

13. Раменский Л.Г. Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова. – Л.: Наука, 1971. – 335 с.
14. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск: Наука, 1978. – 319 с.
15. Тарханов В.М., Мошков А.В. Критерий экологической эффективности природопользования (возобновляемые природные ресурсы) // Устойчивое развитие дальневосточных регионов: эколого-географические аспекты. – Владивосток: Дальнаука, 1999. – С. 120–130.
16. Чайковский Ю.В. Элементы эволюционной диатропики. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
17. International Organization for Standardization. ISO 14001:1996 Environmental Management Systems // Specification with Guidance for Use. – Geneva: ISO, 1996. – P. 24–39.



УДК 581.522.4

Р.А. Сейдафаров

СТРУКТУРНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ УРОВНИ АДАПТАЦИЙ ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ (*TILIA CORDATA* MILL.) В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ УФИМСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА)

Изучены различные параметры вегетативных органов липы мелколистной всех классов возраста в условиях нефтехимического загрязнения окружающей среды. Составлена гипотетическая схема реализации адаптивного потенциала липы мелколистной в техногенных условиях.

Показано, что липа мелколистная характеризуется широкими адаптационными возможностями и может быть рекомендована для создания санитарно-защитных насаждений в крупных промышленных центрах нефтехимического профиля.

Ключевые слова: липа мелколистная, техногенез, нефтехимическое загрязнение, ассимиляционный аппарат, корневые системы, аккумуляция, адаптация.

R.A. Seydafarov

THE STRUCTURAL AND FUNCTIONAL ADAPTATION LEVELS OF *TILIA CORDATA* (*TILIA CORDATA* MILL.) IN TECHNOGENIC CONDITIONS (ON THE EXAMPLE OF THE UFA INDUSTRIAL CENTER)

*The *Tilia cordata* vegetative organs various parameters of all age classes in the petrochemical pollution conditions are studied. The hypothetical scheme of the *Tilia cordata* adaptive capacity realization in the technogenic conditions is compiled. It is shown that *Tilia cordata* is characterized by the wide adaptation abilities and can be recommended for the sanitary-protective plantation creation in the large petrochemical industrial centers.*

Key words: *Tilia cordata*, techno-genesis, petrochemical pollution assimilation apparatus, root systems, accumulation, adaptation.

Введение. Изучение адаптивного потенциала лесообразующих видов и механизмов его реализации в техногенных условиях является одной из ключевых проблем индустриальной дендрэкологии. От степени реализации адаптивного потенциала зависит перспективность использования любого вида древесного растения в техногенных условиях произрастания [1–6]. В то же время средоочищающие функции деревьев трансформируются в зависимости от возраста дерева и проявляются специфически в зависимости от типа преобладающего загрязнителя [7–9].

В связи с этим принципиально важно изучение потенциального средостабилизирующего вида применительно к различным техногенным условиям с учетом возрастных особенностей. Липа мелколистная занимает одно из ведущих мест в структуре лесного фонда Республики Башкортостан: на площади древостоев данного вида приходится свыше 30% всех липняков России [8]. Однако данный вид применительно к промышленным условиям Предуралья (характеризующихся преобладанием нефтехимического типа загрязнения в большинстве промышленных центров [9]) изучен фрагментарно. Проводившиеся ранее исследования были посвящены характеристике лип припевающего (30–40 лет) возраста. Было установлено, что адаптивный потенциал липы мелколистной в условиях нефтехимического загрязнения реализуется в припевающем возрасте на различных

структурно-функциональных уровнях организации [10]. Однако невыясненным остался вопрос, каковы механизмы адаптаций деревьев других классов возраста к нефтехимическому загрязнению?

В связи с этим особую актуальность представляет проведение для территории Предуралья исследований адаптационных реакций липы мелколистной всех классов возраста в условиях нефтехимического загрязнения.

Цель исследования – изучение адаптационных реакций вегетативных органов липы мелколистной всех классов возраста в условиях нефтехимического загрязнения.

Для реализации поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Изучить особенности формирования и адаптационные реакции ассимиляционного аппарата липы мелколистной в зависимости от уровня промышленного загрязнения.

2. Изучить особенности формирования и адаптационные реакции корневых систем липы мелколистной в условиях техногенного загрязнения.

3. Составить схему реализации адаптивного потенциала липы мелколистной в условиях нефтехимического загрязнения.

Материал и методы. В течение 2008–2011 гг. проведены комплексные поливозрастные исследования эколого-биологических особенностей липы мелколистной в условиях преобладающего нефтехимического загрязнения. Районом исследования являлся Уфимский промышленный центр, характеризующийся смешанным типом загрязнения окружающей среды с преобладанием нефтехимического компонента [9].

Объектами исследования послужили древостои липы мелколистной следующих возрастных групп: молодняк (0–10 лет), жердняк (11–20 лет), средневозрастной (21–30 лет), припевающий (31–40 лет), спелый (41–50 лет) и перестойный (более 50 лет) древостои [11].

Уфимский промышленный центр, руководствуясь литературными данными [9] и материалами собственных исследований [12, 13], был разделен на две зоны – загрязнения и контроля (рис. 1). В обеих зонах в древостоях липы мелколистной была заложена сеть постоянных и временных пробных площадей. Возраст деревьев определяли стандартными дендрохронологическими методами [14]. Сбор фактического материала проводился с модельных деревьев, выделенных в каждой возрастной категории на основе таксационных характеристик [15].

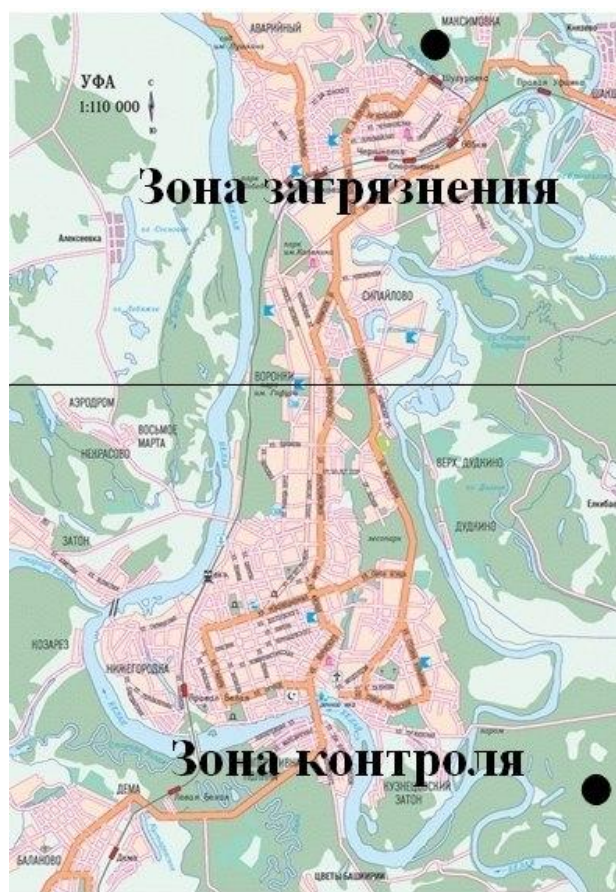


Рис. 1. Разделение Уфимского промышленного центра на зоны загрязнения (пунсонами обозначены места локализации пробных площадей)

Оценку относительного жизненного состояния древостоев проводили по методике В.А. Алексеева; площадь листьев определяли методом «палетки»; устьичный индекс и относительную длину жилок определяли на влажных микропрепаратах при 100-кратном увеличении с использованием микроскопов Carl Zeiss Jena (Germany) и USB-микроскопе Digimicro (China); водный режим изучался в полевых условиях по методике быстрого взвешивания с использованием электронных весов Zakłady mechaniki precyzyjnej (Poland) и ML-A05 (China); корневые системы изучались методом монолитов; содержание токсикантов в корнях определяли атомно-абсорбционным методом [11].

Статистическую обработку полученных данных проводили общепринятыми методами вариационной статистики с использованием программ Excel и Statistics for Windows.

Результаты исследования и обсуждение. Ранее результаты проведенных исследований были опубликованы блочно в различных работах [10–12]. Обобщенно эколого-биологические особенности липы мелколистной в условиях техногенного загрязнения характеризуются следующими особенностями.

Относительное жизненное состояние древостоев липы в условиях нефтехимического загрязнения характеризуется как ослабленное (L_N – от 68 до 76 %; L_N – индекс относительного жизненного состояния). Гибели древостоев не происходит. Не наблюдается также ухудшение жизненного состояния по мере взросления деревьев. Площадь листовой пластинки в целом уменьшается в ответ на усиление уровня загрязнения (в среднем с $26,8 \pm 0,2$ до $18,4 \pm 0,1$ см²). В то же время отмечено увеличение (с $18,1 \pm 0,3$ до $22,4 \pm 0,1$ см²) размеров листьев для деревьев в возрасте 10–30 лет. В условиях Уфимского промышленного центра наблюдается в целом увеличение количества устьиц при усилении загрязнения (в среднем с $75\text{--}110 \pm 4$ до $180\text{--}250 \pm 7$ шт/см²). Относительная длина жилок уменьшается при усилении загрязнения (в среднем с $11\text{--}13 \pm 0,8$ до $6\text{--}7 \pm 0,4$ мм/мм²). Листья липы в условиях Уфимского промышленного центра характеризуются высокими значениями относительного содержания воды (более 70 %). Данный параметр практически не изменяется при увеличении возраста дерева. Интенсивность транспирации в целом уменьшается при увеличении уровня техногенной нагрузки (с $130\text{--}140 \pm 4$ до $70\text{--}80 \pm 2$ мг/г·ч). В то же время приспевающий возраст является особенным для транспирационных процессов. Для деревьев этого возраста отмечено нарушения хода транспирационных процессов (резкие колебания от 65 ± 2 до 250 ± 7 мг/г·ч).

В условиях Уфимского промышленного центра происходит увеличение корнено насыщенности почвы по сравнению с контрольными значениями (в среднем в 1,8–2,9 раза по массе и в 1,5–2,6 раза по длине корней для деревьев, начиная с 20-летнего возраста). Имеет место также увеличение (с 21 до 35 %) доли поглощающих (диаметром менее 1 мм) и скелетных (диаметром более 3 мм) корней (с 43 до 55 %) на фоне уменьшения (с 36 до 10 %) доли полускелетных корней.

На основе полученных количественных данных была составлена гипотетическая схема реализации адаптивного потенциала липы мелколистной в условиях нефтехимического типа загрязнения Уфимского промышленного центра (рис. 2).

В условиях нефтехимического типа загрязнения Уфимского промышленного центра адапционные реакции характерны для всех классов возраста липы мелколистной. Причем, по мере взросления и старения древостоев, не происходило уменьшения адапционного потенциала.

Растения начинали испытывать стресс, связанный с произрастанием в условиях техногенного загрязнения, с начальных этапов онтогенеза. При этом принципиально учитывать то обстоятельство, что молодняк представляют собой только формирующиеся организмы. Поэтому в первые годы жизни необходимо максимально снизить деструктивное влияние на молодой организм. Важнейшей адапционной реакцией для деревьев данной возрастной генерации является уменьшение интенсивности транспирационных процессов. Это, в свою очередь, является фактором, способствующим сохранению влаги в листьях и, соответственно, разбавлению токсикантов, то есть уменьшению их концентрации.

Для растений в возрасте жердняка также характерно подавление транспирации. Но в случае с этой возрастной группой подобная особенность может оказаться негативным фактором, ибо жердняк представляет собой уже во многом сформировавшиеся деревья, и транспирация является важным фактором регулирования скорости и характера протекания физиологических процессов всего растения. Необходимо каким-либо образом компенсировать уменьшение скорости транспирационных процессов. Растения достигают этого путем увеличения площади листовой пластинки (рис. 2).



Рис. 2. Гипотетическая схема реализации адаптивного потенциала липы мелколистной в условиях нефтехимического загрязнения

Увеличение площади листа характерно и для средневозрастных деревьев. К этому возрасту вегетативные органы дерева уже полностью сформированы, и оно может в полной мере выполнять свои экологические функции по аккумуляции техногенных загрязнителей. Этому в немалой степени способствует увеличение площади листовой пластинки. Начиная с данной возрастной категории, аккумуляционная способность листьев существенно возрастает. По-видимому, при переходе к приспевающему возрасту токсиканты выступают в роли катализаторов скорости деления меристематических клеток, в результате чего у деревьев данного возраста увеличивается относительная длина жилок [3]. Деревья приспевающего возраста содержали максимальные по сравнению со всеми возрастными генерациями концентрации токсикантов в листьях [13]. Увеличение длины жилок способствовало тому, что начиналось перераспределение загрязняющих веществ из листьев в корни. В последних они накапливались в паренхимных клетках полускелетных и, в особенности, скелетных корней [5, 12].

Увеличение корненасыщенности почвы в древостоях липы мелколистной наблюдалось со средневозрастного состояния. Повышение корненасыщенности является важнейшей адаптационной реакцией, направленной на компенсацию повреждений надземных вегетативных органов, прежде всего листьев, как самых чувствительных с экологической точки зрения органов растения.

Увеличение корненасыщенности почвы касается не только полускелетных (1–3 мм в диаметра) и скелетных (> 3 мм) корней, но и самых тонких – поглощающих, ответственных за всасывание воды из почвы. Поэтому рост корненасыщенности помимо компенсационного имеет важное физиологическое значение: он является фактором, способствующим поддержанию высокой степени оводненности листьев, начиная со средневозрастной генерации. В более ранние возрастные периоды высокие значения относительного содержания воды в листьях, как уже отмечалось ранее, обеспечиваются преимущественно подавлением транспирации.

Высокие значения относительного содержания воды в листьях обеспечивают нормализацию физиологических процессов в растительном организме, которые неизбежно страдают в условиях техногенного стресса. В свою очередь оптимизация физиологических процессов предполагает, в частности, нормализацию

активности инициальных клеток меристематических тканей, что в сочетании с аккумуляцией эксгалатов, выступающих, как отмечено ранее, в роли катализаторов, по-видимому, является причиной увеличения устьичного индекса. Данная особенность, наряду с ростом корненасыщенности, также является важнейшей адаптационной реакцией, направленной на стабилизацию газообмена в техногенных условиях [4, 5].

Заключение. В результате проведенных исследований впервые для Башкирского Предуралья получены количественные данные, характеризующие особенности формирования ассимиляционного аппарата и корневых систем липы мелколистной всех классов возраста в условиях нефтехимического загрязнения.

Показано, что адаптационный потенциал липы мелколистной в условиях нефтехимического загрязнения реализуется на различных структурно-функциональных уровнях организации. Выявлены как общие для всех классов возраста, так и специфические для отдельных возрастных генераций адаптивные реакции.

В целом, липа мелколистная может быть рекомендована для создания санитарно-защитных насаждений в крупных промышленных центрах Предуралья нефтехимического профиля.

Литература

1. *Васфилов С.П.* Возможные пути негативного влияния кислых газов на растения // Журнал общей биологии. – 2003. – Т. 64. – № 2. – С. 146–159.
2. *Гаврилин И.И., Рунова Е.М.* Некоторые особенности газопоглотительной способности деревьев в урбоэкосистеме г. Братска // Вестн. Москов. гос. ун-та леса (Лесной вестн.). – 2012. – Т. 84. – № 1. – С. 135–138.
3. *Гетко Н.В.* Растения в техногенной среде: Структура и функция ассимиляционного аппарата. – Минск: Наука и техника, 1989. – 208 с.
4. *Илькун Г.М.* Загрязнители атмосферы и растения. – Киев: Наук. думка, 1978. – 246 с.
5. Влияние промышленного загрязнения почвы тяжелыми металлами на морфологические признаки растений *Phleum pratense L.* / *Н.М. Кахнина* [и др.] // Тр. Карельского науч. центра РАН. – 2009. – № 3. – С. 50–55.
6. *Лукина Ю.М., Василевская Н.В.* Воздействие промышленного загрязнения на строение листа *Betula czerespanovi* // Растительные ресурсы. – 2012. – Т. 48. – № 1. – С. 51–59.
7. *Неверова О.А.* Ксерофитизация листьев древесных растений как показатель загрязнения атмосферного воздуха (на примере г. Кемерово) // Лесное хоз-во. – 2002. – № 3. – С. 29–33.
8. *Мушинская Н.И.* О естественном возобновлении липы мелколистной в липняках Башкортостана // Леса Башкортостана: Современное состояние и перспективы. – Уфа: Автор, 1997. – С. 165–166.
9. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Башкортостан в 2009 году. – Уфа: АДИ-Пресс, 2009. – 301 с.
10. *Сейдафаров Р.А.* Характеристика морфологических параметров листьев липы мелколистной (*Tilia cordata Mill.*) в условиях промышленного загрязнения воздуха // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. – 2007. – № 75. – С. 309–311.
11. Методы изучения лесных сообществ / *Е.Н. Андреева* [и др.]. – СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. – 240 с.
12. *Сейдафаров Р.А., Сафиуллин Р.Р.* Адаптационные реакции корневых систем липы мелколистной в условиях техногенеза // Вестн. НГУ. Сер. Биология, клиническая медицина. – 2012. – Т. 10. – Вып. 3. – С. 74–80.
13. *Сейдафаров Р.А.* Механизмы адаптации ассимиляционного аппарата липы мелколистной (*Tilia cordata Mill.*) к техногенным условиям (на примере Уфимского и Стерлитамакского промышленных центров) // Приволжский науч. вестн. – 2012. – № 3 (7). – С. 6–14.
14. *Ваганов Е.А.* Роль и структура годичных колец хвойных. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 232 с.
15. *Ушаков А.И.* Лесная таксация и лесоустройство: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУЛ, 1997. – С. 54–55.