

© Р.А. СЕЙДАФАРОВ
sedafarov@yahoo.com

УДК 581.522.4

СПЕЦИФИКА И ВЗАИМОСВЯЗЬ АДАПТАЦИОННЫХ РЕАКЦИЙ ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА

АННОТАЦИЯ. Проведено исследование эколого-биологических особенностей липы мелколистной всех классов возраста в условиях нефтехимического загрязнения Уфимского промышленного центра. Установлено, липа мелколистная характеризуется «ослабленным» жизненным состоянием. При усилении загрязнения происходит уменьшение площади листовой пластинки и относительной длины жилок. Устьичный индекс и относительное содержание воды увеличиваются. Также имеют место увеличение корненасыщенности почвы, рост удельной доли скелетных и поглощающих корней. Выяснено, что аккумулирующая способность вегетативных органов не уменьшается с возрастом. На основе изучения эколого-биологических особенностей липы мелколистной в условиях нефтехимического загрязнения составлена гипотетическая схема реализации адаптивного потенциала. Установлено, что адаптационный потенциал липы мелколистной реализуется на различных структурно-функциональных уровнях организации. В условиях нефтехимического типа загрязнения Уфимского промышленного центра адаптационные реакции характерны для всех классов возраста липы мелколистной. Выяснено, что по мере взросления и старения древостоев, не происходит уменьшение адаптационного потенциала. Показана взаимосвязь адаптационных реакций надземных и подземных вегетативных органов и ее роль в обеспечении высокой выживаемости данного вида в условиях многолетнего техногенного стресса. Эколого-биологические особенности липы мелколистной различных классов возраста являются основной для составления рекомендаций по созданию санитарно-защитных насаждений в условиях нефтехимического загрязнения Уфимского промышленного центра и реконструкции уже имеющихся насаждений.

SUMMARY. The paper deals with ecological and biological features of *Tilia cordata* (all classes of age) affected by petrochemical pollution of Ufa industrial centre. The study shows that *Tilia cordata* (Small-leaved Lime) is characterized by a «weak» state of life. Significant reduction of leaf plates and relative length of veins under the influence of pollution are observed. Stomatal index and relative water content are increased in the pollution zone. An increase of the weight and length of roots and higher percentage of skeletal and absorbing roots have also been observed. It has been found that the accumulating ability of vegetative organs does not diminish with age. A hypothetical scheme of realization of adaptive capacity is suggested in the paper. It is established that the adaptive capacity of *Tilia cordata* is implemented on various structural and functional levels of the organization. Similar adaptive response is observed

throughout all age classes of Tilia cordata, the adaptive capacity does not reduce with age. The interconnection of adaptive response of overground and underground vegetative organs and their role in ensuring high survival rate of this species in a long-term anthropogenic stress are shown. Ecobiological features of Tilia cordata revealed by the study can be used when creating sanitary protective green zones or renewing existing plantations in Ufa industrial centre.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Нефтехимическое загрязнение, ассимиляционный аппарат, корневые системы, адаптационная реакция.

KEY WORDS. Petrochemical pollution, assimilation apparatus, root systems, adaptive response.

Введение. Изучение адаптационных реакций древесных растений в техногенных условиях является одним из ключевых вопросов современной дендрэкологии [1-7]. Однако, подходы к решению данной проблемы, как правило, направлены на характеристику надземных вегетативных органов (преимущественно — ассимиляционного аппарата), либо корневые системы изучаются фрагментарно. Кроме того, в большинстве случаев в силу разных причин не проводится характеристика возрастной динамики адаптационных реакций. Последнее является принципиальным моментом, поскольку невозможно предсказать, каким образом будут изменяться приспособительные механизмы по мере старения и взросления дерева.

Уфимский промышленный центр является одним из крупнейших индустриальных узлов Предуралья. Техногенное загрязнение в данном промышленном центре смешанное со значительной долей нефтехимического компонента и автотранспорта [8]. Липа мелколистная занимает одно из ведущих мест в структуре древостоев в целом и на территории Уфимского промышленного центра, в частности [9]. Однако, во-первых, данный вид применительно к техногенезу крайне слабо изучен, во-вторых, большинство насаждений Уфимского промышленного центра и других промышленных зон нефтехимического профиля вступили в стадии спелого (41-50 лет) и перестойного (свыше 50 лет) возрастов. Соответственно, необходимо оценить перспективность использования липы мелколистной в создании санитарно-защитных насаждений в крупных промышленных центрах Предуралья с нефтехимическим профилем загрязнения.

Ранее были проведены исследования особенностей формирования и адаптаций вегетативных органов липы приспевающего (31-40 лет) возраста в условиях Уфимского промышленного центра [10]. Характеристика других возрастов и общая оценка адаптационного потенциала не была осуществлена.

Методика исследования. Районом исследования служил Уфимский промышленный центр и его окрестности.

Объектом исследования являлись древостои липы мелколистной всех классов возраста: молодняк (0-10 лет), жердняк (11-20 лет), средневозрастные древостои (21-30 лет), приспевающие (31-40 лет), спелые (41-50 лет) и перестойные (старше 50 лет) [11].

Руководствуясь литературными данными [8] и результатами собственных исследований [12], район исследования был разделен на две зоны — загрязнения и контроля (рис. 1).

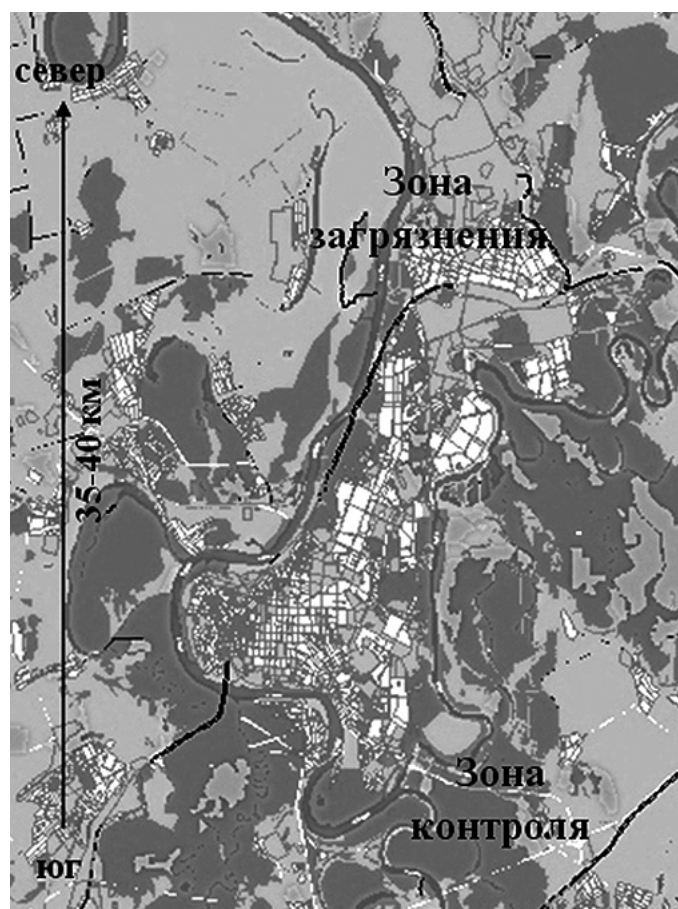


Рис. 1. Разделение района исследования на зоны загрязнения

В обеих зонах в древостоях липы мелколистной была заложена сеть постоянных и временных пробных площадей. Возраст деревьев определяли стандартными дендрохронологическими методами [13]. Сбор фактического материала проводился с модельных деревьев, выделенных в каждой возрастной категории на основе таксационных характеристик [14].

Оценку относительного жизненного состояния древостоев проводили по методике В.А. Алексева; площадь листьев определяли методом «палетки»; устьичный индекс и относительную длину жилок рассматривали 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 Zaklady mechaniki precyzyjnej (Poland) и ML-A05 (China); корневые системы изучались методом монолитов; содержание токсиантов в корнях определяли атомно-абсорбционным методом [11].

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

Результаты исследования.

Эколого-биологические особенности липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра.

Ранее в различных работах были опубликованы детальные характеристики эколого-биологических особенностей и аккумулирующих способностей вегетативных органов липы мелколистной всех классов возраста в условиях нефтехимического загрязнения Уфимского промышленного центра [12], [15]. Обобщенные особенности формирования и развития ассимиляционного аппарата и корневых систем липы мелколистной в анализируемых условиях выглядят следующим образом:

Относительное жизненное состояние древостоев липы в условиях нефтехимического загрязнения характеризуется как «ослабленное» ($L_N=70,2-71,8\%$; L_N — индекс ОЖС). Гибели древостоев не происходит. Не наблюдается также ухудшение жизненного состояния по мере взросления деревьев. В условиях контроля все древостои оцениваются как «здоровые» (L_N — более 80%). Степень поражения ассимиляционного аппарата — более 30% в зоне загрязнения, в зоне контроля — менее 10%. Количество мертвых ветвей — более 350% в зоне загрязнения, в зоне контроля — менее 15%. Следует отметить, что по мере взросления липы не наблюдается увеличение площади хлорозов и некрозов листовой пластинки.

Площадь листовой пластинки в целом уменьшается (с 31-33 до 20-23 см²) при усилении уровня загрязнения, за исключением жердняка и средневозрастных деревьев, для которых отмечена обратная динамика (21-26 см² в зоне загрязнения и 18-19 см² в контроле). В условиях Уфимского промышленного центра наблюдается в целом увеличение количества устьиц при усилении загрязнения (в среднем с 78 до 288 шт/см²). Относительная длина жилок уменьшается при усилении загрязнения (с 14 до 5 мм/мм²). Листья липы в условиях Уфимского промышленного центра характеризуются высокими значениями относительного содержания воды (минимальная степень оводненности листьев — 73%). Данный параметр практически не изменяется при увеличении возраста дерева. Установлены общие закономерности влияния уровня загрязнения на интенсивность транспирационных процессов у деревьев различного возраста: у молодняка, спелых и перестойных деревьев при усилении загрязнения происходит увеличение количества испаряемой влаги на 48,3-69,4 мг/г•час. У жердняка и средневозрастных деревьев наблюдается обратная картина: интенсивность транспирации уменьшается в зоне загрязнения: на 29,9-35,8 мг/г•час.

В условиях Уфимского промышленного центра происходит увеличение корненасыщенности почвы (с 200-7000 до 15000 г/10⁻¹ м³) и увеличение доли поглощающих (с 12 до 30%) и скелетных (с 35 до 55%) корней.

Установлено, что аккумулирующая способность листьев и корней не уменьшается с возрастом. Так, содержание серы в листьях у деревьев старше 10 лет колеблется в пределах 0,122-0,172 мг/г, практически не меняясь ($\pm 0,07$ мг/г) по мере взросления и старения. Содержание бензапирена в скелетных и полускелетных корнях возрастает от одной возрастной генерации к другой (с 50 нг/г у молодняка до 450 нг/г у перестойных деревьев).

Реализация адаптивного потенциала липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра.

В условиях нефтехимического типа загрязнения Уфимского промышленно-го центра адаптационные реакции характерны для всех классов возраста липы мелколистной. Принципиально, что по мере взросления и старения древостоев, не происходит уменьшение адаптационного потенциала.

Растения начинают испытывать стресс, связанный с произрастанием в усло-виях техногенного загрязнения, с начальных этапов онтогенеза. При этом важ-но учитывать то обстоятельство, что молодняк (0-10 лет) представляют собой только формирующиеся организмы. Поэтому в первые годы онтогенеза необхо-димо максимально снизить деструктивное влияние токсикантов на молодой организм. Важнейшей адаптационной реакцией для деревьев данной возрастной генерации является уменьшение интенсивности транспирационных процессов. Снижение скорости испарения влаги листьями является фактором, способ-ствующим сохранению в них влаги и, соответственно, разбавлению токсикантов, то есть уменьшению их концентрации (рис. 2).

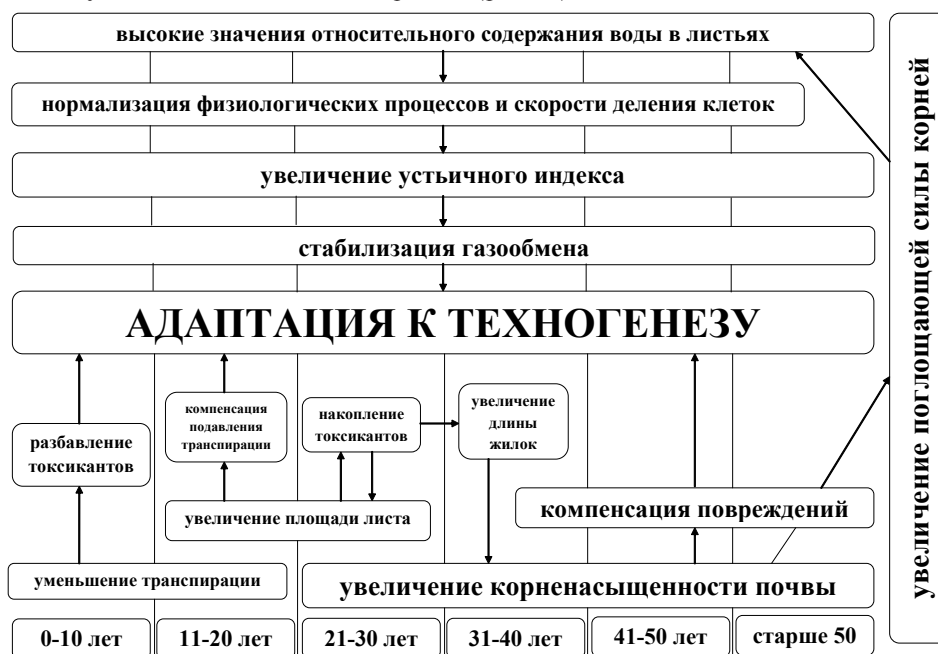


Рис. 2. Схема реализации адаптивного потенциала липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра

Для растений в возрасте жердняка (11-20 лет) также характерно подавление транспирации. Но с этой возрастной группой подобная особенность может оказаться негативным фактором, ибо жердняк представляет собой уже во многом сформировавшиеся деревья, а 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.

Увеличение площади листа характерно и для средневозрастных деревьев (21-30 лет). К этому возрасту вегетативные органы дерева уже полностью сформированы, и оно может в полной мере выполнять свои экологические функции по аккумуляции техногенных загрязнителей. Начиная с данной возрастной категории, аккумуляционная способность листьев существенно возрастает. По-видимому, при переходе к приспевающему (31-40 лет) возрасту, токсиканты выступают в роли катализаторов скорости деления меристематических клеток, в результате чего у деревьев данного возраста увеличивается относительная длина жилок. Деревья приспевающего возраста содержат максимальные по сравнению со всеми возрастными генерациями концентрации токсикантов в листьях. Увеличение длины жилок способствует тому, что начинается перераспределение загрязняющих веществ из листьев в корни. В последних они накапливаются в паренхимных клетках полускелетных, и в особенности, скелетных корней [12].

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 экссудатов, выступающих, как отмечено выше, в роли катализаторов, по-видимому, является причиной увеличения устьичного индекса [16]. Данная особенность, наряду с ростом корненасыщенности, также является важнейшей адаптационной реакцией, направленной на стабилизацию газообмена в техногенных условиях. Отсутствие водного дефицита создает благоприятные предпосылки для процессов фотосинтеза, дыхания, ферментативной активности растения и соотношения минеральных веществ [17].

В целом увеличение корненасыщенности почвы в древостоях липы мелколистной (прежде всего — по массе корней, как общей, так и фракционной) наблюдается со средневозрастного состояния. Увеличение 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 было отмечено выше, обеспечиваются преимущественно подавлением транспирации).

Заключение. Таким образом, адаптационный потенциал липы мелколистной в условиях нефтехимического загрязнения реализуется на различных структурно-функциональных уровнях организации. Взаимосвязь адаптационных реакций надземных и подземных вегетативных органов обеспечивает высокую выживаемость данного вида в условиях многолетнего техногенного стресса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мартынюк А.А. Строение фитомассы крон и ее вертикально-фракционное распределение в древостоях сосны, подверженных аэротехногенному загрязнению // Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник. 2008. № 1. С. 121-126.
2. Барановский В.В., Меншиков С.Л., Завьялов К.Е. Состояние сосновых древостоев в зоне действия каменск-уральского промышленного центра // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2009. № 22-2. Т. 1. С. 72-74.
3. Двадненко М.В., Лявина Е.Б., Бойко А.Р. Зеленый фонд Краснодаря // Успехи современного естествознания. 2007. № 9. С. 90
4. Майдебуря И.С., Чупахина Г.Н. Оценка жизненного состояния древостоя в условиях города // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2007. № 1. С. 88-97.
5. Смирнова А.В. Влияние загрязнения атмосферы и почвы на состояние липы, тополя и каштана в условиях г. Тулы // Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник. 2003. № 2. С. 202-205.
6. Гераськина Н.П. Биоиндикационная оценка устойчивости лесных экосистем к промышленному загрязнению среды // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2007. №1. С. 61-65.
7. Васфилов С.П. Возможные пути негативного влияния кислых газов на растения // Журнал общей биологии. 2003. Т. 64. № 2. С. 146-159.
8. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Башкортостан в 2009 году. Уфа, 2009. 301 с.
9. Мушинская Н.И. О естественном возобновлении липы мелколистной в липняках Башкортостана // Леса Башкортостана: Современное состояние и перспективы. Уфа, 1997. С. 165-166.
10. 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.
11. Андреева Е.Н., Баккал, И.Ю., Горшков В.В. и др. Методы изучения лесных сообществ. СПб., 2002. 240 с.
12. Сейдафаров Р.А., Сафиуллин Р.Р. Адаптационные реакции корневых систем липы мелколистной в условиях техногенеза // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Биология, клиническая медицина. 2012. Вып. 3. Т. 10. С. 74-80.
13. Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Роль и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН, 2000. 232 с.
14. Ушаков А.И. Лесная таксация и лесоустройство: учебное пособие. М., 1997. С. 54-55.
15. Сейдафаров Р.А., Сафиуллин Р.Р. Механизмы адаптации ассимиляционного аппарата липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) к техногенным условиям (на примере Уфимского и Стерлитамакского промышленных центров) // Приволжский научный вестник. 2012. № 3 (7). С. 6-14.
16. Гетко Н.В. Растения в техногенной среде: Структура и функция ассимиляционного аппарата. Минск, 1989. 208 с.
17. Илькун Г.М. Загрязнители атмосферы и растения. Киев, 1978. 246 с.

REFERENCES

1. Martynjuk, A.A. The structure of tree head phytomass and its vertical fractional distribution in pine stand subject to aero technogenic pollution. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa — Lesnoj vestnik — Bulletin of Moscow State Forestry University — Forestry Bulletin*. 2008. Vol. 1. Pp. 121-126. (in Russian).

2. Baranovskij, V.V., Menshikov, S.L., Zav'jalov, K.E. The state of pine stand in the area affected by Kamensk-Uralsky industrial centre. *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta — Bulletin of Orenburg State Agricultural University*. 2009. Part 1. Vol. 22-2. Pp. 72-74. (in Russian).
3. Dvadnenko, M.V., Ljavina, E.B., Bojko, A.R. The vegetation of Krasnodar. *Uspehi sovremennogo estestvoznanija — Current achievements in natural sciences*. 2007. Vol. 9. P. 90. (in Russian).
4. Majdebura, I.S., Chupahina, G.N. The evaluation of vital status of forest stands under urban conditions. *Vestnik Baltijskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta — Bulletin of I. Kant Baltic Federal University*. 2007. Vol. 1. Pp. 88-97. (in Russian).
5. Smirnova, A.V. The influence of air and ground pollution on the state of lime-, poplar- and chestnut- trees under urban conditions of Tula. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa — Lesnoj vestnik — Bulletin of Moscow State Forestry University — Forestry Bulletin*. 2003. Vol. 2. Pp. 202-205. (in Russian).
6. Geras'kina, N.P. Bioindication-based assessment of the resistance of forest ecosystems to industrial pollution. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta — Bulletin of Voronezh State University*. 2007. №. 1. Series «Chemistry. Biology. Pharmacy». Pp. 61-65. (in Russian).
7. Vasfilov, S.P. Possible ways of negative influence of acid gases on plants. *Zhurnal obshhej biologii — Journal of General Biology*. 2003. Vol. 64. № 2. Pp. 146-159. (in Russian).
8. *Gosudarstvennyj doklad o sostojanii okruzhajushhej prirodnoj sredy Respubliki Bashkortostan v 2009 godu* [State report on the environment condition in the Republic of Bashkortostan in 2009]. Ufa, 2009. 301 p. (in Russian).
9. Mushinskaja, N.I. On natural restocking of the Small-leaved Lime in lime-tree forests of Bashkortostan // *Lesnaja Bashkortostana: Sovremennoe sostojanie i perspektivy* [The forests of Bashkortostan: Current status and future prospects]. Ufa, 1997. Pp. 165-166. (in Russian).
10. Sejdafarov, R.A., Urazgil'din, R.V. Characteristics of morphological parameters of the leaves of the Small-leaved Lime (*Tilia cordata* Mill.) affected by industrial pollution. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta — Bulletin of Orenburg State University*. 2007. Vol. 75. Pp. 305-311. (in Russian).
11. Andreeva, E.N., Bakkal, I.Ju., Gorshkov, V.V. et al. *Metody izuchenija lesnyh soobshhestv* [Methods of studying forest communities]. St-Petersburg, 2002. 240 p. (in Russian).
12. Sejdafarov, R.A., Safiullin, R.R. Adaptive response of the root systems of *Tilia cordata* in technogenesis. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta — Bulletin of Novosibirsk State University*. 2012. № 3. Vol. 10. Series «Biology, clinical medicine». Pp. 74-80. (in Russian).
13. Vaganov, E.A., Shashkin, A.V. *Rol' i struktura godichnyh kolec hvojnnyh* [The role and structure of annual rings of coniferous wood]. Novosibirsk, 2000. 232 p. (in Russian).
14. Ushakov, A.I. *Lesnaja taksacija i lesoustrojstvo: uchebnoe posobie* [Forest taxation and forest management]. Moscow, 1997. Pp. 54-55. (in Russian).
15. Sejdafarov, R.A., Safiullin, R.R. Mechanisms of adaptation of assimilation apparatus of *Tilia Cordata* (*Tilia Cordata* Mill.) to the technogenesis conditions (in Ufa and Sterlitamak industrial centers). *Privolzhszkij nauchnyj vestnik — Privolzhszky Scientific Journal*. 2012. № 3(7). Pp. 6-14. (in Russian).
16. Getko, N.V. *Rastenija v tehnojennoj srede: Struktura i funkcija assimilacionnogo apparata* [Plants in anthropogenic environment: the structure and functions of assimilation apparatus]. Minsk, 1989. 208 p. (in Russian).
17. Il'kun, G.M. *Zagrzazniteli atmosfery i rastenija* [Air contaminants and plants]. Kiev, 1978. 246 p. (in Russian).