser</i>
Вяз шершавый (<i>Ulmus glabra</i> L.),	<i>trilobum</i> Borkh),
Гравилат городской (<i>Geum urbanum</i> L.),	Лещина обыкновенная (<i>Corylus vellana</i> L.),
Гравилат речной (<i>Geum rivale</i> L.),	Липа сердцелистная (<i>Tilia cordata</i> Mill.),
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i> L.),	Лиственница Сукачева (<i>Lárix</i>
Ежевика сизая (<i>Rubus caesius</i> L.),	<i>Sukaczewii</i> Djil.)
Ель сибирская (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst)	Лопух большой (<i>Arctium lappa</i> L.),
Ель колючая (<i>Picea pungens</i> Engelm)	Мать-и-мачеха обыкновенная (<i>Tussilago</i>
Звездчатка жестколистная (<i>Stellaria</i>	<i>farfara</i> L.),
<i>holostea</i> L.),	Молочай Вальдштейна (<i>Euphorbia</i>
Зопник клубненосный (<i>Rhizomatia tuberosa</i> L.),	<i>waldsteinii</i> (Sojak) Czer.),
Ива белая (<i>Salix álba</i> L.)	Норичник шишковатый (<i>Scrophularia</i>
Калина обыкновенная (<i>Viburnum opulus</i> L.)	<i>nodosa</i> L.),
Клен остролистный (<i>Acer platanoides</i> L.)	Овсяница луговая (<i>Festuca pratensis</i>
Колокольчик крапиволистный	Huds.),
(<i>Campanula trachelium</i> L.),	

Одуванчик лекарственный (<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.),	Тополь черный (<i>Populus nigra</i> L.),
Орляк обыкновенный (<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn),	Тополь бальзамический (<i>Populus balsamifera</i> L.)
Осока лесная (<i>Carex sylvatica</i> Huds.),	Черемуха обыкновенная (<i>Padus avium</i> Mill.),
Перловник поникающий (<i>Melica nutans</i> L.),	Чертополох Термера (<i>Carduus Thoenneri</i> L.),
Пиретрум щитковый (<i>Pyrethrum corybosum</i> (L.) Scop.),	Чина весенняя (<i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh),
Подмаренник душистый (<i>Galium odoratum</i> (L.) Scop.),	Чина Литвинова (<i>Lathyrus litvinovii</i> Pjin),
Подорожник большой (<i>Plantago major</i> L.),	Чистотел большой (<i>Chelidonium majus</i> L.),
Полынь горькая (<i>Artemisia absinthium</i> L.),	Фиалка удивительная (<i>Viola mirabilis</i> L.)
Полынь обыкновенная (<i>Artemisia vulgaris</i> L.),	Ясень обыкновенный (<i>Fraxinus excelsior</i> L.)
Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.),	Широколопастная дубовая галлица (<i>Macrodiplosis dryobio</i> L.),
Серпуха венценосная (<i>Serratula wolffii</i> Andrae),	Дубовая зеленая листовертка (<i>Tortrix viridana</i> L.),
Смородина черная (<i>Ribes nigrum</i> L.),	Дубовая моль (<i>Dialectica simloniella</i> L.),
Сныть обыкновенная (<i>Aegopodium podagrario</i> L.),	Желудевый долгоносик (<i>Curculio grandium</i> L.),
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.),	Желтопятнистый глазчатый усач (<i>Mesosa myops</i> L.),
Сосна сибирская (<i>Pinus sibirica</i> DuTour),	Дубовая узкотелая златка (<i>Agrilus argustulus</i> L.)
Спаржа лекарственная (<i>Asparagus officinalis</i> L.),	
Тополь пирамидальный (<i>Populus pyramidalis</i> S.)	

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Изменение морфологических параметров листьев дуба в течение вегетационного периода на территории УПЦ

Параметры	Местоположение	Месяц			
		май	июнь	июль	август
Длина листовой пластинки, см	Зона сильного загрязнения	8,1±0,21*	9,0±0,24*	8,3±0,21	8,2±0,20
	Зона слабого загрязнения	11,5±0,33	11,4±0,37*	10,5±0,33*	11,3±0,31
	Условный контроль	11,8±0,30	10,8±0,29	11,4±0,33	12,1±0,43
Ширина листовой пластинки, см	Зона сильного загрязнения	5,7±0,20*	6,5±0,18*	5,8±0,16	5,9±0,16
	Зона слабого загрязнения	6,1±0,15	5,9±0,28	5,4±0,21*	6,1±0,21
	Условный контроль	5±0,18	5,4±0,18	5,0±0,21	5,5±0,23
Площадь листовой поверхности, см ²	Зона сильного загрязнения	24,3±1,0*	28,1±1,19*	22,4±1,0	22,9±0,84
	Зона слабого загрязнения	38,2±1,81	34,3±2,28	28,1±1,69*	33,8±1,95
	Условный контроль	30,1±1,53	26,9±1,62	26,1±1,68	32±2,2
Длина черешка, см	Зона сильного загрязнения	0,6±0,04	0,6±0,04	0,6±0,04	0,6±0,03
	Зона слабого загрязнения	0,6±0,04	0,6±0,04	0,5±0,03	0,5±0,02
	Условный контроль	0,5±0,05	0,7±0,04	0,9±0,07	0,7±0,03
Устьичный индекс, шт/мм ²	Зона сильного загрязнения	120±0,9*	151±0,97*	115±1,28	119±2,03*
	Зона слабого загрязнения	125±1,46	132±0,97	133±0,88	132±2,57
	Условный контроль	118±0,64	146±1,22	124±0,99	126±1,85
Средняя длина жилок, мм/мм ²	Зона сильного загрязнения	19,9±0,30	20,8±0,64	20,7±0,50*	23,7±0,84*
	Зона слабого загрязнения	21,4±0,52	21,1±0,44	21,8±0,41	22,5±0,61
	Условный контроль	21,8±0,55	21,9±0,26	17,4±0,3	24,5±0,49
Длина побегов, см	Зона сильного загрязнения	2,9±0,75*	3,0±0,78	3,1±0,79	3,1±0,80
	Зона слабого загрязнения	1,3±0,35	1,4±0,26	1,5±0,40	1,5±0,40
	Условный контроль	1,1±0,30	1,4±0,36	1,5±0,39	1,7±0,42

*- различие между зонами загрязнения достоверно при уровне значимости

W=5%, число степеней свободы v=18, значении критерия Стьюдента $t_{теор}=2,04$

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1 – Содержание пигментов в листьях дуба на территории УПЦ, мг/г сырого веса

Параметр	Местоположение	Месяц			
		май	июнь	июль	Август
Хлорофилл <i>a</i>	Зона сильного загрязнения	0,602±0,12	0,569±0,12	0,545±0,22	0,457± 0,15
	Зона слабого загрязнения	0,710±0,08	0,638±0,04	0, 595±0,08	0,572±0,31
	Условный контроль	0,720±0,05	0,667±0,17	0,609±0,23	0,585±0,19
Хлорофилл <i>b</i>	Зона сильного загрязнения	0,377±0,08	0,356±0,07	0,341±0,14	0,286± 0,10
	Зона слабого загрязнения	0,444±0,05	0,399±0,06	0,372±0,08	0,358±0,05
	Условный контроль	0,451±0,03	0,418±0,11	0,381±0,15	0,366±0,12
Каротиноиды	Зона сильного загрязнения	0,263±0,04	0,272±0,03*	0,279±0,21*	0,305± 0,15*
	Зона слабого загрязнения	0,232±0,02	0,253±0,12*	0,265±0,04*	0,272±0,06*
	Условный контроль	0,229±0,02	0,244±0,05	0,261±0,07	0,268±0,05
Суммарное содержание всех пигментов	Зона сильного загрязнения	1,242±0,14	1,197±0,1	1,165±0,12	1,043±0,15
	Зона слабого загрязнения	1,386±0,12	1,290±0,15	1,232±0,10	1,202±0,09
	Условный контроль	1,4±0,12	1,329±0,13	1,250±0,12	1,219±0,10

*- различие достоверно при уровне значимости $W=5\%$, число степеней свободы $\nu=4$, значении критерия Стьюдента $t_{\text{теор}}=2,78$

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1 – Среднее содержание тяжелых металлов в листьях дуба и в слоях почвы УПЦ, мг/кг сухой массы

Местоположение	Содержание, мг/кг сухой массы				
	Cu	Cd	Zn	Fe	Pb
Листья					
Зона сильного загрязнения	10,04±0,12*	2,02±0,05*	82,9±0,67*	681,6±2,32*	4,20±0,09*
Зона слабого загрязнения	17,44±0,27*	1,15±0,04	53,0±0,53*	210,2±1,18*	2,35±0,08*
Контроль	7,57±0,11	2,49±0,07	58,2±0,60	528,8±2,53	1,37±0,06
ПДК (валовое содержание)	150	1	300	750	10
Метровый слой почвы					
Зона сильного загрязнения					
0-10 см	10,09±0,012*	0,48±0,020*	48,14±0,081*	16334±0,577	20,67±0,052
10-20 см	10,96±0,023	0,45±0,038	43,73±0,055	16470±1,155	22,58±0,015
20-30 см	10,58±0,035	0,44±0,012	44,53±0,055	19118±1,155*	20,70±0,012
30-40 см	8,5±0,090*	0,25±0,009*	40,06±0,046	16466±1,155	13,53±0,012*
40-50 см	5,07±0,055*	0,24±0,015	25,79±0,040	13213±1,155	14,96±0,035
50-60см	6,35±0,061*	0,24±0,023	20,16±0,035	11543±1,732	13,98±0,017
60-70 см	6,77±0,064	0,04±0,012	9,49±0,052*	10166±4,619	10,00±0,012
70-80 см	5,46±0,052	0,04±0,006	11,43±0,055	6441±2,887*	9,69±0,035
80-90 см	2,87±0,052*	0,03±0,009	1,17±0,032*	5831±2,88*	2,37±0,01*
90-100 см	-	-	-	-	-
Зона слабого загрязнения					
0-10 см	11,83±0,009	0,20±0,006	45,49±0,012	26435±4,619	12,15±0,115
10-20 см	10,49±0,006	0,20±0,012	46,72±0,012	18586±3,46	11,07±0,058
20-30 см	15,42±0,006*	0,15±0,012*	45,19±0,012	25759±5,196*	9,72±0,061*
30-40 см	12,06±0,017	0,14±0,006	50,63±0,052*	32877±6,928*	7,82±0,069*
40-50 см	9,8±0,012*	0,14±0,012*	48,32±0,035	34124±4,041*	7,12±0,081
50-60см	9,56±0,017	0,09±0,012	56,84±0,015	33681±5,196	4,85±0,052
60-70 см	9,76±0,012	0,10±0,017	51,20±0,124	29865±5,774	5,96±0,055
70-80 см	10,12±0,003	0,08±0,012*	41,65±0,064*	30035±4,041*	4,07±0,012*
80-90 см	9,16±0,012	0,08±0,006	36,31±0,029*	26729±3,464*	4,47±0,043
90-100 см	7,54±0,006*	0,08±0,020	38,70±0,032	26710±8,660	4,49±0,055
Контроль					
0-10 см	12,98±0,012	0,15±0,006	41,14±0,058	15284±3,464	7,70±0,026
10-20 см	12,85±0,006	0,13±0,006	27,40±0,092	18458±2,309	7,63±0,052
20-30 см	12,70±0,023	0,15±0,009	41,72±0,058	22729±3,464	7,67±0,026
30-40 см	13,17±0,009	0,14±0,006	55,16±0,035	30113±2,309	7,43±0,017
40-50 см	14,65±0,029	0,15±0,006	56,34±0,104	45860±1,732	7,68±0,023

Окончание Приложения В

Окончание таблицы В.1					
50-60см	16,58±0,032	0,14±0,006	68,52±0,020	45558±2,887	7,57±0,026
60-70 см	13,46±0,006	0,13±0,009	54,60±0,081	37766±1,155	6,73±0,006
70-80 см	9,36±0,020	0,10±0,006	33,10±0,069	25916±1,155	6,45±0,029
80-90 см	8,68±0,026	0,09±0,006	31,20±0,035	23579±4,041	6,62±0,012
90-100 см	9,85±0,006	0,11±0,006	35,04±0,012	26100±2,309	5,98±0,023
ПДК (валовое содер- жание)	100	1,5	100	1000	32

*- различие между зонами загрязнений достоверно при уровне значимости $W=5\%$, число степеней свободы $\nu=4$, значения критерия Стьюдента $t_{\text{теор}}=2,78$