

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Стариковой Екатерины Александровны «Экофизиологические особенности хвойных растений в условиях городской среды», представленную на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.15. Экология (биологические науки)

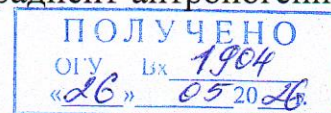
**1. Актуальность темы диссертационного исследования** Диссертационное исследование Е.А. Стариковой посвящено решению одной из ключевых задач современной урбоэкологии – оптимизации качества городской среды через создание устойчивых зеленых насаждений. В условиях возрастающей антропогенной нагрузки, в частности загрязнения атмосферы поллютантами ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , взвешенные вещества) и почвы тяжелыми металлами, особенно остро стоит вопрос подбора ассортимента древесных растений, способных выполнять средоформирующие и санитарно-гигиенические функции. Как правило, в озеленении городской среды используют лиственные породы. Однако, хвойные растения обладают рядом преимуществ перед лиственными, являясь высокодекоративными и вечнозелеными, оказывающими saniрующее и пылезадерживающее действие, обладающими высокими фитонцидными свойствами, шумо- и ветрозащитным эффектом. При этом доля их в городских насаждениях мала. В г. Йошкар-Ола этот показатель не превышает 15%. Ограниченность использования хвойных в озеленении городов обусловлена высокой их чувствительностью к стрессорам.

Работа Е.А. Стариковой, посвященная анализу эколого-физиологических реакций трех видов-интродуцентов (можжевельник казацкий (*Juniperus sabina* L.), туя западная (*Thuja occidentalis* L.), ель колючая (*Picea pungens* Engelm.) на комплекс городских условий, несомненно, актуальна. Автором впервые для г. Йошкар-Ола проведена оценка состояния растений на разных уровнях организации живого – от морфологических показателей (жизненное состояние особей) до физиолого-биохимических (пигментный комплекс, ферментативная активность) и биогеохимических (накопление тяжелых (ТМ)) характеристик. Полученные данные имеют не только теоретическое, но и важное практическое значение для оптимизации системы озеленения, что нашло отражение в практических рекомендациях и подтверждено Актами о внедрении результатов исследования, представленных Комитетом экологии и природопользования Администрации городского округа «Город Йошкар-Ола».

**2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Научные положения, выводы и практические рекомендации, представленные в диссертации, обладают высокой степенью обоснованности.

Во-первых, это достигается репрезентативным объемом экспериментального материала. Исследование проводилось автором в течение длительного периода (2015–2022 гг.) на трех функциональных зонах (рекреационной, селитебной, промышленной) с разной степенью урбанизации. Это позволило диссертанту оценить реакцию хвойных растений на градиент антропогенной



нагрузки. В каждой зоне было заложено по пять пробных площадок, в каждой из которых было отобрано по 10 проб почвы. Автором проанализировано значительное количество образцов (проведено 29700 физиолого-биохимических анализов хвои и 2100 анализов почвы). Это обеспечивает статистическую значимость результатов.

Во-вторых, в работе использован комплексный методологический подход, соответствующий цели и задачам исследования. Данный подход включает в себя натурные наблюдения (оценка жизненного состояния, инвентаризация флоры), инструментальные измерения (загрязнение воздуха, физико-химические свойства почв), лабораторные анализы (атомно-абсорбционная спектрометрия для изучения тяжелых металлов в почве и растениях, спектрофотометрия для анализа пигментов, газометрия и колориметрия для оценки ферментов). Применение современных методов статистической обработки (многофакторный дисперсионный анализ (ANOVA), корреляционный анализ Спирмена) подтверждает статистическую значимость различий и выявленных закономерностей.

В-третьих, выводы и положения, выносимые на защиту, полностью соответствуют представленным в работе результатам и логически вытекают из них. Рекомендации по оптимизации озеленения городской среды обоснованы выявленными видоспецифическими адаптационными особенностями трех исследуемых видов хвойных пород.

В-четвертых, обоснование и разработка программы исследований, анализ полученных результатов, формулировка положений, защищаемой диссертации и выводов произведено лично автором под руководством научного руководителя. Статистический анализ и интерпретация полученных результатов выполнена лично автором.

Автореферат в полном объеме отображает содержание и структуру диссертации.

### **3. Достоверность и новизна исследования, полученных результатов**

**Достоверность** результатов сомнений не вызывает благодаря значительному объему выборок, использованию стандартизированных и сертифицированных методик (ГОСТы), корректной статистической обработке и сопоставлению собственных данных с обширным литературным материалом (список литературы включает 380 источников, из которых 42 – на иностранном языке).

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Впервые для г. Йошкар-Олы проведена комплексная оценка влияния факторов городской среды на морфологические, физиолого-биохимические и биогеохимические показатели трех видов хвойных-интродуцентов: *J. sabina*, *T. occidentalis* и *P. pungens*.

2. Установлена видоспецифичность накопления тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu, Fe) и впервые определены коэффициенты биологического поглощения (КБП) для этих видов в условиях урбанизированной среды. Выявлено,

что туя западная (*T. occidentalis*) обладает наибольшей биогеохимической активностью (БХА).

3. Впервые в пределах г. Йошкар-Ола детально изучена сезонная динамика пигментного комплекса (хлорофиллы *a*, *b*, каротиноиды) в хвое изучаемых видов и показаны адаптивные изменения под влиянием антропогенной нагрузки (в промышленной зоне содержание хлорофиллов снижается, а каротиноидов, наоборот, повышается).

4. Показана высокая диагностическая значимость активности окислительно-восстановительных ферментов (каталазы и пероксидазы) как маркеров стресса. Выявлен их разнонаправленный характер (снижение активности каталазы и рост пероксидазы) при усилении техногенной нагрузки.

#### **4. Значимость для науки и практики полученных автором результатов**

**Теоретическая значимость** работы состоит в расширении и углублении представлений о механизмах адаптации хвойных растений к условиям урбанизированной среды. Полученные данные о взаимосвязи между накоплением тяжелых металлов, состоянием пигментного аппарата и активностью антиоксидантных ферментов вносят вклад в экологическую физиологию и биоиндикацию.

**Практическая значимость** исследования достаточно высокая:

– разработаны и переданы в Комитет экологии и природопользования г. Йошкар-Олы практические рекомендации по оптимизации городских насаждений (Акт о внедрении..., Приложение 4, стр. 240);

– виды *T. occidentalis* и *P. pungens* рекомендованы в качестве видов-индикаторов для организации экологического мониторинга городской среды на основании результатов физиолого-биохимических исследований;

– материалы диссертации внедрены в учебный процесс МарГУ при чтении курсов «Урбоэкология», «Экологический мониторинг» и др. (Акт о внедрении..., Приложение 4, стр. 239);

– данные о накопительных способностях видов хвойных могут быть использованы при проектировании санитарно-защитных зон (например, *T. occidentalis* может быть использована как биогеохимический барьер для Pb и Cd).

#### **5. Соответствие диссертации паспорту специальности**

Содержание диссертации полностью соответствует паспорту научной специальности 1.5.15. Экология (биологические науки), в частности пункту 1: «Закономерности влияния абиотических и биотических факторов на организмы. Экофизиология (факториальная экология). Адаптации организмов к различным факторам среды. Жизненные формы и адаптивные типы. Изменения организмами среды обитания».

#### **6. Полнота освещения результатов диссертации в печати**

Результаты диссертационного исследования прошли апробацию на 9 Всероссийских и Международных конференциях (2016–2025 гг.). По теме

диссертации опубликовано 15 научных работ, из них 5 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, что полностью соответствует критериям Положения о присуждении ученых степеней. Публикации в полной мере отражают основное содержание работы.

### **7. Краткая характеристика структуры и содержания диссертации**

Структура диссертации логичная и традиционная: введение, анализ литературы, характеристика материала и методов, характеристика антропогенной нагрузки на окружающую среду, представление результатов. Материал изложен на 240 страницах, содержит 24 рисунка, 9 таблиц и 4 приложения.

**Во введении** представлен методологический аппарат исследования: обоснована актуальность, сформулированы цель, задачи, научная новизна и практическая значимость, положения, выносимые на защиту, личный вклад автора, соответствие диссертации паспорту научной специальности, степень достоверности и апробация результатов.

**В первой главе** «Теоретические предпосылки исследуемого вопроса» (обзор литературы, стр. 10–46) дан глубокий анализ отечественных и зарубежных источников по теме диссертации. Обзор охватывает аспекты использования хвойных в озеленении, влияние загрязнителей и тяжелых металлов на растения, их экофизиологические реакции. В заключении обзора литературы сделаны выводы о проблемных аспектах, которые в настоящее время остаются нерешенными.

**Во второй главе** «Объекты и методы исследования, объем выполненных работ» (стр. 46–59), дана эколого-биологическая характеристика можжевельника казацкого (*Juniperus sabina* L.), туи западной (*Thuja occidentalis* L.), ели колючей (*Picea pungens* Engelm.). Описаны методы исследования атмосферного воздуха, почвы, удельной электропроводности водной почвенной вытяжки, определения рН почвы, содержания органического вещества в почве, тяжелых металлов в почве и растениях, оценка жизненного состояния древесных пород, видового состава травянистого и древесного ярусов, содержания фотосинтетических пигментов, определения окислительно-восстановительных ферментов, а так же используемые в работе методы статистического анализа данных. Представленные методы подтверждают высокий методический уровень работы.

**Глава 3** «Характеристика природных условий и антропогенной нагрузки на окружающую природную среду исследуемой территории» (стр. 59–77) включает всестороннюю характеристику трех исследуемых функциональных зон г. Йошкар-Олы, их атмосферного воздуха и почв. По содержанию SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, Pb, Cd в воздухе и почве автором показано возрастание уровня загрязнения от рекреационной к промышленной зоне. В промышленной зоне установлено превышение ПДК<sub>с.с.</sub> по SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> и по взвешенным веществам, изменение физических свойств почвы в сторону увеличения содержания органического вещества, рН почвы, удельной электропроводности почв. Выстроенный градиент антропогенной нагрузки позволил автору сделать выводы о влиянии городской среды на хвойные породы и выработке у них физиолого-

биохимических механизмов защиты, а также о возможности использования исследуемых хвойных пород в городских насаждениях с целью озеленения территорий.

**Четвертая глава** «Результаты эколого-физиологических исследований и их анализ» (стр. 77–162) включают основную часть работы, в которой последовательно и доказательно изложены результаты оценки жизненного состояния, накопления ТМ, сезонной динамики пигментов и активности ферментов.

Автором показано, что в озеленении г. Йошкар-Олы доминируют лиственные породы, ассортимент хвойных ограничен. При оценке жизнеспособности деревьев использовано два методических подхода, которые свидетельствуют о хорошем и удовлетворительном состоянии городских насаждений, которое ухудшается в промышленной зоне.

Результатом изучения зольности растений является вывод о высокой газопоглощательной способности *T. occidentalis*, а также наличии у этого вида механизмов активной аккумуляции ТМ как из почвы, так и из атмосферного воздуха. Автор рекомендует этот вид использовать в городской среде для очищения атмосферного воздуха.

Проведенный автором анализ накопительных особенностей тяжелых металлов выявил межвидовую дифференциацию растений. Выстроен ряд биогеохимической активности (БХА) исследуемых хвойных растений (*T. occidentalis* > *J. sabina* > *P. pungens*). Показана низкая БХА хвойных пород из промышленной зоны, несмотря на повышенное содержание ТМ в почве этой территории. С точки зрения автора это может быть обусловлено активацией защитных механизмов растений, направленных на ограничение чрезмерного поступления ТМ в растительные органы.

В результате проведенных биохимических исследований установлено, что содержание фотосинтетических пигментов в хвое изученных видов растений, произрастающих в условиях г. Йошкар-Олы, зависит от видовых особенностей, функциональной зоны и сезона года. Антропогенное загрязнение атмосферного воздуха городской среды приводит к снижению содержания хлорофиллов *a* и *b* и повышению каротиноидов. В качестве действующих факторов в городской среде выступают  $SO_2$ ,  $NO_2$  и содержание взвешенных веществ в атмосферном воздухе. Для растений всех функциональных зон установлена сходная сезонная динамика содержания фотосинтетических пигментов в хвое исследуемых видов, в большей степени проявляющаяся на изменении хлорофиллов *a* и *b* (повышенное содержание в летние месяцы и пониженное – в зимние), в меньшей – каротиноидов.

Доказана высокая диагностическая значимость активности окислительно-восстановительных ферментов (каталазы и пероксидазы) как маркеров стресса. При усилении техногенной нагрузки (высокие концентрации в атмосфере  $SO_2$ ,  $NO$ ,  $NO_2$  и содержание Pb в почве) происходит снижение активности каталазы и рост пероксидазы у всех исследуемых видов хвойных, с большей степенью выраженности эффекта у *T. occidentalis*.

**Заключение** (выводы) в лаконичной форме обобщает полученные автором основные результаты диссертационного исследования. Выводов пять, они отражают задачи и содержание работы. Далее идут **практические рекомендации и перспективы** дальнейших исследований.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации и отражает ее основные положения и выводы.

## **8. Оценка достоинств и недостатков в содержании и оформлении диссертации**

### **Достоинства:**

1. комплексный подход, объединяющий изучение абиотических факторов среды и ответных реакций растений на разных уровнях организации (организменном и физиолого-биохимическом);
2. большой фактический материал, длительный период наблюдений;
3. четкая видоспецифическая интерпретация полученных результатов, имеющая практическое значение;
4. глубокий анализ литературы и сопоставление полученных результатов исследования с литературными данными.

### **Замечания и вопросы по диссертационной работе:**

1. **По главе 2-3:** чем обусловлено определение валовых форм ТМ в почве и их использование для расчета КБП? В диссертации приведены данные о содержании валовых форм тяжелых металлов в почве, которые автор также использует для расчета коэффициентов биологического поглощения (КБП). Классический расчет КБП строится на отношении концентрации элемента в золе растения к его валовому (общему) содержанию в почве или литосфере (Б.Б. Перельман, 1975). Однако для оценки биодоступности ТМ для растений, накопительных особенностей видов и, как следствие, токсических эффектов более информативным является определение подвижных (обменных) форм ТМ, особенно в условиях разной кислотности почв (рН от 5,56 до 6,81). Валовые содержания тяжелых металлов в почве могут быть высокими, но при этом находится в недоступной для растений форме. КБП в этом случае получается искусственно заниженным и не отражает реальную биогеохимическую активность и токсические эффекты. Для оценки экологических рисков рассчитывают не классический КБП, а коэффициент биогеохимической подвижности или индекс аккумуляции. В этом случае концентрацию в растении делят на содержание подвижных (доступных) форм металлов в почве, извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером или слабыми кислотами. В главе 2 не указан экстрагент, которым извлекали тяжелые металлы из почвы. Не ясно, определяли ли в работе обменно-связанные формы металлов и / или кислоторастворимые?

2. **По главе 2:** для оценки способности растений к концентрации химических элементов автор использует показатель биогеохимической активности вида (БХА), предложенный А.Д. Айвазян в 1974 г. БХА – это среднее арифметическое значение всех индивидуальных коэффициентов биологического по-

глощения (КБП) для исследуемых химических элементов. В работе же используется сумма КБП (стр. 55). В этом случае данный показатель искажается т.к. зависит от количества химических элементов, участвующих в анализе. Аналогично не корректно определять суммарное содержание ТМ в растениях (стр. 107–109), т.к. оно тоже зависит от количества химических элементов, включенных в анализ.

3. Для анализа содержания в почве ТМ использовано сухое озоление. Этот метод не подходит для извлечения летучих форм металлов, которые при высоких температурах могут испариться. В частности, он не подходит для Cd и Pb, концентрация которых может быть сильно занижена при его использовании. Универсальным и основным методом для определения всех токсичных тяжелых металлов является мокрое (кислотное) озоление.

4. При описании методов исследования (п. 2.2) не указаны объемы выборок для каждого конкретного вида исследования. Не совсем понятно, как отбирали материал в полевых условиях, что выступало в качестве биологической повторности? В каждой функциональной зоне было пять пробных площадок. Сколько растений каждого вида было взято в анализ на каждой пробной площадке, если в каждой зоне отобрано по 10 растений каждого вида? Не совсем понятно, как отбирали почву? Автор пишет «из подкروновых участков в пределах расположения корневых систем методом конверта». Это касается учетной площадки или функциональной зоны? Подкروновые участки, в пределах которых отбирали почву, располагались около деревьев, с которых отбирали хвою и побеги или в пределах функциональной зоны? Этот же вопрос касается лабораторных исследований. Как отбирали пробы для анализа удельной электрической проводимости водной почвенной вытяжки, pH, содержания органического вещества? Как проводили пробоподготовку и что выступало в качестве экстрагента при определении ТМ в почве?

5. По главе 4: в работе широко используется двух- и трехфакторный дисперсионный анализ. Была ли проверка данных на соответствие нормальному распределению и гомогенности дисперсии перед его применением? Использовались ли апостериорные критерии для множественных сравнений (например, тест Тьюки)? Результаты дисперсионного анализа в работе представлены без значений  $F$ -критерия и числа степеней свободы ( $df$ ). С чем связано представление результатов дисперсионного анализа только вероятностью возникновения событий ( $p$ )?

6. Отличается ли сезонная динамика пигментов у растений в разных функциональных зонах? Наблюдаются ли сезонные сдвиги в концентрации пигментов в селитебной и промышленной функциональных зонах? При анализе содержания фотосинтетических пигментов в растениях акцент сделан на сезонную динамику содержания хлорофилла  $a$ ,  $b$  и каротиноидов у каждого вида в пределах одной функциональной зоны (рис. 11–19, стр. 120–133). При проведении двухфакторного дисперсионного анализа в этой части работы функциональные зоны даже не рассматриваются в качестве действующего на данный параметр фактора. В соответствии с целью исследования логичнее

было бы за основу взять градиент антропогенной нагрузки и проанализировать сезонное изменение пигментов у каждого вида в этом градиенте.

7. В работе показано, что содержание хлорофиллов и каротиноидов в хвое можжевельника казацкого (*J. sabina*) более стабильно в условиях загрязнения по сравнению с *T. occidentalis* и *P. pungens*. С чем связана эта устойчивость?

Указанные недостатки и замечания в целом не затрагивают ценности, научной и практической значимости полученных результатов, они носят дискуссионный или рекомендательный характер.

### **Заключение**

Диссертационная работа Стариковой Екатерины Александровны «Экофизиологические особенности хвойных растений в условиях городской среды», представленная на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.15 Экология (биологические науки), является законченным, самостоятельным научным исследованием, выполненным на хорошем методическом уровне и представляющим научный и практический интерес. Работа содержит решение актуальной научной задачи – комплексной оценки адаптационных реакций хвойных-интродуцентов к техногенному стрессу в урбанизированной среде. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

По актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований, теоретической и практической значимости представленная работа полностью соответствует требованиям пп. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 26.10.2023 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Автор диссертации, Старикова Екатерина Александровна, заслуживает присуждения ей искомой ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.15. Экология (биологические науки).

### **Официальный оппонент,**

директор Нижнетагильского государственного социально-педагогического института (филиала)  
ФГАОУ ВО «Уральский государственный педагогический университет»,  
доктор биологических наук  
(03.00.16 – экология, 03.00.05 – ботаника),  
профессор

*жу*

Жуйкова Татьяна Валерьевна

622031, Свердловская обл. Нижний Тагил,  
ул. Красногвардейская, 57  
Тел.: 8(3435) 25-48-00; e-mail: office@ntspi.ru

22 мая 2026 года

