



**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 (биология)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Работа выполнена в лаборатории лесоведения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Уфимского Института биологии Российской академии наук

**Научный руководитель:**

кандидат биологических наук, доцент,  
ученый секретарь Уфимского Института биологии  
Российской академии наук  
**Уразгильдин Руслан Вилисович**

**Официальные оппоненты:**

доктор биологических наук, профессор,  
заведующий кафедрой экологии и  
природопользования Башкирского  
государственного педагогического университета  
им. М. Акмуллы  
**Кулагин Андрей Алексеевич**

доктор биологических наук, профессор,  
заведующий кафедрой инженерной защиты  
окружающей среды Удмуртского  
государственного университета  
**Бухарина Ирина Леонидовна**

**Ведущая организация**

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Саратовский государственный  
университет имени Н.Г. Чернышевского»  
(национальный исследовательский университет)

Защита состоится **27 мая 2016 г. в 11.00 ч.** на заседании диссертационного совета Д 002.251.02 при Институте экологии Волжского бассейна РАН по адресу: 445003, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Комзина, 10.

Телефон +7(8482)489977, тел./факс: +7(8482)489504 E-mail: ievbras2005@mail.ru

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Института экологии Волжского бассейна РАН (ievbras.ru) и на сайте ВАК.

Автореферат разослан «\_\_\_» марта 2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



А.Л. Маленев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Уфа – крупный промышленный центр Предуралья. Основной вклад в состояние окружающей среды города вносят выбросы от стационарных источников: предприятия нефтеперерабатывающей промышленности (77,2%) и электроэнергетики (4,3%). На долю автотранспорта приходится 36% от общего объема выбросов (Государственный доклад..., 2015).

Техногенное загрязнение вызывает формирование специфического природно-антропогенного ландшафта с глубокими антропогенными изменениями окружающей среды. Согласно многочисленным работам, на территории г. Уфы негативно воздействующие факторы на рост древесных растений и состояние почвенного покрова, служат: повышенный уровень техногенного загрязнения атмосферного воздуха, с нарушением 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; Антипов, 1975; Гудериан, 1979; Тарабрин, 1984; Николаевский, 1998). Среди неорганического комплекса техногенных загрязнителей наибольшее негативное воздействие на жизненное состояние деревьев и физико-химические свойства почв оказывают диоксид серы и аэрозоли тяжелых металлов, свинца, кадмия, меди. В результате жизненное состояние древесных растений нарушается (Илькун, 1978; Кулагин, 1985; Алексеев, 1989; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Ильин, 1991; Матвеев и др., 1997; Кулагин, 2002; Неверова, 2003). 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).

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 последствия техногенеза.

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 свойства почв древостоев дуба, аккумуляцию тяжелых металлов Cu, Cd, Zn, Fe, Pb в листьях дуба и в почвах древостоев.

**Научная новизна работы.** 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 загрязнения увеличивается общая корненасыщенность почвы (при этом во фракционном составе наблюдается увеличение доли проводящих полускелетных и скелетных корней и уменьшение доли поглощающих корней) и увеличение равномерности распределения корневых систем по почвенному профилю (причем наиболее равномерно в метровом слое почвы распределяются поглощающие и полускелетные 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 таксационные показатели относительного 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 для ведения лесного хозяйства, и при создании и реконструкции санитарно-защитных насаждениях вокруг промышленных центров Предуралья.

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 исследований, 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 анализе 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.

**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 9 научных работ, в том числе 5 статей 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 источников, из которых 48 – иностранных.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

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

Проведен детальный анализ отечественной и зарубежной научной литературы о степени влияния техногенного загрязнения на следующие параметры древесных растений:

– жизненное состояние (Алексеев и др., 1993; Николаевский, 1998; Бухарина, 2005; Рунова, 2005; Сарбаева, 2005; Турмухамметова, 2005; Чукпарова, 2005; Кавеленова, 2006; Бухарина, 2007; Кулагин и др., 2010; Aoki, Ichii, 1990; Brasierets., 1994 и другие авторы);

– водный режим и водный обмен (Тарабрин и др., 1970; Илькун, 1971, 1978; Слейчер, 1971; Гетко, 1989; Турмухамметова, 2005; Бухарина, 2007; Кулагин и др., 2010; Миркин и др., 2012; Thomas, 1937; Taylor, 1959; Matzner, Murach, 1995 и другие авторы);

– морфологию ассимиляционного аппарата (Красинский, 1950; Кулагин, 1965, 1974; 1985; Гетко, 1968, 1989; Тарабрин и др., 1970; Илькун, 1971; Николаевский, 1971, 1999; Тугаюк, 1972; Усманов и др., 2001; Polter, 1964; Paul, 1974; Rawson, Graven, 1975; Phillips, 1977; Kocou, 1990 и другие авторы);

– пигментный фонд ассимиляционного аппарата (Николаевский, 1963; Залетухин, 1969; Шлык, 1975; Гетко, 1989; Зайцев, Кулагин, 2006; Кулагин, Зайцев, 2008; Кавеленова, 2009; Бухарина, 2014, 2015; Malhotra, 1976 и другие авторы);

– содержание тяжелых металлов в листьях и почве (Винник, 1961; Илькун, 1968; Власюк, 1974; Ильин, 1980; Гетко, 1989; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Ильин, Сысо, 2001; Кулагин, 2002; Баймова, 2009; Кулагин и др., 2010; Половникова, 2010; Радостева, 2011; Гиниятуллин, 2012; Barium..., 1994, Eklund, 1995 и другие авторы);

– радиальный прирост ствольной древесины (Ловелиус, 1972; Шиятов, 1973; Битвинкас, 1974; Антанайтис и др., 1981; Стравинскене, 1987; Кучеров, 1988, 1996; Хантемиров, 1990; Шиятов, Мазепа, 1992, 1999; Ваганов, Шашкин, 2000; Тишин, 2011; Methods of Dendrochronology, 1990; Dalibor, 1991; Bruchwald, Dudzińska, Wirowski, 1994; Eklund, 1995 и другие авторы);

– корневые системы (Качинский, 1925; Красильников, 1950; Рахтиенко, 1952, 1968; Ильин, 1961; Орлов, 1967; Колесников, 1972; Калинин, 1989; Зайцев, 2000, 2008; Мамаев, 2000; Ярмишко, 2002; Gorissen ets, 1991; Wallander, Nylund, 1991; Kahle, 1993; Persson, Majdi, 1995; Goodman, Ennos, 1998; Carnol, 1999; Mauer, Palátová, 2003; Newman, Hart, 2006 и другие авторы).

#### **ГЛАВА 2. РАЙОН, ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Изучение эколого-биологических особенностей дуба черешчатого проводились на территории зеленой зоны г. Уфы.

Район исследований находится в пределах Прибельской увалисто-волнистой равнины, являющейся частью обширных, сильно расчлененных текучими водами равнин Высокого Заволжья (Кудряшов, 1961; Немкова, 1968; Башкортостан..., 1996). Климат территории имеет переходный характер от умеренно-континентального к континентальному. Средняя годовая температура воздуха +2,5 °С, средняя температура января -14,6 °С, °С, среднегодовое количество осадков 419 мм. В целом, природно-климатические условия вполне благоприятны для произрастания хвойных и мягколиственных древесных пород (Агроклиматические ресурсы..., 1976; Климат Уфы ..., 1987; Кучеров, 1999; Леса Башкортостана, 2004; Латыпов, 2008; Государственный доклад..., 2015).

Авторские 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 %, наблюдается уменьшение степени гумусированности по мере углубления во всех зонах. При усилении степени загрязнения наблюдается увеличение степени гумусированности почвы и увеличение щелочно-гидролизующего азота. Почвы зоны сильного и слабого загрязнения характеризуются наличием в них нефтепродуктов, а в контроле они отсутствуют. При усилении степени загрязнения наблюдается увеличение содержания в почве нефтепродуктов примерно в 2 раза. Почвы УПЦ во всех зонах характеризуется низкой обеспеченностью подвижным фосфором и

слабой обеспеченностью валовым фосфором. Строгой закономерности изменения содержания фосфора под влиянием загрязнения не выявлено. Кислотность почвы изменяется от слабокислой до щелочной, при усилении степени загрязнения наблюдается некоторое подщелачивание почвы. Среди поглощающих оснований преобладают ионы  $\text{Ca}^{2+}$  (Аmineва и др., 2014).

Город Уфа входит в категорию городов с недостаточной обеспеченностью зеленой зоны и включает 758 видов сосудистых растений, что составляет 43% флоры Республики Башкортостан (Миркин и др., 2005). 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).

Во всех исследуемых зонах в древостоях дуба наблюдалось неоднократное массовое размножение энтомофагов: непарный шелкопряд (*Lymantria dispar* L.), кольчатый шелкопряд (*Malacosoma Neustria* L.), майский хрущ (*Melolontha melolontha* L.), которое в сочетании с благоприятными погодными условиями, привело к полному объеданию древостоев и дальнейшему росту очага и миграции особей вредителя на прилегающие территории (Положенцев и др., 1962; Санитарный..., 2013).

**Объектом исследования** служили одновозрастные естественные древостои дуба черешчатого, произрастающие в пределах административно-территориальных границ Уфимского промышленного центра (УПЦ) и находящихся в зоне интенсивного многолетнего техногенного загрязнения. Исследуемые древостои дуба имеют средний возраст 61-72 лет, что соответствует средневозрастной группе возраста для твердолиственных пород.

**Методика исследований.** Методы исследования подбирались с учетом цели и задач исследования, анализа литературных данных о преимуществах и недостатках каждого из методов и практики их применения. Основываясь на данных о степени загрязненности атмосферы г. Уфы,

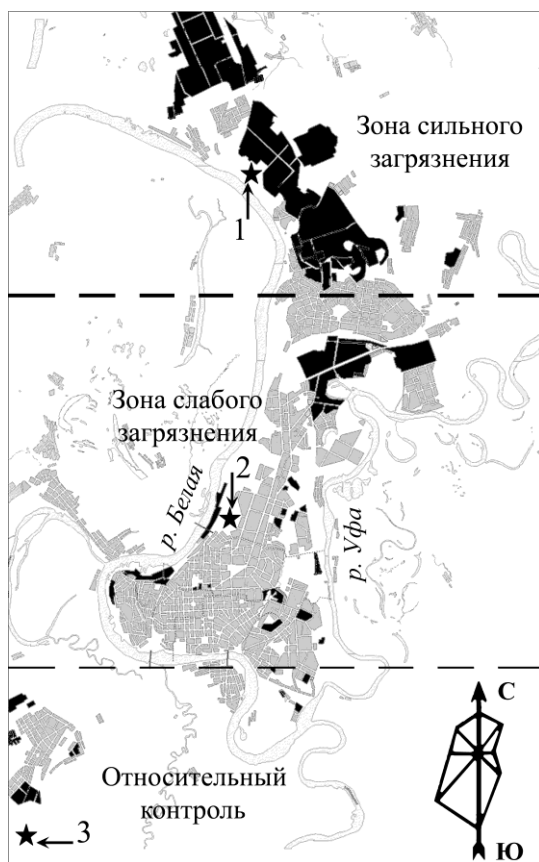


Рисунок 1 – Разделение территории исследования на условные зоны загрязнения и расположение пробных площадей

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 в которых были заложены постоянные пробные площади. При проведении таксационной характеристики (Ушаков, 1997; Методы..., 2002) и геоботанического описания пробных площадей (Определитель высших растений ..., 1988, 1989) параллельно была проведена оценка относительного жизненного состояния (ОЖС) древостоев дуба, используя методику В.А. Алексеева (1990), модифицированную применительно к лиственным породам.

Параметры для исследования водного обмена листьев следующие: относительное содержание воды (ОСВ), дефицит водного насыщения (ДВН) и интенсивность транспирации (ИТ). Измерения проводились в полевых условиях в течение вегетационного периода (май-август) методом быстрого взвешивания на торсионных весах (Techniprot Pruszkov): утром – с 8:00 до 10:00, в полдень – с 12:00 до 14:00 и вечером – с 16:00 до 18:00 ч. (Гусев, 1966; Слейчер, 1970; Веретенников, 1980).

Морфологические исследования: длина листовой поверхности (мм), ширина листа (мм), площадь листа ( $\text{cm}^2$ ), длина черешка (мм), длина жилок ( $\text{mm/cm}^2$ ) и количество устьиц ( $\text{шт./cm}^2$ ), проводились на гербарном материале. Для измерения длины жилок и количества устьиц объекты предварительно отбеливались в хлорсодержащем отбеливающем растворе. Прирост побегов (см) определяли на меченных побегах непосредственно на растущих деревьях в полевых условиях.

Морфологические исследования: длина листовой поверхности (мм), ширина листа (мм), площадь листа ( $\text{cm}^2$ ), длина черешка (мм), длина жилок ( $\text{mm/cm}^2$ ) и количество устьиц ( $\text{шт./cm}^2$ ), проводились на гербарном материале. Для измерения длины жилок и количества устьиц объекты предварительно отбеливались в хлорсодержащем отбеливающем растворе. Прирост побегов (см) определяли на меченных побегах непосредственно на растущих деревьях в полевых условиях.

Измерения содержания фотосинтетических пигментов проводили при помощи спектрофотометра КФК – 5М (Россия) после 12 часовой выдержки в темном помещении навески из листьев в 10 мл 96%-го этилового спирта (Пигменты пластид..., 1964; Силаева, 1978; Полевой, 1991, Кулагин, 2002).

Отбор почвенных образцов для определения физико-химических свойств почвы проводили методом «конверта» 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 тяжелых металлов (ТМ) почвенные образцы отбирались по 10 см слоям до глубины 1 м. В условиях контрольно-аналитической лаборатории методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии определялись содержание Cu, Cd, Zn, Fe, Pb в листьях дуба и почве древостоев (Брицке, 1982).

Дендрохронологические исследования проводились по общепринятым методикам (Белов, 1990; Ваганов и др., 1996; Ваганов, Шашкин, 2000; Methods..., 1990). Для установления возраста древостоев у 20-30 деревьев на пробной площади на высоте 0,3 м с помощью возрастного бурава Suunto (Finland) отбирались керны. Для датировки и измерения ширины годичных колец используется стереоскопический микроскоп-бинокуляр МБС-1, снабженный окуляр-микрометром и измерительной лупой.

Исследование корневых систем проводили методом монолитов, с последующим отбором почвенных образцов по 10 см слоям до глубины 1 м (Красильников, 1950; Рахтеенко, 1952; Тарановская, 1957; Шалыт, 1960; Ильин, 1961; Орлов, 1967; Рахтеенко, Якушев, 1968; Колесников, 1972). Разделение корней на фракции проводилось по методу Рахтеенко. Корненасыщенность почвы определяли на единицу площади горизонтальной поверхности ( $г/м^2$ ). Для оценки равномерности распределения корневых систем по почвенному профилю рассчитан коэффициент, предложенный Сейдафаровым Р.А. (2009).

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

#### 3.1 ЖИЗНЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВОСТОЕВ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В УСЛОВИЯХ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Усиление промышленного загрязнения сопровождается значительным ухудшением жизненного состояния древостоев дуба (Таблица 1).

Таблица 1 – Относительное жизненное состояние древостоев дуба черешчатого в условиях УПЦ

Местопо ложение	Порода	Сумма объемов ствола ( $м^3$ )						ОЖС насаждения	
		Здоровые	Ослабленные	Сильно ослабленные	Усыхающие	Свежий сухостой	Старый сухостой	$L_v$ , %	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	-	-	-	-	-	98	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

В зоне сильного загрязнения древостои дуба относятся к категории «сильно ослабленные» (основные диагностические признаки ухудшения состояния – значительное повреждение суммарной поверхности листа (более 40%), снижение густоты кроны (до 50%) и наличие мертвых сучьев и ветвей, сосредоточенных 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 и ветвей (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 в рассматриваемых условиях, в течение вегетационного периода находится в пределах 8,1-12,1 см (Рисунок 2А). В конце вегетационного периода у сформировавшихся листьев при усилении промышленного загрязнения наблюдается значительное и достоверное уменьшение длины листовой поверхности, что является усилением ксероморфности данного параметра. В условиях сильного загрязнения в течение вегетационного периода происходит незначительное увеличение длины листа, в зоне слабого загрязнения – незначительное уменьшение, а в контроле – незначительное увеличение. В зонах сильного и слабого загрязнения наблюдается общая закономерность – уменьшение длины листа в июле относительно общей вегетационной динамики

#### **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 2Б). В конце вегетационного периода у сформировавшихся листьев при усилении промышленного загрязнения наблюдается незначительное и недостоверное увеличение ширины листа, что является ослаблением ксероморфности данного параметра. В условиях сильного загрязнения в течение вегетационного периода происходит незначительное увеличение ширины листа, в зоне слабого загрязнения ширина листа не меняется, в контроле – незначительное увеличение. Во всех зонах наблюдается общая закономерность – уменьшение ширины листа в июле относительно общей вегетационной динамики.

#### **3.2.3 ПЛОЩАДЬ ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Средняя площадь листовой поверхности дуба в течение вегетационного периода находится в пределах от 22,4 см<sup>2</sup> до 38,2 см<sup>2</sup> (Рисунок 2В). В конце вегетационного периода у сформировавшихся листьев площадь листовой пластинки при усилении степени загрязнения значительно и достоверно уменьшается, что является усилением ксероморфности данного параметра. В условиях сильного загрязнения в течение вегетационного периода наблюдается незначительное уменьшение площади листовой пластинки, в зоне слабого загрязнения – значительное и достоверное уменьшение, а в контроле – незначительное увеличение. Во всех зонах наблюдается общая закономерность – уменьшение площади листа в июле относительно общей вегетационной динамики.

#### **3.2.4 ДЛИНА ЧЕРЕШКА**

Средняя длина черешка (Рисунок 2Г) 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, что является усилением ксероморфности данного параметра. В условиях сильного загрязнения в течение вегетационного периода длина черешка не меняется, в зоне слабого загрязнения – незначительно уменьшается, в контроле – незначительно увеличивается. Общих закономерностей в рассматриваемых зонах в вегетационной динамике не наблюдается.

#### **3.2.5 УСТЬИЧНЫЙ ИНДЕКС**

Значения устьичного индекса дуба варьирует от 115 до 151 шт/см<sup>2</sup> (Рисунок 2Д). В конце вегетации у сформировавшихся листьев при усилении степени промышленного загрязнения наблюдается незначительное уменьшение устьичного индекса, что является ослаблением ксероморфности данного параметра. В условиях сильного загрязнения в течение вегетационного периода устьичный индекс незначительно увеличивается к середине вегетации и значительно уменьшается к концу вегетации, в зоне слабого загрязнения – незначительно увеличивается в течение вегетации, в контроле – незначительно увеличивается к середине вегетации и



незначительно уменьшается к концу вегетации. Во всех зонах наблюдается общая закономерность – уменьшение устьичного индекса в июле относительно общей вегетационной динамики.

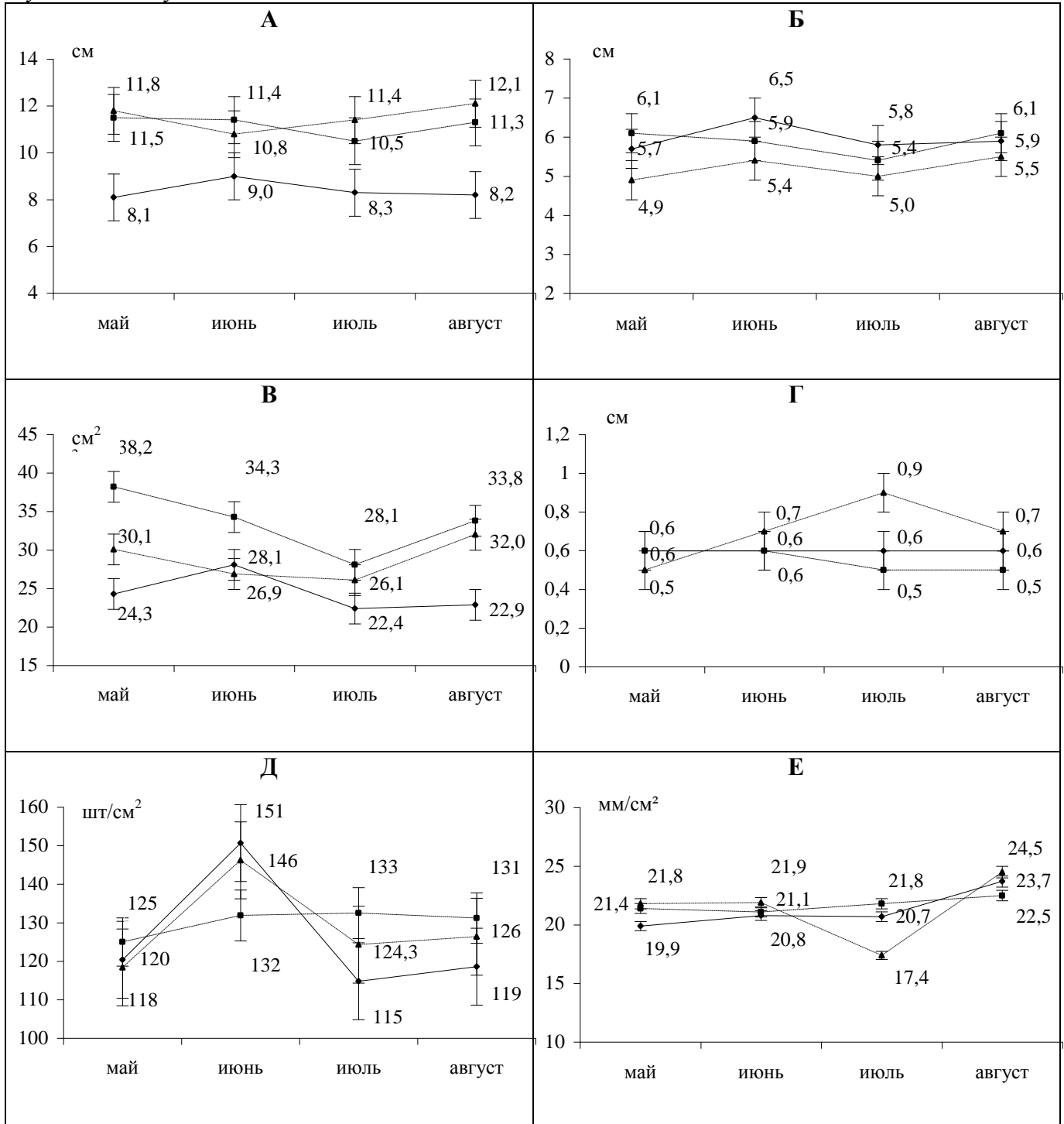


Рисунок 2 – Морфология листьев дуба черешчатого в условиях УЩ: А – длина листовой пластинки, см, Б – ширина листа, см, В – площадь листа, см<sup>2</sup>, Г – длина черешка, см, Д – устьичный индекс листовой пластинки, шт/см<sup>2</sup>, Е – средняя длина жилок на единицу площади листовой пластинки, мм/см<sup>2</sup>. Условные обозначения: —◆— зона сильного загрязнения, —■— зона слабого загрязнения, —▲— контроль

Различия в значениях каждого из морфологических параметров между зонами загрязнения достоверны при уровне значимости  $W=5\%$ , число степеней свободы  $\nu=18$ , значения критерия Стьюдента  $t_{\text{теор}}=2, 10$

### 3.2.6 СРЕДНЯЯ ДЛИНА ЖИЛОК

Средняя длина жилок (Рисунок 2Е) в течение вегетационного периода изменяется от 17,4 мм/см<sup>2</sup> до 24,5 мм/см<sup>2</sup>. В конце вегетационного периода у сформировавшихся листьев при усилении промышленного загрязнения наблюдается значительное и достоверное уменьшение длины жилок, что является ослаблением ксероморфности данного параметра. В течение

вегетационного периода происходит незначительное увеличение длины жилок, как в условиях сильного загрязнения, так и в зоне слабого загрязнения, и в контроле. 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 промышленного загрязнения на фоне значительного уменьшения площади листовой пластинки характерно значительное уменьшение длины жилок и незначительное уменьшение устьичного индекса. 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 наблюдается незначительное увеличение длины жилок и незначительное уменьшение устьичного индекса; в зоне слабого загрязнения на фоне значительного уменьшения площади листовой пластинки прослеживается незначительное увеличение длины жилок и незначительное увеличение устьичного индекса; в контроле на фоне незначительного увеличения площади листовой пластинки характерно незначительное увеличение длины жилок и незначительное увеличение устьичного индекса. 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.

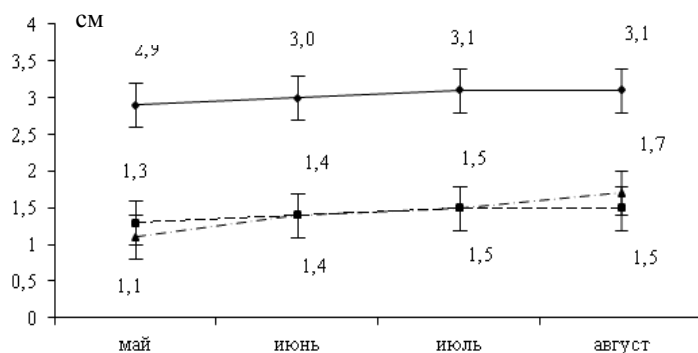


Рисунок 3 – Линейный прирост побегов дуба черешчатого в условиях УПЦ, см

### 3.2.8 ПРИРОСТ ПОБЕГОВ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО

Установлено, что степень промышленного загрязнения оказывает существенное влияние на прирост побегов дуба в длину (Рисунок 3). Значения этого параметра варьирует от 1,1 до 3 см. В конце вегетационного периода у сформировавшихся побегов при усилении промышленного загрязнения отмечается значительное и достоверное увеличение длины побегов, что является ослаблением ксероморфности данного параметра. В течение вегетации происходит

незначительное увеличение длины побегов, как в условиях сильного загрязнения, так и в зоне слабого загрязнения, и в контроле. Во всех зонах имеется общая закономерность – равномерное увеличение длины побегов в течение вегетационной динамики.

### 3.3 ОЦЕНКА ГОДИЧНОГО РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Для оценки влияния погодных условий на прирост сопоставлены дендрохронологические параметры со среднелетними данными по метеостанции г. Уфы (Рисунок 4). Анализ радиального прироста стволовой древесины (Рисунок 5) позволил установить следующий факт: изменение климатических факторов 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. 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 ( $R_s = -0,35$ ). 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 4 – Среднелетние данные по температуре воздуха и осадкам по метеостанции г. Уфы

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, в зоне слабого загрязнения максимальный прирост дуба приходится на период до 27 лет, а в зоне сильного загрязнения до 16 лет. Древостои дуба в зоне сильного загрязнения характеризуются более низким показателем годичного радиального прироста в виргинильный период, чем в других зонах. 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. На этом промежутке времени наблюдается синергетическое действие промышленного загрязнения и климатических условий в зоне сильного загрязнения

В последующем генеративном этапе развития наблюдается уменьшение прироста древесины в контроле и зоне слабого загрязнения. В зоне сильного загрязнения, напротив, наблюдается значительно больший прирост стволовой древесины, чем в других зонах. 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. В зоне сильного загрязнения, наблюдается значительно меньший прирост стволовой древесины, чем в других зонах. (Различия средних значений радиального прироста зоны сильного загрязнения и контроля достоверны при уровне значимости  $W=5\%$ , число степеней свободы  $\nu=18$ , значении критерия Стьюдента  $t_{\text{теор}}=2,10$ ).

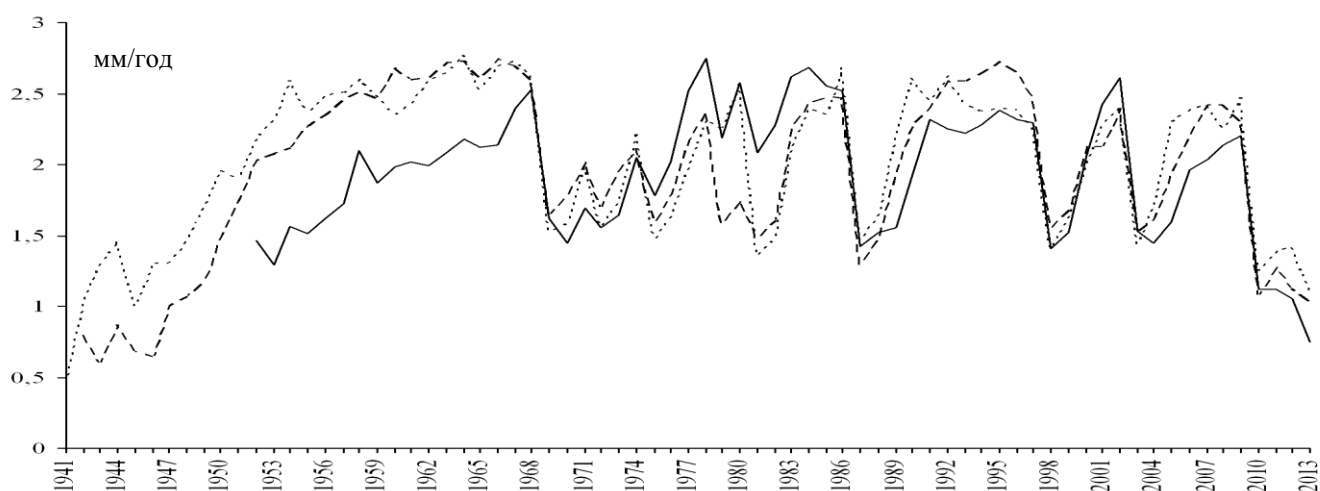


Рисунок 5 – Динамика радиального прироста древесины дуба в условиях УПЦ, мм/год. Условные обозначения: ———— зона сильного загрязнения, - - - - - зона слабого загрязнения, ..... контроль

Коэффициент синхронности между хронологиями радиальных приростов в зоне сильного загрязнения и в контроле  $S=76\%$ , что соответствует средней синхронности изменения радиального прироста и подтверждает значительное влияние внешних условий на данный параметр. В зоне

сильного и слабого загрязнения коэффициент чувствительности (Таблица 2) в начальном периоде роста меньше, а к концу изучаемого периода он значительно увеличивается, что говорит о более сильной подверженности радиального прироста воздействию антропогенного фактора, наряду с климатическими изменениями. В контроле коэффициент чувствительности сравнительно одинаков за весь период исследования. Таким образом, снижение радиального прироста ствольной древесины дуба черешчатого при усилении степени загрязнения и выявленные периоды «депрессий» вызваны воздействием техногенного фактора.

Таблица 2 – Коэффициент чувствительности рядов радиального прироста дуба черешчатого в условиях УЩ

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	<b>0,65</b>	0,35
Зона слабого загрязнения	0,45	0,28	0,40	0,63	0,46	0,44	<b>0,73</b>	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 ствольной древесины (Рисунок 6). 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. За весь рассматриваемый период для дуба во всех зонах характерно естественное увеличение площади прироста древесины.

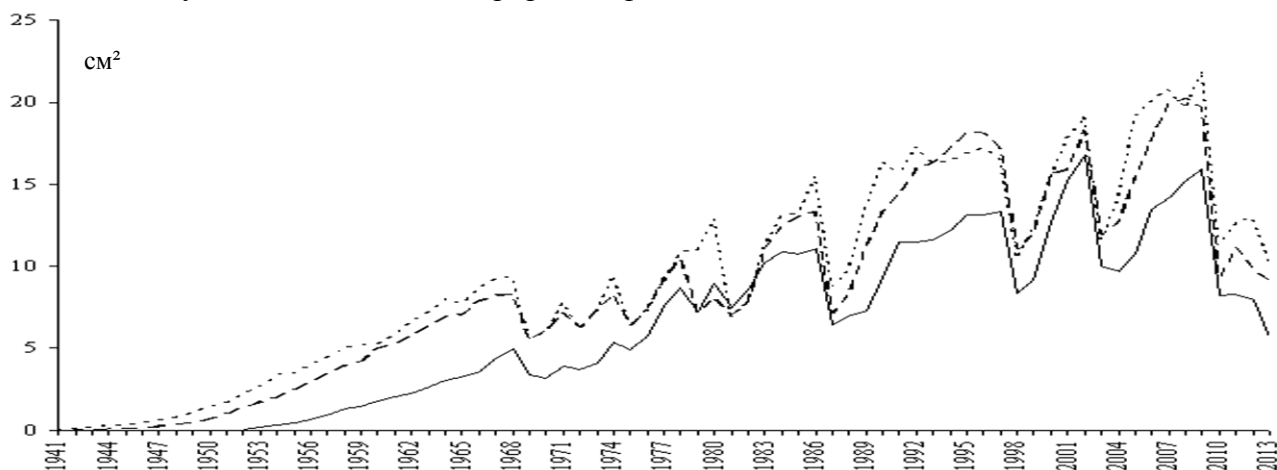


Рисунок 6 – Динамика площади прироста древесины дуба в условиях УЩ, см<sup>2</sup>. Условные обозначения: ———— зона сильного загрязнения, - - - - - зона слабого загрязнения, - · - · - · - контроль

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 7). Необходимо отметить более быстрое прохождение дубом виргинильного периода в зоне сильного загрязнения, чем в контроле и зоне слабого загрязнения. 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 характерно увеличение прироста по площади поперечного сечения. Усиленный рост и стабилизация прироста дуба в зоне сильного загрязнения отчетливо прослеживается 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»: характерно уменьшение прироста на следующие 2-3 года. В средневозрастном генеративном состоянии прирост по площади поперечного сечения дуба в зоне сильного загрязнения немного ниже показателей прироста контроля и слабого



загрязнения это выражено сильнее, что является следствием засушливого лета 2012 г., в наиболее засушливых условиях городской среды. В целом ОСВ во всех зонах находится в норме и не достигает критических повреждающих значений. Закономерностей существенного и достоверного влияния атмосферного загрязнения на ОСВ не прослеживается, следует отметить незначительно больший уровень ОСВ в зоне сильного загрязнения по сравнению с зоной слабого загрязнения и контролем.

### **3.4.2 ДЕФИЦИТ ВОДНОГО НАСЫЩЕНИЯ**

Соответственно, при таком уровне ОСВ листья дуба не испытывают ДВН (Рисунок 9Б). Отмечается общая тенденция значительного и достоверного повышения ДВН в течение дня, причем к концу вегетационного периода это повышение увеличивается. В течение вегетационной динамики во всех зонах прослеживается увеличение среднесуточного ДВН. 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. 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**

В течение дня, вегетационного периода и при усилении атмосферного загрязнения наиболее изменяемым параметром является ИТ (Рисунок 9В). Суточный ход транспирации нарушен: наблюдается тенденция значительного спада ИТ к полудню и возрастание к вечеру или постоянного спада ИТ в течение дня, что может быть связано с потерей возможности контроля транспирации устьицами вследствие загрязнения и угнетением процесса транспирации. Наиболее четко этот дисбаланс проявляется в зоне сильного загрязнения в мае и в зоне слабого загрязнения в июне, июле, а в контроле происходит нормальный ход суточной транспирации. В среднесуточной динамике ИТ в течение вегетационного периода выявлен значительный и достоверный спад ИТ в течение вегетации в зоне сильного загрязнения. В зоне слабого загрязнения и в контроле наблюдаются значительные колебания ИТ в течение вегетационного периода без каких-либо закономерностей. Это может быть связано с относительно меньшим количеством выбросов по сравнению с зоной сильного загрязнения, и с последующим спадом ИТ в июле, наряду с изменением климатических показателей: увеличением температуры окружающей среды и уменьшением влажности воздуха. Обнаружена тесная связь между ИТ и ОСВ, ИТ и ДВН, наиболее сильно прослеживаемых в зоне сильного загрязнения.

## **3.5 ПИГМЕНТНЫЙ ФОНД ЛИСТЬЕВ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО**

### **3.5.1 СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА А**

Концентрация хлорофилла *a* (Рисунок 10А) изменяется от 0,457 мг/г сырого веса до 0,720 мг/г сырого веса. Как показали исследования, содержание хлорофилла *a* в листьях дуба наиболее сильно подвержено действию промышленного загрязнения: усиление промышленного загрязнения сопровождается значительным уменьшением его содержания в течение всего вегетационного периода. Причем в динамике вегетационного периода незначительно увеличивается разница в содержании хлорофилла *a* между зоной сильного загрязнения и контролем. 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. В течение вегетационного периода наблюдается значительное уменьшение содержания хлорофилла *a* во всех зонах. Это объясняется естественным разрушением пигментов при старении листьев, к концу вегетационного периода. В зоне сильного загрязнения в динамике вегетационного периода содержание хлорофилла *a* падает больше, чем в зоне слабого загрязнения и контроле.

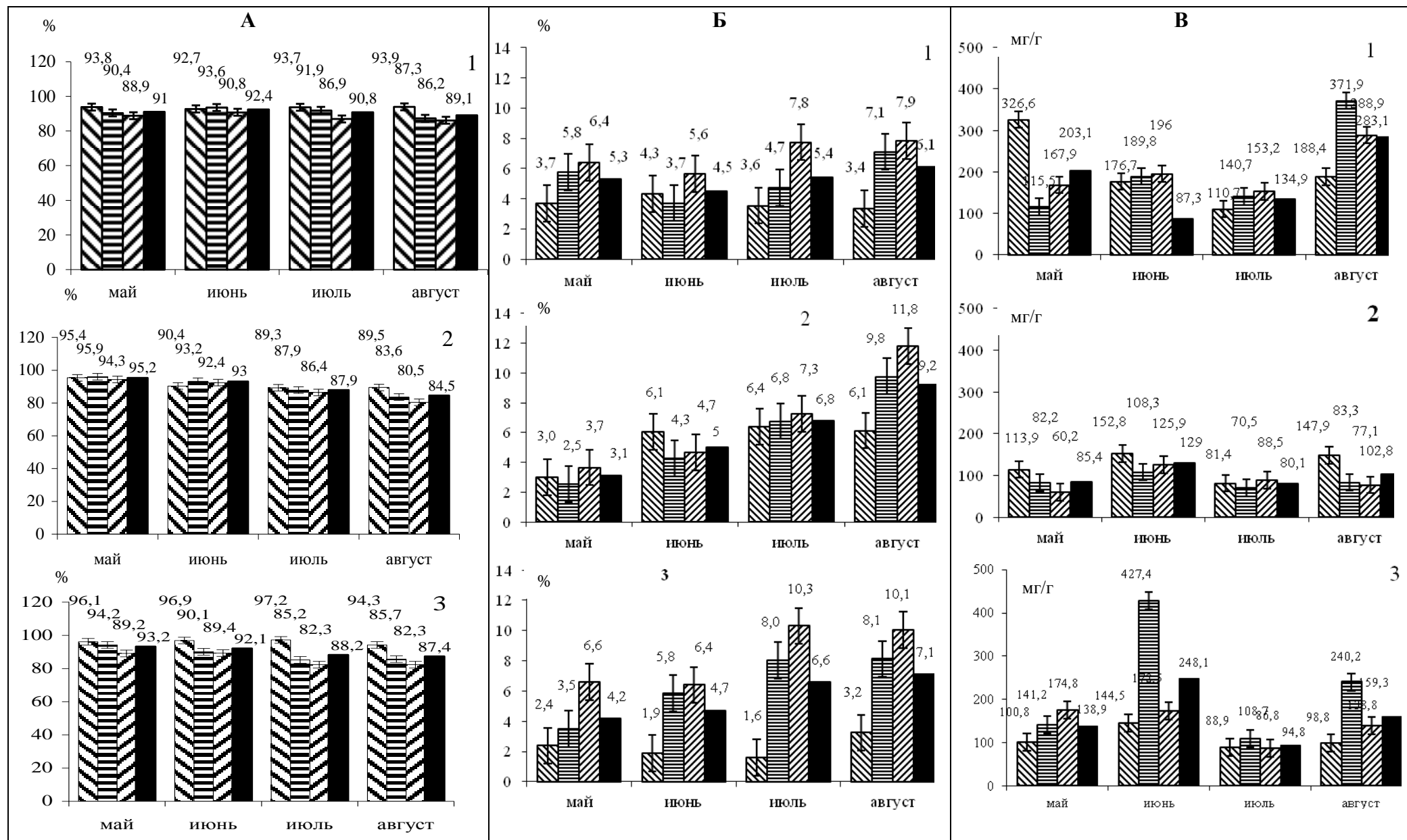


Рисунок 9 – Изменение: А – относительного содержания воды (%), Б – дефицита водного насыщения (%), В – интенсивности транспирации (мг/г сырого веса в час) в листьях дуба в течение суток и вегетационного периода в условиях УПЦ. Условные обозначения: 1 – зона сильного загрязнения (Различия значений ИТ между зонами загрязнения достоверны при уровне значимости  $W=5\%$ , число степеней свободы  $\nu=16$ , крит. Стьюдента  $t_{\text{теор}}=2, 12$ ).

### 3.5.2 СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА *b*

Содержание хлорофилла *b* в целом значительно меньше, чем хлорофилла *a* (Рисунок 10Б). Его концентрация изменяется от 0,286 мг/г сырого веса до 0,451 мг/г сырого веса. Анализ содержания хлорофилла *b* в листьях дуба показывает, что, как и хлорофилл *a*, данный пигмент хлорофильного комплекса подвержен воздействию атмосферного загрязнения: усиление промышленного загрязнения сопровождается значительным уменьшением 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. 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. В течение вегетационного периода наблюдается значительное уменьшение содержания хлорофилла *b* во всех зонах. Это объясняется, как и в случае с хлорофиллом *a*, естественным разрушением пигментов при старении листьев, к концу вегетационного периода. В зоне сильного загрязнения в динамике вегетационного периода содержание хлорофилла *b* падает незначительно, по сравнению с зоной слабого загрязнения и контролем.

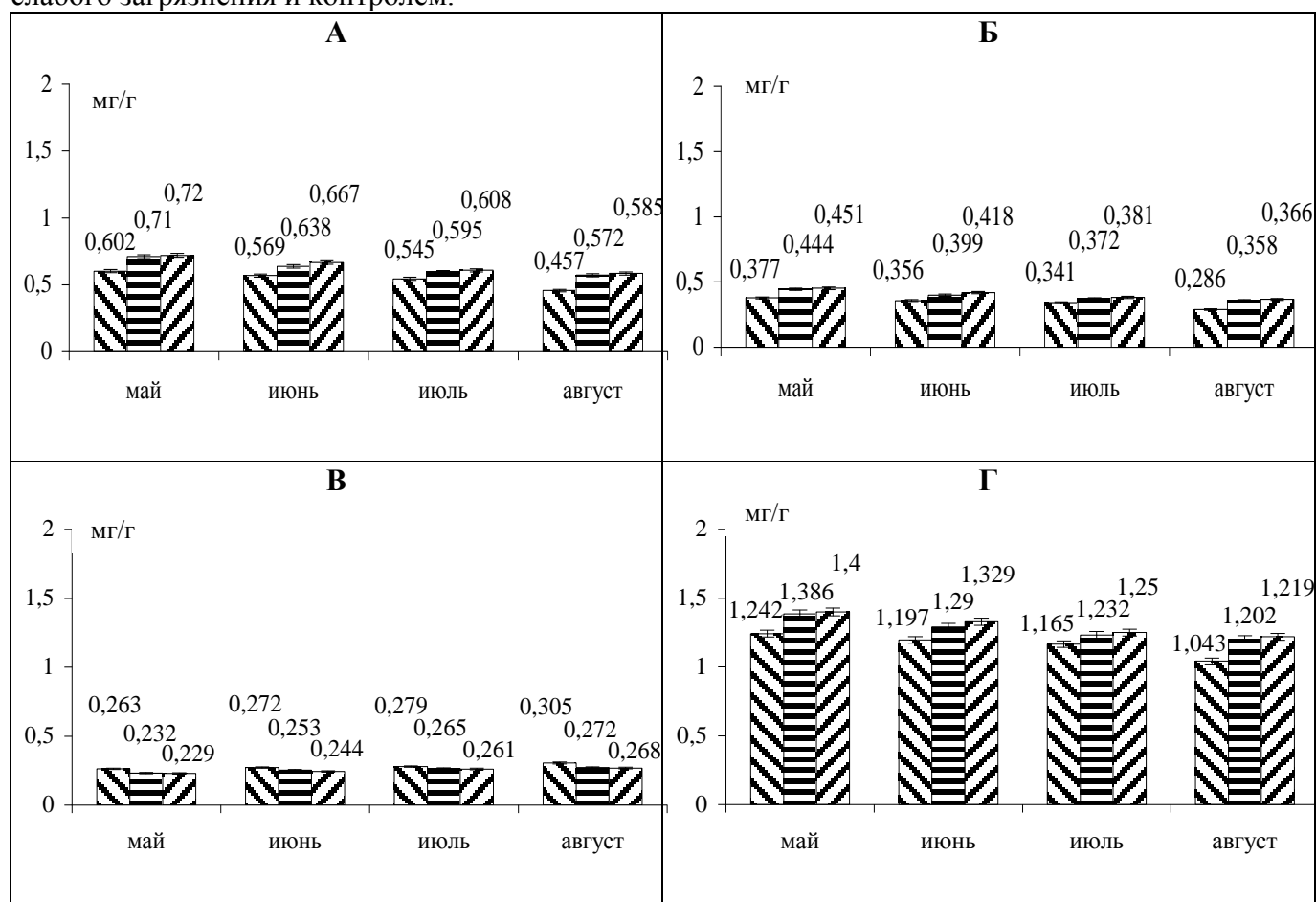


Рисунок 10 – Содержание: А – хлорофилла *a*, мг/г сырого веса, Б – хлорофилла *b*, мг/г сырого веса, В – каротиноидов, мг/г сырого веса, Г – суммарное содержание всех пигментов, мг/г сырого веса в листьях дуба черешчатого в условиях УПЦ. Условные обозначения: ▨ – зона сильного загрязнения, ▩ – зона слабого загрязнения, ▧ – контроль

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

### 3.5.3 СОДЕРЖАНИЕ КАРОТИНОИДОВ

Содержание каротиноидов в целом значительно меньше, чем хлорофилла *a* и хлорофилла *b* (Рисунок 10В). Каротиноиды – единственная группа из всех пигментов дуба, которые характеризуются увеличением их содержания при усилении промышленного загрязнения. Их концентрация находится в пределах от 0,229 мг/г сырого веса до 0,305 мг/г сырого веса. На протяжении всего вегетационного периода при усилении промышленного загрязнения происходит



значительное увеличение их содержания. В целом в контроле концентрация каротиноидов значительно ниже, чем в остальных зонах, причем разница с зоной сильного загрязнения составляет в среднем 1,2 раза.

В течение вегетационного периода наблюдается незначительное увеличение содержания каротиноидов во всех зонах. В зоне сильного загрязнения в динамике вегетационного периода содержание каротиноидов увеличивается незначительно, по сравнению с зоной слабого загрязнения и контролем. Увеличение концентрации каротиноидов при усилении загрязнения может быть связано с их фоторецепторной и антиоксидантной функциями и является адаптационным механизмом данных пигментов в защите физиологических процессов при техногенном воздействии.

### 3.5.4 СУММАРНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ВСЕХ ПИГМЕНТОВ

Содержание суммы всех пигментов в листьях дуба (Рисунок 10Г) изменяется от 1,043 мг/г сырого веса до 1,4 мг/г сырого веса. 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. 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 зоне сильного загрязнения в динамике вегетационного периода содержание суммы всех пигментов падает больше, чем в зоне слабого загрязнения и контроле.

### 3.5.5 СООТНОШЕНИЕ ХЛОРОФИЛЛОВ К КАРОТИНОИДАМ

Четких различий между зонами загрязнения по отношению «Хл *a* / Хл *b*» не выявлено (Таблица 3): 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». 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, чем в зоне слабого загрязнения и контроле.

Таблица 3 – Показатели соотношения фотосинтезирующих пигментов листьев дуба в условиях УПЦ

Местоположение	Соотношение пигментов	май	Июнь	июль	август
Зона сильного загрязнения	(Хл <i>a</i> + Хл <i>b</i> ) / Кар	<b>3,72*</b>	<b>3,4*</b>	<b>3,18*</b>	<b>2,47*</b>
	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  $\nu=4$ , значения критерия Стьюдента  $t_{теор}=2,78$

### 3.6 ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Общая корненасыщенность метрового слоя почвы в насаждениях дуба при усилении загрязнения значительно увеличивается (Рисунок 11). Максимальная корненасыщенность почвы в условиях сильного загрязнения отмечается на глубине 10-20 и 20-30 см, в условиях слабого загрязнения на горизонте 30-40 см, в условиях контроля на глубине 40-50 см.

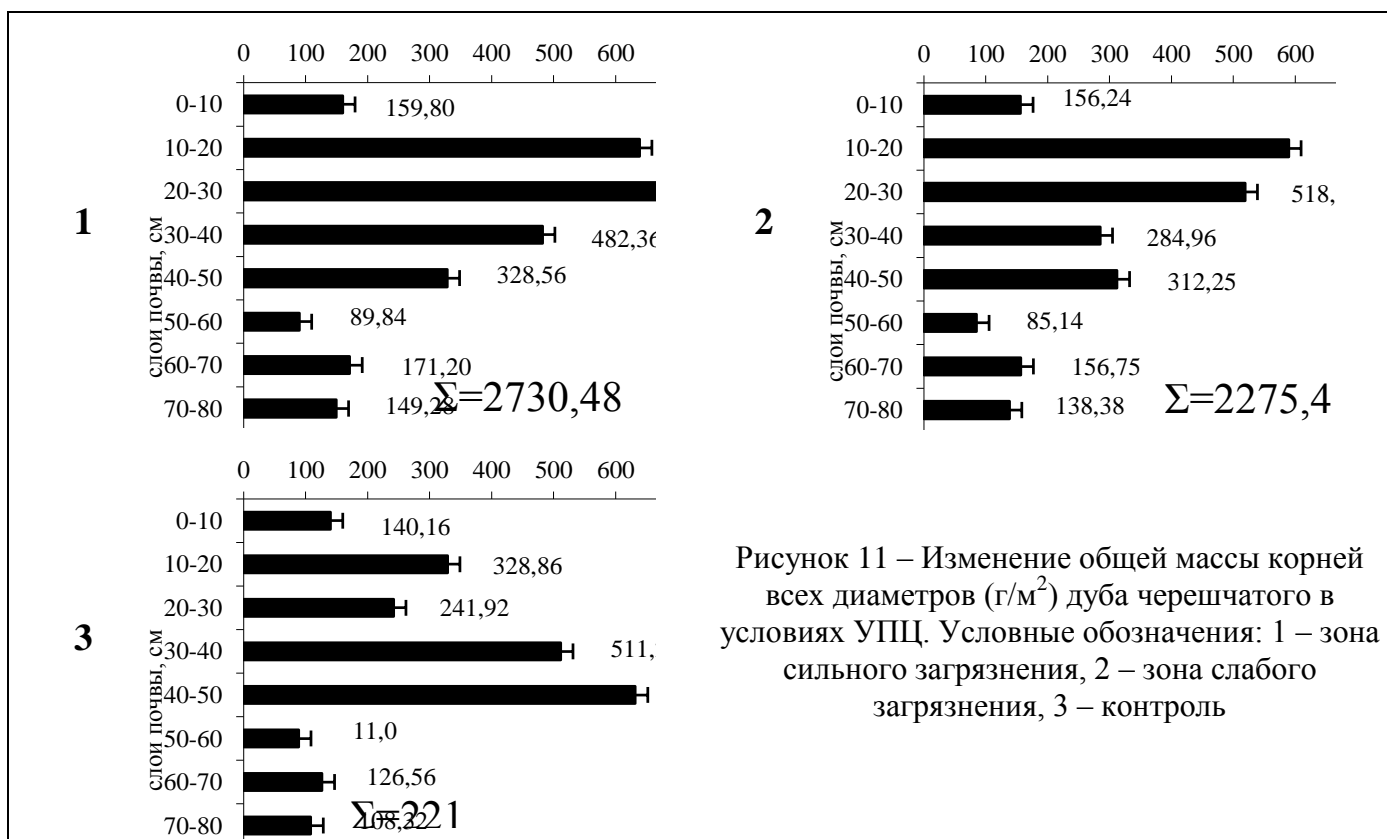


Рисунок 11 – Изменение общей массы корней всех диаметров (г/м<sup>2</sup>) дуба черешчатого в условиях УПЦ. Условные обозначения: 1 – зона сильного загрязнения, 2 – зона слабого загрязнения, 3 – контроль

Максимальная насыщенность почвы поглощающими корнями (Рисунок 12) во всех зонах наблюдается в слое почвы 0-20 см, ниже по профилю их масса распределяется практически равномерно. При усилении загрязнения наблюдается значительное снижение массы поглощающих корней в верхних слоях почвенного профиля. Строгой закономерности влияния загрязнения на распределение поглощающих корней в остальных почвенных слоях не наблюдается.

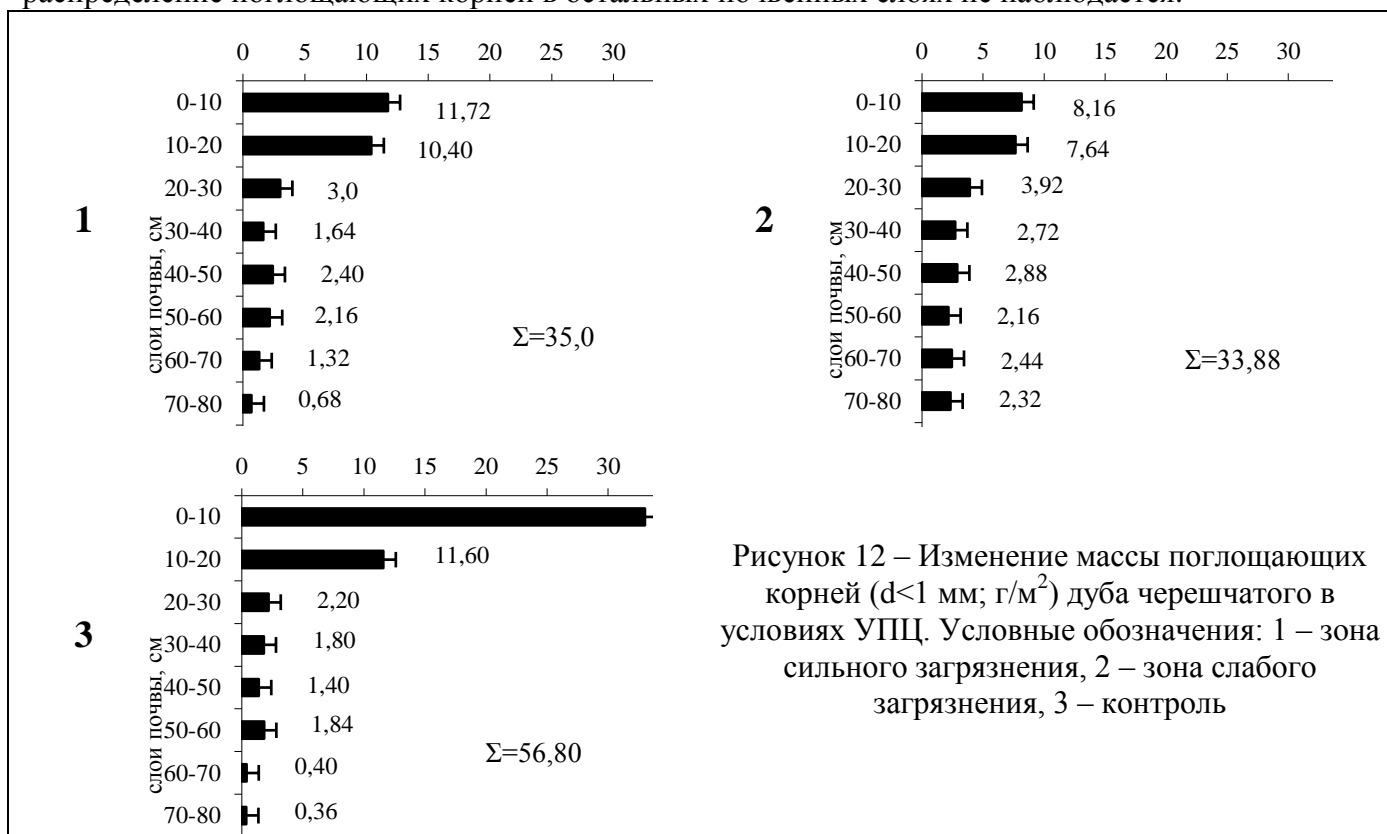


Рисунок 12 – Изменение массы поглощающих корней ( $d < 1$  мм; г/м<sup>2</sup>) дуба черешчатого в условиях УПЦ. Условные обозначения: 1 – зона сильного загрязнения, 2 – зона слабого загрязнения, 3 – контроль

Максимум насыщенности почвы проводящими полускелетными корнями (Рисунок 13), отмечается на глубине 0-20 см. Наблюдается неравномерность распределения проводящих полускелетных корней в слоях ниже 20 см, но в целом прослеживается общая тенденция

уменьшения их массы по мере увеличения глубины. Усиление загрязнения сопровождается увеличением массы проводящих полускелетных корней в верхнем 0-10 см слое почвы.

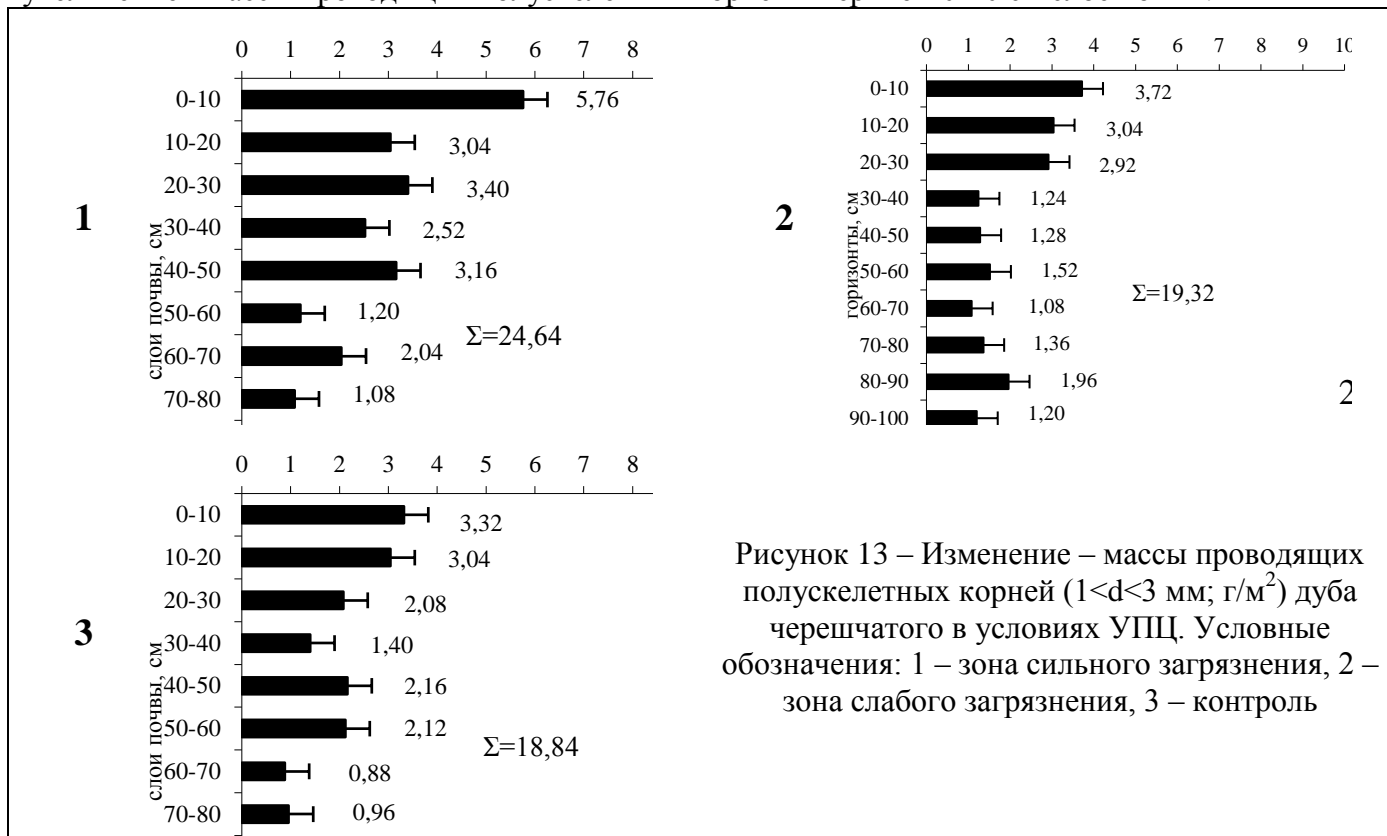


Рисунок 13 – Изменение – массы проводящих полускелетных корней ( $1 < d < 3$  мм; г/м<sup>2</sup>) дуба черешчатого в условиях УПЦ. Условные обозначения: 1 – зона сильного загрязнения, 2 – зона слабого загрязнения, 3 – контроль

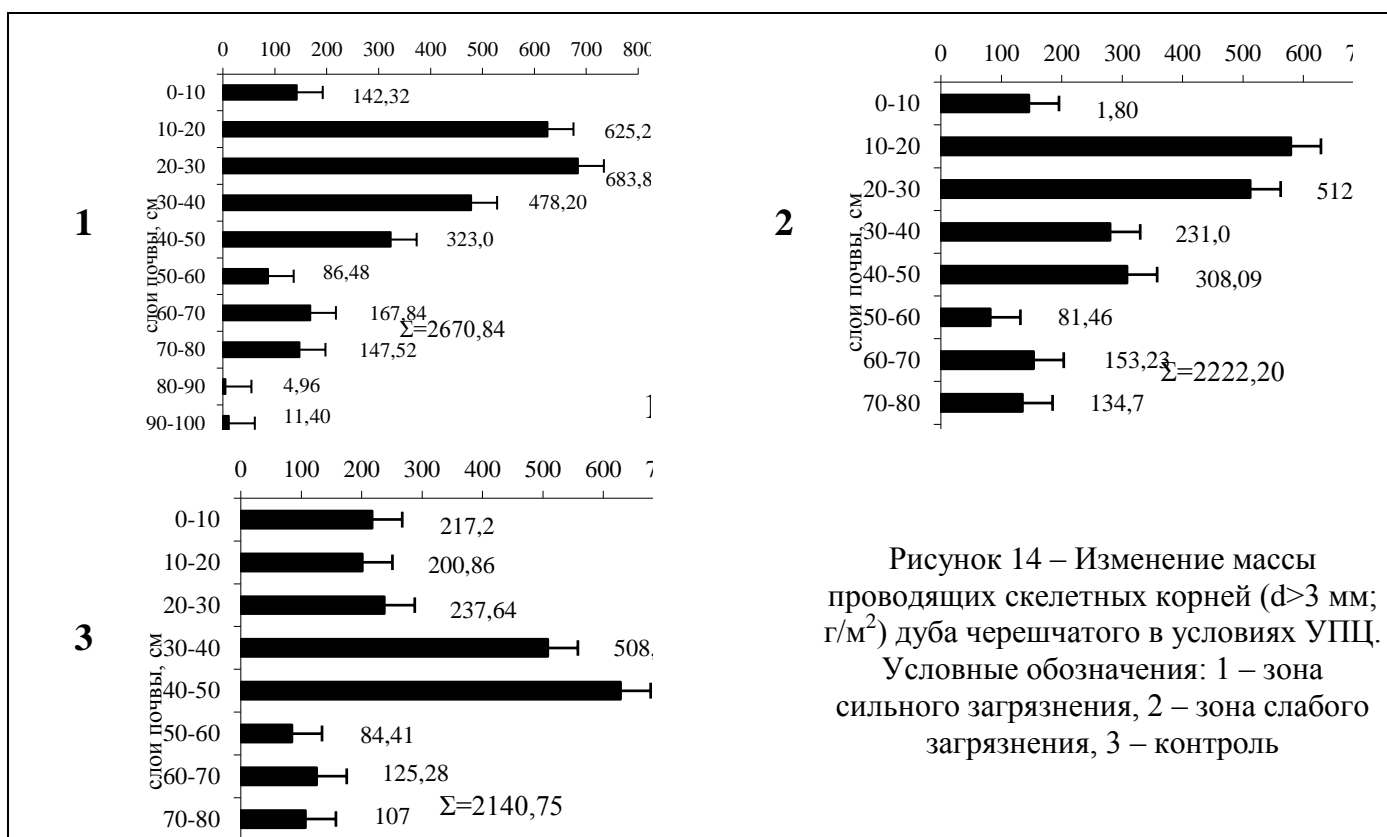


Рисунок 14 – Изменение массы проводящих скелетных корней ( $d > 3$  мм; г/м<sup>2</sup>) дуба черешчатого в условиях УПЦ. Условные обозначения: 1 – зона сильного загрязнения, 2 – зона слабого загрязнения, 3 – контроль

\*- Различия между зонами загрязнений для корней всех фракций достоверно при уровне значимости  $W=5\%$ , число степеней свободы  $\nu=21$ , значении критерия Стьюдента  $t_{\text{теор}}=2,08$ .

Максимальная корненонасыщенность почвы скелетными корнями (Рисунок 14) в зоне сильного загрязнения находится 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. Корненасыщенность почвы скелетными корнями в зоне слабого загрязнения и контроле по всему профилю практически одинаковая, с небольшими вариациями.

### 3.7 СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И ИХ НАКОПЛЕНИЕ В ЛИСТЬЯХ

При усилении промышленного загрязнения происходит значительное уменьшение средней концентрации Cu в почве (Таблица 4). Содержание Cu в почве не превышает ПДК. Максимальная аккумуляция Cu в условиях сильного и слабого загрязнения наблюдается в слое почвы 0-30 см, и постепенно уменьшается по мере углубления. Максимальная аккумуляция Cu в контроле наблюдается в слое 0-70 см, с максимумом на горизонте 50-60 см, и постепенно уменьшается по мере углубления. В листьях дуба Cu аккумулируется значительно меньше токсических концентраций. Усиление загрязнения сопровождается значительным увеличением накопления Cu в листьях дуба. 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.

Таблица 4 – 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
1	2	3	4	5	6
<b>Листья</b>					
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)	<b>20</b>	<b>1</b>	<b>150</b>	<b>750</b>	<b>10</b>
<b>Метровый слой почвы</b>					
Зона сильного загрязнения					
0-10 см	<b>10,09±0,012*</b>	<b>0,48±0,020*</b>	<b>48,14±0,081*</b>	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	<b>19118±1,155*</b>	20,70±0,012
30-40 см	<b>8,5±0,090*</b>	<b>0,25±0,009*</b>	40,06±0,046	16466±1,155	<b>13,53±0,012*</b>
40-50 см	<b>5,07±0,055*</b>	0,24±0,015	25,79±0,040	13213±1,155	14,96±0,035
50-60см	<b>6,35±0,061*</b>	0,24±0,023	<b>20,16±0,035</b>	11543±1,732	13,98±0,017
60-70 см	6,77±0,064	0,04±0,012	<b>9,49±0,052*</b>	10166±4,619	10,00±0,012
70-80 см	5,46±0,052	0,04±0,006	11,43±0,055	<b>6441±2,887*</b>	9,69±0,035
80-90 см	<b>2,87±0,052*</b>	0,03±0,009	<b>1,17±0,032*</b>	<b>5831±2,88*</b>	<b>2,37±0,01*</b>
90-100 см	-	-	-	-	-
Среднее содержание	<b>6,56*</b>	<b>0,25*</b>	<b>27,17*</b>	<b>12842*</b>	<b>13,28*</b>
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	<b>15,42±0,006*</b>	<b>0,15±0,012*</b>	45,19±0,012	<b>25759±5,196*</b>	<b>9,72±0,061*</b>
30-40 см	12,06±0,017	0,14±0,006	<b>50,63±0,052*</b>	<b>32877±6,928*</b>	<b>7,82±0,069*</b>
40-50 см	<b>9,8±0,012*</b>	<b>0,14±0,012*</b>	48,32±0,035	<b>34124±4,041*</b>	7,12±0,081
50-60см	9,56±0,017	0,09±0,012	<b>56,84±0,015</b>	33681±5,196	<b>4,85±0,052</b>
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	<b>0,08±0,012*</b>	<b>41,65±0,064*</b>	<b>30035±4,041*</b>	<b>4,07±0,012*</b>
80-90 см	9,16±0,012	0,08±0,006	<b>36,31±0,029*</b>	<b>26729±3,464*</b>	4,47±0,043
90-100 см	<b>7,54±0,006*</b>	0,08±0,020	38,70±0,032	26710±8,660	4,49±0,055
Среднее содержание	<b>10,58*</b>	<b>0,13</b>	<b>46,11*</b>	<b>28480*</b>	<b>7,17*</b>

Продолжение таблицы 4					
1	2	3	4	5	6
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
50-60 см	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
Среднее содержание	12,15	0,12	47,01	26516	6,45
ПДК (валовое содержание)	<b>55</b>	<b>1,5</b>	<b>300</b>	<b>1000</b>	<b>32</b>

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

Усиление промышленного загрязнения сопровождается уменьшением средней концентрации Fe в почве (Таблица 4). Содержание Fe превышает нормы и достигает токсичных концентраций. Максимальная аккумуляция Fe в условиях сильного загрязнения наблюдается в слое 0-30 см, в зоне слабого загрязнения происходит глубже – до 60 см, в контроле в слое 30-70 см и постепенно уменьшается к горизонту 90-100 см. У дуба накопление Fe в листьях не превышает нормы, но находится на пороге токсических концентраций. Усиление промышленного загрязнения сопровождается увеличением концентрации Fe в листьях, однако его содержание в листьях во много раз ниже, чем в почве.

Усиление промышленного загрязнения сопровождается значительным увеличением средней концентрации Cd в почве (Таблица 4). Содержание Cd в почве во всех зонах не превышает ПДК. Максимальная аккумуляция Cd в условиях сильного и слабого загрязнения наблюдается в слое 0-30 см, в контроле в слое 0-50 см и постепенно уменьшается по мере углубления. При усилении промышленного загрязнения отмечается увеличение содержания Cd в поверхностных слоях почвы. В районе исследования листья дуба накапливают Cd в токсических концентрациях, почти в 3 раза превышающих пороговые. При усилении загрязнения наблюдается тенденция незначительного уменьшения концентрации Cd в листьях, а в зоне слабого загрязнения отмечается наименьшая концентрация Cd, но также превышающего допустимые нормы. Накопление Cd в листьях значительно превышает содержание этого металла в почве.

Усиление промышленного загрязнения сопровождается уменьшением средней концентрации Zn в почве (Таблица 4). Содержание Zn не превышает нормы. В условиях сильного загрязнения максимальная аккумуляция Zn наблюдается в слое 0-40 см, в зоне слабого загрязнения и в контроле значительно глубже – до 70 см, и незначительно уменьшается до глубины 90-100 см, что может говорить о более глубоком вымывании Zn из поверхностных слоев. Высокий уровень накопления в листьях Cd подавляет поступление Zn – он находится близко к границе дефицита. Отмечена тенденция значительного увеличения содержания Zn по мере усиления промышленного 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.

При усилении степени промышленного загрязнения происходит значительное увеличение средней концентрации Pb в почве (Таблица 4), однако его содержание во всех зонах не превышает нормы. При усилении промышленного загрязнения отмечается увеличение содержания Pb в поверхностных слоях почвы. Максимальная аккумуляция Pb в условиях сильного и слабого загрязнения наблюдается в слое 0-30 см, в контроле в слое 0-50 см и постепенно уменьшается по мере углубления. Усиление загрязнения сопровождается увеличением содержания Pb в листьях, не превышающего нормы. Во всех рассматриваемых условиях содержание этого металла в листьях значительно ниже, чем в почве (Аминева и др., 2014).

## ВЫВОДЫ

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 промышленному 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 значительной чувствительностью к атмосферному загрязнению: на фоне значительного увеличения содержания каротиноидов в листьях дуба отмечается уменьшение содержания пигментов хлорофилла *a* и *b*, что подтверждается соотношением «(Хл *a* + Хл *b*) / Каротиноиды». Соотношение «Хл *a* / Хл *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 углеводов 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 полускелетных 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 «исключителем» Pb, Fe.

7. Общая оценка состояния древостоев дуба показала, что усиление промышленного загрязнения сопровождается значительным ухудшением их относительного жизненного состояния. Таким образом, в условиях с ярко 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 РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### В рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Зиятдинова (Аминева) К. З., Уразгильдин Р. В., Денисова А. В. Морфология листьев и побегов дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях загрязнения окружающей среды // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 15.03.2012. – С.1466-1469;

2. Яшин Д. А., Зайцев Г. А., Зиятдинова (Аминева) К. З., Уразгильдин Р. В. Особенности строения корневых систем березы повислой в условиях нефтехимического загрязнения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 15.03.2012. – С.1581-1583;

3. **Зиятдинова (Аmineва) К. З.**, Уразгильдин Р. В., Денисова А. В. Водный обмен листьев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях техногенного загрязнения окружающей среды // Вестник Челябинского государственного университета. – № 7 (298). – 2013. – С.181-184;

4. **Аmineва К. З.**, Уразгильдин Р. В., Сулейманов Р. Р. Эколого-геохимические особенности почв дубовых древостоев и аккумуляция тяжелых металлов в листьях дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях нефтехимического загрязнения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 4.02.2014. – С.58-65;

5. **Аmineва К. З.**, Уразгильдин Р. В., Кулагин А. Ю. Прирост стволовой древесины дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях техногенного загрязнения // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». – Т. 6, № 4 – 12.07.2014. – С.388-399;

#### **В материалах конференций:**

6. **Зиятдинова (Аmineва) К. З.**, Уразгильдин Р. В., Денисова А. В. Накопление тяжелых металлов в листьях основных лесообразователей Предуралья в условиях техногенного загрязнения Уфимского промышленного центра // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2012» / Отв. ред. А. И. Андреев, А. В. Андриянов, Е. А. Антипов, М. В. Чистякова. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2012. – С.214;

7. **Зиятдинова (Аmineва) К. З.**, Уразгильдин Р. В., Денисова А. В. Корневые системы дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях промышленного загрязнения (на примере Уфимского промышленного центра) // Тезисы докладов II (X) Международной ботанической конференции молодых ученых в Санкт-Петербурге. – 2012. – С. 120-121;

8. **Amineva K. Z.**, Urazgildin R. V., Industrial pollution impact on oak leaves water exchange // Материалы международной конференции молодых ученых «Актуальные проблемы ботаники и экологии»- Щёлкино, Украина.– 18-22 июня 2013. – С.96-97;

9. **Аmineва К. З.**, Уразгильдин Р. В., Зайцев Г. А., Яшин Д. А., Денисова А. В. Особенности формирования корневых систем дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях нефтехимического загрязнения // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2013. - №3. – С.95-100.