

Глава 5.

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

УДК 581.5:581.19+581.11

doi: 10.31360/2225-3068-2021-78-107-118

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ВИДОВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ
В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ СУБТРОПИЧЕСКИХ
УРБОСИСТЕМ**

Кунина В.А., Белоус О.Г.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр
Российской академии наук»,
г. Сочи, e-mail: oksana191962@mail.ru*

Представлен статистический анализ результатов многолетних исследований для выявления возможности привлечения физиолого-биохимических показателей для оценки состояния зелёных насаждений города. Для этого на первом этапе проведена комплексная оценка функционального состояния лидирующих структурообразующих видов с использованием эффективных и физиолого-биохимических характеристик: анализ пигментного состава, водный режим, биометрические характеристики листа и др. Выявлены общие черты адаптивных реакций, а также их видоспецифические особенности у древесных растений в городских условиях. Показано, что в условиях антропогенной нагрузки у растений происходит снижение площади листовых пластинок, водоудерживающей способности, содержания зелёных фотосинтетических пигментов. Одновременно понижается содержание танинов в листьях и увеличивается флуктуирующая асимметрия. Данные изменения приводят к снижению жизнеспособности растений.

Ключевые слова: виды древесных растений, антропогенный стресс, зона условного контроля, водный режим, хлорофилл, биометрические характеристики листа, танины, аскорбиновая кислота, биоиндикаторы.

Изучению состояния древесных растений в городах и их экологическому значению посвящены исследования многих известных учёных [1, 2, 4, 6, 9, 10, 13, 14, 16, 24, 30, 34, 43, 45 и др.]. Древесные растения региона хорошо изучены и в дендрологическом отношении, широко известны работы Адо, Карпуна, Солтани, Коркешко, Колесникова, Коробова и других учёных [21, 22, 23, 27, 28, 35, 37, 40, 41, 47, 48 и др.]. Однако важные характеристики растений, отражающие

особенности их адаптации к окружающим условиям, ритм роста и развития, ассимиляционная активность изучены не в полной мере и требуют более детального исследования. Кроме того, они совершенно не изучены в качестве компонентов урбоэкоценозов. В практике зелёного строительства региона использование тех или иных видов во многом носит случайный характер, а не основывается на результатах их научного изучения.

Между тем, древесные растения в современных городских условиях, помимо их фитоценотической значимости для нормального существования урбоэкосистем, являются одним из наиболее эффективных средств повышения комфортности и качества жизни городских жителей [12, 15, 19]. Высаживаемые на городских территориях деревья и кустарники, помимо декоративно-планировочной и рекреационной функций, выполняют важную фитосанитарную роль, оптимизируя окружающую среду. Зелёные насаждения в значительной степени обеспечивают устойчивость, инерционность природных систем, сглаживают их внутренние реакции на внешние воздействия [17, 20, 25, 26].

Обогащение флоры городов Краснодарского края экологически эффективными, устойчивыми и эстетически привлекательными зелёными насаждениями своевременно. Изучение ассортимента городских зелёных насаждений (как аборигенных, так и интродуцированных видов) с оценкой характера их роста и развития в местных условиях, устойчивости к комплексу стресс-факторов городской среды имеют важное научное и практическое значение.

В связи с постоянным активным пополнением выращиваемого в городе ассортимента интродуцированными видами, изучение древесных растений в составе инфраструктуры урбанизированных территорий – актуальная задача, требующая своего решения. Тем более что в Сочи комплексных исследований эколого-биологических особенностей древесных культур с позиции разработки концепции озеленения ранее не проводилось.

Таким образом, нами была **поставлена цель**: выявить эколого-биологические особенности древесно-кустарниковых субтропических культур, установить физиолого-биохимические параметры, позволяющие оценить состояние городских насаждений и определить виды для использования в качестве биоиндикаторов эколого-биологического состояния субтропических урбосистем.

Объекты и методы. Исследования проведены в период с 2014 по 2019 гг. В качестве зон условного контроля выбраны территории Субтропического Ботанического сада Кубани (СБСК, «Белые ночи») и парка «Дендрарий».

В ходе исследования нами фиксировались абиотические факторы, оказывающие наибольшее влияние на древесные виды: степень освещённости, уровень увлажнения почвы, температура воздуха. И факторы антропогенной природы: уровень загазованности и запылённости воздуха, транспортная нагрузка, загрязнение почвенного профиля. Для мониторинга экологического состояния (определение концентраций основных загрязняющих веществ и ряда специфических примесей) использовали ежедневные данные Специализированного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (<https://www.pogodasochi.ru/>).

В качестве объектов эколого-биологических исследований выбраны: *Magnolia grandiflora* L. (магнолия крупноцветковая), *Laurus nobilis* L. (лавр благородный), *Aucuba japonica* Thunb. (аукуба японская), *Prunus laurocerasus* L. (лавровишня лекарственная), *Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl (коричник камфорный), *Nerium oleander* L. (олеандр обыкновенный), *Jasminum mesnyi* Hance (жасмин Месни), *Viburnum tinus* L. (калина лавролистная), *Ligustrum lucidum* (бирючина блестящая) и *Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl. (эриоботрия японская). Выбор насаждений проведён с учётом зонирования города, все растения средневозрастного генеративного и хорошего или удовлетворительного жизненного состояния.

Определение физиологических характеристик состояния растений во всех исследованиях осуществлялось классическими методами в лаборатории физиологии и биохимии растений ФИЦ СНЦ РАН. Сбор растительного материала проводили маршрутным методом с отбором срединных ассимилирующих листьев годичных побегов с четырёх сторон экспозиции растений [32]. Повторность отбора листьев и лабораторных анализов трёхкратная. Общее количество образцов – 60 штук листьев с повторения.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с использованием пакета ANOVA в STATGRAPHICS Centurion XV (версия 15.1.02, StatPoint Technologies) и MS Excel 2007. Статистический анализ включал одномерный дисперсионный анализ (метод сравнения средних с использованием дисперсионного анализа, t-критерий). Статистически значимой принята значимость различия между средними значениями при $p < 0,05$. Различия между повторностями оценивали с помощью непарного t-теста. Для нахождения приращения независимой переменной (Δ , %) использовался «дельта-метод» [46]. Результаты исследования выражены в виде средней арифметической величины со стандартным отклонением.

Результаты и их обсуждение. Адаптации растений к условиям городской среды осуществляются как за счёт внутривидовой дифференциации, так и за счёт перестройки их популяционной структуры. Реакция видов на действие стрессовых факторов проходит в несколько последовательных этапов: в первую очередь, происходит изменение метаболизма и биохимического состава растений [3, 4, 5, 7, 8], затем наблюдаются изменения их индивидуального развития, меняется возрастная структура популяций [11, 17, 39, 42], происходит уменьшение количества ряда неустойчивых видов, вплоть до полного их выпадения из растительного сообщества [31, 33, 36]. Физиолого-биохимические показатели отражают все основные функциональные нарушения (на клеточном, тканевом уровнях) и являются более чувствительными к неблагоприятным природным и антропогенным факторам по сравнению с морфологическими признаками, которые характеризуют структурные изменения особей и популяций [9, 18, 38].

В процессе исследований нами проведена комплексная оценка функционального состояния лидирующих структурообразующих видов с использованием эффективных физиолого-биохимических характеристик: анализ пигментного состава, водный режим, биометрические характеристики листа и другие показатели. В таблице 1 показаны коэффициенты приращения независимой переменной (Δ , %) для основных определяемых физиолого-биохимических показателей. Как правило, чем больше значение дельта, тем активнее реагирует растение на изменение условий обитания.

Таблица 1

**Коэффициент приращения независимой переменной
основных физиолого-биохимических параметров лидирующих
структурообразующих видов в условиях города**

Виды	Δ , %					
	BC*	Kf_T	Тан	АК	ПЛ	ФА
<i>M. grandiflora</i>	-6,2	-9,6	-23,8	-20,0	-19,3	55,4
<i>L. nobilis</i>	-0,6	-16,9	-51,1	-71,9	-59,7	370,4
<i>A. japonica</i>	-4,5	-10,2	-49,3	-45,5	-32,7	246,9
<i>P. laurocerasus</i>	-2,3	-11,1	-4,8	21,7	-53,4	282,4
<i>C. camphora</i>	-10,0	-25,0	-39,3	38,0	-38,0	360,5
<i>N. oleander</i>	-9,1	-6,7	-13,0	35,7	-22,0	316,7
<i>J. mesnyi</i>	-4,0	-5,5	-19,9	74,2	-28,5	560,3
<i>E. japonica</i>	-0,1	-24,5	-35,1	96,6	-72,5	334,5

Примечание: * Kf_T – жизнеспособность; BC – водоудерживающая способность; АК – аскорбиновая кислота; Тан – танины; ФА – флуктуирующая асимметрия; ПЛ – площадь листа

Нами установлено, что суммарное содержание зелёных пигментов в насаждениях «стрессовой» точки наблюдения (ул. Курортный проспект) существенно ниже (НСР ($p \leq 0,05$) = 0,5–0,97 в зависимости от вида), чем у растений из ЗУК (СБСК). В зоне стрессовой нагрузки происходит существенное нарушение соотношения а/в (НСР ($p \leq 0,05$) = 0,68), что можно объяснить влиянием антропогенного стресса, это в основном увеличенная автомобильная нагрузка.

Одними из часто привлекаемых показателей, связанных с функциональным состоянием растений, являются биохимические маркеры устойчивости, такие как содержание танинов и аскорбиновой кислоты в листьях. В условиях антропогенного стресса у устойчивых видов накопление аскорбиновой кислоты усиливается. В нашем случае – это *Eriobotrya japonica* (47,55 мг/г при 24,19 мг/г в зоне стресса), *Prunus laurocerasus* (22,01 мг/г в зоне условного контроля при 18,09 мг/г), *Jasminum mesnyi* (100,68 мг/г при 57,80 мг/г при антропогенной нагрузке), *Cinnamomum camphora* (70,14 мг/г при 50,83 мг/г в зоне стресса) и *Nerium oleander* (21,20 мг/г, в зоне стресса – 15,62 мг/г), что свидетельствует о наличии у данных видов активного механизма защиты от стресса. Выявлено, что содержание танинов в листьях растений в магистральных посадках ниже (1,08–4,75 мг/г в зависимости от вида), чем в насаждениях зон условного контроля (2,13–7,82 мг/г), что связано с увеличением степени экстремальности условий произрастания.

Биометрические параметры листовой пластинки подвержены влиянию факторов городской среды: в стрессовых условиях эти показатели меньше, чем у растений в «зоне условного контроля» (толщина листа варьировала от $14,27 \pm 1,94$ нц (у *Jasminum mesnyi*) до $36,56 \pm 1,58$ нц (у *Nerium oleander*); площадь – от $38,4$ см² у *Jasminum mesnyi* в зоне стресса до $1007,8$ см² у *Eriobotrya japonica* в зоне условного контроля). Асимметрия листовой пластинки является элементом биотестирования качества среды обитания. По мере накопления автомобильных газов, пыли и т. д. происходит торможение ростовых процессов и деформация листа, что приводит к усилению асимметрии [29, 38]. Установлено, что асимметрия листьев в зоне условного контроля невелика (0,0054–0,0139 баллов), коэффициент асимметрии соответствует первому баллу (чисто), в магистральных посадках (0,0216–0,0491 балла) соответствует баллам 2 и 3, т. е. экологическая обстановка на данной территории варьирует от относительно чистой до грязной.

Наибольшей водоудерживающей способностью обладают растения, произрастающие в зонах условного контроля (в среднем – 87 %). Наиболее быстрая потеря воды (до 20 %) наблюдается у экземпляров, растущих вдоль Курортного проспекта.

Для оценки взаимосвязи изученных физиолого-биохимических показателей и возможности их использования в оценке эколого-биологического состояния видов и урбоценозов нами проведён корреляционный анализ (коэффициент ранговой корреляции Спирмена), которому подвергли данные по следующим показателям: водоудерживающая способность (ВС), содержание зелёных фотосинтетических пигментов (ЗФП), толщина листа (ТЛ), флуоресценция хлорофилла (Kf_T), сухое вещество (СВ), содержание танинов (Тан) и аскорбиновой кислоты (АК). Анализ показал, что характер этих связей имеет видовые особенности, однако закономерности сходны у разных видов (табл. 2), коэффициенты корреляции между основными показателями на популяционном уровне от средних (0,71–0,78) до высоких (0,81–0,86).

Таблица 2

Взаимосвязь физиолого-биохимических показателей, характеризующих функциональное состояние лидирующих структурообразующих видов

Параметры	ВС, %	СФП, мг/г	ТЛ, нм	Kf_T, единицы	СВ, %	Тан, %
ВС, %						
СФП, мг/г	-0,13					
ТЛ, нм	0,69	-0,71				
Kf_T, единицы	-0,72	0,84	-0,79			
СВ, %	-0,59	0,58	-0,62	0,84		
Тан, %	-0,78	0,81	0,82	0,86	0,76	
АК, мг/г	-0,85	0,84	0,81	0,78	0,02	0,12

Необходимо отметить, что в числе выбранных нами для исследований объектов присутствуют виды с разнообразными характеристиками: разные жизненные формы (деревья и кустарники), растения отличаются толщиной листовой пластинки, виды относятся к разным экологическим группам (мезо- и ксерофиты) и т. д. Однако выявленные нами взаимосвязи закономерны для всех исследуемых видов. Это позволяет заключить, что используемые нами физиолого-биохимические характеристики вполне могут быть применены в системе мониторинга состояния урбоэкосистем.

Анализ направленности изменений используемых показателей выявил следующие закономерности: под влиянием стрессовых условий у всех лидирующих структурообразующих видов, выбранных в качестве модельных, происходит снижение площади листовых пластинок,

водоудерживающей способности, содержания зелёных фотосинтетических пигментов. Одновременно понижается содержание танинов в листьях и увеличивается флуктуирующая асимметрия. Данные изменения приводят к снижению жизнеспособности растений. У ряда видов – *P. laurocerasus*, *C. camphora*, *N. oleander*, *J. Mesnyi* и *E. japonica* – отмечается повышение количества аскорбиновой кислоты (табл. 3).

Таблица 3

Вариабельность физиолого-биохимических параметров лидирующих структурообразующих видов в условиях города

Виды	Коэффициент вариации, %								
	ВС	ЗФП	Тан	АК	СВ	ТЛ	ПЛ	ФА	ЖС
<i>M. grandiflora</i>	5	12	19	16	4	3	15	47	24
<i>L. nobilis</i>	0	12	49	79	3	5	60	71	13
<i>A. japonica</i>	3	22	46	42	4	8	28	71	10
<i>P. laurocerasus</i>	2	23	3	14	5	6	51	71	3
<i>C. camphora</i>	7	35	35	23	4	3	33	85	27
<i>N. oleander</i>	7	11	10	21	1	3	18	71	6
<i>J. mesnyi</i>	3	10	16	38	9	3	23	85	4
<i>E. japonica</i>	0	42	30	46	0	3	80	94	16

В результате исследований выделены общие черты адаптивных реакций, а также их видоспецифические особенности у древесных растений в городских условиях (табл. 4). Отмечено, что сходным адаптационным механизмом является изменение морфологии листа, например, снижение биометрических параметров листа и проявление флуктуирующей асимметрии (ФА); а также ряд физиолого-биохимических характеристик – водоудерживающая способность, количество ЗФП и синтез танинов. К видоспецифичным следует отнести такие особенности биохимического состава, как накопление аскорбиновой кислоты.

Нами показано, что в условиях городской среды у видов, устойчивых к техногенному влиянию, содержание аскорбиновой кислоты усиливается, у видов неустойчивых (с ослабленными процессами) – значительно уменьшается; у устойчивых видов снижение танинов при техногенном воздействии менее выражено, чем у неустойчивых [8, 44]. Повышенное накопление танинов и аскорбиновой кислоты в листьях может объяснить устойчивость некоторых изученных нами видов, например, *Eriobotrya japonica*, *Prunus laurocerasus* и *Cinnamotum camphora*.

**Эколого-физиологические показатели
в зависимости от места произрастания вида
(на примере *Eriobotrya japonica*)**

Место произрастания	Площадь, листа, см ²	Толщина листа, мм	Флуктуирующая асимметрия, ед.	Водоудерживающая способность, %	Сумма хлорофиллов, мг/г	Танин, %	Аскорбиновая кислота, мг/г
СБСК	1 007,8	30,08	0,0113	73,22	2,23	5,75	24,19
парк Дендрарий	952,2	31,24	0,010	61,23	2,13	5,64	22,13
ул. Курортный проспект	277,7	21,00	0,0491	29,00	1,21	3,73	47,55
ул. Гагарина	300,0	21,59	0,0437	30,12	1,32	3,94	48,35

В ходе исследований были определены виды, которые быстро реагируют на изменение условий среды, действие абиотических, и, что важно, антропогенных факторов. Так, по характеристике фотосинтетической активности биоиндикаторами являются *Magnolia grandiflora*, *Eriobotrya japonica* и *Cinnamotum camphora*; по жизнеспособности – *Eriobotrya japonica* и *Cinnamotum camphora*; по площади листа – *Eriobotrya japonica*, *Prunus laurocerasus* и *Laurus nobilis*; по показателю флуктуирующей асимметрии листовой пластинки биоиндикаторами служат *Jasminum mesnyi*, *Cinnamotum camphora* и *Laurus nobilis*; по накоплению танинов – *Eriobotrya japonica*, *Aucuba japonica*, *Cinnamotum camphora* и *Laurus nobilis*; по аккумуляции аскорбиновой кислоты в ответ на воздействие стрессоров – *Eriobotrya japonica*, *Jasminum mesnyi* и *Laurus nobilis*; по изменению водоудерживающей способности индикатором является *Magnolia grandiflora*, *Cinnamotum camphora* и *Nerium oleander*.

В итоге, по комплексу признаков (фотосинтетическая активность, жизнеспособность, площадь листа, накопление танинов и аскорбиновой кислоты) в качестве биоиндикаторов эколого-биологического состояния субтропических урбосистем возможно использовать *Eriobotrya japonica*, *Cinnamotum camphora* и *Laurus nobilis*.

Заключение. Таким образом, по результатам проведённых исследований можно заключить следующее. В составе насаждений преобладают древесные растения, имеющие удовлетворительное состояние. Наибольший процент особей неудовлетворительного состояния отмечается в примагистральных посадках. Необходимо отметить, что практически все виды, для которых изучались эколого-физиологические особенности листьев, в условиях агломерации Сочи успешно развиваются в течение многих десятилетий, цветут и формируют семена. Следовательно, физиолого-биохимические особенности видов, вместе с другими структурно-функциональными характеристиками, обеспечили растениям адаптацию в условиях урбосреды влажных субтропиков России.

Нарушение физиологических функций растений в условиях городской среды является ответной реакцией организма на комплекс негативных факторов природного и антропогенного характера. Эта реакция проявляется в разной степени у различных видов растений в зависимости от силы, продолжительности, химического состава действующих внешних факторов и их совокупного действия, а также от физиологического состояния растительного организма. Использование различных эколого-физиологических показателей состояния растений является перспективным для применения в системе фитомониторинга, что доказано нашими исследованиями и высокой степенью просчитанной корреляции.

*Исследование проведено в рамках
ГЗ ФИЦ СНЦ РАН № 0492-2021-0007.*

Библиографический список

1. Авдеева Е.В. Зелёные насаждения в мониторинге окружающей среды крупного промышленного города (на примере г. Красноярск): автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Красноярск, 2008. – 30 с.
2. Адамова А.А. Задерживающая способность зелёных насаждений в отношении пыли и дыма // Санитария и гигиена. – 1937. – № 3. – С. 26-34.
3. Ахматов К.А. Адаптация древесных растений к засухе (на примере предгорий Киргизского Ала-Тоо). – Фрунзе: Илим, 1976. – 199 с.
4. Белоус О.Г., Белоус А.А. Оценка физиолого-экологического состояния растений олеандра // сб. тр. Сухумского ботсада «165-летие Сухумского ботанического сада и 110-летие Сухумского субтропич. дендропарка». – Сухуми, Абхазия: 2006. – С. 38-40.
5. Белоус О.Г., Маляровская В.И. Оценка адаптивности красивоцветущих растений к стресс-факторам субтропиков России // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – Ялта: 2016. – № 121. – С. 39-47. – ISSN 0513-1634.
6. Беляева Ю.В., Саксонов С.В. Критерии оценки эффективности зелёных насаждений города Тольятти // Инновационные подходы к обеспечению устойчивого развития социо-эколого-экономических систем: материалы междунар. конф. 19-21 мая 2014 г.

- Самара-Тольятти. Тольятти: Кассандра, изд-во Самарского ГЭУ, 2014. – С. 34-38.
7. Благовещенский А.В. Биохимическая эволюция цветковых растений. – М.: Наука, 1966. – 327 с.
8. Бухарина И.Л., Кузьмина А.М., Кузьмин П.А. Особенности содержания танинов в листьях древесных растений в техногенной среде // Химия растительного сырья. – 2015. – № 4. – С. 71-76. – ISSN 1029-5151.
9. Бухарина И.Л., Поварницина Т.М., Ведерников К.Е. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде: монография. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007. – 215 с. – ISBN 978-5-9620-0098-5.
10. Васильев С.В., Чепик Ф.А. Рост и состояние древесных растений в городских условиях: материалы всеросс. науч. конф. «Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века». – Петрозаводск: Карельский научный центр, 2008. – С. 194-196.
11. Веретенников А.В. Фотосинтез древесных растений. – Воронеж: ВГУ, 1980. – 77 с.
12. Ганина О.Н. Зелёная зона как средство управления состоянием городской среды // Урбанизация и экология: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: Ленинградский пед. ин-т им. А.И. Герцена, 1990. – С. 85-88.
13. Горбачев В.Н. Архитектурно-художественные компоненты озеленения городов. – М.: Высш. шк., 1983. – 207 с.
14. Городков А.И. Ландшафтно-средозащитное озеленение и его влияние на экологическое состояние крупных городов центральной России: автореф. дис. ... д-ра. с.-х. наук. – СПб., Брянск, 2000. – 37 с.
15. Гусев М.И. Пылезадерживающая способность листьев некоторых пород древесных насаждений // Санитария и гигиена. – 1952. – № 6. – С. 17-19.
16. Залеская Л.С., Микулина Е.М. Ландшафтная архитектура. – М.: Стройиздат, 1979. – 240 с.
17. Заугольнова Л.Б., Жукова Л.А., Комаров А.С., Смирнова О.В. Ценопопуляции растений: очерки популяционной биологии. – М.: Наука, 1988 г. – 181 с. – ISBN 5-02-004649-3.
18. Ибрагимова Э.Э. Влияние техногенного химического загрязнения на величину флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *Armeniaca vulgaris* L. // Учёные записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Т. 23(62). – 2010. – № 3. – С. 62-67.
19. Илькун Г.М. Загрязнители атмосферы и растения. – Киев, 1978. – 247 с.
20. Карпун Ю.Н. Природа Сочи. Рельеф, климат, растительность. Природоведческий очерк. – Сочи: СБСК : СО РГО, 2016. – 19 с. – ISBN 978-5-91789-214-6.
21. Карпун Ю.Н., Кунина В.А. Особенности породного состава декоративных древесных растений, массово распространённых в районе Сочи // Садоводство и виноградарство. – 2014. – № 5. – С. 43-48. – ISSN 0235-2591.
22. Колесников А.И. Декоративные формы древесных пород. – М.: МКХ РСФСР, 1958. – 272 с.
23. Коркешко А.Л. История паркового строительства на территории Сочи (1866–1969 гг.). Доклады Сочинского отдела географического общества СССР. – Л.: Главполиграфпром. – 1971. – Вып. II. – С. 364-365.
24. Кочарян К.С. Состояние озеленения улиц города Еревана и пути его улучшения: дис. ... канд. с.-х. наук. – Ереван. – 1987. – 195 с.

25. Кретинин В.М., Селянина З.М. Задержание пыли листьями деревьев и кустарников и её накопление в светло-каштановых почвах под лесными полосами // Почвоведение. – 2006. – № 3. – С. 373-377. – ISSN 0032-180X.
26. Кулагин Ю.З. О газоустойчивости древесных растений и биологической «очистке» атмосферного воздуха в лесостепном Предуралья. В кн.: Древесные растения и промышленная среда. – Киев, 1974. – С. 14-18.
27. Кунина В. А. Анализ состава древесных насаждений г. Сочи // Научное обеспечение агропромышленного комплекса. – 2014. – Т. 1. – С. 129-130.
28. Лунц Л.Б. Городское зелёное строительство. – М.: Стройиздат, 1974. – 275 с.
29. Марченко С.И. Методика определения величины асимметрии площадей половинок листьев с использованием компьютерных технологий // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2009. – Вып. 22. – С. 123-127.
30. Машинский Л.О. Город и природа: Городские зелёные насаждения. – М.: Стройиздат, 1973. – 228 с.
31. Мыщик А.В. Использование программы ImageJ для автоматической морфометрии в гистологических исследованиях // Омск. науч. вестн. Сер. Приборы, машины и технологии. – 2011. – № 2. – С. 187-189. – ISSN 1813-8225.
32. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2002. – 191 с. – ISBN 5-8135-0003-0.
33. Озеленение населенных мест: справочник / сост. В.И. Ерохина, Г.П. Жеребцова, Т.И. Вольфтруб и др.; / под ред. В. И. Ерохиной. – М.: Стройиздат, 1987. – 480 с.
34. Осипова Н.В., Теодоронский В.С. Охрана окружающей среды средствами озеленения. – Пушкино: КМУ ВИПКЛХ, 1984. – 123 с.
35. Пилипенко Ф.С. Иноземные деревья и кустарники на Черноморском побережье Кавказа. – Л.: Наука, 1978. – 293 с.
36. Рубцов Л.И., Лаптев А.А. Справочник по зелёному строительству. – Киев: Будівельник, 1968. – 279 с.
37. Рындин А.В., Карпун Н.Н., Келина А.В. Особенности и перспективы развития субтропического декоративного садоводства России // Цветоводство. – 2013. – № 5. – С. 11-13. – ISSN 0041-4905.
38. Соколова Г.Г., Камалтдинова Г.Т. Флуктуирующая асимметрия листовой пластинки клевера ползучего при оценке стабильности развития // Известия Алтайского государственного университета. – 2011. – С. 40-43. – ISSN 1561-9443.
39. Соколова Г.Г., Шарлаева Е.А. Практикум по биоиндикации экологического состояния окружающей среды. – Барнаул, 2006. – 110 с. – ISBN 978-5-7904-0652-2.
40. Теодоронский В.С., Белый А.И. Садово-парковое строительство и хозяйство. – М.: Стройиздат, 1989. – 351 с. – ISBN 5-274-00261-7.
41. Теодоронский В.С., Горбатова В.И., Горбатов В.И. Озеленение населённых мест (принципы ландшафтной организации урбанизированных территорий) – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 128 с. – ISBN 978-5-4468-0434-4.
42. Фирсова Г.В., Кувшинов Н.В. Справочник озеленителя. – М.: Высш. шк., 1995. – 335 с. – ISBN 5-06-002106-8.
43. Чистяков А.Р., Алимбек Б.М., Зудин Н.А. Озеленение населённых пунктов. – Йошкар-Ола: Марийск. кн. изд-во, 1963. – 55 с.

44. Чупахина Г.Н. Система аскорбиновой кислоты растений. – Калининград: Изд-во КГУ, 1997. – 991 с. – ISBN 5-88874-063-2.
45. Blyusyuk N.L. Influence of urbogenic factors on physiological and biochemical processes of drooping birch // Scientific Herald NLTU Ukraine. – 2011. – Vol. 21(5). – P. 98-101.
46. Colombeau J.F. Elementary Introduction to New Generalized Functions. – Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., 1985. – 281 с. – ISBN 978-0-444-87756-7.
47. Evarte-Bundere G., Everts-Bunders P., Laksa D. et al. Inventory of green spaces and woody plants in the landscape of Rezekne // Acta Biol. Univ. Daugavp. – 2014. – Vol. 14(2). – P. 123-136. – ISSN 1407-8953.
48. Johnstone D., Moore G., Tausz M. et al. The measurement of plant vitality in landscape trees // Arboricultural Journal. – 2013. – Vol. 35(1). – P. 18-37. – <https://doi.org/10.1080/03071375.2013.783746>.

**USING PHYSIOLOGICAL
AND BIOCHEMICAL PARAMETERS
OF WOODY PLANT SPECIES IN ASSESSING THE STATE
OF SUBTROPICAL URBAN SYSTEMS**

Kunina V.A., Belous O.G.

*Federal Research Centre
the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,
Sochi, Russia, e-mail: oksana191962@mail.ru*

A statistical analysis of the results obtained after the long-term research is presented to identify the possibility of using physiological and biochemical indicators in order to assess the state of green spaces in the city. For this purpose, at the first stage, a comprehensive assessment of the functional state of the leading structure-forming species was carried out using effective and physiological-biochemical characteristics: analysis of the pigment composition, water regime, leaf biometric characteristics, etc. The general features of adaptive reactions, as well as their species-specific features in woody plants growing in urban conditions are revealed. It is shown that under conditions of anthropogenic load, plants have a decrease in the area of leaf blades, water retention capacity, and the content of green photosynthetic pigments. At the same time, the tannin content in the leaves decreases and the fluctuating asymmetry increases. These changes lead to a decrease in the viability of plants.

Key words: species of woody plants, anthropogenic stress, conditional control zone, water regime, chlorophyll, biometric characteristics of the leaf, tannins, ascorbic acid, bioindicators.