

*На правах рукописи*

ЯГДАРОВА Ольга Аркадьевна

**ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ  
ОНТОГЕНЕЗА ОДНОЛЕТНИХ ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ  
В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

03.02.08 – экология  
(биологические науки)

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

Казань, 2013

Работа выполнена на кафедре экологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Марийский государственный университет»

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор  
Марийского государственного университета  
***Воскресенская Ольга Леонидовна***

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор  
Казанского (Приволжского)  
федерального университета  
***Хохлова Людмила Петровна***

доктор биологических наук, профессор  
Казанского государственного аграрного  
университета  
***Пахомова Валентина Михайловна***

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный  
технологический университет»

Защита состоится «19» сентября 2013 г. в 14.30 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.081.19 при ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» по адресу: 420008, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18

Факс: (843) 238-76-01

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского Казанского (Приволжского) федерального университета по адресу: г. Казань, ул. Кремлевская, 35

Автореферат разослан «\_\_»\_\_\_\_\_ 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат биологических наук, доцент



Зелеев Р.М.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Город – это природно-антропогенная система, основными системообразующими факторами которой являются человек и природная среда. Зеленые насаждения как центральное звено городской экосистемы выполняют санитарно-гигиеническую, архитектурно-эстетическую, эмоционально-психологическую и другие функции. Роль зеленых насаждений в снижении негативного воздействия городской среды заключается в их способности нивелировать неблагоприятные для человека факторы природного и техногенного происхождения. Городская растительность является одним из основных объектов экологического мониторинга и оказывает большое влияние на создание условий среды, приемлемой для жизни человека в городе. Взаимосвязь между городом и растительностью довольно сложная и требует разносторонних исследований (Денисов, 2008; Карасёв, 2009; Воскресенский, 2011; Чупахина, 2012).

В настоящее время особое внимание уделяется изучению декоративных однолетников, так как эта группа растений занимает одно из ведущих мест в озеленении урбанизированных территорий, в том числе и города Йошкар-Олы. Декоративные растения обладают высокой степенью пластичности, которая зависит от стратегии прохождения ими адаптивной эволюции (Скромцкий, 1999; Жуков, 2004; Иванова, 2012 Cathey, 1970). Однолетники, как ни одна из групп растений, обладают высокими адаптивными свойствами по отношению к климату, несмотря на различные погодные условия. В связи с этим адаптационные возможности у декоративных растений могут быть использованы в озеленении различных по антропогенной нагрузке районов города. Тем не менее, изучение эколого-физиологических показателей у однолетних декоративных растений на разных этапах онтогенеза остаётся мало исследованным вопросом. Таким образом, особый интерес представляет физиологическая оценка отдельных онтогенетических состояний, изучение которых даёт возможность в целом оценить полноту протекания процессов роста и развития растений. Использование эколого-физиологических подходов на разных этапах онтогенеза обусловлено тем, что именно эффективность метаболических и энергетических процессов определяет конкурентоспособность вида, интенсивность его развития.

**Цель данной работы** заключалась в комплексном изучении эколого-биологических и физиоло-биохимических характеристик некоторых видов однолетних декоративных растений семейства *Asteraceae* (*Compositae*) на разных этапах онтогенеза в условиях городской среды.

В соответствии с целью работы были поставлены следующие **задачи**:

1. Описать онтогенез астры китайской, циннии изящной и бархатцев прямостоячих; оценить влияние антропогенного воздействия на их морфометрические показатели.

2. Установить особенности ритмов сезонного развития у однолетних декоративных растений в условиях антропогенной нагрузки.

3. Изучить содержание и накопление тяжёлых металлов (Pb, Cu, Zn и Fe) в почвах различных функциональных зон г. Йошкар-Олы.

4. Исследовать содержание Pb, Cu, Zn и Fe в органах декоративных растений на разных этапах онтогенеза и процессы передвижения и распределения тяжёлых металлов в системе «почва-растение» в условиях города.

5. Определить активность некоторых железо- и медьсодержащих ферментов, участвующих в адаптационных процессах в онтогенезе у растений в урбанизированных территориях.

6. Выявить отношение содержания неферментативных компонентов антиоксидантной системы растений разных онтогенетических состояний к антропогенным факторам среды.

#### **Научная новизна работы.**

Впервые описан онтогенез астры китайской, циннии изящной и бархатцев прямостоячих; выделены онтогенетические состояния и их морфологические признаки-маркёры. Впервые проведён комплексный анализ однолетних декоративных растений на разных этапах онтогенеза с использованием биометрических, фенологических и физиолого-биохимических методов. Выявлены экологически значимые фенологические (изменения ритмов сезонного развития) и биохимические (функционирование антиоксидантной системы защиты) показатели, отражающие адаптивные механизмы растений к антропогенному воздействию. Изучены особенности распределения тяжёлых металлов в органах однолетних декоративных растений в зависимости от онтогенетических состояний и условий произрастания. Проведена оценка устойчивости декоративных однолетников к неблагоприятным условиям городской среды.

#### **Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Антропогенное загрязнение городской среды приводит к высокой вариабельности морфометрических показателей у однолетних декоративных растений и изменению ритма сезонного развития на разных этапах онтогенеза.

2. При анализе системы «почва-растение» установлено, что в условиях городской среды изменяются процессы накопления, передвижения и распределения тяжёлых металлов в корнях и побегах модельных видов в процессе индивидуального развития.

3. Устойчивость астры китайской, циннии изящной и бархатцев прямостоячих к урбанизированным условиям среды обусловлена комплексом биохимических параметров: пластичностью окислительно-восстановительных процессов и изменением соотношения компонентов антиоксидантной системы у растений.

**Практическая значимость.** Результаты исследований представлены в Комитет экологии и природопользования администрации городского округа «Город Йошкар-Ола» и МУП «Город» для выполнения Муниципальной целевой долгосрочной программы «Экологическая безопасность г. Йошкар-Олы». Материалы исследований используются в научной работе кафедры экологии ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет», в учебном процессе при чтении курсов «Общая экология», «Физиология растений» и спецкурсов «Промышленное и бытовое озеленение», «Урбоэкология», «Экологическая физиология растений», на большом практикуме для студентов специальности «Биоэкология».

**Конкурсная поддержка работы.** Исследования выполнялись при поддержке гранта РФФИ 07-04-96619-р\_Поволжье\_а «Эколого-физиологические адаптации растений в условиях городской среды» (2007–2009); задания Федерального агентства по образованию «Исследование функциональных особенностей биосистем в изменяющейся среде» (2007–2009); задания Министерства образования и науки РФ «Исследование состояния и динамики популяций растений и животных» (2010–2012); ФЦП (соглашение № 14.В37.21.1111) «Экологические аспекты функционального состояния растений в условиях городской среды» (2012–2013); НИР № 5.8479.2013 «Экологический мониторинг и прогнозирование состояния урбанизированных и природных популяций растений» (2013–2015).

**Апробация работы.** Результаты исследований и материалы диссертационной работы были представлены и обсуждены на Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства», Мосоловские чтения (Йошкар-Ола, 2009; 2010; 2012); Международной научной конференции «Биологическое разнообразие северных экосистем в условиях изменяющегося климата» (Апатиты, 2009); VI Международной научной конференции «Регуляция роста, развития и продуктивности растений» (Минск, 2009); Всероссийской научной конференции «Поливариантность развития организмов, популяций и сообществ» (Йошкар-Ола, 2010); V-ой научной школе «Наука и инновации – 2010»: V международном научном семинаре «Фундаментальные исследования и инновации» (Йошкар-Ола, 2010); IV Всероссийской научной конференции с международным участием «Принципы и способы сохранения биоразнообразия» (Йошкар-Ола, 2010); Всероссийской конференции «Актуальные проблемы экологии, биологии и химии» (Йошкар-Ола, 2010); Международной научной конференции «Регионы в условиях неустойчивого развития. Естественное знание в регионах: проблемы, поиски, решения» (Кострома, 2012); XII конференции молодых ученых «Научные, прикладные и образовательные аспекты физиологии, генетики, биотехнологии растений и микроорганизмов» (Киев, 2012); Всероссийской конференции с международ-

ным участием «Инновационные направления современной физиологии растений» (Москва, 2013).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 19 работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК.

**Объём и структура диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, выводов, списка использованной литературы и приложения. Объём работы составляет 204 страницы машинописного текста, в том числе 7 таблиц, 75 рисунков и приложения. Список литературы включает 286 наименований, 43 из которых принадлежат зарубежным авторам.

**Личное участие автора в получении научных результатов.** Исследования выполнены при непосредственном участии автора на всех этапах: постановки целей и задач исследований, выбора методов исследований, обработки и анализа литературных данных, постановки и проведения экспериментов, статистической обработки и интерпретации полученных результатов.

## ГЛАВА I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе проанализированы отечественные и зарубежные работы, посвящённые устойчивости однолетних декоративных растений как перспективной группы для озеленения в условиях загрязнения окружающей среды (Стороженко, 1978; Николаевский, 1979; Дашкевич, 1982; Зайцева, 1984; Головкин, 1986; Гетко, 1991; Скромный, 1999; Жуков, 2004; Колесникова, 2006, 2007; Бухарина, Воскресенская, 2009; Двоглазова, 2010; Иванова, 2012; Elkiey, Ormrod, 1979; Kiesling, Fugua, 1979).

Дана характеристика адаптационных процессов, протекающих в растениях в условиях урбанизированной среды (Красинский, 1950; Юсуфов, 1986; Барахтенова, Николаевский, 1988; Гирс, 1989; Кения, 1993; Пахомова, 1999; Николаевский, 1999; Акимова, 2001; Чиркова, 2002; Кузнецов, 2005; Барабой, 2006; Воскресенская, Сарбаева, 2006; Экология ..., 2007; Косаковская, 2008; Воскресенская, 2009; Уразгильдин, 2009; Бухарина, 2010; Кошкин, 2010; Колупаев и др., 2011; Чулахина, 2012; Levitt, 1980; Zisa et al., 1980; Scandalios, 2005; Suzuki, Mittler, 2006; Sagi, Fluhr, 2006; Foyer, Noctor, 2009; Jaleel et al., 2009; Tomilin et al., 2011).

## ГЛАВА II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Характеристика района исследования.** Изучение экологического состояния г. Йошкар-Олы (столица Республики Марий Эл), проводимое на базе Маргеомониторинга, включало анализ основных загрязнителей атмосферы. Наиболее распространёнными загрязняющими веществами воздушного бассейна г. Йошкар-Олы являются взвешенные частицы, оксид

углерода, оксиды серы и азота, аммиак, хлор, сероводород, сажа, которые выбрасываются промышленными предприятиями и автотранспортом.

Работу проводили в соответствии с программой исследований, представленной на схеме (рис. 1). Изучение однолетних декоративных растений включало детальное рассмотрение их эколого-биологических и физиолого-биохимических показателей.

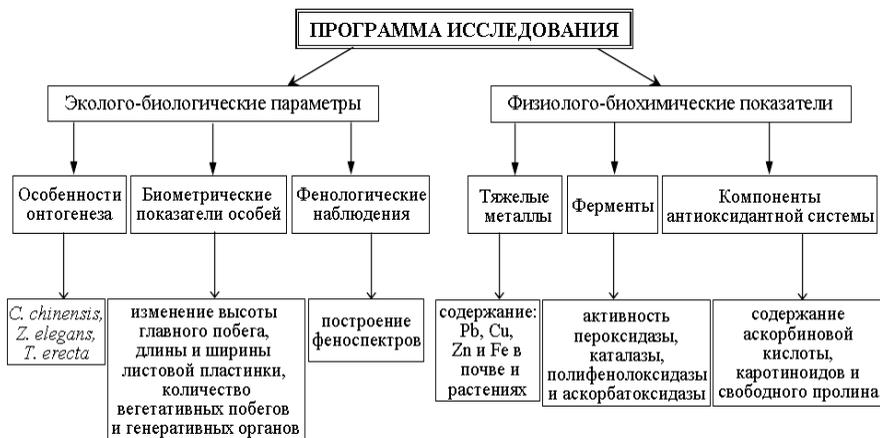


Рисунок 1. Схема программы исследования однолетних декоративных растений

**Объектами исследования** были стержнекорневые однолетние декоративные растения семейства Астровые (*Asteraceae*) (по старой классификации Сложноцветные (*Compositae*)), наиболее часто используемые в озеленении города: астра китайская (*Callistephus chinensis* (L.) Nees), цинния изящная (*Zinnia elegans* Jacq.) и бархатцы прямостоячие (*Tagetes erecta* L.).

**Материалы и методы исследования.** Исследование проводилось в 2008–2013 гг., в различных районах г. Йошкар-Олы, отличающихся по степени антропогенного воздействия: 1) *пригородная зона* – ул. Лесная (п. Руэм; условно чистый, контрольный район исследования); 2) *селитебная зона* – ул. Я. Эшпая (г. Йошкар-Ола; район со средним уровнем загрязнения); 3) *промышленная зона* – ул. Крылова (г. Йошкар-Ола; загрязнённый район).

При изучении индивидуального развития *C. chinensis*, *Z. elegans* и *T. erecta* была использована концепция дискретного описания онтогенеза растений, предложенная Т.А. Работновым (1950) и А.А. Урановым (1975), дополненная другими авторами (Ценопопуляция растений, 1976; Жукова, 1995). Биометрические характеристики особей определяли на модельных экземплярах (по 10 растений каждого онтогенетического состояния). Фенологические наблюдения проводили по методу И.Н. Бейдемана (1974).

Содержание тяжёлых металлов в почве и растениях определяли абсорбционным методом в аккредитованной лаборатории (ГОСТ 17.4.3.01, 1981; Ермаченко, 1997). Для характеристики окислительно-восстановительных процессов растений определяли активность ферментов: общей пероксидазы (КФ 1.11.1.7) и полифенолоксидазы (КФ 1.14.18.1) – фотометрическим методом по А.Н. Бояркину (1951; 1954), каталазы (КФ 1.11.1.6) – газометрическим методом (Prasad et al., 1999) и аскорбатоксидазы (КФ 1.10.3.3) – спектрофотометрическим методом (Методы биохимического ..., 1987). Определение содержания аскорбиновой кислоты (витамина С) (Чупахина, 1974) и каротиноидов (Lichtenthaler, 1987) осуществляли спектрофотометрическим методом, свободного пролина (Bates, 1973) – колориметрическим методом.

Экспериментальный материал был обработан с помощью программы «STATISTICA 6.0». В работе использовали следующие статистические характеристики: среднее арифметическое, ошибка среднего арифметического, кластерный анализ, одно- и трехфакторный дисперсионный анализ (Глотов и др., 1982; Лакин, 1990).

### ГЛАВА III. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОДНОЛЕТНИХ ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОСКОЙ СРЕДЫ

**Онтогенез некоторых однолетних декоративных растений.** В ходе работы описан онтогенез астры китайской (*C. chinensis*), циннии изящной (*Z. elegans*) и бархатцев прямостоячих (*T. erecta*), выделены три периода и шесть онтогенетических состояний: I. Латентный период (se – семена); II. Прегенеративный период (p – проросток, j – ювенильное растение, im – имматурное растение, v – виргинильное растение); III. Генеративный период (g<sub>1</sub> – молодое генеративное растение, g<sub>2</sub> – средневозрастное генеративное растение). В качестве примера показан онтогенез *T. erecta* (рис. 2).

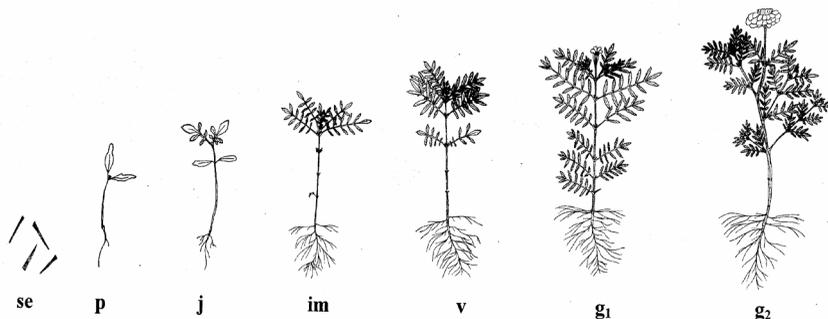


Рисунок 2. Онтогенез бархатцев прямостоячих (*Tagetes erecta* L.)

**Специфика ростовых процессов у декоративных растений, произрастающих в районах с различной антропогенной нагрузкой.** При исследовании онтогенетических состояний однолетних растений чаще всего используют биометрические показатели, которые отражают размерные характеристики особи, и поэтому дают возможность оценить интенсивность морфогенеза, рост и репродуктивные функции (Ценопопуляции растений..., 1976). В результате исследования биометрических показателей на примере астры китайской и бархатцев прямостоячих было выявлено, что антропогенное воздействие оказывало влияние на некоторые морфометрические параметры наземных органов растений. В урбанизированной среде у однолетних декоративных растений наблюдалось уменьшение высоты главного побега, длины и ширины листовой пластинки. Проведенный сравнительный анализ морфометрических показателей у изученных видов растений показал, что особи астры китайской, выращенные в различных условиях, статистически различались между собой по такому биометрическому признаку, как высота главного побега ( $p = 0,023$ ); бархатцы прямостоячие – высотой главного побега, длиной и шириной листовой пластинки ( $p = 0,018$ ). Городская среда не оказывала влияние на такие биометрические показатели у растений, как количество листьев и вегетативных побегов, а также наличие генеративных органов растений.

**Особенности прохождения фенофаз у однолетних декоративных растений в условиях городской среды.** Фенологические наблюдения – это основа всех экологических прогнозов. Каждое растение проходит определенную фенофазу в свой оптимальный срок, который для отдельной особи всегда представляет собой компромисс между наследственными задатками и теми условиями, в которых вид произрастает (Зайцев, 1974).

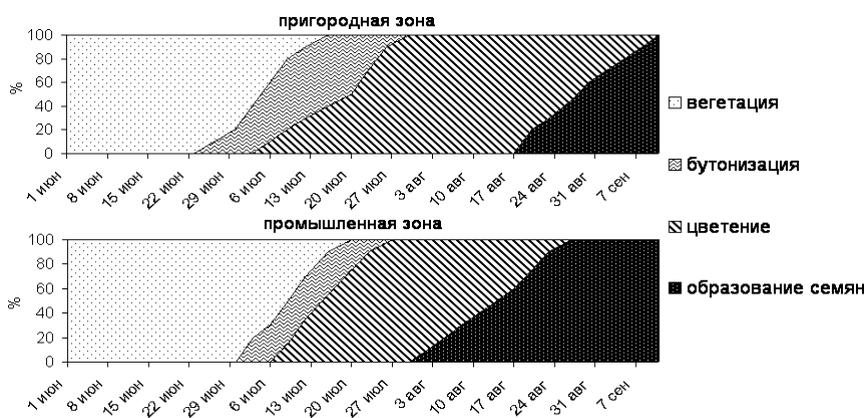


Рисунок 3. Фенологические спектры у *T. erecta*

В результате фенологических наблюдений выявлено, что изученные виды растений, произрастающие в различных по степени антропогенной нагрузки районах города, отличались особенностями прохождения и продолжительностью отдельных фенофаз. У особой *T. erecta* (рис. 3) фаза вегетации по мере повышения уровня загрязнения среды увеличивалась практически в 2 раза по сравнению с контрольной (пригородной) зоной. Продолжительность фазы бутонизации не отличалась во всех районах исследования (6–7 суток), но время начала данной фазы развития у исследуемого вида было различно. Наиболее длительный период цветения у бархатцев прямостоячих отмечался в пригородной зоне (45 суток), продолжительность фазы цветения в промышленной зоне города была короче в 4 раза и составила 10 суток. Одновременно в данном районе г. Йошкар-Олы увеличилась длительность фазы образования семян (на 10 суток). Иная тенденция обнаружена у астры китайской в промышленной зоне: особи быстро проходили фазу вегетации (19 суток) и рано вступали в фазу цветения. Для циннии изящной была характерна продолжительная фаза бутонизации (до 38 суток) во всех районах исследования.

В результате исследований биологических особенностей однолетних декоративных растений выявлено, что городская среда оказывала влияние на некоторые морфометрические показатели: высоту главного побега, длину и ширину листовых пластинок у модельных видов декоративных растений и изменяла ритм их сезонного развития: более раннее вступление в фазу цветения у астры китайской, продолжительный период бутонизации у циннии изящной или длительная фаза вегетации у бархатцев прямостоячих.

#### **ГЛАВА IV. ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И У ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ В ХОДЕ ОНТОГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА**

**Оценка степени загрязнённости почвенного покрова тяжёлыми металлами.** Разнообразие антропогенно изменённых почв в городе оказывает непосредственное влияние на рост и формирование городских ландшафтов, которые сопровождаются значительными перестройками окружающей среды, это вызывает необходимость индикации и объективной оценки почвенного покрова (Котлов, 1977; Рылова, 2003; Никитенко, 2007). В ходе проведённых нами исследований (рис. 4) выявлена следующая картина накопления Pb, Cu, Zn и Fe почвами г. Йошкар-Олы: наибольший уровень загрязнения почвенного покрова подвижными формами тяжёлых металлов (ТМ) был характерен для селитебной и промышленной зон города. Содержание ТМ превысило санитарно-гигиенический показатель (ПДК) для свинца и цинка (I класс опасности) в 2–4 раза, меди (II

класс опасности) в 6–9 раз. Относительно чистым районом исследования выявлена пригородная зона (п. Руэм), где содержание изученных тяжелых металлов в почве было самым низким. По содержанию ТМ в почвах города исследуемые металлы располагались в следующем порядке: Fe>Zn>Cu>Pb.

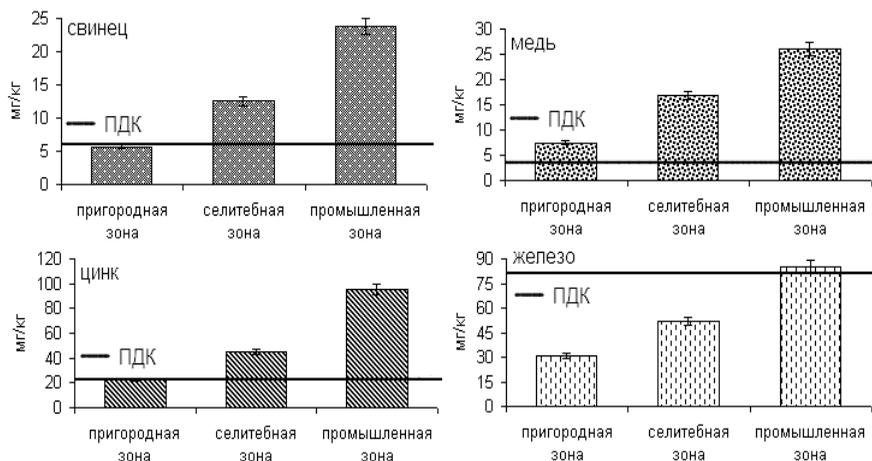


Рисунок 4. Содержание тяжёлых металлов в почве г. Йошкар-Олы

**Аккумуляция тяжёлых металлов декоративными растениями.** Однолетние травянистые растения чаще всего подвержены влиянию тяжёлых металлов. Химические элементы, поглощаемые травянистыми растениями из почвы в разных количествах, играют существенную роль в регулировании физиологических процессов в растительном организме. В ходе исследования содержания Pb в вегетативных органах декоративных растений было обнаружено, что накопление этого элемента растениями увеличивалось по мере загрязнения окружающей среды. При переходе особей из прегенеративного периода в генеративный, содержания металла в листьях и корнях также возрастало. Наибольшей металлоаккумулирующей способностью по отношению к свинцу во всех изученных местообитаниях отличались особи астры китайской на протяжении всего онтогенеза. У растений бархатцев прямостоячих и циннии изящной в процессе индивидуального развития содержание Pb в вегетативных органах статистически не различались.

Аккумуляция Cu (рис. 5) в листьях и корнях *C. chinensis*, *Z. elegans* и *T. erecta* увеличивалась в процессе онтогенеза по мере усиления антропогенной нагрузки на среду, но не превышала предельно-допустимой концентрации (ПДК). В процессе индивидуального развития изученных видов

растений содержание меди в листьях имело одновыпуклую кривую: для пригородной и сельтебной зон пик приходился на v-особи бархатцев прямостоячих, у циннии изящной и астры китайской максимальное содержание металла было у g<sub>1</sub>-растений. У декоративных растений, произрастающих в промышленной зоне наибольшее количество Cu приходилось на v-особи астры китайской, у циннии изящной – на g<sub>2</sub>-особи, у бархатцев прямостоячих – на g<sub>1</sub>-растения.

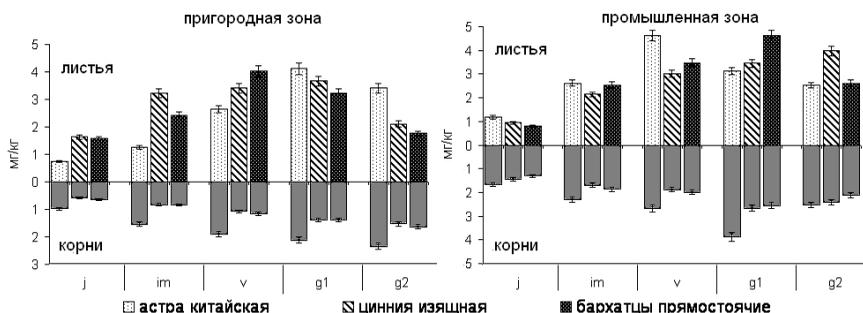


Рисунок 5. Содержание Cu в листьях и корнях декоративных растений в процессе онтогенеза

Рассматривая накопления Zn в вегетативных органах декоративных растений, было обнаружено, что во всех районах исследования для корней астры китайской, циннии изящной и бархатцев прямостоячих характерно максимальное содержание цинка по сравнению с наземными органами, особенно в загрязнённых районах г. Йошкар-Олы. При изучении специфики аккумуляции Zn вегетативными органами у изученных видов был построен следующий убывающий ряд: астра китайская > цинния изящная > бархатцы прямостоячие. В онтогенезе декоративных растений отмечалось увеличение содержания металла по мере старения растений (максимум был у g<sub>2</sub>-особей всех исследуемых видов по сравнению с растениями прегенеративного периода). Содержание данного элемента в органах декоративных растений при этом было ниже или в пределах ПДК. Таким образом, содержание цинка в листьях и корнях у декоративных растений на протяжении всего онтогенеза возрастало с увеличением загрязнения окружающей среды.

Содержание Fe в листьях и корнях декоративных растений увеличивалось в процессе индивидуального развития. Наибольшей способностью к накоплению металла обладали вегетативные органы особей астры китайской, а низкой концентрирующей способностью характеризовались растения бархатцев прямостоячих. Железа в корнях модельных видов накапли-

валось больше, чем в ассимиляционных органах, исключение составили ювенильные особи циннии изящной и бархатцев прямостоячих: содержание металла в них было одинаковым как в листьях, так и в корнях.

**Процессы накопления, передвижения и распределения тяжёлых металлов в системе «почва-растение» в условиях городской среды.** Для характеристики биогенной миграции металлов в системе «почва-растение» были рассчитаны индексы биоаккумуляции. В ходе анализа коэффициентов накопления Pb, Cu, Zn и Fe у изученных видов декоративных растений было обнаружено увеличение этого коэффициента на протяжении всего индивидуального развития: наибольшей накопительной способностью по отношению к данным металлам обладали вегетативные органы особей астры китайской. Листья и корни у растений бархатцев прямостоячих характеризовались низкой поглотительной способностью к Pb, Zn и Fe, а у циннии изящной – к Cu. У всех изученных видов декоративных растений коэффициент накопления Pb, Cu и Zn был значительно ниже 1, что свидетельствует о слабой поглотительной способности растений. В отличие от других металлов, коэффициент накопления в листьях и корнях по отношению к Fe у растений *C. chinensis*, *Z. elegans* и *T. erecta* был достаточно высоким ( $>1$ ).

При оценке коэффициента передвижения Pb, Cu, Zn и Fe в вегетативных органах *C. chinensis*, *Z. elegans* и *T. erecta* прослеживалась иная тенденция: по мере роста растений данный показатель снижался. Самым высоким коэффициентом передвижения по отношению к Cu и Zn на протяжении всего онтогенеза в пригородной и селитебной зонах обладали листья и корни особей циннии изящной, а в промышленном районе города – бархатцев прямостоячих. Вегетативные органы растений астры китайской в прегенеративном и генеративном периодах онтогенеза характеризовались наименьшей способностью к передвижению меди и цинка. Коэффициент передвижения Pb и Fe у декоративных растений имел свои особенности: в пригородной зоне наибольшая способность к передвижению металлов отмечалась у особей бархатцев прямостоячих, в селитебной зоне – у астры китайской, а в промышленной зоне – у циннии изящной.

Таким образом, анализируя содержания ТМ в декоративных растениях на разных этапах онтогенеза, выявили видовую специфичность накопления Pb и Zn вегетативными органами *C. chinensis*, *Z. elegans* и *T. erecta*. Установлено, что листья и корни особей астры китайской, в отличие от других видов, обладали наибольшей аккумулирующей способностью по отношению к свинцу и цинку. Анализируя коэффициент накопления металлов (Pb, Cu, Zn и Fe), можно отметить, что вегетативные органы изученных декоративных растений лучше всего накапливают железо, так как этот элемент в определённых количествах является необходимым для роста и развития клеток растений. Коэффициент передвижения металлов в

вегетативных органах у данных видов наоборот был выше 1; полученные данные свидетельствует о преобладании изученных металлов в листьях, что говорит о слабых защитных механизмах корневой системы у однолетних декоративных растений к исследуемым металлам.

## ГЛАВА V. ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ У ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

**Антиоксидантные железосодержащие ферменты, участвующие в адаптационных процессах растений.** Одним из биохимических показателей реакции растений на изменение факторов внешней среды, степени их адаптации к новым экологическим условиям является активность пероксидазы и каталазы (Духовский, 2003; Чупахина, 2012). В результате исследования активности пероксидазы у декоративных растений (рис. 6) было установлено, что содержание данного фермента в листьях декоративных растений увеличивалось в процессе индивидуального развития; наибольшей ферментативной активностью обладали особи генеративного периода. У  $g_2$ -растений астры китайской, выращенных в пригородной зоне, данный показатель был максимальным – почти в 2 раза выше по сравнению с особями циннии изящной и в 6 раз больше, чем у растений бархатцев прямостоячих ( $p = 0,004$ ). Действие антропогенных факторов привело также к усилению активности пероксидазы на всех этапах развития. В результате наибольшая пероксидазная активность в листьях *C. chinensis*, *Z. elegans* и *T. erecta* наблюдалась в промышленной и селитебной зонах. Нужно отметить, что среди изученных видов растений максимальной ферментативной активностью характеризовались листья особой астры китайской во всех районах исследования. У растений бархатцев прямостоячих были достаточно низкие значения активности данного фермента.

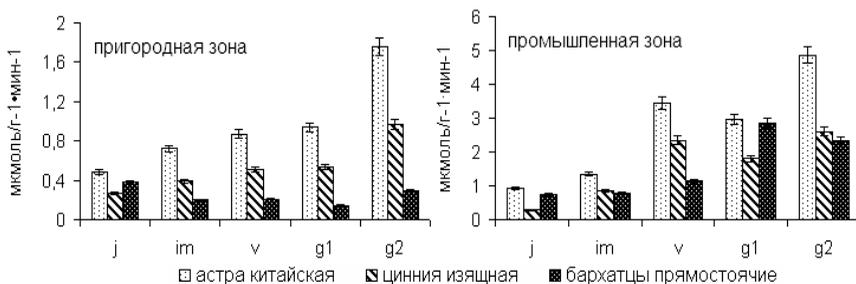


Рисунок 6. Изменение активности общей пероксидазы в онтогенезе декоративных растений

При оценке содержания каталазы в листьях декоративных растений выявлено, что динамика ферментативной активности сходна во всех районах исследования: происходило снижение активности этого фермента у растений от прегенеративного периода к генеративному. У  $g_2$ -особей астры китайской активность каталазы в пригородной зоне почти в 2 раза ниже по сравнению с другими изученными видами ( $p = 0,042$ ). По мере увеличения антропогенной нагрузки данный показатель также падал. Так, в промышленной зоне содержание фермента у декоративных растений было минимальным. Среди изученных видов наибольшую ферментативную активность в пригородной зоне имели листья особей бархатцев прямостоячих, а в селитебной и промышленных зонах – растения циннии изящной. Особи астры китайской характеризовались самой низкой ферментативной активностью в листьях во всех районах исследования.

**Активность медьсодержащих ферментов у декоративных растений.** Немаловажное значение в регуляции окислительно-восстановительных процессов играют Cu-содержащие ферменты полифенолоксидазы и аскорбатоксидазы, которые выполняют важные функции в регуляторной деятельности клетки. В процессе индивидуального развития у изученных видов декоративных растений наблюдалась общая закономерность распределения полифенолоксидазы в листьях: активность данного фермента усиливалась от прегенеративного периода к генеративному периоду. Кроме того, по мере увеличения антропогенной нагрузки содержание полифенолоксидазы возрастало; и максимальной активностью данного фермента характеризовались листья особей, произрастающих в промышленной зоне. Нужно отметить, что активность полифенолоксидазы у *C. chinensis*, *Z. elegans* и *T. erecta* в процессе онтогенеза имела вид одновершинной кривой, максимум которой приходился на молодые генеративные растения. Так, содержание фермента в листьях  $g_1$ -растений астры китайской в промышленной зоне было в 2,5 раза выше по сравнению с циннией изящной и почти в 4 раза больше, чем у  $g_1$ -растений бархатцев прямостоячих ( $p = 0,0009$ ). Среди изученных видов на протяжении всего индивидуального развития наибольшей полифенолоксидазной активностью обладали листья особей астры китайской; у бархатцев прямостоячих содержание фермента было самым низким.

Изучение содержания другого медьсодержащего фермента – аскорбатоксидазы (рис. 7) у декоративных однолетников показало, что данный фермент снижал свою активность в листьях – как в процессе индивидуального развития растений, так и при увеличении антропогенной нагрузки. Исключение составляли растения *T. erecta*, произрастающие в селитебной зоне: для данного вида характерно максимальное содержание фермента средневозрастного генеративного растения ( $0,7 \pm 0,02$  мкмоль/ $г^{-1} \cdot мин^{-1}$ ), что в 3 раза выше по сравнению с циннией изящной и в 9,5 раз больше, чем у астры китайской ( $p = 0,0001$ ). Среди изученных декоративных расте-

ний наименьшей аскорбатоксидазной активностью во всех районах исследования характеризовались листья особой астры китайской на протяжении всего онтогенеза. У особой циннии изящной, произрастающих в промышленном районе исследования содержание фермента в органах было максимальным. В листьях бархатцев прямостоячих, выращенных в пригородной и селитебной зонах наблюдалась наибольшая ферментативная активность.

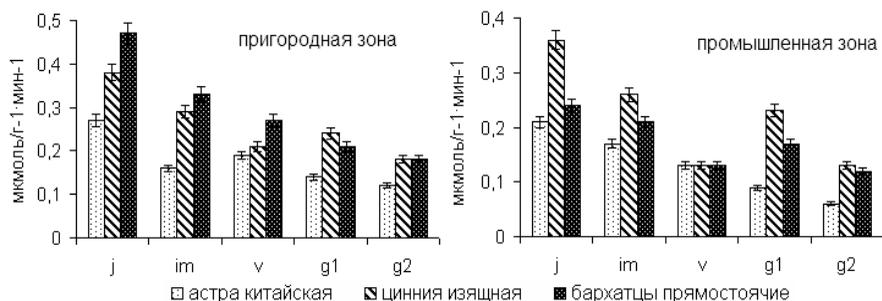


Рисунок 7. Изменения активности аскорбатоксидазы в онтогенезе декоративных растений

Таким образом, анализ активности железо- и медьсодержащих ферментов показал, что по мере увеличения антропогенного загрязнения окружающей среды происходил рост активности пероксидазы и полифенолоксидазы в листьях изученных декоративных растений, а активность каталазы и аскорбатоксидазы падала. По-видимому, колебательный характер изменения Fe- и Cu-содержащих ферментов объясняется снижением уровня активности одних ферментов и одновременной активацией других, как в процессе индивидуального развития, так и в зависимости от условий произрастания.

## ГЛАВА VI. ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КОМПОНЕНТОВ НЕФЕРМЕНТАТИВНОЙ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ В ОНТОГЕНЕЗЕ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

**Содержание низкомолекулярных антиоксидантов в онтогенезе декоративных однолетников.** Известно, что одним из биохимических показателей реакции растений на изменение факторов внешней среды, степени их адаптации к новым экологическим условиям является содержание аскорбиновой кислоты и каротиноидов – низкомолекулярных компонентов антиоксидантной системы защиты растений (Чухакина, 2012). При сравнении количества аскорбиновой кислоты в листьях декоративных растений на разных этапах онтогенеза (табл. 1) обнаружено, что в большинстве случаев комплексное загрязнение городской среды приводило к снижению количества данного показателя у изученных растений. В процессе онтоге-

неза наибольшее содержание витамина С в листьях приходилось на имма-турные, виргинильные и молодые генеративные растения. Кроме того, выявлена видовая специфичность содержания данного соединения у изученных декоративных растений: наибольшим количеством аскорбиновой кислоты обладали листья особой астры китайской во всех изученных районах исследования.

Таблица 1  
Содержание аскорбиновой кислоты в листьях декоративных растений в процессе онтогенеза, мкг/г

Вид	прегенеративный период			генеративный период	
	j	im	v	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>
<i>пригородная зона</i>					
<i>C. chinensis</i>	83,4±0,56	91,6±0,88	98,2±0,92	82,5±0,66	76,8±0,22
<i>Z. elegans</i>	70±0,32	85,6±0,70	88,6±0,75	79,3±0,34	56±0,31
<i>T. erecta</i>	66,2±0,51	73,9±0,51	88,3±0,72	81,2±0,55	63,6±0,56
<i>селитренная зона</i>					
<i>C. chinensis</i>	77,8±0,35	81,3±0,53	89,4±0,44	77,8±0,56	70,3±0,55
<i>Z. elegans</i>	64±0,33	84±0,78	67,6±0,52	65,3±0,42	79,3±0,48
<i>T. erecta</i>	60,5±0,55	80,4±0,65	92,6±0,89	75,2±0,67	66,8±0,31
<i>промышленная зона</i>					
<i>C. chinensis</i>	63,7±0,58	75,9±0,58	95,1±0,89	82,3±0,79	75,6±0,56
<i>Z. elegans</i>	57,9±0,43	55,3±0,41	72,3±0,70	52,9±0,42	62,3±0,23
<i>T. erecta</i>	51,4±0,34	64,9±0,46	79,4±0,67	65,3±0,44	50,4±0,38

Наряду с аскорбиновой кислотой изучались особенности и других низкомолекулярных компонентов антиоксидантной системы – каротиноидов. Содержание каротиноидов в листьях изученных видов (рис. 8) повышалось по мере усиления загрязнения окружающей среды, максимальные значения этого показателя характерны для растений промышленной зоны г. Йошкар-Олы.

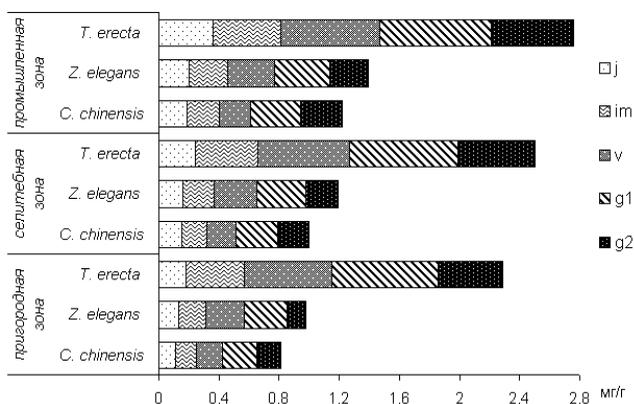


Рисунок 8. Содержание каротиноидов в листьях декоративных растений в процессе онтогенеза

В ходе онтогенеза у *C. chinensis*, *Z. elegans* и *T. erecta* наблюдалось также увеличение в листьях каротиноидов, максимум приходился на молодые генеративные особи. Так, в промышленной зоне у  $g_1$ -растений бархатцев прямостоячих данный показатель был выше в 2,5 раза по сравнению с астрой китайской и циннией изящной ( $p = 0,0032$ ). Как и для аскорбиновой кислоты, обнаружена видовая специфичность изменения изученного показателя: наибольшим содержанием каротиноидов в листьях характеризовались особи бархатцев прямостоячих. У особой астры китайской, выращенных в пригородной и селитебной зонах, содержание каротиноидов в листьях было самым низким.

При неблагоприятных воздействиях накопление свободного пролина рассматривают как один из механизмов биохимической адаптации. Анализируя содержание этой аминокислоты в листьях изученных декоративных растений, можно сделать следующие выводы: наибольшее содержание данного показателя в листьях было характерно для растений, произрастающих в промышленной зоне. У особой астры китайской было обнаружено наибольшее количество изученной аминокислоты в листьях на протяжении всего индивидуального развития в отличие от других декоративных растений семейства *Compositae*. Исключение составили растения циннии изящной, выращенные в пригородной зоне: у данного вида содержание пролина в листьях было максимальным.

Таким образом, в процессе онтогенеза декоративных растений, произрастающих в разных местообитаниях, показаны значительные изменения содержания неферментативных антиоксидантных компонентов. В урбанизированной среде у изученных видов в листьях происходило повышение содержания каротиноидов, пролина и уменьшение количества аскорбиновой кислоты. Данное явление рассматривается как естественный механизм защиты от неблагоприятных условий среды, направленный на сохранение чувствительных внутриклеточных компонентов.

Итак, в ходе изучения эколого-физиологических показателей растений установлено, что для бархатцев прямостоячих и циннии изящной по сравнению с астрой китайской, характерна достаточно высокая экологическая стабильность, которая выражается в меньших затратах потенциальных возможностей растений к восстановлению и преодолению физиолого-биохимических нарушений под действием антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Таким образом, использование комплексного подхода (эколого-биологического и физиолого-биохимического) позволило более полно раскрыть адаптационные возможности декоративных растений в условиях городской среды. В результате исследований выявлено, что бархатцы прямостоячие и цинния изящная лучше адаптируются к изменяющимся условиям среды, а астра китайская наиболее чувствительна к антропогенному

воздействию, поэтому данный вид может быть использован в качестве биоиндикатора загрязнения городской среды. Всё это свидетельствует о том, что однолетние декоративные растения являются эффективными видами для использования их в целях фитоиндикации, оценки экологического состояния территорий и озеленения городской среды.

## ВЫВОДЫ

1. На основе концепции дискретного описания онтогенеза были описаны особенности индивидуального развития астры китайской, циннии изящной и бархатцев прямостоячих: выделено 3 периода и 6 онтогенетических состояний; определены следующие признаки-маркеры: тип корневой системы; форма и длина листовой пластинки; порядок ветвления; интенсивность процессов отмирания и новообразования в разных онтогенетических состояниях. На биометрические показатели декоративных растений значительное влияние оказывают антропогенные факторы среды, в результате у растений происходит снижение темпов развития вегетативных и генеративных органов.

2. У декоративных растений, произрастающих в городской среде, происходит изменение длительности отдельных фенофаз: у бархатцев прямостоячих фаза вегетации увеличивалась за счет сокращения фазы цветения и образования семян; особи астры китайской быстро проходят фазу вегетации и раньше вступают в фазу цветения.

3. При оценке содержания тяжёлых металлов в почве г. Йошкар-Олы (селитебная и промышленная зоны) отмечалось увеличение предельно допустимой концентрации: для свинца и цинка в 2–4 раза, меди в 6–9 раз.

4. В результате исследования вегетативных органов модельных видов декоративных растений наблюдалась различная аккумулирующая способность к тяжёлым металлам: наибольшее содержание свинца и меди обнаружено в листьях, а цинка и железа – в корнях. В условиях городской среды коэффициент накопления Pb, Cu и Zn в декоративных растениях не превышал единицы, астра китайская обладала наибольшей способностью накапливать изученные тяжелые металлы.

5. В условиях урбанизированной среды в онтогенезе изученных растений происходило изменение активности окислительно-восстановительных ферментов: активность пероксидазы и полифенолоксидазы увеличивалась в листьях декоративных растений в процессе онтогенеза, а активность каталазы и аскорбатоксидазы уменьшалась по мере индивидуального развития растений.

6. В листьях декоративных растений в условиях городской среды отмечалось изменение содержания низкомолекулярных антиоксидантов: снижение количества аскорбиновой кислоты и увеличение каротиноидов, свободного пролина в генеративном периоде онтогенеза.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### *Статьи и издания, рекомендованные ВАК*

1. Воскресенская, О.Л. Оценка ферментативной активности и содержания стрессовых белков в тканях некоторых видов декоративных растений / О.Л. Воскресенская, Е.В. Сарбаева, О.А. Бердникова (Ягдарова), Е.Р. Юсупова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Тольятти, 2009. – С. 250–253.
2. Ягдарова, О.А. Изменение активности антиоксидантных ферментов в онтогенезе бархатцев прямостоячих в условиях городской среды / О.А. Ягдарова, О.Л. Воскресенская // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – Оренбург, 2013. – С. 198–201.
3. Ягдарова О.А. Особенности накопления свинца однолетними декоративными растениями в процессе онтогенеза в условиях города Йошкар-Олы // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2; URL: <http://www.science-education.ru/108-8981> (дата обращения: 29.04.2013).
4. Ягдарова О.А. Особенности прохождения фенофаз у однолетних декоративных растений в условиях городской среды / О.А. Ягдарова, О.Л. Воскресенская // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». – М.: РУДН, 2013. – № 2. – С. 42–47.

### *Статьи в научных изданиях и электронные ресурсы*

5. Ягдарова, О.А. Онтогенез астры китайской (*Callistephus chinensis* (L.) Nees) / О.А. Ягдарова, Т.В. Боровикова, Л.А. Жукова, О.Л. Воскресенская // Онтогенетический атлас: научное издание. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2011. – Т. 6. – С. 28–32.
6. Ягдарова, О.А. Бархатцы прямостоячие, или африканские (*Tagetes erecta* L.) / О.А. Ягдарова, А.Д. Шопина, О.Л. Воскресенская, Л.А. Жукова // Онтогенетический атлас: научное издание. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2011. – Т. 6. – С. 38–43.
7. Экологическое состояние г. Йошкар-Олы / О.Л. Воскресенская, Е.В. Сарбаева, Е.А. Алябышева, Т.И. Копылова, О.С. Соловьева, Н.А. Смирнова, В.С. Воскресенский, О.А. Бердникова (Ягдарова). – Йошкар-Ола: МарГУ, 2011. [Электронный ресурс] <http://new.marsu.ru/GeneralInformation/structur/HelpUnits/libr/resours/yoshkar-ola/index.html>.

### *Список работ, опубликованных в международных, Всероссийских и региональных сборниках и материалах конференций*

8. Воскресенская, О.Л. Динамика ростовых процессов в онтогенезе однолетних растений / О.Л. Воскресенская, Л.А. Жукова, О.А. Бердникова (Ягдарова) // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: Мосоловские чтения: сборник

материалов международной научно-практической конференции. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2009. – С. 378–380.

9. Шопина, А.Д. Изменение физиологических показателей у однолетних декоративных растений в условиях загрязнения окружающей среды / А.Д. Шопина, О.А. Бердникова (Ягдарова), Т.В. Боровикова, О.Л. Воскресенская // Биологическое разнообразие северных экосистем в условиях изменяющегося климата: материалы международной научной конференции. – Апатиты, 2009. – С. 70–71.

10. Бердникова, О.А. (Ягдарова) Особенности онтогенеза бархатцев прямостоячих (*Tagetes erecta* L.) / О.А. Бердникова, Л.А. Жукова // Регуляция роста, развития и продуктивности растений: материалы VI Международной научной конференции / Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси. – Минск: ИВЦ Минфина, 2009. – С. 17.

11. Бердникова, О.А. (Ягдарова) Содержание пигментов у декоративных растений на разных этапах онтогенеза / О.А. Бердникова, О.Л. Воскресенская // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы международной научно-практической конференции. Вып. XII. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2010. – С. 251–352.

12. Бердникова, О.А. (Ягдарова) Изменение активности железосодержащих оксидаз в онтогенезе бархатцев прямостоячих (*Tagetes erecta* L.) / О.А. Бердникова // Актуальные проблемы экологии, биологии и химии: материалы Всероссийской конференции. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2010. – С. 42–45.

13. Бердникова, О.А. (Ягдарова) Действие фитогормонов на особенности прохождения фаз у некоторых видов декоративных растений / О.А. Бердникова, О.Л. Воскресенская, Т.В. Боровикова // Наука и инновации – 2010: материалы Всероссийского молодежного научного семинара. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2010. – С. 35–37.

14. Бердникова, О.А. (Ягдарова) Особенности онтогенеза и изменение биометрических показателей у астры китайской при разной плотности посадки / О.А. Бердникова, Т.В. Боровикова // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2010. – С. 248–251.

15. Ягдарова, О.А. Изменение феноритмов у некоторых декоративных растений / О.А. Ягдарова // Физиология растений – фундаментальные основы экологии и инновационных биотехнологий: материалы докладов VII съезда Общества физиологов растений: в 2 ч. – Нижний Новгород, 2011. – Ч. 2. – С. 787.

16. Ягдарова, О.А. Изменение содержания тяжелых металлов у декоративных растений / О.А. Ягдарова // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы международной научно-практической конференции. Вып. XII. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2012. – С. 262–264.

17. Ягдарова, О.А. Динамика ростовых процессов в онтогенезе астры китайской в посевах с разной плотности / О.А. Ягдарова, О.Л. Воскресенская // Регионы в условиях неустойчивого развития. Естественное знание в регионах: проблемы, поиски, решения: материалы международной научной конференции. – Кострома: КГУ им. Н. А. Некрасова, 2012. – Т. 1. – С. 288–292.

18. Yagdarova, O.A. The content of vitamin c and carotenoids in ontogenesis of ornamental plants in urban environment / O.A. Yagdarova, O.L. Voskresenskaya // Наукові, прикладні та освітні аспекти фізіології, генетики, біотехнології рослин і мікроорганізмів: матеріали XII конференції молодих вчених. – Київ, 2012. – С. 20–21.

19. Воскресенская, О.Л. Особенности накопления цинка декоративными растениями в онтогенезе в условиях городской среды / О.Л. Воскресенская, О.А. Ягдарова // Инновационные направления современной физиологии растений: материалы Всероссийской конференции с международным участием. – М.: МГУ, 2013. – С. 158.

Подписано в печать 20.07.2013 г. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 2,1. Тираж 120 экз. Заказ № 2355.

Отпечатано с готового оригинал-макета в ООП  
ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет»  
424001, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1