

На правах рукописи

ВАСИЛЬЕВА КСЕНИЯ АНАТОЛЬЕВНА

**ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ  
КЛЕНА ОСТРОЛИСТНОГО (*ACER PLATANOIDES* L.)  
В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Специальность: 03.02.08 – Экология

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Уфа– 2011

Работа выполнена на кафедре экологии и природопользования  
Башкирского государственного педагогического университета им.М.Акмуллы  
и в лаборатории лесоведения Учреждения Российской академии наук  
Института биологии Уфимского научного центра РАН

Научный руководитель: доктор биологических наук, доцент,  
Зайцев Глеб Анатольевич

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор  
Хазиахметов Рашит Мухаметович

доктор биологических наук, профессор  
Ярмишко Василий Трофимович

Ведущая организация: ФБГОУ ВПО «Саратовский государственный  
университет им.Н.Г.Чернышевского»

Защита состоится «18» ноября 2011 г. в 14.00 часов на заседании  
диссертационного совета ДМ 002.136.01 при Учреждении Российской академии наук  
Института биологии Уфимского научного центра РАН по адресу: 450054, г.Уфа,  
Проспект Октября, 69. Тел./факс (347) 235-53-62. E-mail: ib@anrb.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения Российской  
академии наук Института биологии УНЦ РАН, с авторефератом – в сети Интернет по  
адресу <http://www.anrb.ru/inbio/dissovvet/index.htm> и на сайте ВАК Минобрнауки РФ.

Автореферат разослан «    » \_\_\_\_\_ 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат биологических  
наук, доцент



Р.В. Уразгильдин

## Общая характеристика работы

**Актуальность работы.** В условиях промышленного загрязнения насаждения древесных растений способны выполнять роль фитофильтра, очищая воздух от токсикантов путем механического осаждения твердых частиц, частичного поглощения и детоксикации токсикантов (Кулагин, 1974; Илькун, 1978; Николаевский, 1979). Вопросы устойчивости древесных растений к различным типам загрязнения окружающей среды остаются до сих пор слабоизученными. Большинство исследований по изучению особенностей развития древесных растений в условиях промышленного загрязнения направлены на изучение адаптивных реакций, происходящих только в надземной части древесных растений. При этом устойчивость древесных растений к действию токсикантов зависит и от особенностей формирования и строения корневых систем. В настоящее время актуальны вопросы создания устойчивых санитарно-защитных насаждений с учетом комплекса эколого-биологических особенностей древесных растений (Леса города, 2004; Лесные экосистемы..., 2008).

Клен остролистный (*Acer platanoides* L.) в условиях Предуралья является одной из основных лесобразующих пород, и широко представлен в подросте практически во всех типах леса, а также в городских лесах. Несмотря на широкое распространение в городских лесных насаждениях, недостаточно изучены эколого-биологические характеристики клена остролистного в различных лесорастительных условиях. Также слабоизученными остаются вопросы устойчивости клена остролистного к различным типам загрязнения окружающей среды.

**Цель и задачи исследований.** Цель работы – изучение эколого-биологических особенностей клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях техногенного загрязнения в промышленных центрах Предуралья.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Оценка относительного жизненного состояния насаждений клена в условиях промышленного загрязнения.
2. Изучение особенностей роста ассимиляционного аппарата и фотосинтеза клена в условиях загрязнения.
3. Изучение особенностей водного режима клена остролистного в условиях промышленных центров Предуралья.
4. Изучение особенностей строения корневых систем клена в условиях промышленных центров Предуралья.

**Научная новизна работы.** Впервые для Башкирского Предуралья получены количественные данные, характеризующие эколого-биологические особенности клена остролистного. Впервые получены данные об особенностях строения корневых систем клена остролистного в условиях преобладающего нефтехимического и полиметаллического типа загрязнения окружающей среды.

На защиту выносятся следующие **положения**:

1. Клен является породой, устойчивой к действию нефтехимического загрязнения. За счет ряда адаптивных реакций в надземной части и изменения строения корневых систем клен остролистный способен успешно произрастать в санитарно-защитных насаждениях крупных промышленных центров.

2. Полиметаллическое загрязнение оказывает угнетающее воздействие на клен, но не приводит к массовому разрушению древостоев с участием данной породы и

клен способен произрастать в санитарно-защитных насаждениях крупных промышленных центров.

**Практическая значимость.** Результаты работы могут быть использованы при разработке рекомендаций по созданию и реконструкции санитарно-защитных насаждений с участием клена на территории крупных промышленных центров, характеризующихся смешанным типом загрязнения окружающей среды (с преобладанием углеводородной и полиметаллической составляющей).

**Личный вклад автора.** Автором самостоятельно была поставлены цель и основные задачи диссертационной работы, выбраны и обоснованы методы проведения исследований. Сбор и обработка полевого материала проведены совместно с сотрудниками кафедры экологии и природопользования Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы и лаборатории лесоведения Учреждения РАН Института биологии УНЦ РАН. Автором выполнена математическая обработка, анализ и обобщение полученных результатов. Подготовка к печати научных работ, отражающих результаты диссертации, осуществлялась самостоятельно или при участии соавторов.

**Организация исследований.** Отдельные этапы работы выполнялись при поддержке Грантов Российского фонда фундаментальных исследований (№№ 08-04-97017, 11-04-97025) и Гранта «Адаптивный потенциал и устойчивость древесных растений в техногенных условиях» (Аналитическая ведомственная целевая программа Министерства образования и науки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы», регистрационный номер: 2.1.1/11330).

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на IV Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы экологии Южного Урала» (г.Оренбург, октябрь 2009 г.), Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы дендрэкологии и адаптации растений» (г.Уфа, ноябрь 2009 г.), V Международной научно-практической конференции «Урбозкосистемы: проблемы и перспективы развития» (г.Ишим, март 2010 г.), Международной конференции «Наука, природа и общество» (г.Миасс, май 2010 г.), Международной конференции «Антропогенная трансформация природной среды» (г.Пермь, октябрь 2010 г.), VII Всероссийской научно-практической конференции «Организация территории: статика, динамика, управление» (г.Уфа, ноябрь 2010 г.), Международной научно-практической конференции «Лесоразведение и сохранение биологического и ландшафтного разнообразия аридных экосистем: история, современное состояние и перспективы» (Казахстан, г.Уральск, ноябрь 2010 г.), III Молодежной научной конференции «Актуальные проблемы экологии Волжского бассейна» (г.Тольятти, февраль 2011 г.).

**Публикации.** По материалам диссертационной работы опубликованы 11 работ, из них 5 в научных журналах, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертация включает введение, 5 глав (включая 11 таблиц и 36 рисунков), выводы, список литературы, приложения. Диссертационная работа изложена на 156 страницах машинописного текста. Список литературы содержит 354 литературный источник, из них 81 на иностранных языках.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### ГЛАВА 1. ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Представлен обзор работ отечественных и зарубежных авторов по теме диссертационной работы. Рассмотрены общие вопросы влияния промышленного загрязнения на древесные растения (Красинский, 1950; Гудериан, 1979; Кулагин, 1985; Лесные экосистемы..., 1990; Николаевский, 1969, 1998 и др.). Показана слабая изученность эколого-биологических особенностей клена в различных лесорастительных условиях. Данные по особенностям строения корневых систем клена в различных лесорастительных условиях практически отсутствуют (Калинин, 1989; Усольцев, 2002).

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

На основе опубликованных материалов, литературных данных и собственных исследований приведена подробная физико-географическая характеристика района исследований: приводится описание рельефа, климата, почв и растительности.

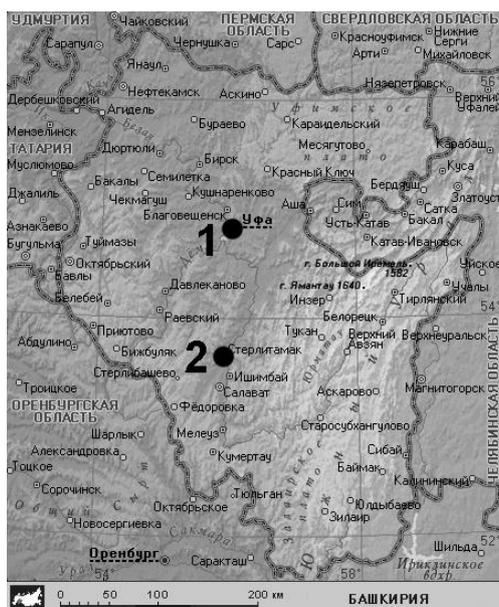
Изучение эколого-биологических особенностей клена остролистного проводили в крупных промышленных центрах Предуралья (рис. 1): 1 – Уфимский промышленный центр (УПЦ), 2 – Стерлитамакский промышленный центр (СПЦ).

Приведена характеристика загрязнения атмосферного бассейна данных промышленных центров. Показано, что преобладающим типом загрязнения Уфимского промышленного центра является нефтехимическое загрязнения, Стерлитамакского промышленного центра – полиметаллическое (Государственный доклад..., 2010).

По данным отечественных и зарубежных исследователей приведена эколого-биологическая характеристика объекта исследования – клена остролистного (*Acer platanoides* L.).

Методы исследования подбирались с учетом поставленных цели и задач и имеющихся рекомендаций по изучению растительных и лесных сообществ (Глазовская, 1964; Методы..., 1966; Сукачев, 1966; Клейн, Клейн, 1974; Агрехимические..., 1975; Алексеев и др., 1990; Соколов, 1998; Методы изучения..., 2002; Plants... 1997; Methods..., 2000; Synthesis..., 2000; Protocol..., 2002; A handbook..., 2003; Trees..., 2003; Titus, 2004; Forest ecology..., 2007; Forest Inventory..., 2007).

На различном удалении от источников загрязнения закладывались постоянные пробные площади (Сукачев, 1966; Методы изучения..., 2002). Для характеристики таксационных показателей древостоя на пробной площади производился пересчет деревьев с замером диаметров на высоте 1,3 м мерной вилкой Mantax Precision Blue



МА 800 (Haglof, Sweden) с точностью до 0,5 см. и высоты высотомером Haglof Electronic Clinometer (Haglof, Sweden) с точностью до 0,1 м.

Возраст деревьев клена устанавливался стандартными дендрохронологическими методами (Дендрохронология..., 1986; Ваганов и др., 1996; Ваганов, Шашкин, 2000; Methods..., 1990): у десяти деревьев клена на пробной площади на высоте 0,4 м с помощью приростного бурава Suunto (Finland) отбирались керны, возраст устанавливался последующим подсчетом годичных колец с использованием микроскопа МБС-1 (Россия).

Оценка относительного жизненного состояния (ОЖС) насаждений клена проводилась по методике В.А.Алексеева и др. (1990). Учитывались таксационные показатели древостоя, густота кроны, наличие мертвых сучьев, состояние листьев. Оценивалось ОЖС каждого отдельного дерева (Алексеев и др., 1990; Методы изучения..., 2002) с последующим расчетом жизненного состояния всего насаждения.

Измерения морфометрических показателей побегов клена проводились по методике Р.М.Клейна и Д.Т. Клейна (1974). Промеры делались стандартным способом. Все модельные ветви отбирались с нижней трети кроны с юго-западной стороны. Длина побегов первого, второго и третьего года измерялась штангенциркулем с точностью до 0,1 мм.

Морфологические исследования ассимиляционного аппарата проводились на гербарном материале. (Клейн, Клейн, 1974; Методы ..., 2002). Длину и ширину листа определяли при помощи штангенциркуля с точностью до 0,01 мм. Площадь листьев клена определяли с использованием программы по определению площади сложных фигур «AreaS» 2.1. (Пермяков А.Н., Самарская ГСХА, www.ssa.ru). Данная программа позволяет определять площади фигур любой сложности с погрешностью не выше 0,001%.

Длину жилок измеряли на гербарном материале при помощи курвиметра. Объекты предварительно отбеливались в хлорсодержащем отбеливающем растворе «Белизна» (1 часть раствора : 3 части воды) приблизительно в течение 15 часов. Измерения проводились с использованием светового микроскоп Carl Zeiss Jena (Germany).

Измерения интенсивности транспирации (ИТ) осуществлялось в последнюю декаду каждого месяца. ИТ листьев в полевых условиях определялась методом быстрого взвешивания на электронных лабораторных весах ВЛТЭ-150 (Госметр, Россия). Весы подключались к бортовой сети автомобиля через преобразователь Power Inverter A-300 (Micro Control, Taiwan).

Для определения содержания пигментов в листьях клена образцы отбирались из средней части кроны не менее чем с 20 деревьев. Отбор растительного материала производился в 11.00-14.00, когда содержание пигментов в листьях наибольшее. Собранные листья измельчали, после чего навески (0,1 г), взвешенные на электронных лабораторных весах ВЛТЭ-150 (Госметр, Россия), помещали в пробирки и заливали 10 мл 96%-го этилового спирта и помещали в темное помещение во избежание разрушения пигментов фотосинтеза на свету. Через 12 часов проводили измерения содержания пигментов фотосинтеза – хлорофиллов *a* и *b*, а также каротиноидов методом спектрофотометрии с использованием спектрофотометра КФК-5М (Россия). Рассчитывали концентрацию пигментов листьев в спиртовом растворе с последующим определением количества пигментов в листьях (мг/г сырой массы).

Поскольку средой обитания корней является почва «все работы по изучению корневых систем должны сопровождаться детальнейшими почвенными исследованиями»

(Красильников, 1950, с.59). Почвенные исследования проводились по общепринятым методикам (Качинский, 1951; Агрохимические методы ..., 1975; Handbook..., 2006).

Исследование корневых систем проводили методами количественного учета – методом монолитов (Тарановская, 1957; Колесников, 1972; Красильников, 1983; Калинин, 1989; Кречетова, Долгова, 2001; Böhm, 1979; Root Methods..., 2000; Synthesis..., 2000; Protocol..., 2002). Для изучения корневых систем закладывались почвенные траншеи. Траншеи (почвенные разрезы) на пробных площадях закладывали перпендикулярно направлению роста горизонтальных корней на расстоянии 70 см от ствола. Расположение траншей по сторонам горизонта произвольное. Все почвенные разрезы имели одинаковые размеры 1,5x1 м. Использовали монолиты размером 10x10 см объемом 1 000 см<sup>3</sup> (высота монолита 10 см). Почвенные монолиты закладывались вдоль траншеи так, чтобы одна сторона почвенного монолита являлась стенкой траншеи.

Выборку корней из монолитов проводили при помощи пинцета с последующей отмывкой корней водой на ситах с диаметром ячеек 0,5 мм. После отмывки производили разделение корней на фракции: до 1 мм, 1-3 мм и более 3 мм. Корни до 1 мм относили к деятельным и условно деятельным (сосущие), 1-3 мм – к полускелетным (проводящие), более 3 мм – к скелетным (проводящие). Вес корней определялся в воздушно-сухом состоянии на электронных лабораторных весах ВЛТЭ-150 (Госметр, Россия) с точностью до 0,01 г. Корненасыщенность почвы определяли на единицу площади горизонтальной поверхности (г/м<sup>2</sup>).

Полученные данные обрабатывались общепринятыми статистическими методами (Плохинский, 1970; Зайцев, 1984; Петросян, Захаров, 1986; Ritter, 1997; Motulsky, Christopoulos, 2003; Mathematics..., 2007) с применением программ Excel 7.0, GraphPad Prism for Windows (версия 4.00) (Motulsky, 2003a, b) и Statistica for Windows (версия 6.0) на ПЭВМ Pentium IV.

### ГЛАВА 3. ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КЛЕНА ОСТРОЛИСТНОГО В УСЛОВИЯХ УФИМСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА

Оценка ОЖС древостоев клена в условиях УПЦ характеризуются в целом как «здоровые» (табл.1).

Табл.1 Диагностические показатели относительного жизненного состояния насаждений клена остролистного в условиях Уфимского промышленного центра

Густота кроны, в % от нормы	Наличие мертвых сучьев, %	Степень повреждения листьев, %	ОЖС, %
Зона максимального уровня загрязнения			
85,0	10,0	5,0	88,0
Средняя зона загрязнения			
92,0	5,0	5,0	98,5
Относительный контроль			
82,5	15,0	10,0	89,5

В условиях нефтехимического загрязнения не происходит гибели древостоев. Наиболее чувствительным к загрязнению диагностическим признаком является наличие на стволе мертвых сучьев, наименее чувствительным – густота кроны. Исследования особенностей радиального прироста показало (рис.2), что в условиях

нефтехимического загрязнения отмечается снижение радиального прироста клена остролистного по сравнению с относительным контролем.

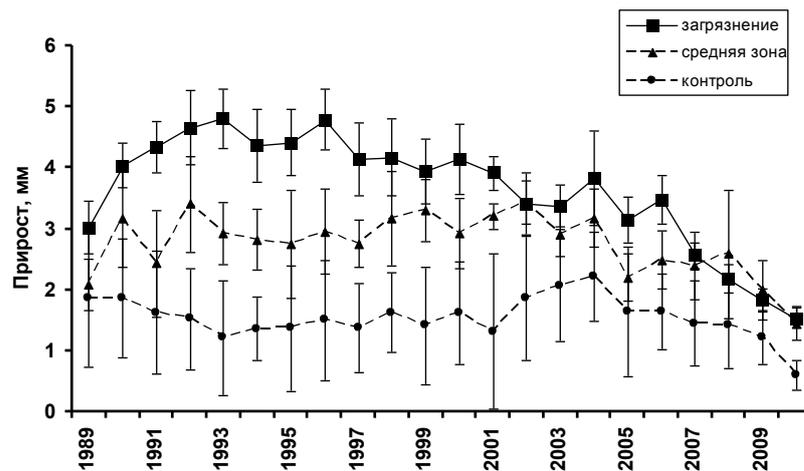


Рис. 2. Радиальный прирост стволовой древесины клена остролистного в условиях Уфимского промышленного центра

Изучение особенностей роста побегов клена проводили в течение вегетационного периода. Установлено (рис.3), что побеги клена за вегетационный период в зоне среднего уровня загрязнения и в относительном контроле увеличиваются на 0,2 см.

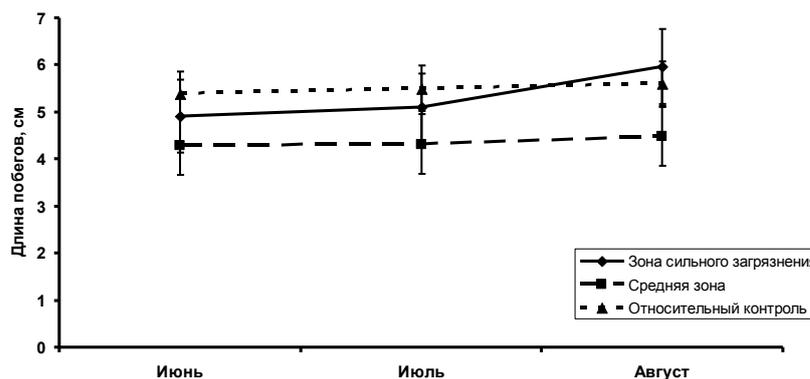


Рис.3. Длина однолетних побегов клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях Уфимского промышленного центра

Максимальный прирост побегов клена отмечается в зоне сильного уровня загрязнения – здесь побеги вырастают за год на 1,05 см. Минимальная длина побегов в течение всего вегетационного периода отмечается в зоне среднего уровня загрязнения. В условиях относительного контроля в июне и июле длина побегов первого года максимальна по сравнению с другими зонами, однако, в августе максимальная длина побегов клена отмечается в зоне сильного уровня загрязнения.

Анализируя данные по длине побегов клена (рис.4) первого, второго и третьего года в зонах с разным уровнем загрязнения следует отметить следующее.

Как и с побегами первого года, длина побегов клена всех возрастов (второго и третьего) так же минимальная в зоне среднего уровня загрязнения. Максимальная длина побегов клена остролистного первого (в конце вегетационного периода), второго и третьего года отмечается в зоне с максимальным уровнем загрязнения.

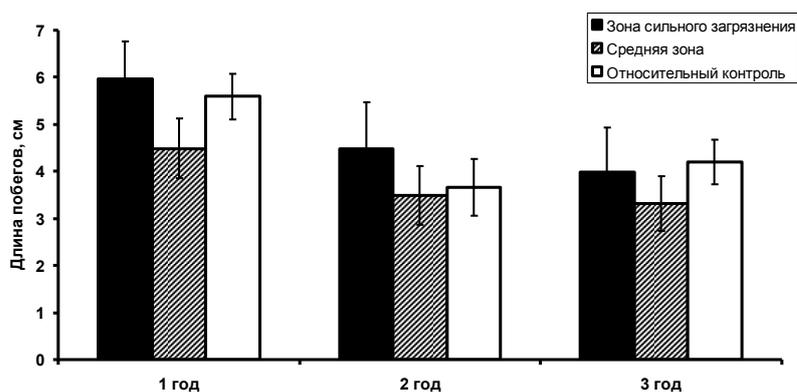


Рис.4. Длина одно-, двух- и трехлетних побегов клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях Уфимского промышленного центра

*Характеристика морфологических параметров ассимиляционного аппарата.*

Установлено, что длина (рис.5А) и ширина (рис.5Б) листовой пластинки клена остролистного вначале вегетационного периода в условиях загрязнения меньше по сравнению с контролем.

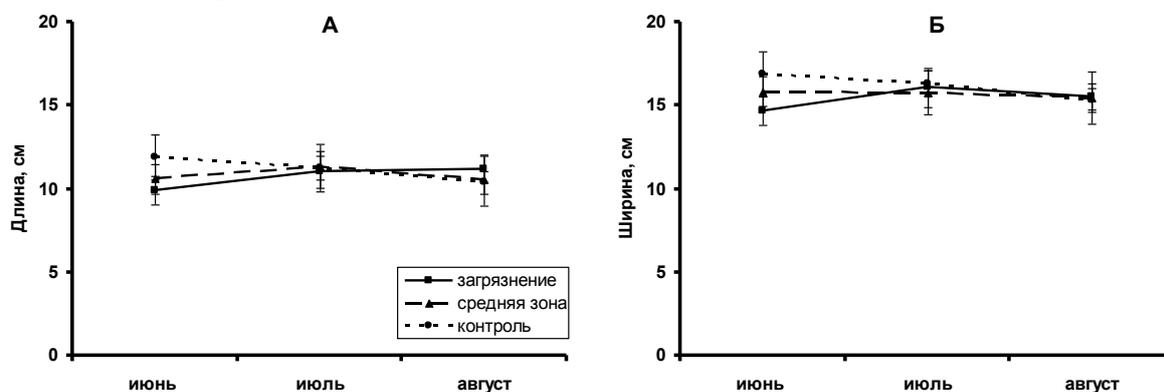


Рис.5. Длина (А) и ширина (Б) листовой пластинки клена остролистного (см) в условиях Уфимского промышленного центра.

Анализируя изменение площади листовой пластинки клена (рис.6) следует отметить, что по мере усиления степени загрязнения происходит уменьшение площади листовой пластинки.

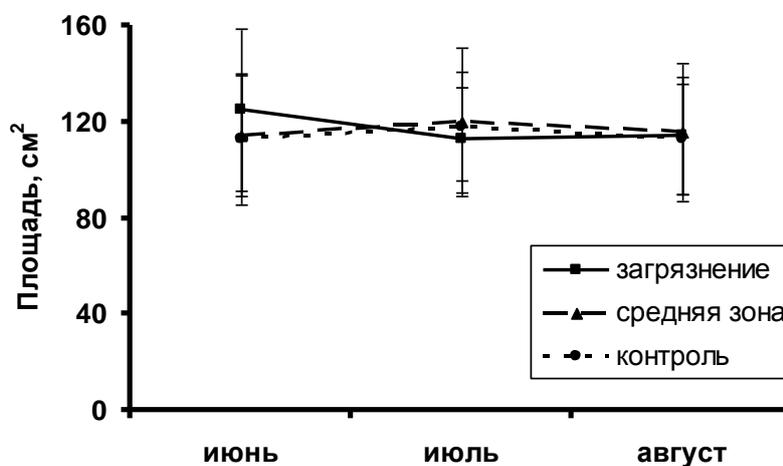


Рис.6. Площадь листовой пластинки (см<sup>2</sup>) клена остролистного в условиях Уфимского промышленного центра.

*Длина жилок.* Средняя длина жилок (рис.7) в течение вегетационного периода колеблется от 58,86 мм/мм<sup>2</sup> до 79,5 мм/мм<sup>2</sup>. При усилении загрязнения происходит увеличение длины жилок на единицу площади поверхности листовой пластинки клена.

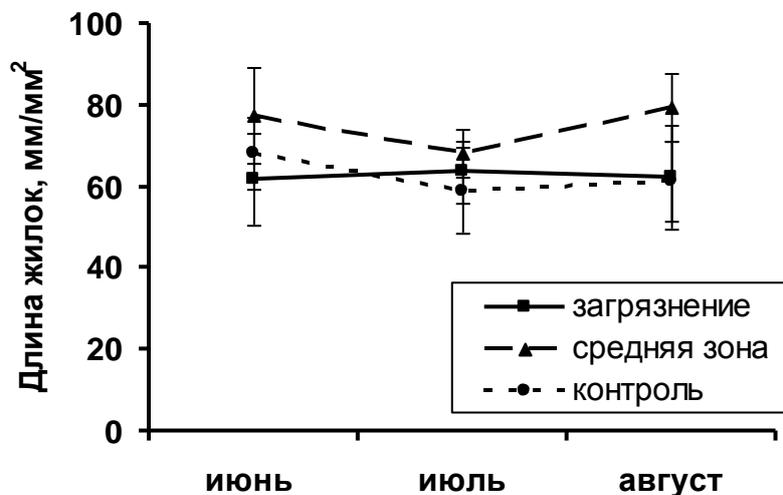


Рис. 7. Длина жилок на единицу площади (мм/мм<sup>2</sup>) листовой пластинки клена остролистного в условиях Уфимского промышленного центра.

*Интенсивность транспирации.* В результате исследований было установлено (рис.8), что интенсивность транспирации листьев клена в условиях нефтехимического загрязнения в течение дня возрастает в среднем в 1,8 раза, достигая своего максимума в вечерние часы (за исключением августа): июнь – утро 339,2 мг/г · час, вечер – 627 мг/г · час; июль – 189,8 мг/г · час, вечер – 351,8 мг/г · час.

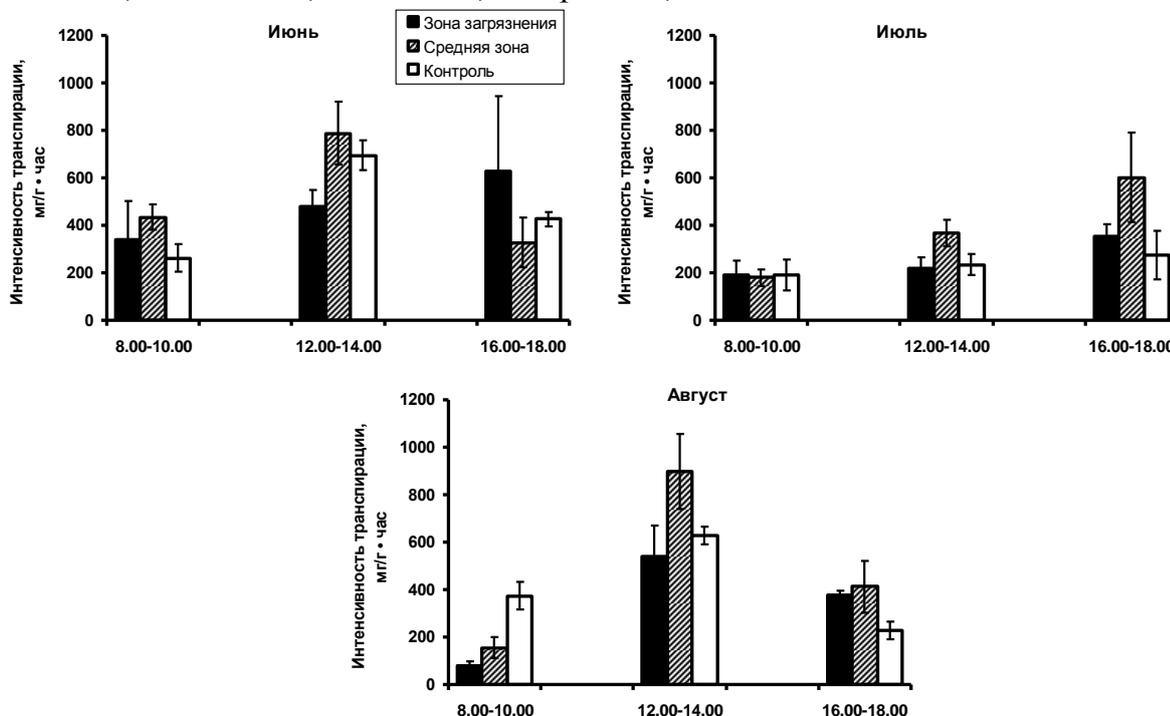


Рис.8 Интенсивность транспирации листьев клена остролистного в условиях Уфимского промышленного центра.

Сходная динамика транспирации отмечена в июле и для зоны среднего уровня загрязнения, при этом отмечено трехкратное возрастание интенсивности транспирации (утро – 180,5 мг/г · час, 600,4 мг/г · час).

**Содержание хлорофилла.** В результате исследований было установлено (рис.9), что в условиях нефтехимического загрязнения УПЦ основную массу пигментов составляют каротиноиды, количество которых в течение сезона не снижается ниже 2 мг/г сырой массы.

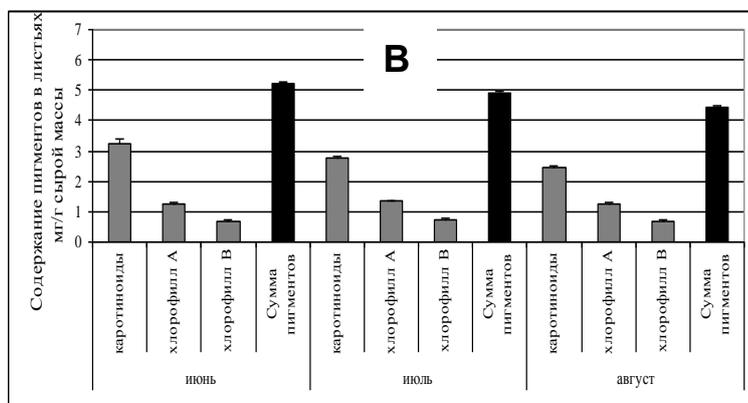
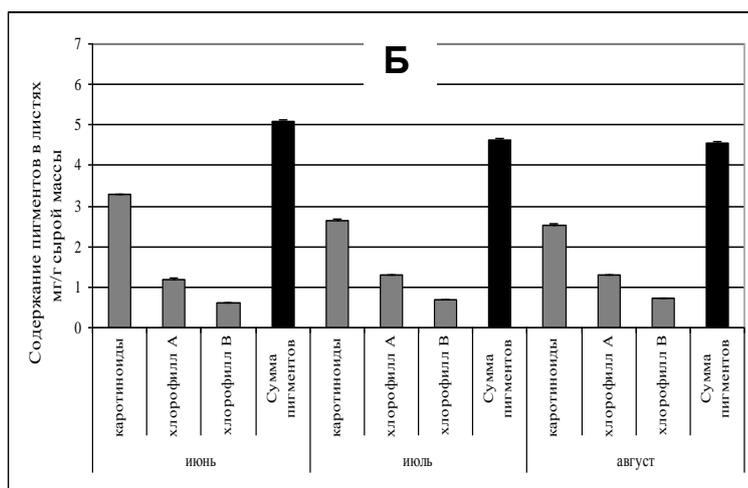
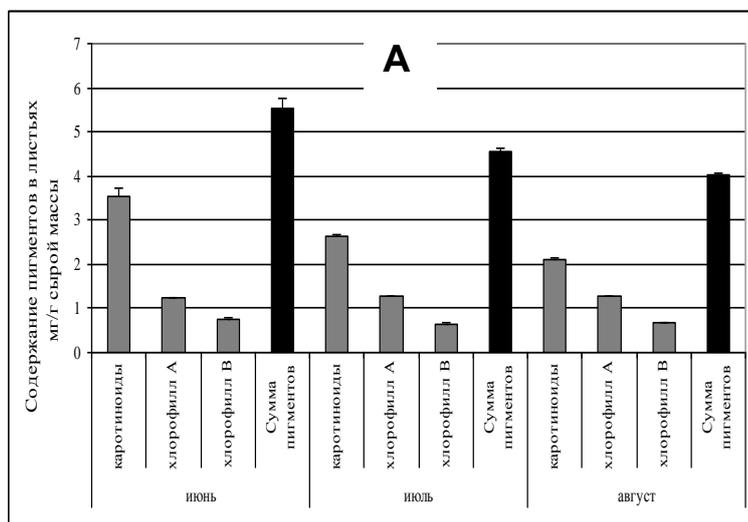


Рис.9. Содержание пигментов в листьях клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях Уфимского промышленного центра: А – зона сильного загрязнения; Б – зона среднего загрязнения; В – зона контроля

Установлено, что в зоне максимального уровня загрязнения сумма пигментов ниже по сравнению со средней зоной и контролем – в июле и августе здесь отмечено минимальное содержание пигментов, а в июне содержание пигментов выше, чем в контроле и средней зоне.

Содержание хлорофилла *a* в листьях клена остролистного в течение вегетационного периода варьирует от 1,196 до 1,365 мг/г сырой массы. Максимальная концентрация хлорофилла *a* зафиксирована в июле в зоне контроля. Минимальная – зона среднего загрязнения в начале вегетации.

Что же касается содержания хлорофилла *b*, его меньше, чем хлорофилла *a*. Оно варьирует от 0,6 до 0,75 мг/г сырой массы (рис.9). Максимум концентрации хлорофилла *b* наблюдается в середине вегетационного периода в

зоне относительного контроля. Минимум – в начале вегетационного периода в зоне среднего загрязнения.

Анализ содержания хлорофилла *b* в листьях клена показывает, что данный фотосинтетический пигмент значительно более чувствителен к промышленному загрязнению, нежели хлорофилл *a*. Об этом свидетельствует тот факт, что в течение вегетационного периода содержание хлорофилла *b* в зоне

контроля выше такового в зоне сильного загрязнения.

Содержание хлорофилла *b* в зоне сильного загрязнения снижается от июня к августу. Общих закономерностей для всех зон произрастания особенностей изменения концентрации хлорофилла *b* не обнаружено.

Что же касается содержания каротиноидов в листьях клена, то содержание варьирует от 2,1 до 3,5 мг/г. Максимальная и минимальная концентрация каротиноидов зафиксированы в зоне сильного загрязнения в начале и конце вегетации, соответственно (рис.9).

Исследования показали, что в условиях нефтехимического загрязнения отмечается увеличение корненасыщенности почвы в насаждениях клена (рис. 10).

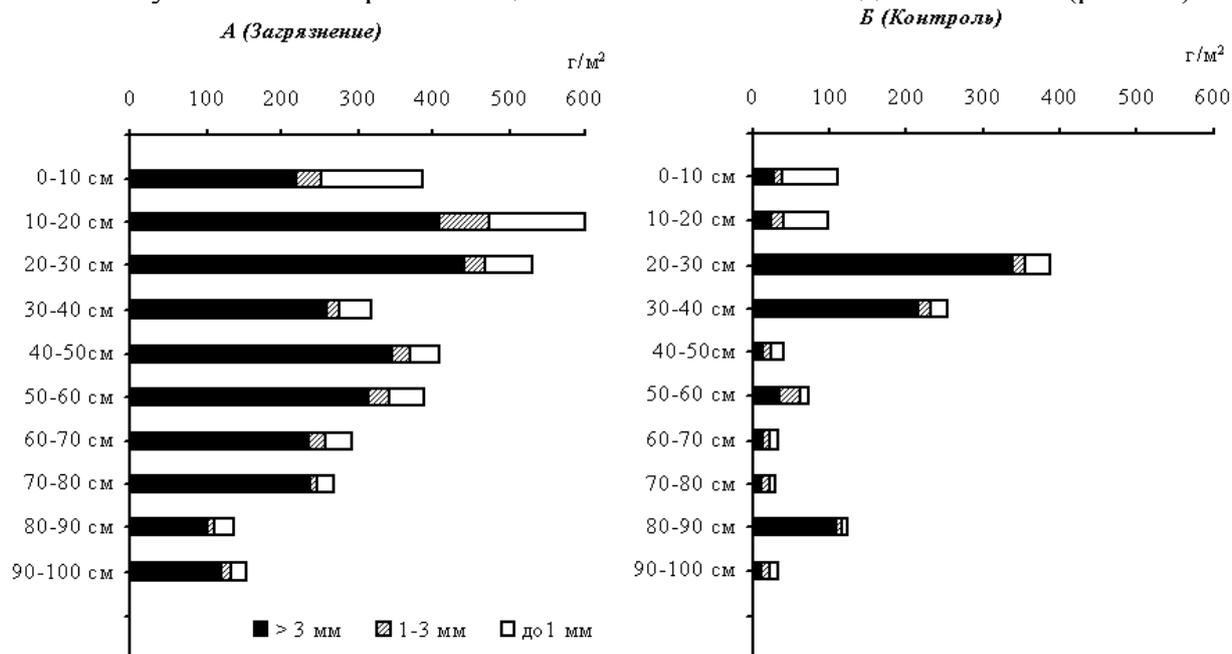


Рис.10. Корненасыщенность почвы в насаждениях клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях Уфимского промышленного центра

Общая корненасыщенность метрового слоя почвы в насаждениях клена в условиях загрязнения составляет 3478,97 г/м<sup>2</sup>, а в условиях относительного контроля – 1179,69 г/м<sup>2</sup>. Основная масса корней клена в обоих случаях располагается в верхних горизонтах почвы: в условиях загрязнения в горизонте 0-50 см сосредоточено 64,34% всей массы корней клена, в условиях относительного контроля – 75,86%. Максимальная корненасыщенность почвы в условиях загрязнения отмечается на глубине 10-20 см – 598,65 г/м<sup>2</sup> (17,21% от массы всех корней), в условиях относительного контроля – на глубине 20-30 см (385,75 г/м<sup>2</sup>, 32,70% от массы всех корней). Минимальная корненасыщенность почвы в насаждениях клена в условиях нефтехимического загрязнения отмечается на глубине 80-90 см (135,64 г/м<sup>2</sup>, 3,90% от массы всех корней), в условиях относительного контроля – на глубине 70-80 см (30,09 г/м<sup>2</sup>, 2,55% от массы всех корней).

Установлено, что корненасыщенность метрового слоя почвы поглощающими корнями (рис.11) в условиях нефтехимического загрязнения (542,05 г/м<sup>2</sup>) выше, чем в условиях относительного контроля (249,94 г/м<sup>2</sup>). Максимальная насыщенность почвы поглощающими корнями в условиях загрязнения в относительном контроле отмечается на глубине 0-10 см (132,54 г/м<sup>2</sup> и 73,07 г/м<sup>2</sup> соответственно). Корненасыщенность метрового слоя почвы полускелетными корнями (рис.11) в условиях нефтехимического загрязнения составляет 247,83 г/м<sup>2</sup>, в условиях

относительного контроля – 135,69 г/м<sup>2</sup>. Максимальная насыщенность почвы полускелетными корнями клена в условиях загрязнения отмечается на глубине 10-20 см (25,94 г/м<sup>2</sup>), в условиях относительного контроля – на глубине 50-60 см (25,94 г/м<sup>2</sup>). Корненасыщенность метрового слоя почвы скелетными корнями (рис.15) в условиях нефтехимического загрязнения составляет 2689,09 г/м<sup>2</sup>, в условиях относительного контроля – 794,06 г/м<sup>2</sup>. Максимальная насыщенность почвы скелетными корнями в условиях загрязнения и в относительном контроле отмечается на глубине 20-30 см (442,17 г/м<sup>2</sup> и 338,14 г/м<sup>2</sup> соответственно).

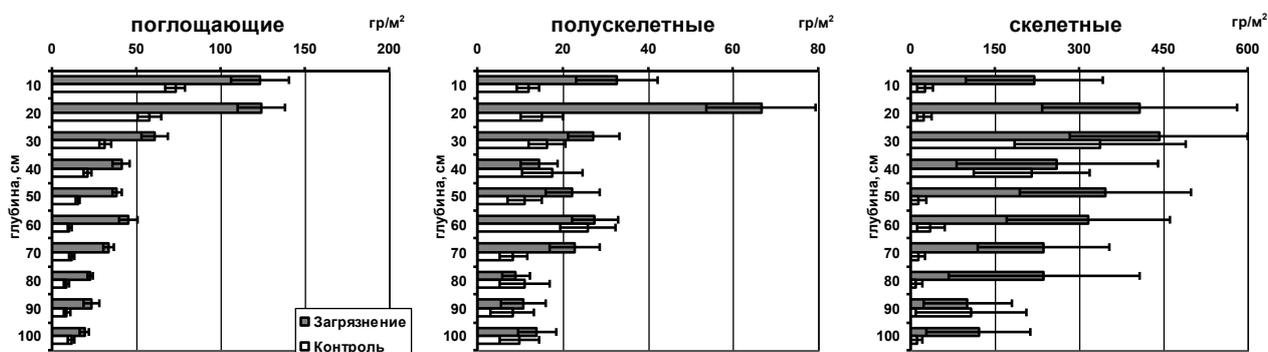


Рис.11. Насыщенность почвы поглощающими, полускелетными и скелетными корнями клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях Уфимского промышленного центра

Установлены изменения во фракционном составе корневой системы клена остролистного в условиях нефтехимического загрязнения. В условиях нефтехимического загрязнения отмечается уменьшение доли поглощающих корней (15,05% – в условиях загрязнения, 30,14% – в относительном контроле) в общей массе корневой системы на фоне увеличения доли скелетной части (77,94% – в условиях загрязнения, 49,78% – в относительном контроле).

#### ГЛАВА 4. ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КЛЕНА ОСТРОЛИСТНОГО В УСЛОВИЯХ СТЕРЛИТАМАКСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА

Древостой клена в условиях СПЦ характеризуются в целом как «ослабленные» (табл.2). Деревья клена имеет разреженную крону, отмечается сильное повреждение листьев (25-30%).

Табл.2. Диагностические показатели относительного жизненного состояния насаждений клена остролистного в условиях Стерлитамакского промышленного центра

Густота кроны, в % от нормы	Наличие мертвых сучьев, %	Степень повреждения листьев, %	ОЖС, %
Зона загрязнения			
62,5	10,0	25,0	70,5
Относительный контроль			
61,0	14,0	30,0	74,5

Древостой клена в данных условиях произрастания характеризуются низким годичным радиальным приростом в течение вегетационного периода: значения анализируемого параметра варьируют от 0,84 до 3,55 мм/год (рис. 12).

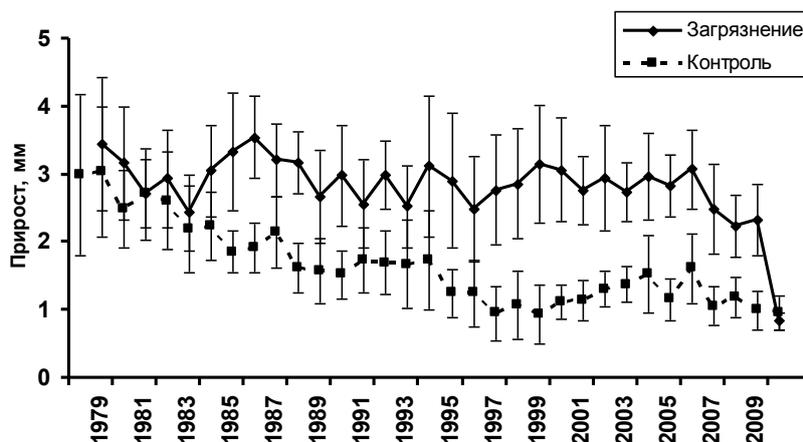


Рис.12. Радиальный прирост стволовой древесины клена остролистного в условиях Стерлитамакского промышленного центра

В условиях полиметаллического загрязнения в течение всего периода радиальный прирост выше значений относительно контроля. В условиях контроля изменения в увеличении годового прироста имеют плавный характер, в отличие от техногенеза, где наблюдаются резкие колебания. Во всех исследуемых условиях прослеживается тенденция к снижению прироста стволовой древесины в течение всего периода. В целом можно отметить сильное влияние загрязнения на радиальный прирост. Причем, наибольшее влияние данного фактора прослеживается в середине исследуемого периода.

Исследования показали (рис.13), что длина побегов клена, в пределах СПЦ, за весь вегетационный период в зоне загрязнения меньше (июнь – 2.31 см, август – 2.67 см) по сравнению с относительным контролем (июнь – 3.19 см, август – 3.6 см). За вегетационный период побеги клена первого года в условиях загрязнения увеличиваются на 0.36 см, а в условиях относительного контроля – на 0.41 см.

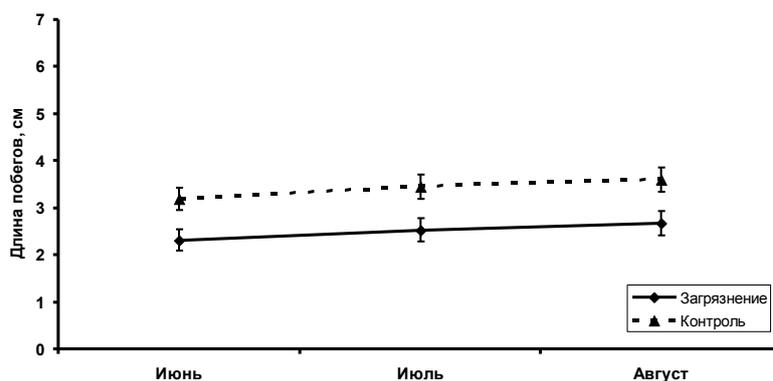


Рис.13. Длина однолетних побегов клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях Стерлитамакского промышленного центра

Сравнение длины побегов (рис.14) первого, второго и третьего года показало что, длина побегов всех возрастов в условиях загрязнения ниже по сравнению с контролем.

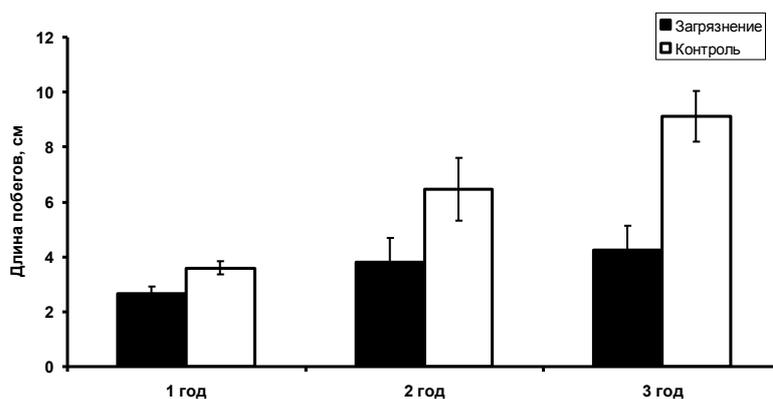


Рис.14. Длина одно-, двух- и трехлетних побегов клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях Стерлитамакского промышленного центра

*Характеристика морфологических параметров ассимиляционного аппарата.*

Средняя длина листовой пластинки клена в условиях СПЦ варьирует от 9,74 до 11,27 см (рис.15А). Максимальная длина листа отмечена в зоне относительного контроля (11,8 см). Минимальная – в зоне загрязнения (8,0 см). На длину листовой пластинки оказывает влияние уровень загрязнения окружающей среды, что проявляется в увеличении значений данного параметра с усилением загрязнения в начале периода вегетации и в уменьшении значений в конце периода. Ширина пластинки клена остролистного варьирует от 14,71 до 16,5 см (рис.15Б).

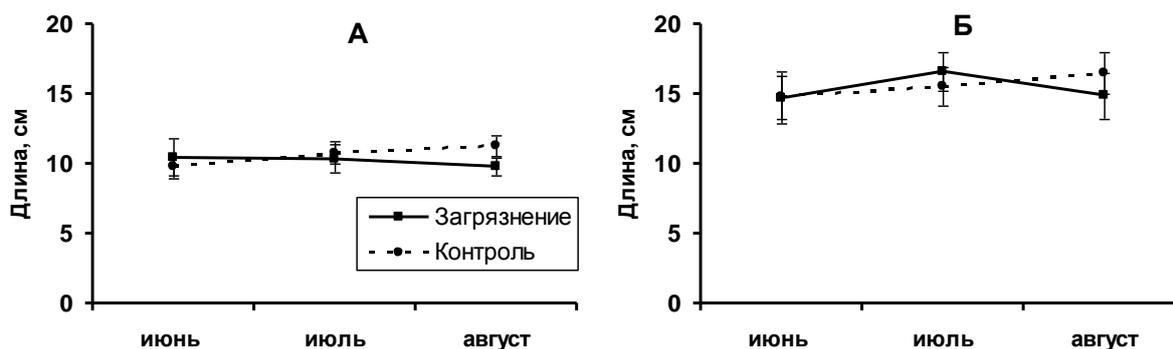


Рис. 15. Длина (А) и ширина (Б) листовой пластинки клена остролистного (см) в условиях Стерлитамакского промышленного центра.

Наиболее широкие листья характерны для зоны относительного контроля (16,5 см). Наименьшая ширина наблюдается у листьев, собранных в зоне загрязнения (14,71 см). В начале вегетационного периода практически отсутствует разница между средней шириной листа в зоне загрязнения и в зоне относительного контроля (0,03 см). В середине вегетационного периода она больше в зоне загрязнения (1,08 см). В конце вегетационного периода лист существенно шире в контроле (на 1,65 см).

В течение вегетационного периода площадь листовой пластинки в контроле имеет тенденцию к увеличению (рис.16). В условиях загрязнения картина обратная: до середины вегетационного периода исследуемый параметр снижается с дальнейшим незначительным увеличением. Наибольшие размеры зафиксированы у листьев, отобранных в зоне относительного контроля (120,04 см<sup>2</sup>). Наименьшие размеры отмечены в условиях загрязнения (97,70 см<sup>2</sup>).

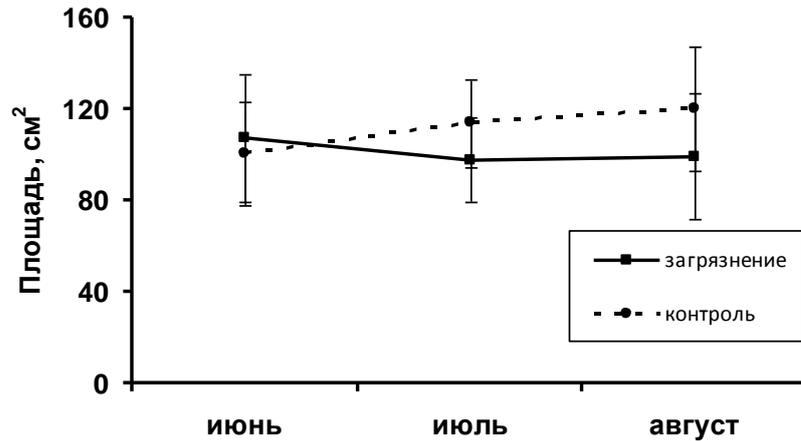


Рис.16. Динамика площади листовой пластинки ( $\text{cm}^2$ ) клена остролистного в условиях Стерлитамакского промышленного центра.

По мере усиления загрязнения происходит уменьшение площади листовой пластинки. В зоне сильного загрязнения отмечается уменьшение размеров листьев в течение всего вегетационного периода, и обратная картина – в зоне контроля.

*Длина жилок.* Средняя длина жилок в течение вегетационного периода колеблется от  $52,056 \text{ мм/мм}^2$  до  $73,44 \text{ мм/мм}^2$  (рис.17). Максимальная длина жилок отмечена у листьев, собранных в августе в зоне загрязнения ( $73,44 \text{ мм/мм}^2$ ). Минимальная длина жилок наблюдается у листьев, собранных в июне в зоне относительного контроля ( $52,056 \text{ мм/мм}^2$ ). При усилении загрязнения происходит увеличение длины жилок на единице площади поверхности листовой пластинки клена остролистного вне зависимости от месяца вегетационного периода.

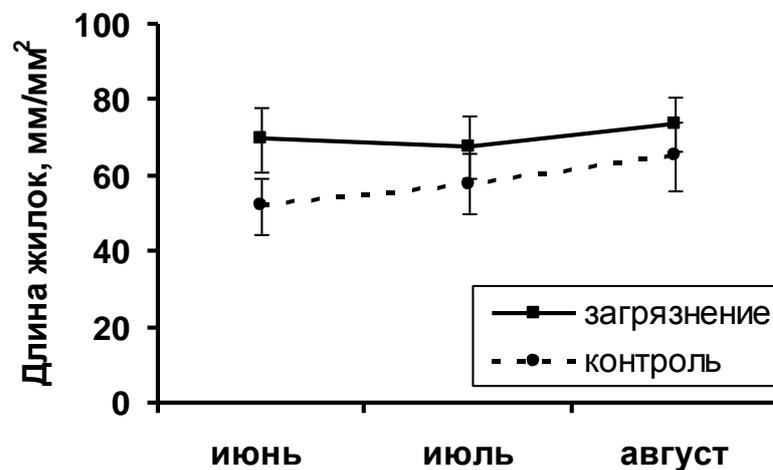


Рис. 17. Длина жилок ( $\text{мм/мм}^2$ ) листьев клена остролистного в Стерлитамакского промышленного центра.

*Интенсивность транспирации* листьев клена в условиях СПЦ в условиях загрязнения в большинстве случаев выше по сравнению с контролем (рис.18).

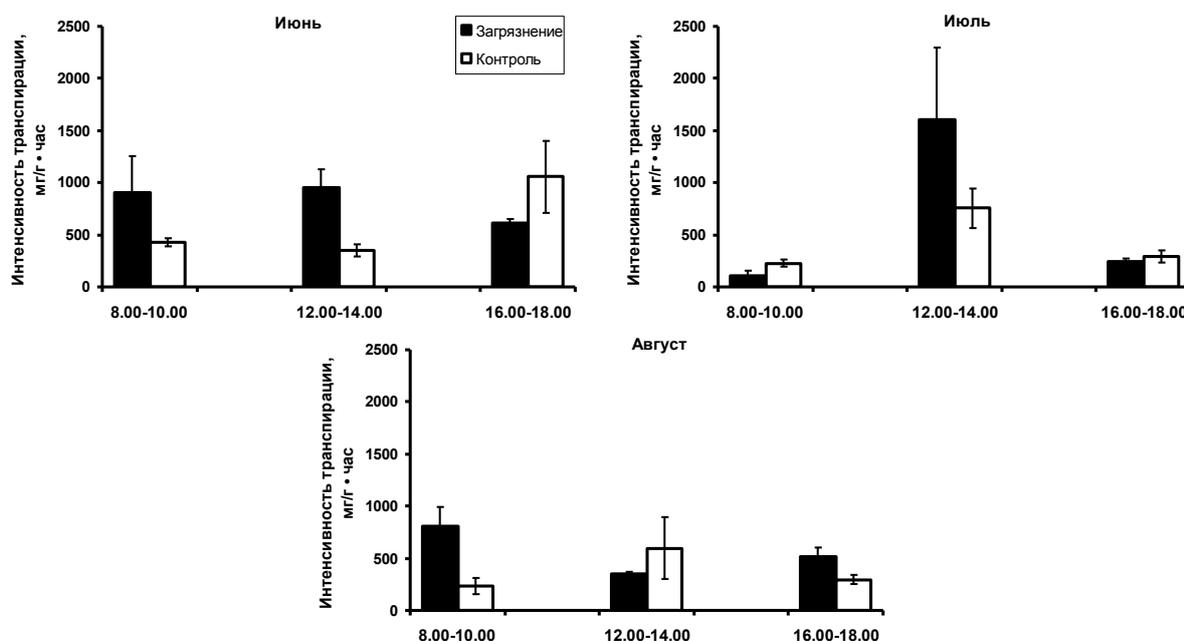


Рис.18. Интенсивность транспирации листьев клена остролистного в условиях Стерлитамакского промышленного центра.

Содержание хлорофилла *a* в листьях клена варьирует от 1,108 до 1,195 мг/г

сырой массы. Максимальная концентрация хлорофилла *a* зафиксированы в июне в зоне загрязнения. Минимальная – для того же месяца в зоне контроля (рис.19).

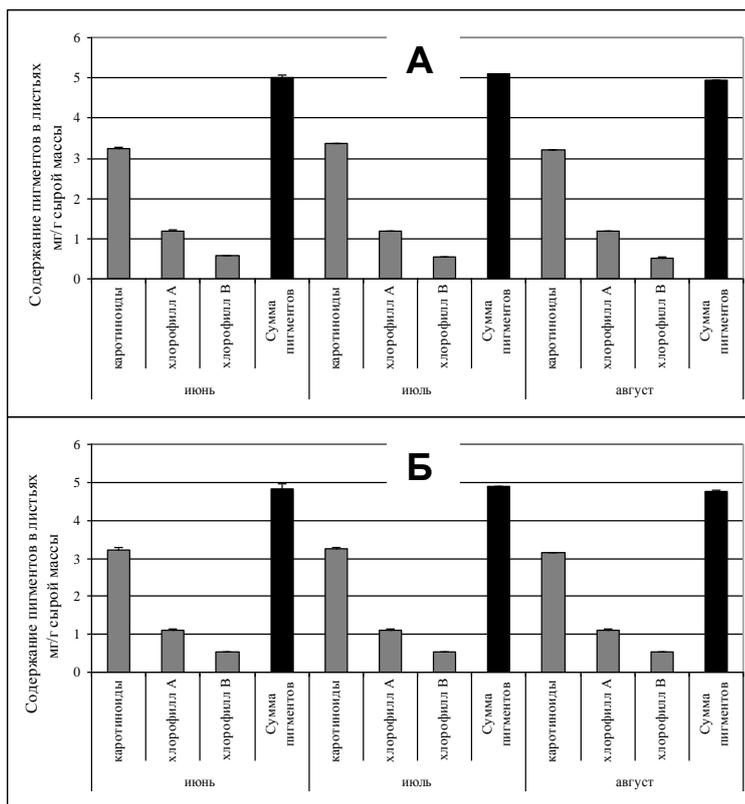


Рис.19. Содержание пигментов в листьях клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в Стерлитамакского промышленного центра: А – зона загрязнения; Б – зона контроля.

В зоне загрязнения происходит уменьшение содержания хлорофилла *a* в течение вегетационного периода, в то время как в зоне относительного контроля оно практически не изменяется.

На протяжении всего вегетационного периода в зоне загрязнения содержание хлорофилла *a* выше, чем в зоне контроля. Данное обстоятельство может свидетельствовать о широких адаптационных возможностях пигментного комплекса в листьях клена.

Содержание хлорофилла *b* меньше, чем таковое хлорофилла *a*. Оно варьирует от 0,52 до 0,58 мг/г сырой массы. Максимум концентрации хлорофилла *b* наблюдается в начале вегетационного периода в зоне загрязнения. Минимум – в середине вегетационного периода в зоне контроля. Для

данного фотосинтетического пигмента характерно уменьшение разницы в концентрации хлорофилла *b* между зонами (рис.19). Анализ содержания хлорофилла *b* в листьях клена показывает, что данный фотосинтетический пигмент чувствителен к промышленному загрязнению. Об этом свидетельствует тот факт, что в течение всего вегетационного периода содержание хлорофилла *b* в зоне загрязнения выше такового в зоне контроля. То есть, под влиянием техногенного загрязнения у клена в отношении хлорофилла *b* формируется ярко выраженная мезоморфная структура листа. Содержание хлорофилла *b* устойчиво снижается от июня к августу. Это легко объяснимо, так как хлорофилл *b* образуется из хлорофилла *a*. Одновременно происходит уменьшение разницы в концентрации хлорофилла *b* между зонами, что может быть связано с усилением синтеза данного пигмента под влиянием ксенобиотиков. Разница между содержанием хлорофилла *b* в листьях в начале и в конце вегетации выше в зоне загрязнения.

Для содержания каротиноидов в листьях клена, как и для других комплексов пигментного фонда характерно увеличение их концентрации под влиянием промышленного загрязнения (рис.19).

Содержание каротиноидов в листьях клена остролистного в условиях полиметаллического загрязнения в течение вегетационного периода варьирует от 3,14 до 3,37 мг/г. Максимальная концентрация каротиноидов отмечена в зоне загрязнения в середине вегетации, минимальная – в зоне контроля в конце вегетации. Максимальное значение по зоне загрязнения приходится на середину вегетационного периода, а минимальное – на конец вегетации.

При изучении особенностей формирования и развития корневых систем установлено, что в условиях полиметаллического загрязнения отмечается снижение корненасыщенности почвы (рис. 20).

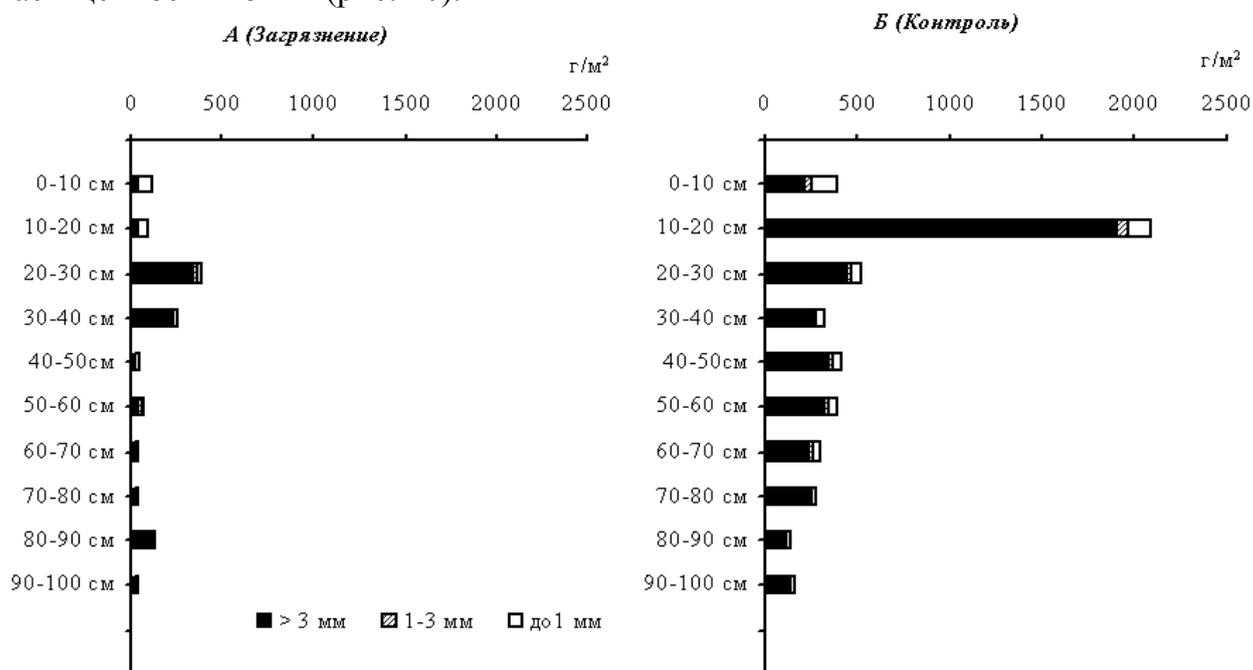


Рис 20. Корненасыщенность почвы в насаждениях клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях Стерлитамакского промышленного центра

Корненасыщенность метрового слоя почвы составляет 37,62 г/м<sup>2</sup> (условия загрязнения) и 1007,92 г/м<sup>2</sup> (относительный контроль). Максимальная корненасыщенность почвы отмечена на глубине: ПП №4 – 10-20 см (605,46 г/м<sup>2</sup>;

25,01%); ПП №5 – 0-10 см (1007,92 г/м<sup>2</sup>; 39,06%). Минимальная корненасыщенность почвы отмечается: ПП №4 – 80-90 см (37,62 г/м<sup>2</sup>; 1,55%); ПП №5 – 80-90 см (76,13 г/м<sup>2</sup>; 2,95%). Максимальная общая масса корней характерна для зоны относительного контроля (рис.20).

Основная масса корней в зоне загрязнения сосредоточена в слое почвы 0-40 см (78,38 %). В зоне относительного контроля основная масса корней сосредоточена в слое почвы 0-30 см (66,84 %) (рис.21.).

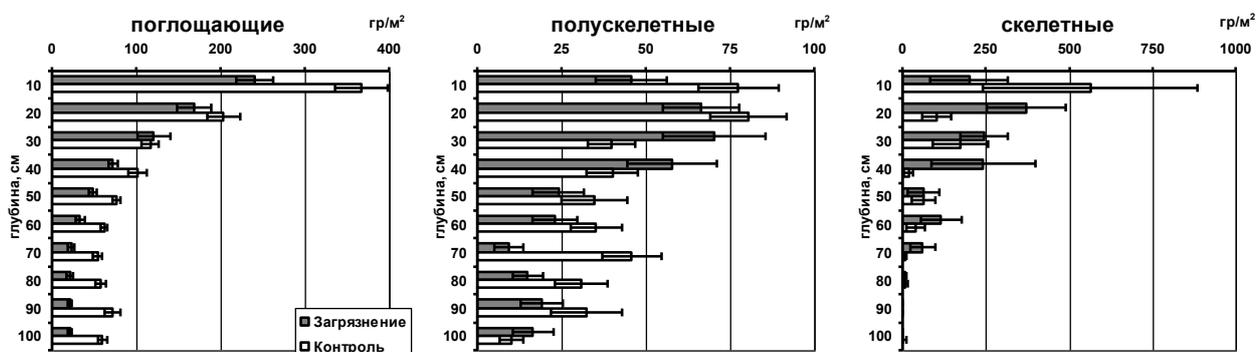


Рис.21. Насыщенность почвы поглощающими, полускелетными и скелетными корнями клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях Стерлитамакского промышленного центра

При анализе фракционного состава корней установлено, что в условиях загрязнения уменьшается доля поглощающих и полускелетных корней, но увеличивается доля скелетных корней.

## ГЛАВА 5. АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КЛЕНА ОСТРОЛИСТНОГО В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

В результате проведенных исследований установлено, что в условиях промышленного загрязнения происходят морфо-физиологические и структурные изменения надземных и подземных частей клена остролистного.

Сравнительный анализ ОЖС клена в условиях УПЦ и СПЦ позволил установить, что промышленное загрязнение незначительно влияет на жизненное состояние кленовых насаждений. В результате воздействия техногенных факторов не происходит значительных изменений соотношения между категориями жизненного состояния деревьев. Наибольшее количество здоровых деревьев отмечено в зоне среднего загрязнения УПЦ, а наименьшее – в зоне относительного контроля СПЦ.

Промышленное загрязнение неоднозначно влияет на радиальный прирост клена. В условиях нефтехимического загрязнения отмечается снижение радиального прироста, тогда как в условиях с преобладанием полиметаллического загрязнения, наоборот, радиальный прирост выше контрольных значений.

Выявленные различия в сезонной динамике роста побегов клена можно рассматривать как адаптивные реакции данного вида на действие промышленного загрязнения, направленные на обеспечение устойчивого роста в данных экстремальных лесорастительных условиях. Под влиянием усиления загрязнения происходит уменьшение линейных размеров побегов клена.

Анализ изменений площади листовой пластинки показал, что листья клена характеризуются крупными размерами. Для всех исследуемых местообитаний характерно,

что по мере усиления загрязнения происходит уменьшение площади листовой пластинки. В зонах загрязнения отмечается уменьшение размеров листьев в течение всего вегетационного периода, и обратная картина – в зоне контроля. У клена при увеличении степени промышленного загрязнения происходит уменьшение (увеличение – в УЩ) длины жилок на единице площади поверхности листовой пластинки.

Интенсивность транспирации характеризуется повышенной чувствительностью к изменению условий произрастания и зависимостью от месяца вегетационного периода, что выражается в значительном ее варьировании в пределах каждой зоны загрязнения, увеличивающемся при усилении техногенной нагрузки. Факт возрастания интенсивности транспирации к вечеру и то, что вечерние показания интенсивности транспирации в условиях загрязнения всегда выше контрольных предположительно можно объяснить тем, что листья клена в течение дня увеличивают транспирацию, чтобы вывести из токсиканты, накопленные в течение дня.

В целом в условиях загрязнения отмечается ксерофитизация листьев клена.

Пигментный комплекс клена характеризуется высокой чувствительностью к усилению загрязнения. Показателем этого является снижение концентрации хлорофилла и концентрации каротиноидов на территории УЩ и увеличение на территории СЩ при усилении загрязнения. Адаптационный механизм подобных перестроек направлен на снижение деструктивного влияния газообразных токсикантов на фотосинтетическую активность и может рассматриваться в качестве видоспецифической реакции данного вида к условиям техногенеза.

Корневые системы клена остролистного характеризуются повышенной чувствительностью к изменению степени промышленного загрязнения. Установлен факт увеличения корненасыщенности, как общей, так и фракционной, почвы при усилении загрязнения на территории УЩ. На территории СЩ наблюдается обратная картина, при усилении загрязнения корненасыщенность почвы уменьшается. Указанная особенность формирования и строения корневой системы клена остролистного является адаптационной реакцией, направленной на компенсацию повреждений надземных вегетативных органов. Мощная корневая система обеспечивает выживание данного вида в экстремальных техногенных лесорастительных условиях.

Указанные изменения являются защитной адаптационной реакцией ассимиляционного аппарата клена к условиям техногенеза.

## ВЫВОДЫ

1. Относительное жизненное состояние насаждений клена в условиях Уфимского промышленного центра оценивается как «здоровое», в условиях Стерлитамакского промышленного центра – как «ослабленное».

2. В условиях Стерлитамакского промышленного центра длина однолетних побегов ниже по сравнению с контролем. Длина 2-х и 3-х летних побегов также ниже по сравнению с контролем. В условиях Уфимского промышленного центра отставание в росте побегов отмечается только в начале вегетационного периода.

3. Пигментный комплекс клена характеризуется повышенной устойчивостью к увеличению уровня промышленной нагрузки, что проявляется в увеличении содержания хлорофилла в условиях загрязнения.

4. Установлено, что интенсивность транспирации в условиях загрязнения возрастает к вечеру.

5. В условиях Уфимского промышленного центра отмечается 3-х кратное увеличение корненасыщенности почвы и формирование мощной скелетной корневой системы на фоне уменьшения доли поглощающих корней в общей массе корневой системы. Схожая картина наблюдается и в Стерлитамакском промышленном центре (формирование скелетной корневой системы), однако в условиях с преобладанием полиметаллического загрязнения отмечается снижение корненасыщенности почвы.

6. Клен является породой, устойчивой к действию промышленного загрязнения. Отмеченные адаптивные изменения в строении надземной и подземной частях растений, изменения в водном режиме и содержании пигментов направлены на обеспечение устойчивого роста и развития клена остролистного в антропогенных экстремальных лесорастительных условиях.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

### **В рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ**

1. Васильева К.А., Зайцев Г.А. Особенности транспирации листьев клена остролистного в условиях нефтехимического загрязнения // Вестник Оренбургского государственного университета. – Октябрь / 2009. – С.44-46.

2. Васильева К.А., Зайцев Г.А. Особенности транспирации листьев клена остролистного в условиях Стерлитамакского промышленного центра // Аграрная Россия. – 2009. – S.1. – С.77-78.

3. Васильева К.А., Зайцев Г.А. Особенности роста ассимиляционного аппарата клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях загрязнения // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – Т.13, №1(4). – С.790-792.

4. Васильева К.А., Зайцев Г.А., Кулагин А.Ю. Особенности строения корневых систем клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях нефтехимического загрязнения // Вестник УдГУ. Серия 6: Биология. Науки о Земле. – 2011. – Вып.2. – С.55-60.

5. Васильева К.А., Зайцев Г.А., Кулагин А.Ю. Состояние пигментного комплекса ассимиляционного аппарата клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях загрязнения // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. – 2011. – №3. – С.51-54.

### **В материалах конференций.**

1. Васильева К.А., Зайцев Г.А. Площадь листовой пластинки клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях загрязнения // Лесоразведение и сохранение биологического и ландшафтного разнообразия аридных экосистем: история, современное состояние и перспективы: Материалы международной научно-практической конференции.- Уральск: Зап.Казахст.аграр.-техн.ун.-т. им.Жангир хана, 2010. – С.119-122.

2. Васильева К.А., Зайцев Г.А. Особенности роста побегов клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях загрязнения // Материалы Международной конференции «Наука, природа и общество». – Миасс–Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – С.93-96.

3. Васильева К.А., Зайцев Г.А. Содержание пигментов в листьях клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях загрязнения // «Антропогенная трансформация природной среды». Материалы международной конференции. – Пермь: ПГУ, 2010. – Т.3. – С.45-50

4. Васильева К.А., Зайцев Г.А. Особенности роста побегов клена остролистного в условиях Уфимского промышленного центра // Материалы V научно-практической конференции «Урбоэкосистемы: проблемы и перспективы развития». – Ишим: Изд-во ИГПИ им. П.П. Ершова, 2010. – Вып. 5. – С.17-18.

5. Васильева К.А., Зайцев Г.А. Радиальный прирост стволовой древесины клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях загрязнения // Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции «Организация территории: статика, динамика, управление». – Уфа: БГПУ им.М.Акмуллы, 2010. – С.62-64.

6. Васильева К.А. Устьичный индекс клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях загрязнения // Материалы III Молодежной научной конференции «Актуальные проблемы экологии Волжского бассейна». – Тольятти, ИЭВБ РАН, 2011. – С.15-20.