

## ОСОБЕННОСТИ МОРФОГЕНЕЗА ГОДИЧНОГО ПРИРОСТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

© 2010 г. К. Е. Ведерников, И. Л. Бухарина

*Ижевская государственная сельскохозяйственная академия*

*426069 Ижевск, ул. Студенческая, 11*

*E-mail: buharin@udmlink.ru*

Поступила в редакцию 05.09.2008 г.

Проведены исследования по изучению особенностей формирования годичных вегетативных побегов у древесных растений, произрастающих в насаждениях разных экологических категорий в крупном промышленном центре. По характеру изменения морфологических структур побега выделены кластеры. В условиях интенсивной техногенной нагрузки ростовые реакции, проявляющиеся в изменении размеров и числа структурных элементов побега, видоспецифичны. Морфологические показатели побега клена ясенелистного и рябины обыкновенной могут быть рекомендованы для оперативного мониторинга состояния городской среды.

*Городская среда, древесные насаждения, годичные вегетативные побеги, морфогенез.*

Растения, произрастая в городской среде, испытывают стресс, который выражается в изменении биохимического состава, физиологических процессов и, как следствие, морфологических признаков. Изучение особенностей морфоструктуры годичного прироста древесных растений в городской среде позволяет оценить комплексное воздействие антропогенных и природных факторов на формирование и рост побега. Полученные результаты можно использовать в целях биоиндикации и биомониторинга состояния экотопов, в зонировании урбанизированных территорий по степени интенсивности техногенной нагрузки [4, 7–9].

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в течение трех лет (2004–2006 гг.) в крупном промышленном центре г. Ижевск, с населением свыше 640 тыс. человек, развитой промышленностью, транспортной сетью и социальной инфраструктурой. Уровень загрязнения в Ижевске соответствует среднестатистическим показателям городов Уральского региона.

Климат Ижевска умеренно континентальный. Средняя годовая температура воздуха +2.4 °С. Безморозный период длится в среднем 128 дней. Продолжительность солнечного сияния 1839 ч в год. Годовое количество осадков неравномерно

распределено по месяцам и в среднегодовом исчислении составляет 508 мм [5].

Объектами исследования стали девять видов древесных растений, на долю которых приходится около 70% озелененной территории города. Изучаемые виды произрастали в различных структурно-функциональных типах насаждений: при магистральных посадках (улицы Удмуртская и К. Либкнехта) и санитарно-защитных зонах (СЗЗ) промышленных предприятий – основных загрязнителей города: ОАО “Ижсталь”, “Нефтемаш”, “Буммаш”, “Автозавод”, ИЭМЗ. Опираясь на методические подходы Н.С. Краснощековой [3], в качестве зон условного контроля (ЗУК) выбраны пригородная зона и территория самого крупного городского парка – ЦПКиО им. С.М. Кирова площадью 113 га, с компактной нерасчлененной конфигурацией. На основании фондовых материалов Удмуртского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УЦГМС), для каждого района исследований мы рассчитали индекс загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА) по пяти приоритетным загрязнителям: оксид углерода, диоксид азота, формальдегид, бенз(а)пирен, взвешенные вещества (таблица). Согласно картированию, проведенному лабораторией экологии почв Удмуртского государственного университета (при этом использован суммарный показатель загрязнения почвы (СПЗ), рассчитываемый как сумма коэффициентов концентрации, т.е. отно-

Значения комплексного индекса загрязнения атмосферы (ИЗА) и суммарного показателя загрязнения почв (СПЗ) в районах исследований (г. Ижевск)

Район исследования	ИЗА	СПЗ*
Зона условного контроля		
ЦПКиО им. С.М. Кирова	5.21–3.10	8–16
Санитарно-защитные зоны промышленных предприятий		
ОАО “Автозавод”	11.90–9.83	32–128 и > 128
ОАО “Буммаш”	15.85–9.24	16–32
ОАО “Ижсталь”	9.20–13.12	32–128 и > 128
Ижевский электромеханический завод (ИЭМЗ)	7.84–12.17	32–128
ОАО “Нефтемаш”	11.91–8.76	16–32
Магистраль		
Ул. Удмуртская	11.91–9.35	16–28
Ул. К. Либкнехта	11.30–10.40	16–32

\* Ориентировочная оценочная шкала уровня загрязнения (категории загрязнения) почв: < 16 – низкий (допустимая), 16–32 – средний (умеренно опасная), 32–128 – высокий (опасная), > 128 – очень высокий (чрезвычайно опасная).

шений содержания элемента в исследуемой почве к фоновой концентрации [11]), почвы в зонах условного контроля отличаются низким уровнем загрязнения. В магистральных посадках и СЗЗ промышленных предприятий уровень загрязнения почв оценивается как средний и высокий, а в районе предприятий “Ижсталь” и “Автозавод” – как очень высокий (таблица).

Отбор учетных растений (по 10–15 особей каждого вида в каждом исследуемом районе) проведен на основании описания пробных площадей (по 5–10 шт., площадью не менее 0.25 га). Учетные растения имели хорошее либо удовлетворительное жизненное и средневозрастное генеративное онтогенетическое состояние [2, 12, 14].

Морфометрические показатели годичного побега (годичного прироста) деревьев и кустарников фиксировали после остановки ростовых процессов (в начале сентября) по десяти верхушечным вегетативным побегам, отобранным с южной экспозиции средней части кроны учетных растений. Определяли длину, число мемеров, массу (сырую и сухую) и площадь (контурно-весовым методом) листьев на годичном приросте, рассчитывали удельную листовую массу как отношение сухой массы листьев к площади листовой поверхности.

Для интерпретации полученных результатов использована программа “Statistica 5.5”, применены методы главных компонент, кластерного и дисперсионного анализа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве процедуры, позволяющей организовать и классифицировать большой объем данных в описательной стадии исследований, мы применили процедуру кластерного анализа, используя евклидово расстояние как наиболее общий тип. По категориям насаждений кластеров выделить не удалось. Объединение в кластеры произошло по видовой специфике морфоструктуры годичного прироста: в одном из них объединились клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) и рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), во втором – остальные изучаемые нами виды. Более того, и у клена, и у рябины были выделены группы со сходными совокупностями морфологических признаков по зонам произрастания: в составе насаждений санитарно-защитных зон промышленных предприятий и магистральных посадок (расстояние 20–30%) и в насаждениях зон условного контроля (15–20%) (рис. 1). Таким образом, можно полагать, что в условиях интенсивного загрязнения среды у рябины и клена происходит достоверное изменение морфологических показателей годичного прироста.

Проверку статистической значимости наиболее возможной закономерности формирования и роста побега далее проводили с помощью метода главных компонент и многофакторного дисперсионного анализа. Методом главных компонент установлена структура взаимосвязи между фиксируемыми параметрами побега и сгруппировано число переменных. При этом первая главная компонента отражает параметры ассимиляционного аппарата растений, она высоко значима и отрицательно коррелирует с сырой (коэффициент корреляции  $r = -0.91$ ) и сухой массой ( $r = -0.88$ ), а также площадью ( $r = -0.86$ ) листьев. На эту компоненту приходится 39% изменчивости, что свидетельствует о значительном изменении этих показателей побега у растений в санитарных зонах промышленных предприятий и магистральных посадках. Вторая главная компонента охватывает 15% изменчивости, с ней тесно коррелирует длина годичного побега ( $r = -0.75$ ). Главные компоненты 3 и 4 можно характеризовать как компоненты числа мемеров побега и показателя массы единицы площади листа, на них приходится 14 и 10% изменчивости, соответственно.

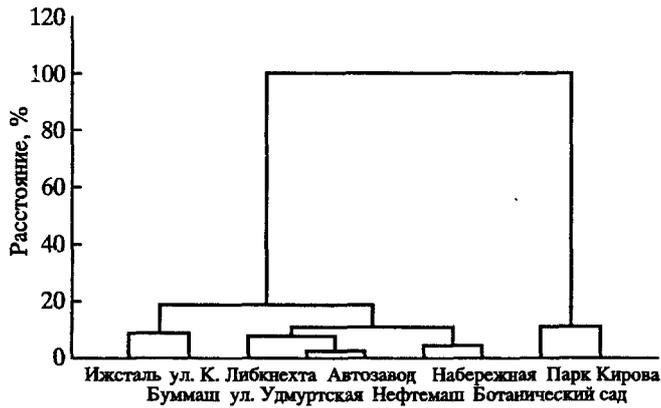


Рис. 1. Результаты кластерного анализа морфометрических параметров клена ясенелистного, произрастающего в различных функциональных зонах (г. Ижевск).



Рис. 2. Положение объектов в осях главных компонент 1 и 2.

Построение графиков положения объектов изучения в осях координат главных компонент 1 и 2 (рис. 2) показало, что у клена ясенелистного и рябины обыкновенной в зоне интенсивного загрязнения изменяются масса и площадь листьев, а у клена ясенелистного, кроме того, и длина годовичного побега.

Для выявления достоверности влияния на отдельные морфологические параметры годовичного побега древесных растений таких факторов, как видовые особенности и условия места произрастания, проведен многофакторный перекрестно-иерархический дисперсионный анализ. Установлено, что влияние этих факторов, а также влияние их взаимодействия, является значимым для структуры побега (уровень значимости  $P < 0.05$ ). Для сравнения различий использовался метод множественного сравнения LSD-test.

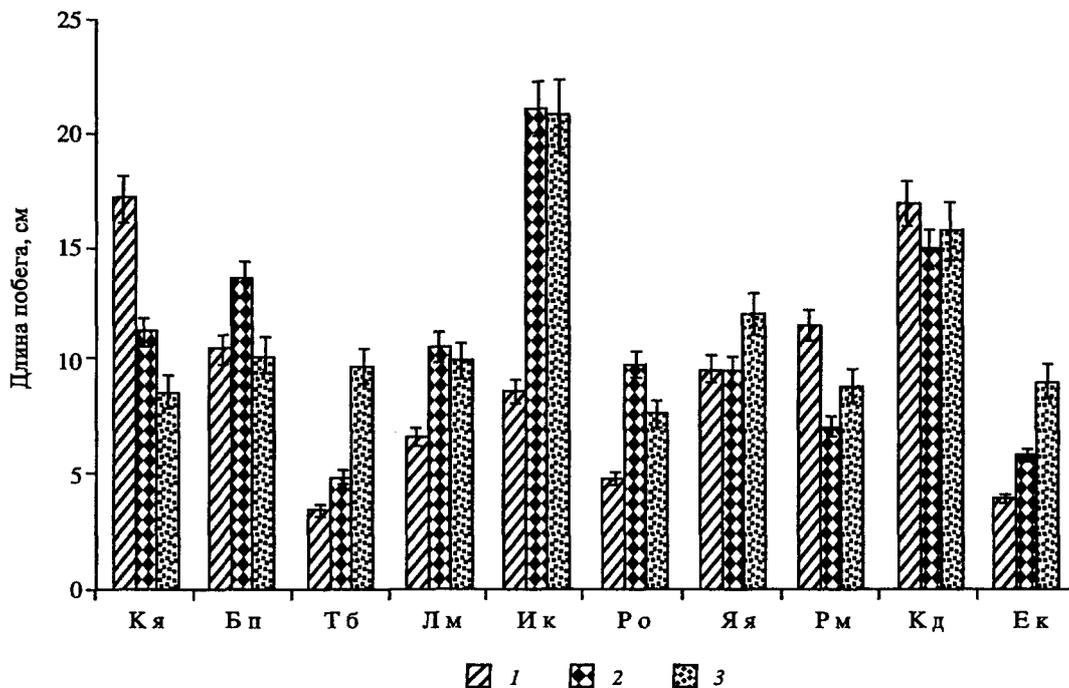


Рис. 3. Длина (см) годовичного побега древесных растений, произрастающих в различных функциональных зонах города: 1 – ЗУК, 2 – СЗЗ промышленных предприятий, 3 – Магистралей; Кя – клен ясенелистный, Бп – береза повислая, Тб – тополь бальзамический, Лм – липа мелколистная, Ик – ива козья, Ро – рябина обыкновенная, Яя – яблоня ягодная, Рм – роза майская, Кд – карагана древовидная, Ек – ель колючая.

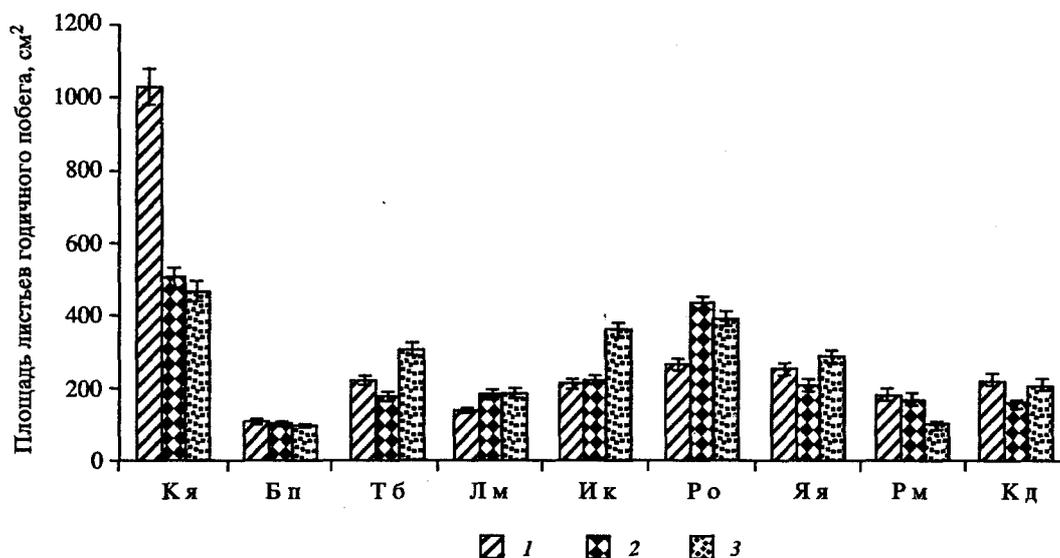


Рис. 4. Площадь листьев на годичном побеге древесных растений, произрастающих в различных функциональных зонах города. Обозначения как на рис. 3.

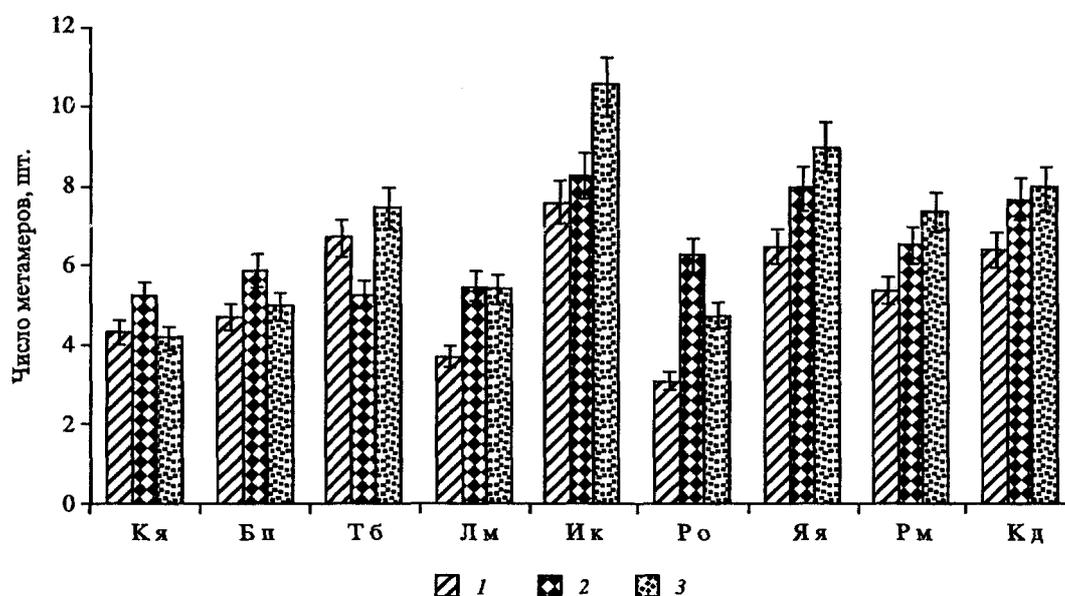


Рис. 5. Число метамеров на годичном побеге древесных растений, произрастающих в различных функциональных зонах города. Обозначения как на рис. 3.

Анализ видовых особенностей показал, что годичные побеги у розы майской (*Rosa majalis* Negtm.) укорачиваются на 2.7–4.4 см (при 95% доверительном интервале), при этом число узлов увеличивается, а площадь листьев уменьшается (рис. 3–5). У клена ясенелистного с повышением уровня загрязнения среды также уменьшаются длина годичного побега – на 5.9–8.6 см (рис. 3) и площадь листьев – почти в два раза (рис. 4), что согласуется с результатами кластерного и факторного анализов. У караганы древовидной (*Caragana arborescens* Lam.) в зоне влияния про-

мышленных предприятий годичный прирост также сокращается, уменьшается площадь его ассимилирующей поверхности, а узлы на побеге при этом располагаются чаще. Сокращение длины, числа и размеров структурных элементов побега соответствует отмечаемому исследователями явлению ксерофитизации структур растений в условиях техногенной нагрузки [4, 7, 8].

По Ю.З. Кулагину [4], минимизация размеров побега у древесных растений носит преадаптивный характер и наблюдается у видов, устойчивых

к неблагоприятным факторам внешней среды. В.С. Николаевский [8] утверждает, что явление ксероморфности способствует повышению газоустойчивости видов. Ряд авторов полагает, что подавление роста клеток, тканей и органов у растений связано с аккумуляцией поллютантов, которые выступают в роли дискоординаторов регуляторных механизмов, подавляют синтез АТФ и изменяют активность ферментных систем [13, 16]. Но в научной литературе появляются данные о том, что в условиях загрязнения среды у некоторых довольно устойчивых видов может происходить и удлинение годового побега (на примере березы повислой) [15].

Выявлено, что в магистральных посадках у ивы козьей (*Salix caprea* L.) и рябины обыкновенной происходит удлинение годового побега на 12.2 и 2.8 см соответственно, что связано с увеличением числа метамеров, при этом масса и площадь листьев на побеге также возрастают. У липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) (в СЗЗ промышленных предприятий и в магистральных посадках), яблони ягодной (*Malus baccata* L.) (только в магистральных посадках) и березы повислой (*Betula pendula* Roth.) (в СЗЗ промышленных предприятий) годичный побег удлиняется за счет увеличения числа метамеров, при этом показатели массы и площади листовой поверхности остаются неизменными. У тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) достоверное увеличение длины побега (на 6.3 см) наблюдается только в магистральных посадках, при этом число узлов на побеге существенно не изменяется, а площадь и масса листьев увеличиваются.

Удлинение годового прироста у большинства изученных нами видов растений, на наш взгляд, может быть вызвано стимулирующим влиянием невысоких концентраций тяжелых металлов, часть которых является биогенными элементами, а также более высокими температурами воздуха в городе и обильным выпадением осадков, наблюдаемым в последние годы. Безусловно, требуется изучение внутриклеточного механизма данного явления.

Показатель удельной листовой массы тесно связан со скоростью роста, интенсивностью фотосинтеза и газообмена и выступает в качестве меры склерофильности листьев [6]. По результатам дисперсионного анализа на его величину существенное влияние оказывают видовые особенности ( $P = 10^{-3}$ ) и условия места произрастания ( $P = 2 \times 10^{-7}$ ). Статистически доказанных различий по годам исследования не выявлено. Наибольшей удельной листовой массой отличаются тополь бальзамический (7.64), рябина обыкновенная

(7.12) и роза майская (7.14 мг см<sup>-2</sup>). Немного ниже этот показатель у яблони ягодной (6.33 мг см<sup>-2</sup>). У остальных видов древесных растений он находится в пределах 5.0–5.5 мг см<sup>-2</sup> причем различия между этими тремя группами растений статистически достоверны.

У большинства изученных видов в насаждениях санитарно-защитных зон промышленных предприятий масса единицы площади листа возрастает (за исключением ивы козьей и караганы древовидной). У рябины обыкновенной и розы майской она увеличивается и в магистральных посадках. У ивы козьей в условиях интенсивной техногенной нагрузки – в магистральных посадках – этот показатель, наоборот, снижается. Карагана древовидная в разных типах насаждений отличается стабильностью удельной листовой массы. Объединив данные, относящиеся к листьям изученных нами видов древесных растений, произрастающих в разных типах насаждений, мы обнаружили возрастание этого показателя по мере усиления степени воздействия техногенной среды.

**Заключение.** По результатам проведенных исследований можно заключить, что в условиях техногенной среды у одних видов древесных растений наблюдается ксерофитизация морфологических структур годового прироста (клен ясенелистный, роза майская, карагана древовидная), у других – удлинение годового побега (ива козья, рябина обыкновенная, липа мелколистная, яблоня ягодная, тополь бальзамический и береза повислая). При этом удлинение годового побега у большинства изученных видов древесных растений сопровождается существенным увеличением числа его метамеров. Таким образом, условия городской среды влияют не только на постэмбриональную стадию побегообразования древесных растений, что проявляется в изменении длины годового побега и его междоузлий, размеров ассимиляционного аппарата и обусловлено влиянием оксидов углерода, подкисляющих среду клеток эпидермиса и имитирующих действие ауксинов [1, 10]. Имеет место влияние и на эмбриональную фазу развития побега, когда происходит закладка метамеров (число метамеров побега, количество листьев и т.д.).

Выявленные при усилении степени техногенной нагрузки достоверные изменения показателей площади и массы листьев на годовом приросте клена ясенелистного и рябины обыкновенной, а также длины побега у клена ясенелистного, позволяют рекомендовать морфометрические параметры побега этих видов к использованию в оперативном мониторинге состояния урбано-среды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васфилов С.П. Возможные пути негативного влияния кислых газов на растения // Журн. общей биологии. 2003. Т. 64. № 2. С. 146–159.
2. Гришина Л.А., Самойлова Е.М. Учет биомассы и химический анализ растений. М.: Изд-во МГУ, 1971. 99 с.
3. Краснощекова Н.С. Оздоровление внешней среды Москвы средствами озеленения // Оздоровление окружающей среды. М.: ЦЕНТИ Минжилкомхоза РСФСР, 1973. С. 60–70.
4. Кулагин Ю.З. Индустриальная дендрэкология и прогнозирование. М.: Наука, 1985. 117 с.
5. Макальская В.Н. Климат // Природа Ижевска и его окрестностей: Ижевск: Удмуртия, 1998. С. 17–38.
6. Мигалина С.В., Горбунова В.Д. Стратегия выживания лесообразующих видов берез в условиях климатического стресса на Урале // Особь и популяция – стратегии жизни. Матер. Всерос. популяционного семинара. Уфа: Вили Окслер, 2006. С. 454–460.
7. Неверова О.А., Колмогорова Е.Ю. Древесные растения и урбанизированная среда: экологические и биотехнологические аспекты. Новосибирск: Наука, 2003. 222 с.
8. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск: Наука, 1979. 213 с.
9. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояние наземных экосистем методами фитоиндикации. М.: Изд-во МГУЛ, 1999. 193 с.
10. Полевой В.В., Саламатова Т.С. Физиология роста и развития растений. Л.: Изд-во ЛГУ, 1991. С. 55–60.
11. Ревич Б.А., Саев Ю.Е., Смирнова Р.С., Сорокина Е.П. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 112 с.
12. Родин Л.Е., Релизов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 143 с.
13. Сергейчик С.А. Физиологические и экологические аспекты адаптогенеза в условиях техногенеза // Проблемы физиологии и биологии древесных растений. Минск: Наука и техника, 1989. С. 246–298.
14. Смирнова О.В., Чистякова А.А., Попадюк Р.В., Евстигнеев О.И., Коротков В.Н., Митрофанова М.В., Пономаренко Е.В. Популяционная организация растительного покрова лесных территорий (на примере широколиственных лесов Европейской части России). Пущино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1990. 92 с.
15. Турмухаметова Н.В. Адаптация березы повислой к условиям урбанизации // Принципы и способы сохранения биоразнообразия. Матер. Всерос. науч. конф. Йошкар-Ола: Изд-во МарГУ, 2006. С. 336–337.
16. Lambers H., Poorter H. Inherent variation in growth rate between higher plants: A search for physiological causes and ecological consequences // Advances in Ecological Research. L.: Acad. Press., 1992. V. 23. P. 188–242.

## Specific Features of Annual Increment Morphogenesis in Tree Plants under Urban Conditions

K. E. Vedernikov, I. L. Bukharina

Specific features of the vegetative shoot formation in tree plants growing in plantations of different ecological categories were studied in a large industrial center. Under the intense technogenic impact, growth responses displaying in changes of shoot sizes and numbers of structural elements are species specific. The urban environment affects all the developmental phases of shoots. Morphological characteristics of shoots in *Acer negundo* L. and *Sorbus aucuparia* L. may be used for monitoring of the urban environment.

*Key words:* urban environment, tree plantations, annual vegetative shoots, morphogenesis.