

На правах рукописи



ПАШКОВА АННА СЕРГЕЕВНА

**Биоэкологические особенности
Picea abies L. и *Picea pungens* Engelm. в условиях городской среды**

Специальность: 03.02.01. – ботаника
03.02.08. – экология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

11 НОЯ 2015



005564793

Оренбург – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия»

**Научный
руководитель**

Бухарина Ирина Леонидовна
доктор биологических наук, профессор

**Официальные
оппоненты:**

Хазиахметов Рашит Мухаметович
доктор биологических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Башкирский
государственный университет» (г. Уфа)

Османова Гюльнара Орудж кзы
доктор биологических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Марийский государственный
университет» (г. Йошкар-Ола)

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Башкирский
государственный педагогический
университет им. М. Акмуллы»
(г. Уфа)

Защита состоится 24 декабря 2015 г. в ___ ч. на заседании диссертационного совета Д.212.180.02 при ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный педагогический университет».

Адрес: 460014, г. Оренбург, ул. Советская 19. Тел. (факс) (3532) 77-24 -32.
E-mail: ospu@ospu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный педагогический университет»
<http://www.ospu.ru>

Автореферат разослан «28» октября 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Мушинская Наталья Ивановна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Древесные растения широко используются в озеленении городов как важный средообразующий фактор. Они выполняют ряд экологических функций, испытывая негативное влияние техногенного стресса. Различные аспекты процессов роста и развития, устойчивости древесных растений в условиях городской среды изучались многими исследователями (Николаевский, 1979; Неверова, Колмогорова, 2003; Кулагин, Шагиева, 2005; Воскресенская, Сарбаева, 2006; Кулагин, 2006; Авдеева, 2008; Бухарина и др., 2012). Для создания и реконструкции городских насаждений весьма актуален научно-обоснованный подбор видов древесных растений, отличающихся высокой устойчивостью и декоративностью. При подборе видового состава насаждений необходимо учитывать функциональное назначение озеленяемых территорий. В городском озеленении промышленных регионов преобладают лиственные породы, хвойные – используются реже, что связано с их низкими адаптивными возможностями. Однако среди хвойных растений имеются виды весьма перспективные для создания городских насаждений (Гетко, 1989; Булыгин, Ярмишко, 2001).

Изучение эколого-биологических особенностей древесных растений в урбаносреде в Ижевске – крупном промышленном центре Уральского региона – проводится с 2000 г., но в основном объектами исследования были лиственные породы и доминирующие в травяном покрове виды растений. В тоже время имеется ряд публикаций, свидетельствующих о хорошем жизненном состоянии ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) в городских насаждениях (Бухарина, Поварнищина, 2013). Но сравнительного изучения эколого-биологических особенностей хвойных растений, включая аборигенные и интродуцированные виды, на территории города не проводилось.

После аномальной жары 2010 г. в коренных лесах Удмуртии начались существенные изменения, связанные с усыханием ели. В условиях Ижевска у изучаемых видов елей, в особенности у ели колючей, произрастающей в одиночных или групповых посадках, усыхания не отмечено. Этот факт свидетельствует о высоком адаптивном потенциале этого вида в условиях техногенной среды и требует детального изучения.

Таким образом, актуальность исследований связана с недостаточностью знаний об адаптивных реакциях хвойных растений в условиях урбаносреды,

востребованностью хвойных пород при создании и реконструкции насаждений на урбанизированных территориях.

Целью исследований являлось изучение эколого-биологических особенностей ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) и ели европейской (*Picea abies* L.) в условиях урбаноcреды для реконструкции и создания городских насаждений (на примере г. Ижевска).

Для решения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Характеризовать условия произрастания растений с учетом типа насаждений и функционального назначения озеленяемых территорий;
2. Оценить жизненное состояние ели колючей и ели европейской, определить относительное жизненное состояние древесных насаждений;
3. Выявить особенности роста изучаемых видов хвойных растений на примере радиального прироста ствола, вегетативного годичного прироста;
4. Характеризовать особенности формирования корневой системы у изучаемых видов;
5. Выявить характер изменений в содержании фотосинтетических пигментов в хвое, веществ с антиоксидантной активностью в органах изучаемых видов елей в насаждениях разных экологических категорий;
6. Дать рекомендации по использованию результатов исследования в организации системы мониторинга состояния насаждений и окружающей среды, по внедрению в практику озеленения города.

Научная новизна. Впервые в условиях г. Ижевска Удмуртской Республики проведено сравнительное изучение адаптивных реакций ели колючей и ели европейской, позволившее выявить эколого-биологические особенности этих видов на разных уровнях организации растительного организма: формирование корней и содержание танинов в корневой системе, формирование радиального и годичного прироста, содержание фотосинтетических пигментов.

Положения, выносимые на защиту.

- Выявлены видовые особенности ели колючей и ели европейской в формировании корневой системы в условиях техногенной среды, проявляющиеся в изменении показателя корненасыщенности метрового слоя почвы, длины корней, соотношения фракций корней и их распределения в почвенных горизонтах.

- Условия техногенной среды приводят к изменению содержания и соотношения фотосинтетических пигментов в хвое. Эти изменения имеют

видоспецифичный характер. Изучаемые виды имеют особенности синтеза танинов и их перераспределения в органах в условиях техногенной нагрузки.

- Ель колючая обладает выраженной устойчивостью в городской среде и может быть рекомендована к более широкому использованию в озеленении промышленных центров.

Практическая значимость. Для промышленных городов Уральского региона характерно старение насаждений и утрата их функциональной активности. Полученные в ходе исследований данные востребованы в реконструкции и создании насаждений в промышленных центрах. Отдельные показатели хвойных растений (содержание танинов в корневой системе, соотношение фотосинтетических пигментов в хвое, длина годичного прироста) могут быть использованы в системе мониторинга состояния окружающей среды. Результаты исследования применяются на практических и лекционных занятиях кафедры лесоустройства и экологии Ижевской государственной сельскохозяйственной академии, а также на кафедре инженерной защиты окружающей среды Удмуртского государственного университета.

Конкурсная поддержка работы. Часть исследований выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-04-31909.

Апробация работы. Основные результаты исследований были представлены и обсуждены на: Всероссийской научно-практической конференции ФГБОУ ВПО ИжГСХА «Инновационному развитию АПК и аграрному образованию - научное обеспечение» (Ижевск, 2012); Международной научно-практической конференции «Научное обеспечение АПК. Итоги и перспективы» (Ижевск, 2013); Всероссийском конкурсе на лучшую научную работу среди аспирантов и молодых ученых в номинации «Биологические науки» II и III этап (Оренбург, Краснодар, 2013); Всероссийской научной конференции с международным участием «Биотехнологии: наука и практика, инновации и бизнес» (Астрахань, 2013); Всероссийском конкурсе на лучшую научную работу среди аспирантов и молодых ученых в номинации «Биологические науки» II этап (Киров, 2014); Международной научно-практической конференции «Глобализация науки: проблемы и перспективы» (Уфа, 2014).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ, в том числе 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, а также 1 статья в журнале, цитируемом в Scopus.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 119 страницах, состоит из введения, 6 глав, выводов, списка литературы, включающего 166 источников, из них 13 – на иностранном языке, и приложения, представленного на 21 странице. Работа включает 16 таблиц и 13 рисунков.

Личное участие автора в получении научных результатов. В диссертацию вошли материалы, полученные лично автором в результате полевых и лабораторных исследований. Автором выполнен основной объем исследований – разработка программы исследования, определение целей и задач, проведение экспериментов, обработка данных, анализ результатов и формулировка выводов. Часть научных публикаций выполнена в соавторстве, доля участия автора диссертации в них составляет до 60%.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю д.б.н., профессору И.Л. Бухариной за руководство работой при выполнении исследований, к.б.н., доценту К.Е. Ведерникову за консультации и помощь в подготовке диссертации. Отдельная благодарность коллективу сотрудников и преподавателей Ижевской государственной сельскохозяйственной академии, сотрудникам кафедры инженерной защиты окружающей среды Удмуртского государственного университета.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе рассмотрены вопросы влияния городской среды на изменение микроклимата, температурного режима (Стурман и др., 2002; Неверова, Колмогорова, 2003; Воскресенская и др., 2004; Курбатова и др., 2004; Лобанова, 2005; Бухарина и др., 2007; Бухарина, Двоглазова, 2010; Бухарина и др., 2012), почвенных условий (Горышина, 1991), а так же на изменение биохимических и физиологических процессов, морфоструктуры растений, произрастающих в городской среде (Ковальский, 1974; Курбатова и др., 2004). Рассмотрены некоторые аспекты изучения устойчивости растений к загрязнению атмосферы (Илькун, 1971; Кулагин, 1974), выделения газоустойчивых видов (Гетко и др., 1978; Сергейчик, 1984), в т.ч. среди хвойных растений (Молчанов, 1970; Антипов, 1979; Чернышенко, 2002).

ГЛАВА 2. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

В главе приводится характеристика природно-климатических условий г. Ижевска, который находится в центральной части Удмуртии на восточной окраине Русской платформы. Рельеф представляет собой всхолмленную равнину, коренной тип почв – дерново сильно подзолистый. Ижевск располагается на границе двух подзон лесной зоны – южной тайги и хвойно-широколиственных лесов Европейской части РФ. Климат Ижевска характеризуется как умеренно континентальный с продолжительной многоснежной зимой. В течение всего года преобладают юго-западные ветры со среднегодовой скоростью – 4 м/сек. Экологическая характеристика города дана на основе материалов Докладов об экологической обстановке в г. Ижевске (2012-2014). Также в главе рассмотрены вопросы состояния зеленых насаждений города, системы их воспроизводства и реконструкции.

ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования были выбраны насаждения различных экологических категорий, испытывающие антропогенную нагрузку разной степени интенсивности: насаждения селитебной зоны (жилой микрорайон «Север») и примагистральные посадки (ул. Удмуртская). В качестве зоны условного контроля (ЗУК) выбран парк ландшафтного типа ЦПКиО им. С.М. Кирова (Краснощекова, 1987). Объекты исследований: представитель местной флоры ель европейская (*Picea abies* L.) и интродуцированный вид – ель колючая (*Picea pungens* Engelm.).

В каждом из исследуемых насаждений закладывались пробные площади (ПП), в пределах которых проведены таксационные описания древесных растений (по методике Соколова, 1998) с фиксированием пороков ствола (ГОСТ 2140 – 81), определено жизненное состояние древесных растений и относительное жизненное состояние древостоя (Алексеев, 1990).

Описание почв проводили методом почвенных разрезов (Смагин и др., 2008). Определены следующие агрохимические показатели почв (в отобранных на ПП методом конверта образцах): рН_{KCl} (ГОСТ 26483-91); рН_{H2O} (ГОСТ 17.54.01-84); содержание органического вещества (гумуса) (%) – по методу Тюрина И.В. в модификации Симакова; содержание аммонийного азота – фотоколориметрически, нитратов – ионометрическим методом, подвижных форм калия и фосфора (мг/кг

почвы) – по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО; плотность сложения и влажность почв – по общепринятым методикам (Аринушкина, 1961; Практикум по агрохимии, 1987).

Исследование корневой системы проводилось методом монолитов (Качинский, 1925; Кречетова, Долгова, 2001; Böhm, 1979; Smit et al., 2000). Почвенные монолиты размером 10×10 см закладывались вдоль почвенного разреза. Выборку корней из монолитов проводили при помощи пинцета с последующей отмывкой корней водой на ситах с диаметром ячеек 0,5 мм. После отмывки производили разделение корней на фракции по диаметру корней: до 1 мм (всасывающие волоски), 1-3 мм (проводящие, полускелетные корни) и более 3 мм (скелетные). Определяли длину корней, массу (в сыром и воздушно-сухом состоянии) для каждой из фракций.

Особенности морфогенеза хвойных растений изучали на примере формирования годичного и радиального прироста. Для определения радиального прироста брали керны при помощи возрастного бурава.

Для измерения биометрических показателей годичного прироста с каждого учетного растения отбирали по 10 побегов с южной экспозиции средней части кроны. Определяли длину годичного побега (мм), биомассу хвои (г), параметры хвоинок (длина и ширина), площадь хвои (см²) (Карманова, 1976; Карасев, 2001).

Изучение ассимиляционной активности проводили количественной оценкой содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов) в хвое растений. Анализы проводили на спектрофотометре СФ-200 путем измерения оптической плотности спиртовой вытяжки пигментов. Содержание пигментов определяли расчетным путем (Гавриленко, Жигалова, 2003). Исследования проводились в режиме скрининга, основной целью которых была сравнительная оценка реакции растений на условия среды, где весьма важным является временной фактор. Экстракцию проводили сразу же после сбора материала.

Содержание пигментов определяли расчетным путем с помощью формул (Wintermans, De Mots, 1965): $C_a = 13,70 \times A_a - 5,76 \times A_b$; $C_b = 25,80 \times A_b - 7,60 \times A_a$; $C_{a+b} = 6,10 \times A_a + 20,04 \times A_b$; $C_{кар} = 4,695 \times A_{кар} - 0,268 (C_{a+b})$ (D. Wettstein)

Установив концентрацию пигмента в вытяжке, определяли его содержание в исследуемом материале с учетом объема вытяжки и массы пробы: $F = C \times V / 1000 \times P$, где *F* – содержание пигмента в растительном материале, мг/г сырой массы; *C* –

концентрация пигментов, мг/л; V – объем вытяжки пигментов, мл; P – навеска растительного материала, г.

Анализы проводили в июле, августе и октябре (в течение 2-х вегетационных сезонов). Использовали хвою текущего и прошлого года, собранную с нижней трети кроны растения южной экспозиции.

Содержание конденсированных танинов в органах хвойных растений определяли количественным методом, используя перманганатометрический метод (метод Левенталя в модификации Курсанова).

Анализы проводили в лаборатории агрохимического анализа ФГБОУ ВПО «Ижевская ГСХА» и лаборатории экологической безопасности ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет».

Математическую обработку результатов провели с применением статистического пакета «Statistica 5,5», используя метод главных компонент, описательную статистику, кластерный, корреляционный и дисперсионный многофакторный анализ. При анализе полученных результатов использовали достоверные различия между признаками (при $P < 0,05$).

ГЛАВА 4. ЖИЗНЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РОСТА ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ В НАСАЖДЕНИЯХ ГОРОДА

4.1. Видовой состав и жизненное состояние древесных насаждений

Видовой состав насаждений в основном представлен тополем бальзамическим (*Populus balsamifera* L.), березой повислой (*Betula pendula* Roth.), липой мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) и кленом ясенелистным (*Acer negundo* L.) (около 70% от общего объема городских насаждений). Преобладают особи в возрасте 30-50 лет и старше (до 60-70% от общего числа), что свидетельствует о «старении» зеленого фонда города и утрате физиологического потенциала насаждений. Показатели жизненного состояния особей и относительного жизненного состояния исследуемых насаждений представлены в таблице 1.

Наиболее распространенными повреждениями (пораками) деревьев являются однобокость кроны, механические повреждения, обдир коры, сухие ветви в кроне, засмолки и открытая прорость ствола, особенно в местах с повышенной рекреационной нагрузкой.

Таблица 1

Жизненное состояние растений и относительное жизненное состояние (ОЖС)

насаждений разных экологических категорий

Район исследования (насаждения)	Здоровые деревья, %	Ослабленные, %	Сильно ослабленные, %	Отмирающие деревья, %	ОЖС, %
Парк Кирова, ПП № 1, в т.ч. ель колючая	52	31	15	2	79
	45	22	33	-	
Парк Кирова, ПП № 2, в т.ч. ель европейская	62	25	13	-	84,6
	71	14,5	14,5	-	
ул. Удмуртская, ПП № 1, в т.ч. ель колючая	55	35	10	-	83,5
	60	33	7	-	
ул. Удмуртская, ПП № 2, в т.ч. ель европейская	33	56	11	-	77
	34	58	8	-	
мкр. Север, ПП, в т.ч. ель колючая ель европейская	43	50	7	-	81
	67	33	-	-	
	33	67	-	-	

Примечание: ПП № 1 – пробная площадь для ели колючей,
ПП № 2 – пробная площадь для ели европейской.

4.2. Радиальный и годичный прирост ели европейской и ели колючей в городских насаждениях

Наибольший радиальный прирост по годам отмечен у ели колючей, произрастающей на ул. Удмуртской. Однако наблюдается существенная изменчивость радиального прироста по годам, при этом направленность изменчивости прироста у ели европейской и ели колючей в большинстве лет противоположная (рис. 1, 2).

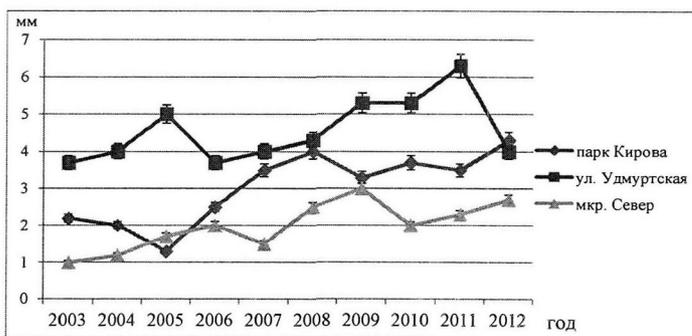


Рис. 1. Радиальный прирост ели колючей за ревиционный период (10 лет) в различных функциональных зонах г. Ижевска

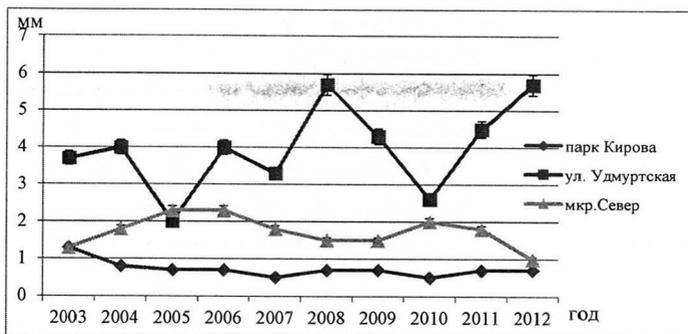


Рис. 2. Радиальный прирост ели европейской за ревизионный период (10 лет) в различных функциональных зонах г. Ижевска

Выявлено, что у ели колючей наблюдается достоверное увеличение охвоенности годичного побега (количество хвоинок) в примагистральных насаждениях. Остальные морфометрические параметры достоверных отличий от контроля не имеют (таблица 2).

У ели европейской существенные изменения в морфологической структуре годичного прироста по сравнению с зоной условного контроля наблюдаются в насаждениях селитебной зоны: увеличение длины побега и количества хвоинок (охвоенности), при снижении массы хвои на приросте.

ГЛАВА 5. ФОРМИРОВАНИЕ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ

5.1. Особенности формирования корневой системы ели европейской и ели колючей

В главе дан обзор опубликованных источников, отражающих особенности формирования корневой системы ели колючей и ели европейской.

5.2. Характеристика структуры почв в насаждениях города

Почва в парковых насаждениях слабодерново-среднеподзолистая супесчаная на водоледниковых песках и супесях, подстилаемых на глубину до 1 метра покровными глинами и тяжелыми суглинками. В результате уничтожения естественного профиля почвы в насаждениях мкр. Север удалось выделить лишь один горизонт – дернина (0-5 см), остальные три горизонта представляют собой искусственно созданные техногенные слои мощностью до 130 см. На ул.

Удмуртской почва классифицирована как стратозем агродерновоподзолистый слабосмытый легкосуглинистый на покровных опесчаненных суглинках.

Таблица 2

Морфометрические показатели годичного побега хвойных растений в насаждениях разных функциональных зон

Вид растения	Район исследования	Длина побега, мм	Площадь хвои, см ²	Охвоенность годичного побега, шт.	Масса хвои в возд.-сух. состоянии, г
Ель колочая, побег 2011 года	мкр. Север	6,6±0,7* 3,6-9,6**	97,0±7,6 64,4-129,5	105,3±5,9 79,8-130,8	1,4±0,2 0,8-2,1
	ул. Удмуртская	11,9±2,1 2,9-20,9	106,7±11,8 56,0-57,4	114,7±34,5 -33,9-263,2	2,7±1,0 -1,6-6,9
	парк Кирова (ЗУК)	5,6±0,4 1,2-10,1	58,8±1,6 38,0-79,7	69,5±19,5 -178,3-317,3	0,6±0,1 -1,1-2,4
Ель европейская, побег 2011 года	мкр. Север	8,1±0,8 -1,5-17,6	24,9±1,9 0,4-49,3	103,0±6,0 26,8-179,2	0,4±0,1* -0,4-1,1
	ул. Удмуртская	4,7±0,7 1,8-7,6	29,8±4,3 11,1-48,5	77,3±18,9 -3,8-158,5	0,2±0,1* -0,1-0,6
	парк Кирова	6,5±0,3 5,2-7,7	46,4±7,1 14,7-57,6	77,0±8,50 40,4-113,6	0,4±0,1 1,1-2,2
Ель колочая, побег 2012 года	мкр. Север	7,1±0,6 4,5-9,6	70,4±17,7 -5,7-146,5	127,3±11,3 78,6-176,1	1,0±0,1 0,4-1,6
	ул. Удмуртская	12,5±1,8 4,8-20,2	86,2±0,3 42,1-130,4	203,7±18,7* 123,3-284,0	2,5±0,4 0,6-4,4
	парк Кирова	6,8±0,1 6,2-7,5	53,9±2,6 20,8-86,9	113,0±0,0 113,0-113,0	0,9±0,1 0,6-1,3
Ель европейская, побег 2012 года	мкр. Север	9,6±0,3* 5,8-13,4	33,3±8,2 -70,9-137,5	153,5±2,5* 121,7-185,3	0,5±0,01* 0,3-0,6
	ул. Удмуртская	7,3±1,4 1,1-13,5	26,8±3,9 9,9-43,6	125,7±32,7 -14,9-266,2	0,4±0,1 -0,1-0,8
	парк Кирова	4,6±0,2 3,8-5,4	42,1±1,4 5,7-45,6	64,3±4,3 45,7-83,0	1,3±0,1 0,7-2,0

5.3 Агрохимическая характеристика почв в насаждениях

Агрохимические анализы показали, что для почв парковой зоны характерна кислотность равная 5,8 и нормальная плотность сложения, выявлено высокое содержание органического вещества (гумуса) и элементов минерального питания, за исключением низкого содержания нитратного азота.

Почва в магистральных насаждениях имеет нормальную плотность сложения и влажность, pH =7,0. Содержание органического вещества (гумуса) в почве – 2,3%. Основные элементы минерального питания характеризуются высоким содержанием, также за исключением нитратного азота. Следует отметить достоверно более высокое содержание аммонийного азота и фосфора в почвах по сравнению с парковыми насаждениями.

Почва в насаждениях селитебной зоны слабощелочная, ближе к нейтральной, имеет нормальную плотность сложения. Содержание элементов питания высокое и повышенное, но имеет достоверно более низкое их содержание по сравнению с зоной условного контроля.

5.4. Морфологическая характеристика корневой системы ели европейской и ели колючей в насаждениях города

Методом кластерного анализа выделено два крупных кластера в массиве данных образцов корней, в одном из которых находится ель колючая, произрастающая в магистральной зоне, в другом кластере – ель колючая и ель европейская, произрастающие в остальных исследуемых насаждениях (рис. 3).

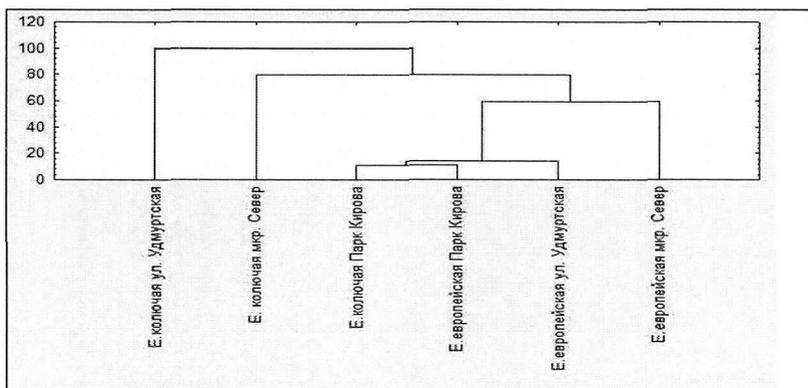


Рис. 3. Кластерный анализ показателей корневой системы ели колючей и ели европейской в насаждениях Ижевска

Так выявлено наличие двух кластеров при анализе сходных реакций растений, отраженных в формировании морфологических показателей корневых систем. В одном из кластеров объединены показатели длины и биомассы корней ($d > 3$ мм), а также длина корней ($d = 1-3$ мм); во втором кластере – длина всасывающих корней ($d < 1$ мм).

В парковых насаждениях у обоих изучаемых видов наблюдается максимальная насыщенность почвы поглощающими корнями в гумусово-эллювиальном горизонте: у ели европейской – $129,8 \text{ г/м}^2$ (2,7%) и у ели колючей – $240,4 \text{ г/м}^2$ (3,8%) (таблица 3). При этом общая корненасыщенность (с учетом всех фракций корней) метрового слоя почвы у ели европейской составила $395,5 \text{ г/м}^2$, а у ели колючей – $401,8 \text{ г/м}^2$. У обоих видов преобладает фракция поглощающих

корней. Следует отметить, что ель колючая весьма значительно превосходит ель европейскую по формированию поглощающих корней

Таблица 3

Корненасыщенность почвы поглощающими, полускелетными и скелетными корнями

Вид растения	Горизонт*	Корненасыщенность, %		
		корни до 1 мм	корни 1-3 мм	корни > 3 мм
Парк им. Кирова				
ель европейская	1	2,7	1,08	0,51
	2	0,56	0,30	0,05
	3	0,37	0,14	0,06
ель колючая	1	3,79	1,21	0,00
	2	0,66	0,84	0,04
	3	0,16	0,00	0,01
мкр. Север				
ель европейская	1	1,98	2,46	0
	2	3,21	3,43	0,19
	3	0,12	0,40	0,01
ель колючая	1	4,53	2,58	0,00
	2	0,80	4,69	0,20
	3	0,24	1,01	0,01
Ул. Удмуртская				
ель европейская	1	2,49	2,27	0,15
	2	1,11	1,18	0,44
	3	0,08	0,04	0,03
ель колючая	1	0,46	0,04	0,00
	2	0,28	0,64	0,00
	3	0,09	0,08	0,02

Примечание. *1 горизонт – гумусово-эллювиальный; 2 – эллювиальный; 3 – илловиальный.

В насаждениях мкр. Север корненасыщенность почвы поглощающими и полускелетными корнями у ели колючей значительно выше, чем у ели европейской. Однако скелетных корней больше формируется у ели европейской. Общая корненасыщенность метрового слоя почвы в насаждениях ели колючей составляет 1562,0 г/м², а у ели европейской – 847,8 г/м². Основная масса корней у ели колючей располагается в гумусово-эллювиальном горизонте и составляет 63% . У ели европейской основная масса корней располагается в эллювиальном горизонте – 78% от массы всех корней. Минимальная корненасыщенность почвы у обоих видов отмечена в илловиальном горизонте, и соответственно составляет 67,3 г/м² и 21 г/м² (4,3 и 2,2%).

В примагистральных насаждениях показатели корненасыщенности почвы у ели европейской резко отличаются от ели колючей. Общая корненасыщенность метрового слоя почвы у ели европейской составила 464,3 г/м², тогда как у ели колючей – всего лишь 45,7 г/м². Основная масса корней у ели европейской располагается в гумусово-

эллипсимальном горизонте – 67% от общей массы корней, у ели колючей в иллипсимальном горизонте – 47%. У обоих изучаемых видов преобладают полускелетные корни.

5.5. Содержание танинов в корнях хвойных растений

Установлены существенные различия в содержании танинов в корневой системе растений в зависимости от условий произрастания. У ели европейской в насаждениях мкр. Север и в магистральных посадках содержание танинов в корнях достоверно снижается на 3,7 и 4,0% по сравнению с парковыми насаждениями, тогда как у ели колючей, наоборот, в условиях наибольшей техногенной нагрузки содержание танинов в корнях существенно возрастает. Полученные данные свидетельствуют о различной направленности реакции изучаемых видов растений на условия среды, с чем связана, на наш взгляд, их разная устойчивость.

ГЛАВА 6. ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЕЛИ КОЛУЧЕЙ И ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ В НАСАЖДЕНИЯХ ГОРОДА

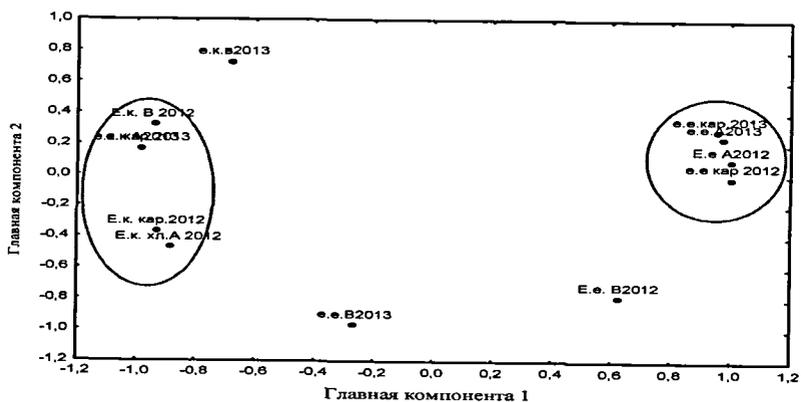
Методом главных компонент проанализирован комплекс физиологических показателей растений и выявлены две главные компоненты во всех категориях насаждений. В насаждениях парка им. Кирова первая главная компонента (на нее приходится 77% изменчивости) отражает параметры содержания в ассимиляционном аппарате растений хлорофилла *a* и каротиноидов. У ели колючей она высоко значимо отрицательно коррелирует с содержанием этих пигментов (коэффициенты корреляции $r = -0,88-0,98$ и $-0,93-0,99$), а у ели европейской – положительно (соответственно $r = 0,99-0,97$ и $0,99-0,95$). Главная компонента 2 значимо отрицательно коррелирует с содержанием хлорофилла *b* в хвое у ели европейской ($r = -0,78-0,96$) и положительно – у ели колючей ($r = 0,33-0,73$).

В насаждениях микрорайона «Север» первая главная компонента (62% изменчивости) отражает параметры содержания всех анализируемых пигментов в хвое у ели европейской (2012 г.) и у ели колючей (2013 г.). Она значимо отрицательно коррелирует с этими показателями. Вторая главная компонента значимо положительно коррелирует с содержанием пигментов в хвое ели колючей (2012 г.).

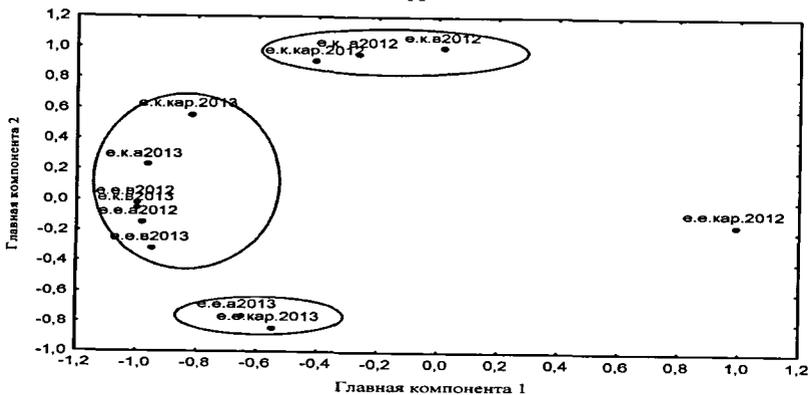
В примагистральных насаждениях первая главная компонента (на нее приходится 59% изменчивости) отражает параметры содержания в хвое растений хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов у обоих изучаемых видов, установленных в 2013 г., и высоко значимо положительно коррелирует с этими показателями. Главная

компонента 2 охватывает 41% изменчивости, с ней высоко значимо отрицательно коррелирует содержание пигментов в хвое ели колочей (2012 г.).

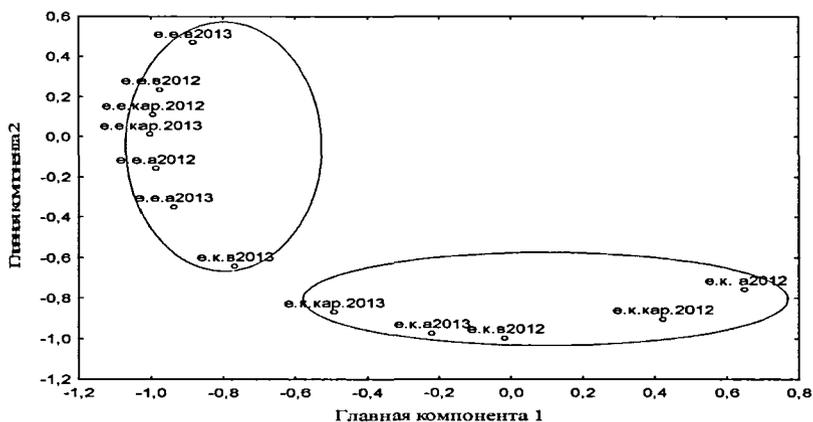
Построение графиков положения объектов в осях координат главных компонент 1 и 2 показало, что в насаждениях парка им. Кирова (рис. 4А) показатели содержания хлорофилла *a* и каротиноидов у ели европейской объединены в одну группу, а у ели колочей – в другую. При этом показатели содержания хлорофилла *b* не значительно коррелируют с главными компонентами. В насаждениях селитебной зоны четких закономерностей объединения показателей в группы не наблюдалось (рис. 4В). В условиях более интенсивной техногенной нагрузки – в магистральных посадках – наблюдалось объединение всех показателей в группы по видовому признаку (рис. 4С).



А



В



С

Рис. 4. Распределение показателей содержания пигментов в хвое ели колючей и ели европейской на плоскости в координатах главной компоненты 1 и главной компоненты 2, рассчитанное по методу главных компонент

Примечание: А – Парк им. Кирова, В – мкр. Север, С – ул. Удмуртская; е.к. – ель колючая; е.е. – ель европейская; а – хлорофилл а; в – хлорофилл в; кар. – каротиноиды; 2012 и 2013 – годы исследования.

Содержания хлорофилла а в хвое ели колючей в течение вегетации оно достоверно изменялось лишь в насаждениях микрорайона Север (таблица 4): в августе оно увеличивалось по сравнению с июлем и затем резко снижалось в октябре. Эта закономерность выявлена в оба года наблюдения.

В разных типах насаждений в течение двух вегетационных сезонов достоверные различия с показателями в ЗУК в содержании хлорофилла а в хвое ели колючей наблюдались в насаждениях мкр. Север, а также в октябре – в примагистральных посадках.

Содержание хлорофилла а в хвое ели европейской достоверно менялось в период наблюдений лишь в насаждениях парковой зоны (ЗУК): в августе показатель снижался по сравнению с июлем, а в октябре – увеличивался. При сравнении разных типов насаждений установлено, что в конце вегетационного периода (октябрь) в оба года наблюдений содержание пигмента в хвое растений в примагистральных посадках было достоверно ниже по сравнению с парковыми насаждениями.

Таким образом, можно отметить, что усиление техногенной нагрузки приводит к увеличению содержания хлорофилла *a* в хвое ели колочей (в насаждениях селитебной зоны, а в октябре – и в магистральных посадках) и его достоверному снижению в хвое ели европейской (в магистральных посадках в октябре).

Таблица 4

Содержание фотосинтетических пигментов в хвое ели колочей и ели европейской

в насаждениях города Ижевска

Вид	Район исследования	Год	Фотосинтетические пигменты, мг/г сухого вещества								
			хлорофилл <i>a</i>			хлорофилл <i>b</i>			каротиноиды		
			07	08	10	07	08	10	07	08	10
Ель колочая	Парк Кирова (ЗУК)	2012	0,75	0,66	0,72	0,16	0,21	0,12	0,28	0,23	0,38
	Ул. Удмуртская		0,88	0,80	1,02'	0,16	0,22	0,18	0,32	0,34	0,51*
	мкр. Север		1,01'	1,33'*	0,52'*	0,32	0,29	0,12	0,34	0,37	0,28
	Парк Кирова (ЗУК)	2013	0,62	0,53	0,62	0,12	0,18	0,11	0,22	0,20	0,33
	Ул. Удмуртская		0,72	0,79	0,92'	0,12	0,21	0,14	0,26	0,31	0,46*
	мкр. Север		0,93'	1,26'*	0,45'*	0,33	0,36	0,61'	0,29	0,49'*	0,24
Ель европейская	Парк Кирова (ЗУК)	2012	0,76	0,42*	1,15*	0,14	0,53*	0,19	0,29	0,38	0,61*
	Ул. Удмуртская		0,81	0,71	0,78'	0,15	0,45*	0,10	0,32	0,26	0,45'
	мкр. Север		0,78	0,44*	0,85'	0,47'	0,21'	0,35	0,22	0,13'	0,58*
	Парк Кирова (ЗУК)	2013	0,81	0,71	1,11	0,19	0,41	0,17	0,29	0,29	0,59*
	Ул. Удмуртская		0,64	0,79	0,71'	0,14	0,23	0,73'*	0,24	0,32	0,41'*
	мкр. Север		0,58	0,42	0,81'	0,20	0,28	0,74'*	0,20	0,16	0,48*
НСР ₀₅		2012	0,15			0,32			0,15		
		2013	0,30			0,50			0,14		

Примечание: ' - достоверные различия в насаждениях по сравнению с зоной условного контроля; * - достоверные различия в августе, октябре по сравнению с июлем.

Динамика хлорофилла *b* у ели колочей показала, что в оба года исследования в течение вегетации и в разных типах насаждений в содержании этого пигмента не было достоверных изменений. У ели европейской содержание хлорофилла *b* в течение вегетации достоверно менялось в насаждениях ЗУК и в приагистральных посадках. При сравнении содержания хлорофилла *b* в разных типах насаждений отмечено достоверно более высокое содержание этого пигмента у растений в насаждениях мкр.

Север по сравнению с ЗУК в конце вегетационного периода (октябрь) в оба года наблюдения, а у ели европейской и в магистральных посадках (октябрь 2013 г.).

Изучение динамики содержания каротиноидов выявило их достоверное увеличение в хвое ели колючей в магистральных посадках в конце активной вегетации растений, а у ели европейской – во всех типах насаждений, что, безусловно, свидетельствует о защитной антиоксидантной роли пигмента.

Сравнение же разных типов насаждений показало, что у ели колючей содержание каротиноидов превышает показатели ЗУК в селитебной зоне в августе. У ели европейской, наоборот, содержание этого пигмента в примастральных посадках (октябрь) и в насаждениях селитебной зоны (август) достоверно ниже, чем в парковых насаждениях.

Были выявлены видовые особенности содержания танинов (таблица 5) в побегах изучаемых видов в насаждениях разных экологических категорий: у ели колючей в условиях техногенной среды содержание танинов достоверно возрастает в стеблевой части побега текущего и прошлого года, причем в условиях наиболее интенсивной техногенной нагрузки содержание данного метаболита возрастает более чем в 10 раз. В хвое годичного прироста и на побеге прошлого года достоверных изменений в содержании танинов не выявлено.

Таблица 16

Содержание конденсированных танинов в побегах изучаемых видов растений

Место произрастания/ орган растения	Весенний побег	Осенние побеги			
		годовой прирост		побег прошлого года	
		стебель	хвоя	стебель	хвоя
<i>Ель колючая (Picea pungens Engelm.)</i>					
Парк Кирова	0,317 ±0,002 0,300...0,333	0,802 ±0,000 0,802 ... 0,802	0,882 ±0,018 0,697...1,047	0,547 ±0,020 0,345...0,778	1,668 ±0,094 0,736...2,599
ул. Удмуртская	0,398 ±0,000 0,398...0,398	4,397 ±0,000 4,397 ... 4,397	0,585 ±0,031 0,280...0,890	0,787 ±0,000 0,787...0,787	0,891 ±0,000 0,891...0,891
мкр. Север	0,450 ±0,001 0,439...0,461	0,900 ±0,000 0,900 ... 0,900	1,269 ±0,031 0,960...1,579	1,418 ±0,020 1,123...1,614	2,356 ±0,038 1,979...2,733
<i>Ель европейская (Picea abies L.)</i>					
Парк Кирова (ЗУК)	0,978 ±0,085 0,131...1,825	0,619 ±0,000 0,619 ... 0,619	1,455 ±0,094 0,523...2,389	0,320 ±0,000 0,320...0,320	1,596 ±0,061 0,927...2,207
Ул. Удмуртская	0,330 ±0,005 0,246...0,385	2,601 ±0,150 1,042 ... 4,159	0,098 ±0,001 0,088...0,108	0,510 ±0,030 0,180...0,850	1,987 ±0,050 1,474...2,483
мкр. Север	0,688 ±0,009 0,602...0,774	1,509 ±0,049 1,025...1,992	1,133 ±0,000 1,133...1,133	0,429 ±0,014 0,287...0,572	0,999 ±0,076 0,248...1,750

У ели европейской также выявлено достоверное увеличение танинов в стеблевой части годичного прироста. Что касается хвои, то было установлено снижение содержания танинов в хвое ели европейской на приросте текущего года в условиях магистральных посадок.

ВЫВОДЫ

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Исследуемые виды произрастали в насаждениях, имеющих ряд особенностей. Почва в насаждениях парка им. Кирова слабо-дерновоподзолистая супесчаная, почвенные горизонты не подвержены сильной трансформации. Преобразования почвенных горизонтов в магистральных посадках не превышают 50 см, и почва классифицирована как стратозем. В насаждениях мкр. Север почвы трансформированы в урбанозем.

По гранулометрическому составу почвы парка им. Кирова, как и почвы магистральных насаждений супесчаные, для них характерна нормальная плотность сложения. В парковых насаждениях почва слабокислая, в приагистральных посадках и в селитебной зоне – слабощелочная, ближе к нейтральной, имеет нормальную плотность. Обеспеченность почв элементами минерального питания и содержание гумуса во всех насаждениях высокие, за исключением низкого содержания нитратного азота.

2. В насаждениях парка им. Кирова жизненное состояние у большинства особей ели европейской (*Picea abies* L.) здоровое (71%). По мере усиления техногенной нагрузки процент особей, имеющих здоровое жизненное состояние, снижается в 2 раза и составляет 33-34%.

У ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) число особей здорового жизненного состояния в магистральных посадках и селитебной зоне (60-67%) превышает показатели в парке им. Кирова (45%). Жизненное состояние ели колючей в насаждениях с интенсивной техногенной нагрузкой почти в 2 раза превышает показатели ели европейской.

3. Наибольшие показатели радиального прироста выявлены у обоих изучаемых видов в насаждениях на ул. Удмуртской. Отмечена существенная изменчивость радиального прироста по годам, при этом направленность изменчивости прироста у ели европейской и ели колючей – противоположная.

У ели колючей в магистральных насаждениях города возрастает числа хвоинок (охвоенность) на годичном побеге. У ели европейской существенные изменения в морфологической структуре годичного прироста по сравнению с зоной условного контроля наблюдаются в насаждениях селитебной зоны: увеличение длины побега и его охвоенности, при снижении биомассы хвои на приросте.

4. Существенное влияние на формирование корневой системы оказывают условия произрастания растений и видовые особенности. Общая корненасыщенность метрового слоя почвы городских насаждений выше у ели колючей, но в условиях наиболее высокой техногенной нагрузки (в примагистральных насаждениях) этот показатель выше у ели европейской. В парковых насаждениях у обоих видов максимальная корненасыщенность отмечена в гумусово-эллювиальном почвенном горизонте, при увеличении же антропогенной нагрузки у ели европейской – в гумусово-эллювиальном и эллювиальном горизонтах, а у ели колючей – в иллювиальном почвенном горизонте. По мере роста техногенной нагрузки меняется и доля различных фракций корней: у ели колючей возрастает доля полускелетных корней, а у ели европейской – скелетных, а при максимальной нагрузке – полускелетных и всасывающих корней.

5. Во всех насаждениях выявлены две главные компоненты по показателям содержания фотосинтетических пигментов. В парковых насаждениях первая компонента (77% изменчивости) у ели колючей высоко значимо отрицательно, а у ели европейской положительно коррелирует с содержанием хлорофилла a ($r = -0,88...-0,98$ и $0,99...0,97$ соответственно) и каротиноидов ($r = -0,93...-0,99$ и $0,99...0,95$). В насаждениях микрорайона «Север» первая главная компонента (62% изменчивости) коррелирует отрицательно с содержанием всех анализируемых пигментов в хвое у ели европейской (2012 г.) и у ели колючей (2013 г.). В примагистральных насаждениях первая главная компонента (59% изменчивости) отражает параметры содержания в хвое растений хлорофиллов a , b и каротиноидов у обоих изучаемых видов, и высоко значимо положительно коррелирует с этими показателями.

В течение вегетации содержание хлорофилла a в хвое ели колючей достоверно меняется лишь в насаждениях микрорайона Север, а у ели европейской – в насаждениях парковой зоны. Усиление техногенной нагрузки приводит к

увеличению содержания хлорофилла *a* в хвое ели колючей (в насаждениях селитебной зоны, а в октябре – и в магистральных посадках) и достоверному его снижению в хвое ели европейской (в магистральных посадках в октябре).

Содержание хлорофилла *b* у ели колючей в оба года исследования в течение вегетации не имеет достоверных различий. У ели европейской содержание хлорофилла *b* изменчиво в течение вегетации. При сравнении разных типов насаждений отмечено достоверно более высокое содержание хлорофилла *b* в конце вегетационного периода в насаждениях селитебной зоны у обоих видов и в магистральных посадках у ели европейской.

Содержание каротиноидов в хвое ели колючей достоверное увеличивалось в течение вегетации лишь в магистральных посадках, а у ели европейской – во всех типах насаждений. Техногенная нагрузка влияет на содержание каротиноидов в хвое ели европейской и вызывает его достоверное снижение в магистральных посадках и в насаждениях селитебной зоны.

6. В насаждениях селитебной зоны и в магистральных посадках содержание танинов в корневой системе у ели колючей достоверно выше, а у ели европейской, наоборот, существенно ниже по сравнению с парковой зоной.

В условиях техногенной нагрузки содержание танинов в побегах ели колючей достоверно превышает показатели зоны условного контроля в начале и в конце активной вегетации растений (в стеблевой части побегов текущего и предыдущего года). У ели европейской достоверные отличия установлены лишь в конце вегетационного периода: превышение показателей зоны условного контроля в стеблевой части побега текущего года и достоверно более низкое содержание танинов в хвое.

7. Полученные результаты позволяют рекомендовать ель колючую к более широкому использованию в городском озеленении, как более устойчивый вид. Ряд показателей хвойных растений можно использовать в целях биоиндикации состояния среды при мониторинге (длина годичного побега, содержание фотосинтетических пигментов, содержание танинов в корневой системе).

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах, рекомендованных ВАК РФ и Scopus:

1. Бухарина И.Л., Пашкова А.С. Особенности фотосинтетического аппарата ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) и ели европейской (*Picea abies* L.) в условиях

городской среды // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 3 (59). <http://www.science-education.ru/123-19386>.

2. Исламова Н.А., Бухарина И.Л., Камашева А.А., Латыпова Р.Г., Лебедева М.А., Пашкова А.С. Исследование пределов устойчивости микроскопических грибов и формирование коллекции перспективных изолятов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 3. <http://www.science-education.ru/123-199>.

3. Bukharina I.L., Vedernikov K.E., Kamasheva A.A., Alekseenko A.S. (Pashkova), Pashkov E.V. Ecological and biological features of Colorado Spruce (*Picea pungens* Engelm.) in urban environment // *Advances in Environmental Biology* 8(13) August 2014. – P. 367-371.

Статьи в рецензируемых журналах и в материалах конференций:

1. Ведерников К.Е., Пашков Е.В., Алексеенко (Пашкова) А.С. Особенности изучения микоризы древесных растений в условиях урбаноcреды // *Материалы Всероссийской научно-практической конференции*. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2012. – Т.1. – С. 259-261.

2. Бухарина И.Л., Ведерников К.Е., Пашков Е.В., Алексеенко (Пашкова) А.С., Камашева А.А. Формирование морфологических структур годичного прироста древесных растений в условиях городской среды // *Сборник научных трудов Sworld: матер. международной науч.-практ. конф. «Modern problems and ways of their solution in science, transport, production and education»*. – Выпуск 2, т. 35. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – С. 23-27.

3. Алексеенко А.С. (Пашкова), Ведерников К.Е. Морфология годичного побега хвойных растений / // *Аграрная наука - инновационному развитию АПК в современных условиях: материалы междунар. науч.-практ. конф. 12-15 февраля 2013 г. / ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА*. – Ижевск, 2013. – Т. 1. – С.189-192.

4. Ведерников К.Е., Пашков Е.В., Алексеенко (Пашкова) А.С., Бухарина И.Л. Особенности формирования корневой системы древесных растений в условиях урбаноcреды (на примере г. Ижевска) // *Аграрная наука - инновационному развитию АПК в современных условиях: материалы междунар. науч.-практ. конф. ФГБОУ ВПО Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2013. – Т.1. - С. 197-201.*

5. Bukharina I.L., Vedernikov K.E., Pashkov E.V., Alekseenko (Pashkova) A.S., Kamasheva A.A. The morphological structures of woody plants' yearly growth in urban environment conditions // *GV-CONF 2013: proceedings in global virtual conference and*

workshop, 8.-12. apr. 2013 / ред.: Z. V. Sovreski, M. Mokrys, S. Badura [и др.]. - Zilina : Publ. Inst. of the Univ. of Zilina, 2013. - Ref.: P. 395-398.

6. Алексеенко (Пашкова) А.С. Оценка ростовых процессов ели колючей в условиях городской среды // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. – Астрахань, 2013. – С. 37-40.

7. Алексеенко (Пашкова) А.С., Пашков Е.В., Ведерников К.Е. и др. Фотосинтетическая активность хвойных растений в условиях урбаноэкосистем (на примере г. Ижевска) // Известия уфимского научного центра РАН. – 2013. – № 3. – С. 57-60.

8. Алексеенко (Пашкова) А.С., Пашков Е.В., Ведерников К.Е., Бухарина И.Л. Формирование корневой системы древесных растений в условиях урбанопочв (на примере г. Ижевска) // Материалы V Международной научной конференции, часть II. 2013. – С 7-10.

9. Алексеенко (Пашкова) А.С., Ведерников К.Е., Бухарина И.Л. Фотосинтетическая деятельность хвойных растений в урбаносреде // Глобализация науки: проблемы и перспективы: сборник статей международной научно-практической конференции. 7 февраля 2014 г. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2014. – С. 66-68.

10. Bukharina I.L., Povarnitsina T.M., Kamasheva A.A., Alekseenko (Pashkova) A.S. Ecological and biological features of Colorado Spruce (*Picea pungens* Engelm.) in urban environment // GV-CONF 2014: proceedings in global virtual conference and workshop, 12-14. apr. 2014 / ред.: Z. V. Sovreski, M. Mokrys, S. Badura [и др.]. - Zilina: Publ. Inst. of the Univ. of Zilina, 2014. – www.gv-conference.com.

11. Бухарина И.Л., Пашкова А.С. Особенности динамики фотосинтетических пигментов у хвойных растений в насаждениях города // Вестник ИжГСХА. – Ижевск: ИжГСХА, 2015. – С. 27-33.

12. Vedernikov K., Bukharina I., Alekseenko (Pashkova) A. Environmental assessment and the use of plants of the genus *Picea* forests of the city of Izhevsk // Australian Journal of Scientific Research, 2014, No.1. (5) (January-June). Volume III. “Adelaide University Press”. Adelaide, 2014. – P. 243-248.

Подписано в печать 22.10.2015 г.
Формат 60x84/16 Усл. печ. л 1,3
Тираж 100 экз. Заказ № 129/15
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА
426069, г. Ижевск, ул. Сгуденческая, 11