

На правах рукописи

СЕЙДАФАРОВ РУСТЭМ АДЫЛЕВИЧ

**ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ (*Tilia cordata* Mill.)
В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
(НА ПРИМЕРЕ УФИМСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА)**

03.00.16 – Экология

АВТОРЕФЕРАТ

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

Уфа – 2008

Работа выполнена в лаборатории лесоведения
Института биологии Уфимского научного центра Российской академии наук

Научный руководитель: Доктор биологических наук, профессор
Кулагин Алексей Юрьевич

Официальные оппоненты: Доктор биологических наук
Путенихин Валерий Петрович

Доктор биологических наук, профессор
Янбаев Юлай Аглямич

Ведущая организация: **Саратовский государственный
университет**

Защита диссертации состоится **13 февраля 2009 года в 14⁰⁰ часов** на заседании Объединенного диссертационного совета ДМ 002.136.01 при Институте биологии Уфимского научного центра Российской академии наук по адресу:

450054, Республика Башкортостан, г. Уфа, пр-т Октября, 69, комната 217.

Тел. (3472) 356247, тел./факс (347) 2356247.

E-mail: ib@anrb.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института биологии УНЦ РАН, с авторефератом – в сети интернет по адресу:

<http://www.anrb.ru/inbio/dissovet/index.htm>

Автореферат разослан _____ 2009 г.

Ученый секретарь
Объединенного
диссертационного совета,
кандидат биологических наук



Уразгильдин Р.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. На протяжении последних нескольких десятилетий ведутся работы по изучению роли растений в улучшении качества урбанизированной и техногенной сред обитания в связи с их способностью поглощать промышленные экссалаты, и тем самым снижать их содержание в окружающей среде, прежде всего – в атмосферном воздухе (Красинский, 1950а, 1950б; Кулагин, 1974, 1980, 1985; Тарабрин, 1971, 1984; Илькун, 1978; Николаевский, 1979, 1998, 2002; Гудериан, 1979; Вишаренко, Толоконцев, 1982; Гетко, 1989; Ситникова, 1990; Сергейчик, 1994; Бухарина, Поварницина, Ведерников, 2007).

На территории Республики Башкортостан произрастает свыше 30 % липняков России (Кучеров и др., 1975; Леса Башкортостана, 2004). Однако эколого-биологические характеристики данного вида в условиях промышленного загрязнения изучены слабо. Причем, если относительно влияния техногенной нагрузки на надземные вегетативные органы (прежде всего – на ассимиляционный аппарат) имеются фрагментарные сведения, то информация по особенностям формирования корневых систем полностью отсутствует.

Цель и задачи исследований. Цель работы – изучение особенностей формирования и адаптационных реакций ассимиляционного аппарата и корневой системы липы мелколистной в условиях техногенеза.

Для реализации поставленной цели решались следующие задачи:

1. Оценить относительное жизненное состояние древостоев липы мелколистной в условиях нефтехимического загрязнения;
2. Изучить особенности радиального прироста стволовой древесины на фоне изменяющегося уровня техногенной нагрузки;
3. Изучить особенности формирования и адаптационные реакции ассимиляционного аппарата липы мелколистной в условиях техногенеза;
4. Изучить особенности формирования и адаптационных реакций корневых систем липы мелколистной в условиях промышленного загрязнения.

Научная новизна работы. Научная новизна работы состоит в том, что впервые для Башкирского Предуралья получены количественные данные, характеризующие эколого-биологические особенности ассимиляционного аппарата, радиального прироста стволовой древесины и корневых систем липы мелколистной в условиях нефтехимического загрязнения.

Предложена формула для математического расчета равномерности распределения корней в почве.

Положения, выносимые на защиту:

1. В условиях смешанного типа загрязнения Уфимского промышленного центра у липы мелколистной выработался комплекс адаптационных реакций на загрязнение, выражающихся в усилении ксероморфности листовой пластинки, стабилизации водного режима,

увеличении корненасыщенности почвы и изменении фракционного состава корневой системы.

2. Реализация адаптивного потенциала липы мелколистной в условиях техногенного загрязнения происходит на различных структурно-функциональных уровнях.

3. Предложена формула для расчета коэффициента равномерности распределения корней в почве. При усилении промышленного загрязнения происходит уменьшение равномерности распределения корней липы мелколистной в почве.

Практическая значимость работы. Результаты исследования могут быть использованы при разработке системы рекомендаций по созданию санитарно-защитных лесных насаждений в крупных промышленных центрах Предуралья нефтехимического профиля.

Личный вклад автора.

Автором совместно с научным руководителем выполнены постановка цели и основных задач диссертационной работы, подбор методов исследований. Сбор полевого материала осуществлен совместно с сотрудниками лаборатории лесоведения Института биологии УНЦ РАН. Автором лично выполнена математическая обработка, анализ и обобщение полученных результатов.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы обсуждались на IV и V Всероссийских конференциях «Организация территории. Статика, динамика, управление» (Уфа, апрель 2007 г, сентябрь 2008 г.); Всероссийской научной конференции «Устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды» (Иркутск, сентябрь 2007 г.); Международной научно-практической конференции «Проблемы физической географии и геоэкологии: научные и образовательные аспекты» (Нижний Новгород, октябрь 2007 г.); Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы экологии Южного Урала» (Оренбург, октябрь 2007 г.); VII Республиканской научной конференции «Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан» (Казань, ноябрь 2007 г.); Региональной конференции молодых ученых «Современные проблемы экологии, микробиологии и иммунологии» (Екатеринбург-Пермь, декабрь 2007 г.); III Всероссийской научной конференции «Принципы и способы сохранения биоразнообразия» (Пушино, январь 2008 г.); II Республиканской научно-практической конференции «Инновационный потенциал современной молодежи» (Уфа, май 2008 г.).

Список публикаций. По материалам диссертационной работы опубликовано 12 научных работ, в том числе 2 – в журналах из списка ВАК. 2 работы в журналах из списка ВАК находятся печати.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов, списка использованной литературы (459 наименований, в том числе 101 на иностранных языках), 19 приложений. Основной текст изложен на 204 страницах, включает 21 таблицу и 27 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

Обоснована актуальность темы, изложены цель и задачи исследований, показана научная новизна и практическая значимость работы.

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

Выполнен обзор отечественных и зарубежных авторов по теме диссертационной работы. Рассмотрены вопросы влияния техногенного загрязнения на древесные растения (Красинский, 1950; Кулагин Ю.З., 1974, 1980, 1985; Илькун, 1978; Тарабрин, 1980; Гетко, 1989; Неверова, 1999; Николаевский, 2000; Бухарина и др., 2007; Smith, 1981 и др.). Показана слабая изученность эколого-биологических особенностей липы мелколистной в условиях техногенеза и полное отсутствие информации по строению корневых систем липы (Гетко, 1989; Добрышев и др., 2002; Майдебура, 2006; Бухарина и др., 2007 и др.).

ГЛАВА 2. РАЙОН, ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Приведена краткая физико-географическая характеристика района исследования: геоморфологические особенности, климатические характеристики, описание почв и растительности. Уфимский промышленный центр относится к зоне повышенного загрязнения атмосферного воздуха смешанного типа со значительной долей в общем объеме выбросов диоксида серы, углеводородов, оксида углерода и окислов азота (Государственный доклад ..., 2006, 2007).

По данным отечественных и зарубежных исследователей приведена эколого-биологическая характеристика объекта исследования – липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill).

Основываясь на литературных данных (Государственный доклад ..., 2006, 2007) район исследования был условно разделен на две зоны – сильного и слабого загрязнения. В обеих зонах загрязнения в древостоях липы мелколистной заложены по две пробные площади, охватывающие водораздельное плато и высокую пойму (далее – пойму) (рис. 1).

Методы исследований выбирались с учетом поставленных задач и имеющихся методических разработок.

Были составлены таксационные характеристики древостоев (Соколов, 1998; Методы..., 2002). Объем ствола и прирост ствола по объему определялись математическим способом (Ушаков, 1997).

Дендрохронологические исследования проводились по общепринятым методикам (Дендрохронология..., 1986; Ваганов и др., 1996; Ваганов,

Шашкин, 2000; Methods..., 1990). Для изучения радиального прироста корневой древесины отбирались спилы скелетных корней на глубине 30 см.

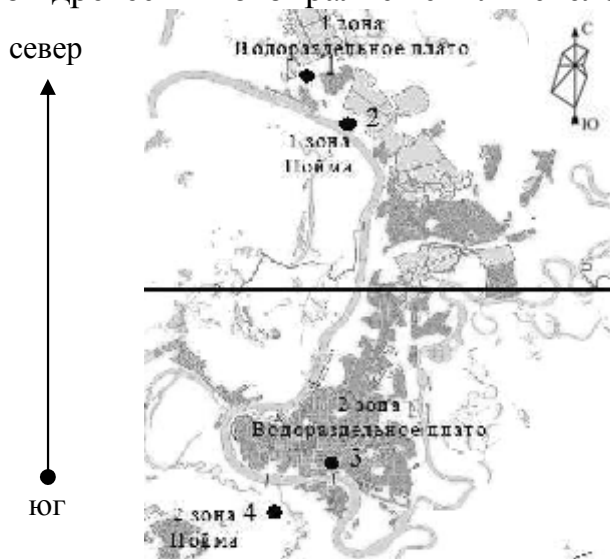


Рис. 1. Разделение территории исследования на условные зоны загрязнения и расположение пробных площадей.

Оценка относительного жизненного состояния древостоев липы мелколистной проводилась по методике В.А.Алексеева (1990).

Морфологические параметры ассимиляционного аппарата определялись на гербарном материале. Линейные размеры (длина, ширина листа, расстояние до наиболее широкой части листовой пластинки, длина черешка) определялись при помощи штангенциркуля с точностью до 0,01 см. Площадь листовой пластинки определяли методом «палетки». Относительную длину жилок и устьичный индекс определяли при стократном увеличении на световом микроскопе Carl Zeiss Jena (Germany).

Различные параметры водного режима (интенсивность транспирации, относительное содержание воды и дефицит водного насыщения) определялись в полевых условиях в течение вегетационного периода методом быстрого взвешивания (Иванов, Силина, Цельникер, 1950) с использованием торсионных весов (Techniprot Pruszkov).

Содержание пигментов (хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды) определяли методом спектрофотометрии при помощи спектрофотометра КФК – 5М (Россия).

Для исследования корневых систем методом бура использовали стандартный почвенный бур диаметром 4 см (площадь сечения – 12,56 см², объем получаемых монолитов – 125,6 см³) с 10-кратной повторностью взятия монолитов. На пробных площадях выбиралось по 3-4 модельных дерева, вокруг которых на расстоянии 70 см от ствола брались по 3-4 монолита до глубины 1 м (с 10 см интервалом).

Для изучения корневых систем методом среза и методом монолитов заложено 8 почвенных траншей (размерами 1,5x1,0 м): по две на каждой пробной площади. Траншеи закладывались до глубины 1 м.

Выходы корней на стенках почвенных траншей фиксировали на бумаге в масштабе 1:2.

Для исследования корневых систем методом монолитов использовали монолиты размером 10x10x10 см объемом 1000 см³. Выборку корней проводили пинцетом с последующей отмывкой корней водой на ситах с диаметром ячеек 0,5 мм. Вес корней определялся в воздушно-сухом состоянии на лабораторных весах Zaklasy mechaniki precyzyjnej (Gdansk, Poland) с точностью до 0,01 г.

Корни в зависимости от их диаметра делили на три группы: до 1 мм (поглощающие, или сосущие), 1-3 мм (полускелетные) и свыше 3 мм (скелетные) (Рахтеенко, 1952).

Длину полускелетных и скелетных корней измеряли штангенциркулем с точностью до 0,01 см. Длину корней диаметром до 1 мм определяли математическим способом (Зайцев, 2000).

Важным аспектом характеристики корневой системы является равномерность распределения корней в пределах почвенного разреза. Разработана следующая формула для характеристики степени равномерности распределения корней в почве:

$$K_p = \frac{|\Delta_1| + |\Delta_2| + |\Delta_3| + \mathbf{K} + |\Delta_{m-2}| + |\Delta_{m-1}|}{(m-1) \cdot (n_1 + n_2 + \dots + n_{m-1} + n_m)} \cdot 100\%,$$

где K_p - коэффициент равномерности распределения корней в почве; $|\Delta_1|$, $|\Delta_2|$, ... $|\Delta_{m-1}|$ - модуль разности значений исследуемого количественного параметра (количество выходов корней, масса, длина корней) между двумя соседними десятисантиметровыми слоями почвенного разреза; n - абсолютные значения исследуемого параметра; m - количество измерений анализируемого параметра. Чем меньше значение K_p , тем корни распределены в почве более равномерно.

Полученные результаты обрабатывались общепринятыми статистическими методами (Плохинский, 1970) с применением программы Excel 7.0.

ГЛАВА 3. ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ

В УСЛОВИЯХ УФИМСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА

Особенности формирования надземных вегетативных органов липы мелколистной.

Таксационная характеристика древостоев липы мелколистной.

Исследованные древостои имеют возраст 31-40 лет. Показано, что изменение степени загрязнения и положения в рельефе слабо влияет на таксационные показатели древостоев (табл. 1).

Краткая таксационная характеристика пробных площадей
в древостоях липы мелколистной Уфимского промышленного центра

Зона загрязнения	№ ПП	Возраст, лет	Средний диаметр, см*	Средняя высота, м	Объем ствола, м ³	Прирост ствола по объему, м ³ /год
I (сильного)	1	<u>36</u> 31-39	<u>16,10</u> 10,0-31,5	<u>14,40</u> 8,0-17,0	0,26±0,01	0,08±0,005
	2	<u>35</u> 31-37	<u>15,80</u> 12,0-28,5	<u>14,20</u> 7,0-19,0	0,25±0,01	0,08±0,003
II (слабого)	3	<u>37</u> 35-40	<u>16,70</u> 15,0-32,0	<u>14,80</u> 10,0-19,5	0,28±0,01	0,09±0,006
	4	<u>37</u> 33-40	<u>16,90</u> 17,0-34,0	<u>14,90</u> 9,0-18,0	0,29±0,02	0,09±0,005

* - В числителе – средние значения показателей, в знаменателе – пределы колебаний показателей;

Относительное жизненное состояние древостоев.

Исследования показали, что древостои липы мелколистной в условиях сильного загрязнения характеризуются как «ослабленные», в условиях слабого – как «ослабленные» на плато и «здоровые в пойме». Под влиянием нефтехимического загрязнения (зона условно сильного загрязнения) происходит снижение густоты кроны деревьев (до 52,5 %), стволы слабо очищаются от мертвых сучьев (до 38,6 % от общего их количества). В южной части города (зона условно слабого загрязнения) деревья имеют более густую крону (до 85,3 %) и меньшее количество мертвых сучьев на стволе (10,5 – 29,0 %). В условиях максимального уровня нефтехимического загрязнения поражены более 40 % площади листовых пластинок, в то время как в зоне слабого загрязнения – менее 30 %.

Радиальный прирост стволовой древесины.

Установлено, что степень промышленного загрязнения и положение в рельефе практически не оказывают влияние на радиальный прирост стволовой древесины липы. Значения анализируемого параметра варьируют от 1,15 до 3,46 мм/год. В первые несколько лет жизни липа мелколистная характеризуется высоким радиальным приростом. С конца семидесятых годов отмечено устойчивое снижение радиального прироста липы во всех исследуемых условиях. На рубеже 80-90-х годов радиальный прирост стволовой древесины липы стабилизировался, отмечены (в первой половине 90-х) периоды его устойчивого увеличения (рис. 2).

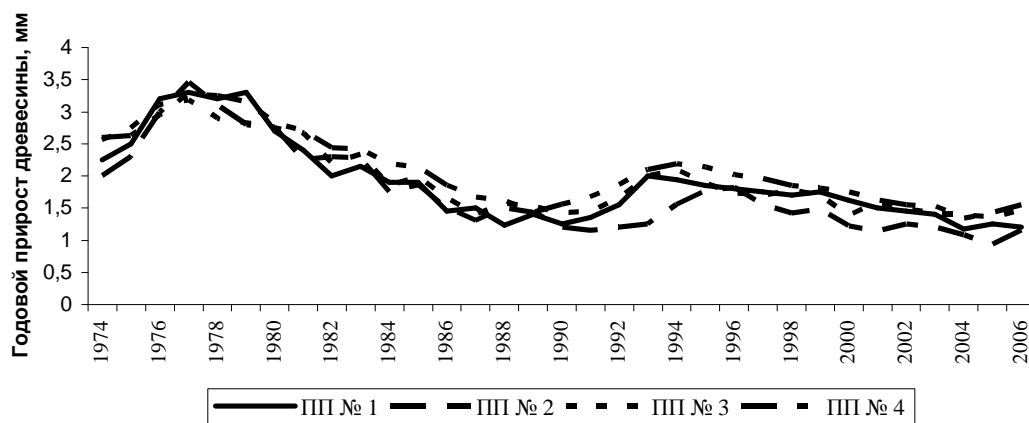


Рис. 2. Динамика годового прироста стволовой древесины липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра

Линейные размеры и площадь листовой пластинки.

Пределы колебания средних значений линейных размеров листа составляют: длины – 58,0-73,5 мм; ширины – 53,7-66,5 мм. Площадь листа варьирует от 22,5 до 34,7 см² (рис. 3, 4 и 5 соответственно).

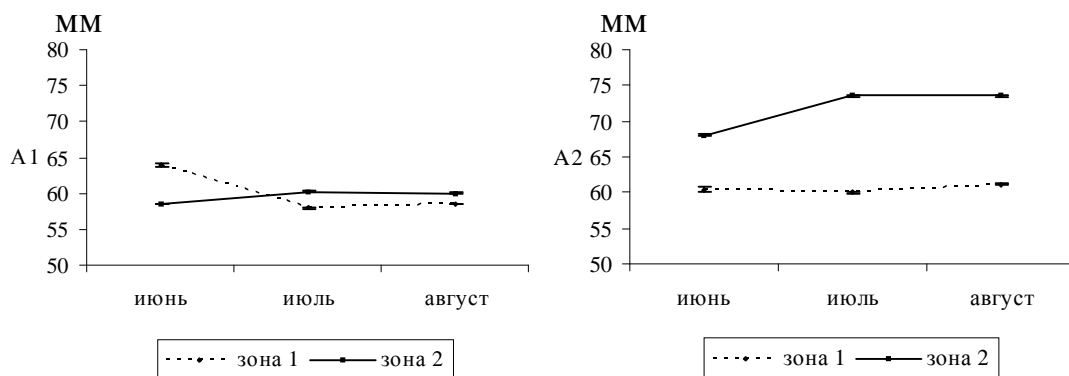


Рис. 3. Динамика длины листовой пластинки липы мелколистной (мм) в условиях Уфимского промышленного центра: А1 – водораздельное плато; А2 - пойма.

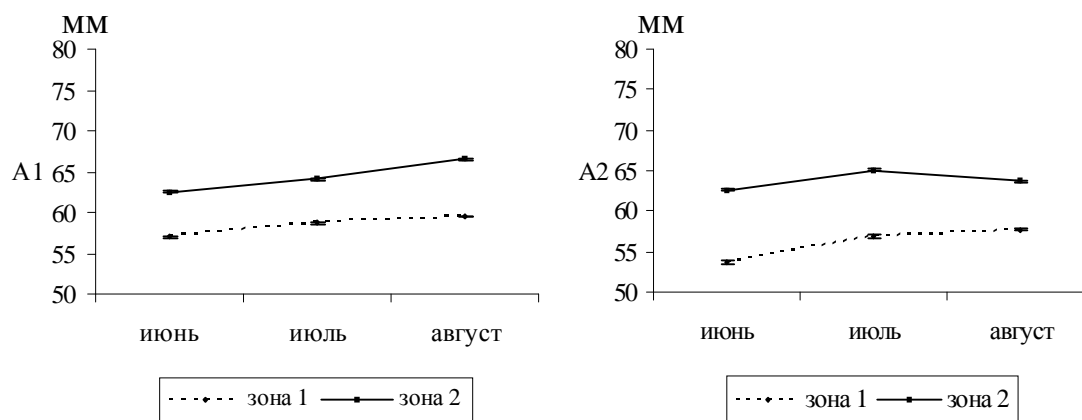


Рис. 4. Динамика ширины листовой пластинки липы мелколистной (мм) в условиях Уфимского промышленного центра: А1 – водораздельное плато; А2 - пойма.

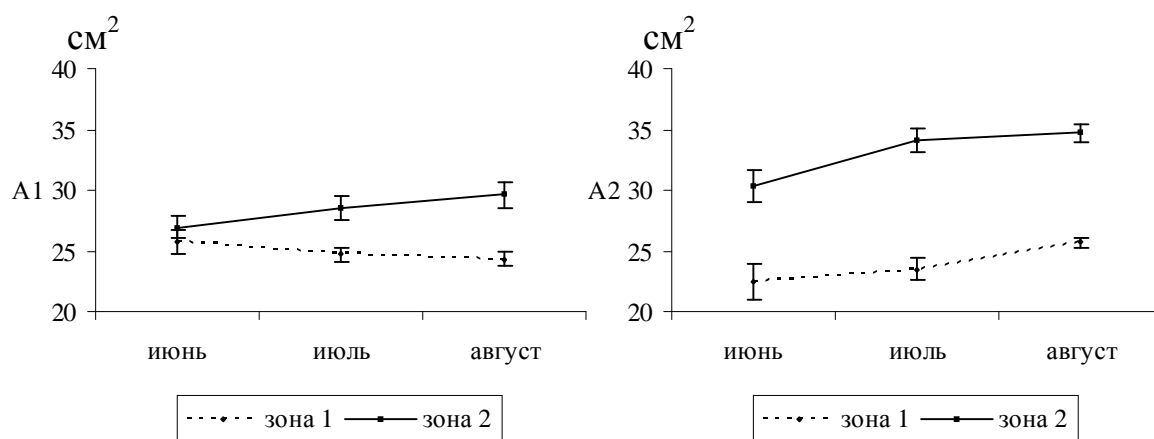


Рис. 5. Динамика площади листовой пластинки (см²) липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра: А1- водораздельное плато; А2 – пойма.

При усилении загрязнения происходит уменьшение линейных размеров и площади листовой пластинки липы мелколистной. Вне зависимости от уровня промышленного загрязнения листья крупнее в пойменных условиях. Аналогичная особенность прослеживается и для длины листовой пластинки. Однозначно оценить влияние положения в рельефе на ширину листа можно лишь в зоне сильного загрязнения: лист шире на водораздельном плато).

Относительная длина жилок.

Средняя длина жилок в течение вегетационного периода колеблется от 9,67 мм/мм² до 12,98 мм/мм² (рис. 6).

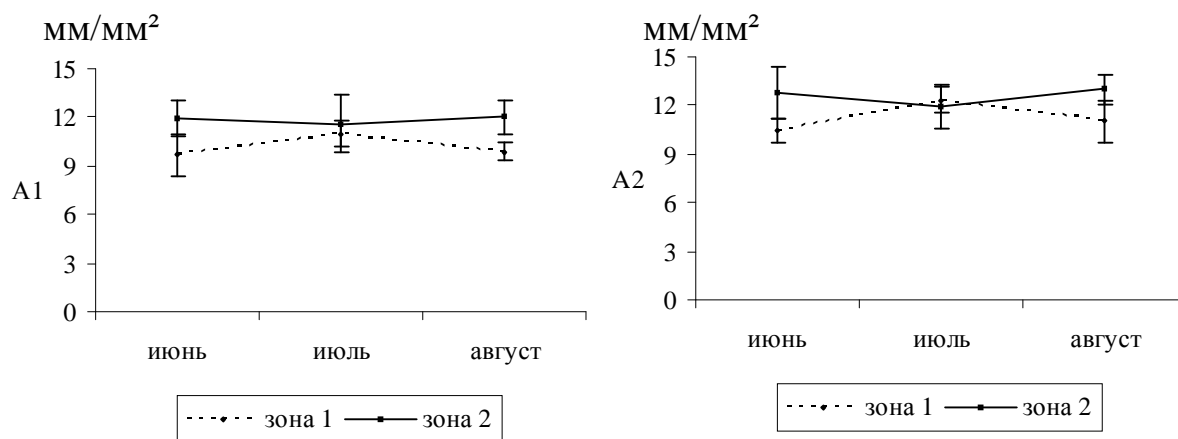


Рис. 6. Длина жилок листьев липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра: А1 – водораздельное плато; А2 –пойма.

При усилении загрязнения происходит уменьшение длины жилок на единице площади поверхности листовой пластинки липы мелколистной вне зависимости от месяца вегетационного периода и положения в рельефе.

При смене положения в рельефе с водораздельного плато на пойму наблюдается увеличение значений анализируемого параметра.

Устьичный индекс.

Значения устьичного индекса липы мелколистной варьируют от 190 до 370 шт./мм². Ксероморфность листьев на основе значений устьичного

индекса увеличивается при усилении атмосферного загрязнения и смене условий произрастания с водораздельного плато на пойму (рис. 7).

В течение вегетационного периода в зоне сильного загрязнения наблюдается значительное увеличение этого параметра.

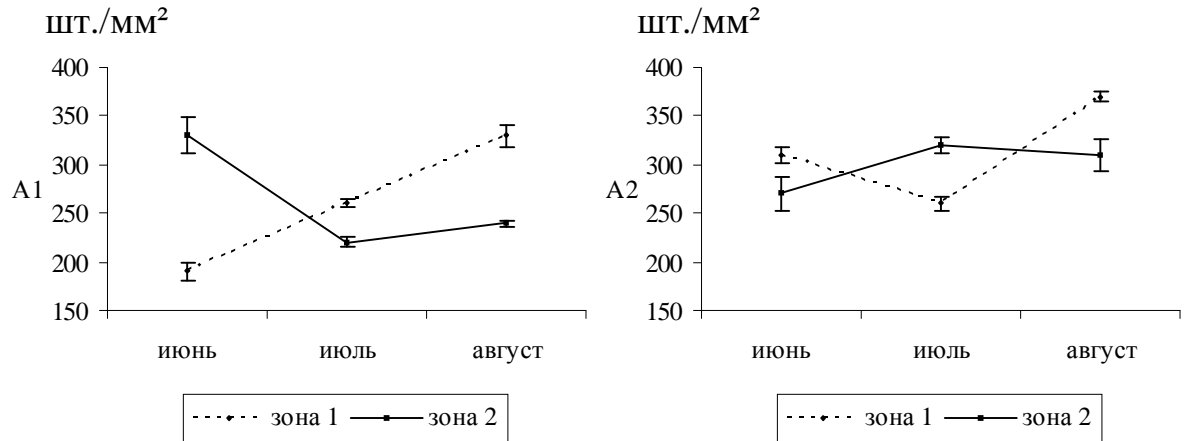


Рис. 7. Устьичный индекс листьев липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра: А1 – водораздельное плато; А2 – пойма.

Данный параметр является достаточно вариабельным, т.е. в течение вегетации наблюдаются периоды увеличения и периоды снижения устьичного индекса во всех указанных условиях.

Пигментный фонд липы мелколистной.

Содержание хлорофилла *a* в листьях липы мелколистной в течение вегетационного периода варьирует от 1,1 до 3,5 мг/г сырой массы. Отмечено снижение концентрации хлорофилла *a* при усилении загрязнения. Отмечен феномен увеличения синтеза хлорофилла *a* в конце вегетационного периода в зоне сильного загрязнения вне зависимости от положения в рельефе (рис. 8).

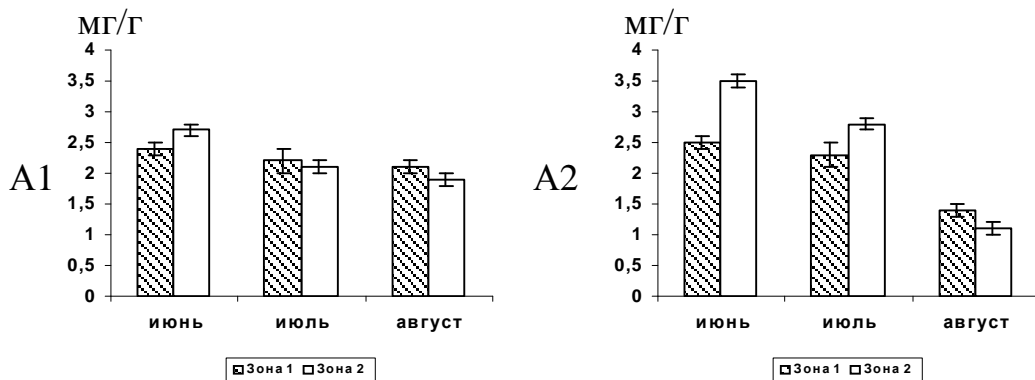


Рис. 8. Содержание хлорофилла *a* в листьях липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра; здесь и на рис. 9 и 10: А1 – водораздельное плато; А2 – пойма.

Содержание хлорофилла *b* в листьях меньше, чем хлорофилла *a*. Оно варьирует от 0,4 до 1,8 мг/г сырой массы. Концентрация хлорофилла *b*

уменьшается при усилении загрязнения. В течение вегетационного периода значения данного параметра выше в условиях водораздельного плато (рис. 9).

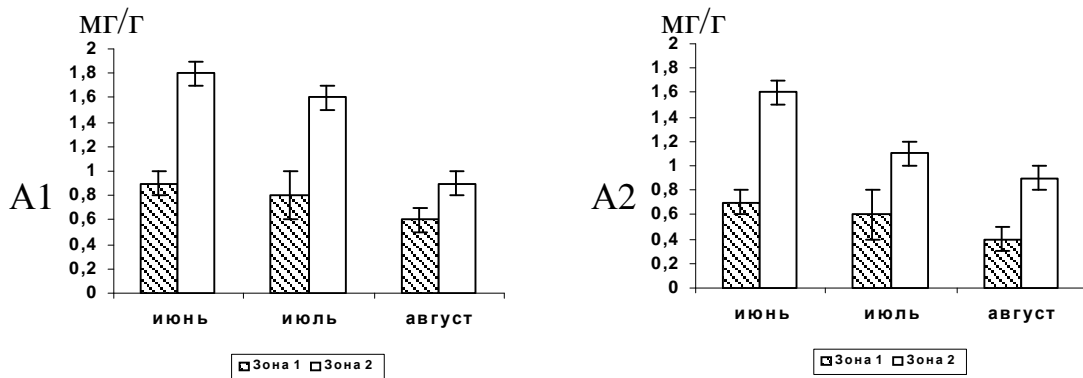


Рис. 9. Содержание хлорофилла *b* в листьях липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра.

Содержание каротиноидов изменяется от 0,3 до 1,5 мг/г. Установлено, что концентрация каротиноидов увеличивается при усилении загрязнения в начале и в середине вегетационного периода (рис. 10).

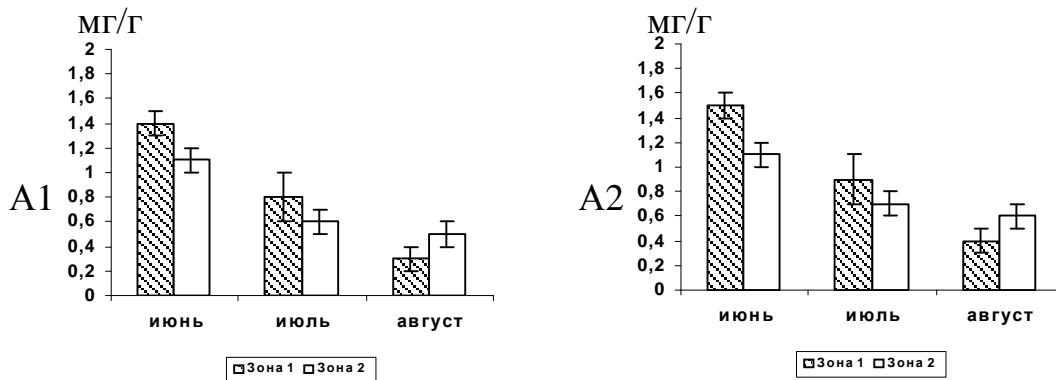


Рис. 10. Содержание каротиноидов в листьях липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра.

Водный режим листьев липы мелколистной.

Листья липы мелколистной характеризуются высоким относительным содержанием воды (ОСВ). Данный параметр варьирует от 87,5 % до 98,5 % ($\pm 11\%$), что позволяет сделать вывод о стабильном и высоком относительном содержании воды вне зависимости от изменения уровня загрязнения и положения в рельефе (рис. 11).

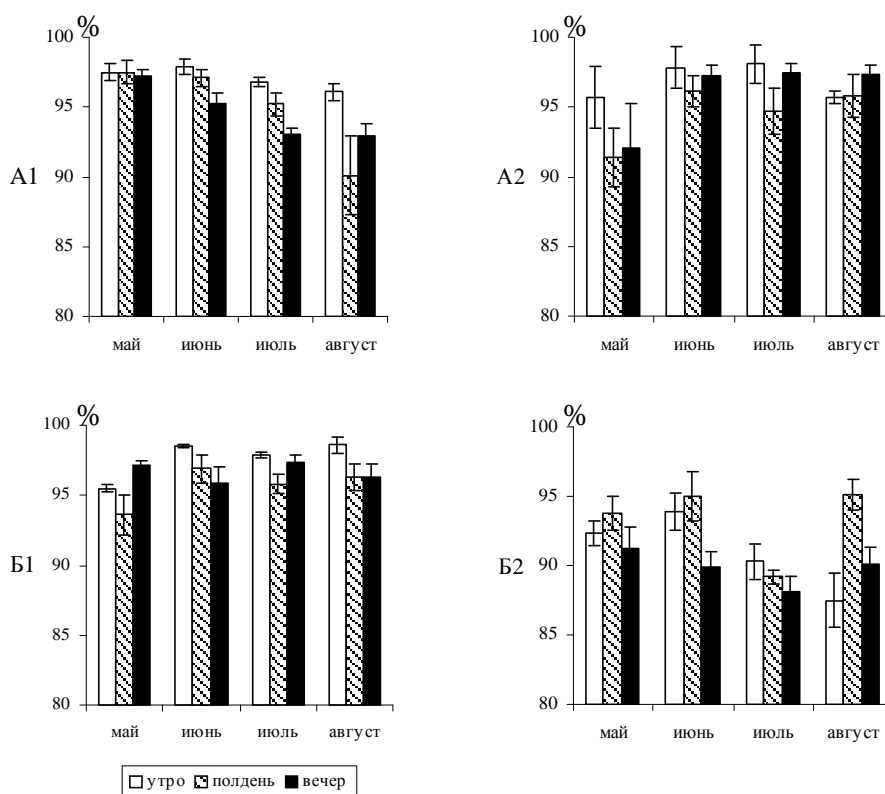


Рис. 11. Относительное содержание воды (%) в листьях липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра; здесь и на рис. 12: А1 и А2 – зона сильного загрязнения; Б1 и Б2 – зона слабого загрязнения; А1 и Б1 – водораздельное плато; А2 и Б2 – пойма.

Поскольку листья липы мелколистной характеризуются высоким относительным содержанием воды, то они не испытывают дефицита водного насыщения. Колебания данного параметра при изменении степени промышленного загрязнения, смене условий произрастания с водораздельного плато на пойму в пределах одной зоны загрязнения и в суточной динамике не превышают 7 %.

Интенсивность транспирации характеризуется повышенной чувствительностью к изменению условий произрастания и зависимостью от месяца вегетационного периода. На водоразделе при усилении загрязнения транспирация уменьшается, в пойме – увеличивается. Максимальные значения интенсивности транспирации характерны для поймы зоны сильного загрязнения: от 211,5 до 472,6 мг/г сырого веса в час. Минимальные – для водораздельного плато зоны сильного загрязнения: от 73,2 до 242,5 мг/г.

Вне зависимости от уровня загрязнения значения интенсивности транспирации выше в пойме.

В зоне сильного загрязнения интенсивность транспирации увеличивается в течение вегетационного периода. В зоне слабого загрязнения подобная особенность не прослеживается (рис. 12).

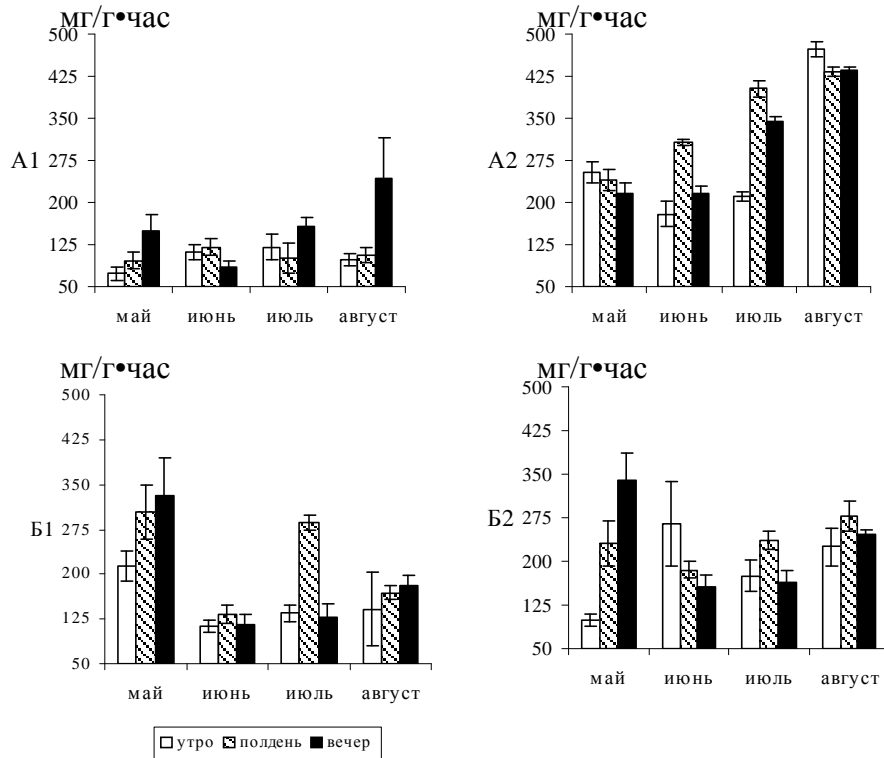


Рис. 12. Интенсивность транспирации листьев (мг/г·час) липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра.

Особенности формирования и строения корневой системы липы мелколистной.

Радиальный прирост корневой древесины.

Значения радиального прироста корневой древесины варьируют от 0,55 до 2,21 мкм/год. В отличие от прироста стволовой древесины, прирост древесины корневой характеризуется чувствительностью к изменению степени промышленного загрязнения и положения в рельефе (рис. 13).

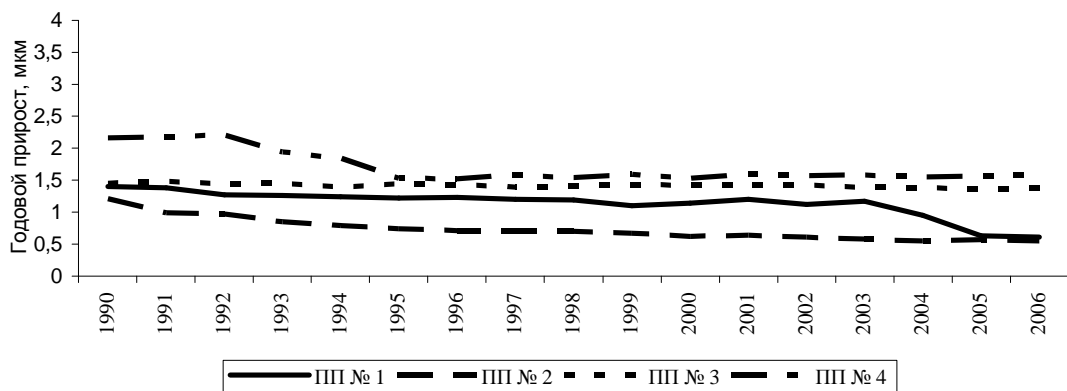


Рис. 13. Динамика годового прироста древесины скелетных корней липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра

Снижение прироста древесины скелетных корней в зоне сильного загрязнения наблюдается в течение всего исследуемого периода (с 1990 по 2006 гг.).

В зоне сильного загрязнения при смене положения в рельефе с плато на пойму наблюдается снижение прироста. В зоне слабого загрязнения, напротив, значения прироста корневой древесины выше в пойменных условиях.

Исследование корневых систем липы мелколистной методом среза

Результаты исследований свидетельствуют, что на водоразделе количество выходов корней на стенках почвенных траншей большей в зоне слабого загрязнения (711 и 738 шт./м² соответственно), в пойме имеет место противоположная картина (749 шт./м² и 650 шт./м² соответственно). В зоне сильного загрязнения общая корненасыщенность почвы выше в пойме, а в зоне слабого – на водораздельном плато (рис. 14).

Максимальное количество выходов корней (сумма всех фракций) вне зависимости от уровня загрязнения и положения в рельефе наблюдается в горизонте 0-10 см. Основное количество выходов корней приурочено к двум верхним слоям почвы (0-20 см): 218 шт./м² (33,5 %) - 333 шт./м² (45,6 %).

В зоне сильного загрязнения общая корненасыщенность почвы выше в пойме, а в зоне слабого – на водораздельном плато.

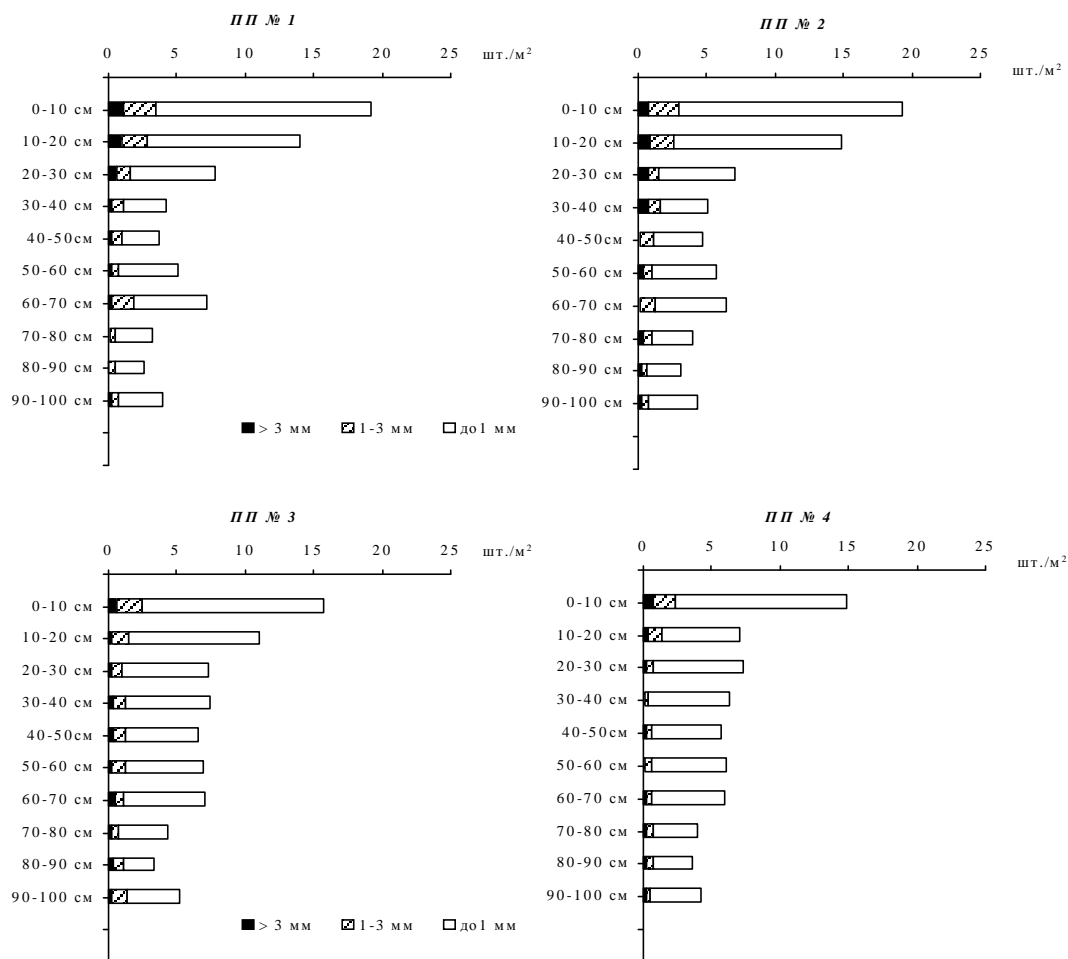


Рис. 14. Количество выходов корней (шт./дм²) липы мелколистной на стенках почвенных траншей (метод среза).

Исследование корневых систем липы мелколистной методом бура

Установлен факт увеличения общей массы корней при усилении степени промышленного загрязнения. Указанная особенность проявляется и на водораздельном плато (9676,4 и 6155,0 г/м²), и в пойме (8852,9 и 6573,8 г/м²). Общая масса корней при переходе с водораздельного плато в пойму увеличивается вне зависимости от уровня загрязнения.

При усилении загрязнения вне зависимости от положения в рельефе увеличивается масса поглощающих корней и масса скелетных. Масса полускелетных корней при аналогичном изменении уровня загрязнения увеличивается на плато и уменьшается в пойме.

Установлен факт увеличения общей длины корней при усилении степени промышленного загрязнения. Указанная особенность проявляется и на водораздельном плато (1189994,4 и 801531,0 см/м²), и в пойме (1224745,1 и 601369,1 см/м²). Общая длина корней обнаруживает противоположную зависимость от изменения геоморфологических условий произрастания.

При усилении загрязнения вне зависимости от положения в рельефе увеличивается длина поглощающих корней и длина полускелетных. Длина скелетных корней при аналогичном изменении уровня загрязнения увеличивается на плато и уменьшается в пойме.

Исследование корневых систем липы мелколистной методом монолитов

Масса корней

По мере усиления загрязнения наблюдается увеличение общей массы корней метрового слоя почвы независимо от положения в рельефе (рис. 15).

Максимальная общая масса корней отмечена на следующих глубинах: ПП № 1 – 30-40 см; ПП № 2 – 40-50 см; ПП № 3 – 30-40 см; ПП № 4 – 10-20 см. Основная масса корней в зоне сильного загрязнения сосредоточена на глубине 20-60 см. В зоне слабого загрязнения в условиях водораздела аналогичный показатель приурочен к слою 10-60 см, в пойме – к интервалу 10-50 см.

При усилении загрязнения вне зависимости от положения в рельефе увеличивается масса поглощающих корней и масса скелетных корней. Масса скелетных корней в зоне сильного загрязнения меньше таковой зоны слабого в условиях поймы и больше – на водоразделе.

Вне зависимости от положения в рельефе по мере приближения к источникам нефтехимического загрязнения увеличивается доля поглощающих и полускелетных корней и уменьшается доля скелетных.

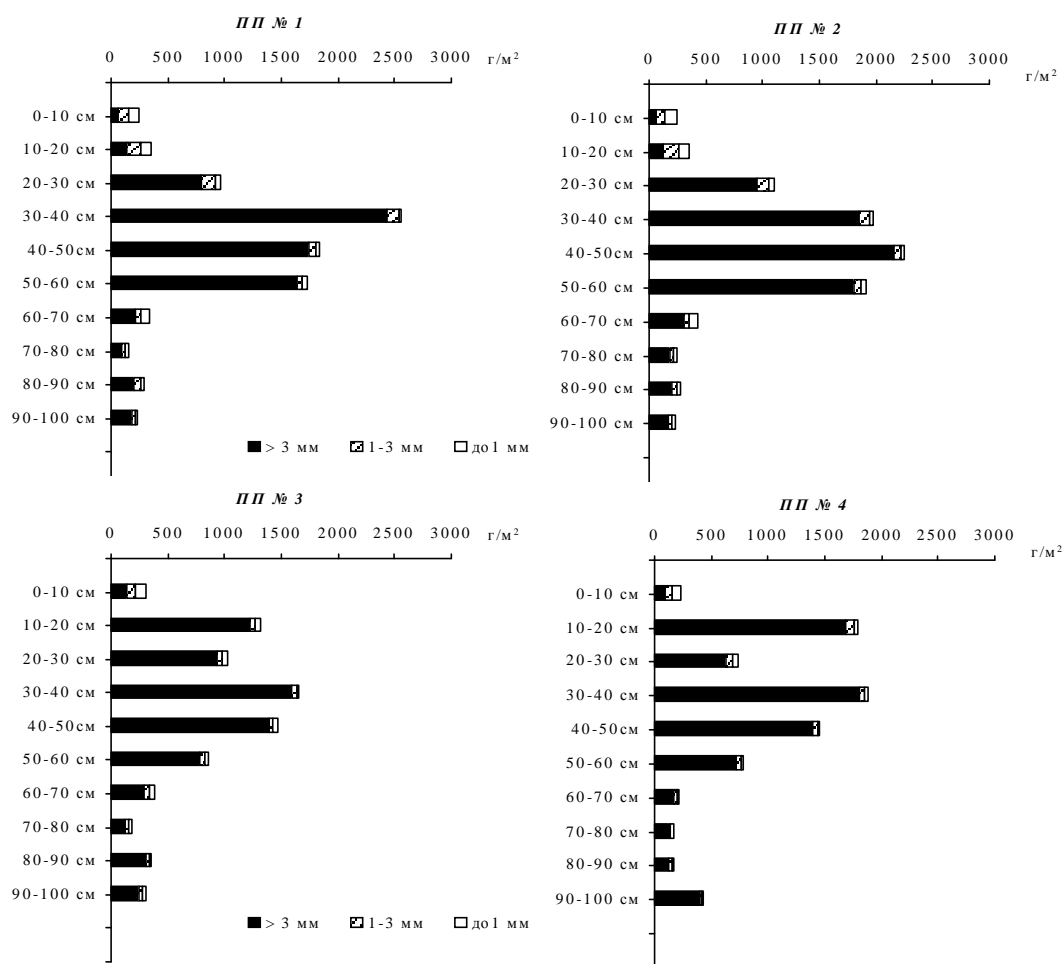


Рис. 15. Корненасыщенность почвы (г/м^2) в древостоях липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра (метод монолитов)

Длина корней

С усилением загрязнения общая длина корней увеличивается вне зависимости от положения в рельефе. При усилении загрязнения увеличивается длина поглощающих и полускелетных корней. Для скелетных корней подобная особенность прослеживается лишь в пойме (рис. 16).

В зоне сильного загрязнения максимальная длина корней и на плато, и в пойме наблюдается на глубине 10-20 см. В зоне слабого загрязнения наибольшие значения общей длины корней отмечены на глубине 0-10 см на плато и 20-30 см в пойме. В зоне сильного загрязнения наибольшая корненасыщенность почвы по длине сосредоточена в двух верхних слоях.

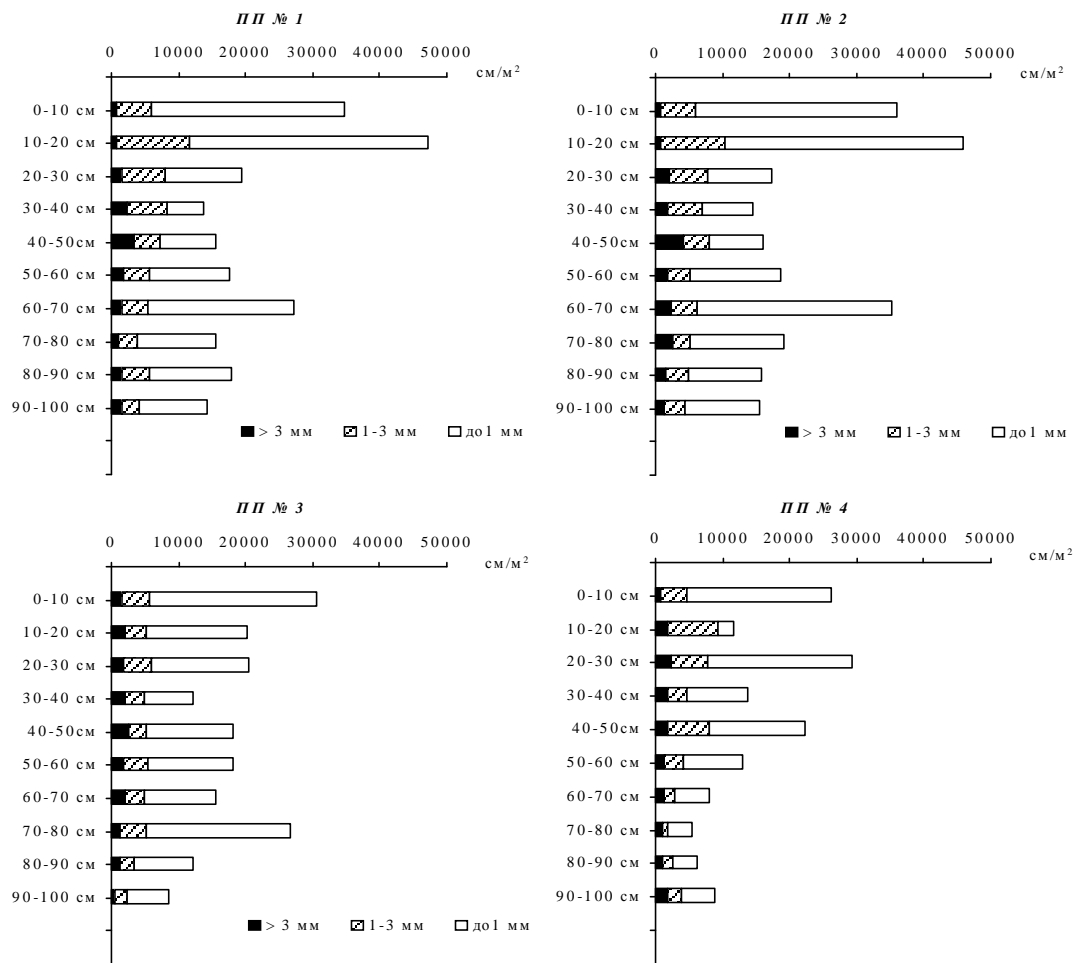


Рис. 16. Корненасыщенность почвы (cm/m^2) в древостоях липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра (метод монолитов).

При усилении загрязнения на водоразделе уменьшается доля поглощающих и в меньшей степени скелетных корней, а доля полускелетных корней увеличивается.

Сравнительная характеристика различных методов исследования корневых систем липы мелколистной

Следует отметить, что метод бура в большинстве случаев дает, по сравнению с методом монолитов, завышенные данные по массе и особенно – по длине корней. Данные метода бура по общей массе корней завышены в среднем в 1,9 раза, по длине корней – в 5,2 раза. Наиболее завышенные данные по общей массе корней наблюдаются в верхнем (0-10 см) слое почвенного разреза (в 2,5 – 5,1 раза). В зоне сильного загрязнения максимально завышенные данные по общей длине корней имеют место в середине (40-50 см) разреза (более чем в 8 раз). В зоне слабого загрязнения аналогичный показатель приурочен к нижним слоям (8,2 – 8,8 раз). Наиболее завышены данные по массе и длине поглощающих корней (в среднем более чем в 5 раз), наименее – по скелетным

корням (в среднем в 2,8 раза). Данные метода бура по массе и длине полускелетных корней завышены в среднем в 4,6 раза.

Сравнительная характеристика равномерности распределения корней липы мелколистной в почве в различных условиях произрастания

В процессе изучения особенностей формирования и строения корневых систем липы мелколистной в условиях техногенного загрязнения Уфимского промышленного центра была разработана формула для расчета коэффициента равномерности распределения корней в почве по тому или иному количественному параметру (количество выходов корней, масса или длина корней (см. методика исследования)).

Установлено, что при усилении загрязнения наблюдается уменьшение равномерности распределения корней в почве. Коэффициент равномерности варьирует в пределах 1,6 – 9,0 %. Наиболее неравномерное распределение корней в почве наблюдается в условиях водораздельного плато зоны сильного загрязнения. Наиболее равномерно корни в пределах метрового слоя почвы распределены на водораздельном плато в зоне слабого загрязнения (рис. 12).

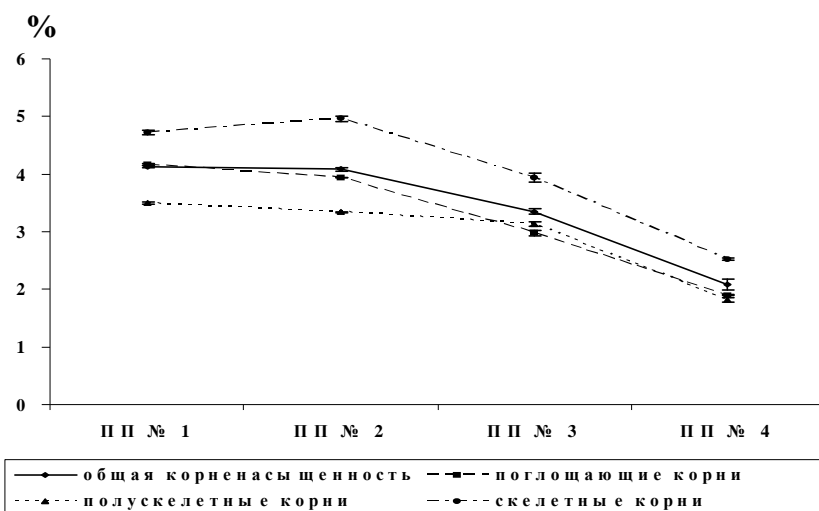


Рис. 17. Значения коэффициента равномерности распределения в почве корней липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра.

ГЛАВА 4. СОСТОЯНИЕ ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНОВ И АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Промышленные загрязнители воздействуют, прежде всего, на наземную часть растительного организма. Во многом по ее состоянию можно делать вывод о степени устойчивости данного вида к конкретным лесорастительным условиям.

В наших исследованиях установлено, что под влиянием смешанного типа загрязнения Уфимского промышленного центра происходят определенные морфологические, физиологические и биохимические изменения наземных вегетативных органов липы мелколистной, часть из

которых является исключительно проявлениями негативного воздействия токсических поллютантов, другая же направлена на адаптацию липы к условиям нефтехимического загрязнения.

Установлено, что степень промышленного загрязнения и положение в рельефе слабо влияют на средние значения диаметра и высоты деревьев, а также на объем ствола его радиальный прирост и напряженность роста липы.

У липы мелколистной при увеличении степени промышленного загрязнения происходит усиление ксероморфности листовой пластинки: уменьшается площадь листа, увеличивается устьичный индекс. В то же время наблюдается уменьшение длины жилок на единице площади поверхности листовой пластинки. Указанные изменения являются защитной адаптационной реакцией ассимиляционного аппарата липы к условиям техногенеза. При уменьшении площади листьев, количества жилок и их длины уменьшается поступление поллютантов в лист и отток токсических веществ из периферии листовой пластинки к центральной жилке и, соответственно, в другие органы растительного организма. Адаптации проявляются и при формировании устьичного аппарата. На протяжении большей части вегетационного периода в зоне сильного загрязнения устьичный индекс выше, чем в зоне слабого загрязнения. Данная особенность может быть связана с тем, что при повышенном уровне загрязнения происходит нарушение газообмена листьев с окружающей средой. Большое же количество устьиц может служить средством улучшения регулирования интенсивности газообмена в условиях техногенеза.

Водный режим липы мелколистной характеризуется устойчивостью к усилению загрязнения и смене геоморфологических условий произрастания, что проявляется в стабильно высоких значениях относительного содержания воды и отсутствии дефицита водного насыщения листьев в течение вегетационного периода. Отсутствие водного дефицита создает благоприятные предпосылки для процессов фотосинтеза, дыхания, ферментативной активности растения и соотношения минеральных веществ. Наиболее чувствительным параметром водного режима является интенсивность транспирации. При усилении загрязнения интенсивность транспирации усиливается в пойме и снижается на водораздельном плато. В условиях плато указанная особенность наблюдается на фоне существенного увеличения устьичного индекса. Это может свидетельствовать о том, что в условиях загрязнения интенсивность транспирации определяется не работой устьичного аппарата, а состоянием кутикулярного слоя листа.

Пигментный комплекс липы мелколистной также характеризуется высокой чувствительностью к усилению загрязнения. Показателем этого является снижение концентрации хлорофилла и повышение концентрации каротиноидов при увеличении степени загрязнения. Увеличение синтеза каротиноидов в условиях интенсивного техногенного загрязнения связано, вероятно, с их антиоксидантной функцией, обеспечивающей защиту хлорофилла от разрушения. Отмечен феномен увеличения синтеза

хлорофилла *a* в конце вегетационного периода в зоне сильного загрязнения вне зависимости от положения в рельефе.

В то же время устойчивость растения в условиях техногенеза зависит во многом от состояния его корневых систем (Ярмишко, 1997; Зайцев, 2008).

Анализ количественных данных по особенностям формирования корневых систем липы мелколистной в условиях нефтехимического загрязнения показывает, что, за исключением радиального прироста скелетных корней, не наблюдается негативного воздействия усиления загрязнения на подземную часть липы мелколистной. При усилении загрязнения наблюдается увеличение корненасыщенности почвы. Увеличение при усилении загрязнения доли поглощающих и полускелетных корней и уменьшение процентного содержания скелетных корней может рассматриваться в качестве видоспецифической реакции корневой системы липы мелколистной на нефтехимическое загрязнение окружающей среды. Указанные особенности формирования и строения корневой системы липы мелколистной является адаптационной реакцией, направленной на компенсацию повреждений надземных вегетативных органов, выражающихся преимущественно в ухудшении относительного жизненного состояния древостоев. Мощная корневая система обеспечивает выживание данного биологического вида в экстремальных техногенных лесорастительных условиях.

Адаптационные реакции липы мелколистной направлены на компенсацию повреждений надземных вегетативных органов (образование мертвых сучьев, хлорозы и некрозы) за счет увеличения корненасыщенности почвы и изменения фракционного состава корневой системы (увеличение доли поглощающих и полускелетных корней и уменьшение процентного содержания скелетных), а также на усиление ксероморфной структуры ассимиляционного аппарата (уменьшение площади листа и длины жилок, увеличение устьичного индекса).

Таким образом, адаптивный потенциал липы мелколистной к условиям нефтехимического загрязнения реализуется на различных уровнях организации. Взаимосвязь адаптивных реакций надземной и подземной частей вегетативного тела липы обеспечивает высокую устойчивость данного вида к действию промышленных загрязнителей и является основой для дальнейшего изучения процессов его роста и развития в экстремальных лесорастительных условиях.

ВЫВОДЫ

1. Составлена эколого-биологическая характеристика липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра. Установлено, что в условиях нефтехимического загрязнения относительное жизненное состояние древостоев липы мелколистной оценивается как «ослабленное». Относительное жизненное состояние древостоев всегда выше в пойменных условиях, нежели на водоразделе. Условия произрастания практически не оказывают влияние на таксационные характеристики древостоев липы (диаметр и объем ствола, высота деревьев, прирост ствола по объему), а также на динамику радиального прироста стволовой древесины.

2. У липы мелколистной при увеличении степени промышленного загрязнения происходит усиление ксероморфности листовой пластинки: уменьшается площадь листа, увеличивается устьичный индекс. В то же время наблюдается уменьшение длины жилок на единице площади поверхности листовой пластинки. Установлен факт снижения концентрации хлорофилла и повышение концентрации каротиноидов при увеличении степени загрязнения. Отмечен феномен увеличения синтеза хлорофилла *a* в конце вегетационного периода при усилении загрязнения. Указанные изменения являются защитной адаптационной реакцией ассимиляционного аппарата липы к условиям техногенеза.

3. Водный режим липы мелколистной характеризуется устойчивостью к усилению загрязнения и смене геоморфологических условий произрастания, что проявляется в стабильно высоких значениях относительного содержания воды и отсутствии дефицита водного насыщения листьев в течение вегетационного периода. Наиболее чувствительным параметром водного режима ассимиляционного аппарата является интенсивность транспирации, что проявляется в увеличении транспирации при усилении загрязнения в пойме. Интенсивность транспирации выше в пойме. В условиях нефтехимического загрязнения выявлено нарушение хода суточных транспирационных процессов.

4. Впервые для Башкирского Предуралья получены количественные данные, характеризующие степень развития и особенности формирования корневых систем липы мелколистной. При усилении нефтехимического загрязнения увеличивается корненасыщенность почвы. В условиях максимального уровня загрязнения возрастает доля поглощающих корней и полускелетных корней на фоне уменьшения относительного содержания скелетных корней. При усилении загрязнения радиальный прирост скелетной корневой древесины уменьшается. Данные особенности являются адаптационным механизмом, обеспечивающим компенсацию повреждений надземных вегетативных органов.

5. Показано, что при исследовании корневых систем липы мелколистной метод бура дает завышенные, по сравнению с методом монолитов, данные по массе, и особенно – по длине корней. Степень завышения результатов увеличивается при уменьшении диаметра корней. Наиболее полное представление об особенностях строения корневых систем

липы мелколистной получено при комплексном использовании методов среза, почвенного бура и монолитов. При этом основное внимание рекомендуется уделять методу монолитов, а метод бура использовать в качестве вспомогательного.

6. Разработана формула для расчета коэффициента равномерности распределения корней в почве. При усилении загрязнения наблюдается уменьшение равномерности распределения корней в метровом слое почвы.

7. Адаптивный потенциал липы мелколистной реализуется на различных структурно-функциональных уровнях организации и является основой устойчивости данного вида к экстремальным техногенным лесорастительным условиям.

8. В целом, липа мелколистная рекомендуется к использованию при создании санитарно-защитных насаждений в крупных промышленных центрах нефтехимического профиля.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Сейдафаров Р.А., Уразгильдин Р.В. Характеристика морфологических параметров листьев липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill) в условиях промышленного загрязнения воздуха // Вестник Оренбургского Государственного Университета, 2007. № 75. С. 309-311.

2. Уразгильдин Р.В., Сейдафаров Р.А. Водный режим листьев липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill) в условиях промышленного загрязнения окружающей среды // Вестник Оренбургского Государственного Университета, 2007. № 75. С. 369-372.

3. Сейдафаров Р.А. Особенности водного режима листьев липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill) в условиях техногенного загрязнения // Материалы IV Всероссийской конференции в БГПУ «Организация территории. Статика, динамика, управление». Уфа, 2007. С. 74-75.

4. Сейдафаров Р.А., Уразгильдин Р.В. Водный режим листьев липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill) в условиях промышленного загрязнения (на примере Уфимского промышленного центра) // Материалы Всероссийской научной конференции «Устойчивость растений к неблагоприятным факторам внешней среды». Иркутск, 2007. С. 243-246.

5 Сейдафаров Р.А., Уразгильдин Р.В. Вегетационная динамика водного режима листьев липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill) в условиях техногенного загрязнения (на примере Уфимского промышленного центра) // Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы физической географии и геоэкологии: научные и образовательные аспекты». Нижний Новгород, 2007. С. 241-243

6. Сейдафаров Р.А., Зайцев Г.А. Исследование корненасыщенности почвы методом среза в насаждениях липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill) в условиях Уфимского промышленного центра // Современные проблемы экологии, микробиологии и иммунологии: Материалы региональной конференции молодых ученых с международным участием. – Екатеринбург-Пермь, 2007. С. 98-99

7. Сейдафаров Р.А., Уразгильдин Р.В. Оценка относительного жизненного состояния насаждений липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill) в условиях Уфимского промышленного центра // Материалы VII научно-практической конференции «Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан». Казань, 2007. С. 177-179.

8. Сейдафаров Р.А., Уразгильдин Р.В. Характеристика некоторых морфологических параметров листьев липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill) в экстремальных лесорастительных условиях // «Принципы и способы сохранения биоразнообразия»: Материалы III Всероссийской научной конференции. Пушино, 2008. С. 448-449.

9. Сейдафаров Р.А., Зайцев Г.А. Корненасыщенность почвы в насаждениях липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill) в условиях Уфимского промышленного центра: метод среза // «Принципы и способы сохранения биоразнообразия»: Материалы III Всероссийской научно-практической конференции. Пушино, 2008. С. 283-284.

10. Сейдафаров Р.А., Зайцев Г.А. Особенности формирования корневых систем липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill) в условиях техногенного загрязнения: масса корней // «Инновационный потенциал современной молодежи»: Материалы II Республиканской научно-практической конференции. Уфа, 2008. С. 115-120.

11. Сейдафаров Р.А., Кулагин А.А. Пигментный фонд липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра // «Инновационный потенциал современной молодежи»: Материалы II Республиканской научно-практической конференции. Уфа, 2008. С. 120-126.

12. Сейдафаров Р.А., Уразгильдин Р.В., Зайцев Г.А. Эколого-биологические особенности липы мелколистной в условиях техногенного загрязнения // Материалы III Всероссийской конференции в БГПУ «Организация территории. Статика, динамика, управление». Уфа, 2007. С. 47-48.

13. Сейдафаров Р.А., Уразгильдин Р.В., Зайцев Г.А. Корневые системы липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill) в условиях техногенеза // Аграрная Россия. 2008 (в печати).

14. Сейдафаров Р.А., Кулагин А.Ю., Уразгильдин Р.В., Зайцев Г.А. Эколого-биологические особенности липы мелколистной в условиях техногенного загрязнения// Аграрная Россия. 2008 (в печати).