

На правах рукописи

*Егорова*

**ЕГОРОВА Анастасия Васильевна**

**ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ И ВОДОПРОВОДНОГО ОСАДКА  
В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА СУБСТРАТА НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН И РОСТ  
СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ**

06.03.01 – Лесные культуры, селекция, семеноводство

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Петрозаводск – 2019

Работа выполнена в Институте леса – обособленном подразделении Федерального исследовательского государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук»

Научный руководитель: ЧЕРНОБРОВКИНА Надежда Петровна  
доктор биологических наук, доцент

Официальные оппоненты: ГАВРИЛОВА Ольга Ивановна  
доктор сельскохозяйственных наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный  
Университет», Институт лесных, горных и строительных  
наук, кафедра технологии и организации лесного комплекса,  
профессор

БОБУШКИНА Светлана Валентиновна  
кандидат сельскохозяйственных наук, ФБУ «Северный  
научно-исследовательский институт лесного хозяйства»,  
научно-исследовательский отдел, научный сотрудник

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный  
Университет имени М.В. Ломоносова», 163002, Российская  
Федерация, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д.17.

Защита состоится 2 октября 2019 года в 11:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.220.02 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова» по адресу: 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер. д.5, литер У, Зал заседаний Ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова» [www.spbftu.ru](http://www.spbftu.ru).

Автореферат разослан “ ” 2019 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор сельскохозяйственных наук, профессор



А.В. Жигунов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Устойчивость развития отраслей лесного комплекса Северо-Запада РФ возможна только путем перехода на интенсивный путь ведения лесного хозяйства, одним из важнейших компонентов которого является искусственное лесовозобновление. Для качественного и своевременного воспроизводства лесных ресурсов в Республике Карелия в год необходимо выращивать около 25 млн стандартных семян (Гаврилова и др., 2017). Однако, в настоящее время наряду с высокой стоимостью, остро ощущается дефицит качественного посадочного материала, что обусловлено рядом проблем, сложившихся в течение последних лет. Почвы лесных питомников республики характеризуются крайне низким уровнем подвижных соединений азота и калия, по содержанию гумуса – от слабой до средней степени обеспеченности (Федорец и др., 2015), что является одним из основных факторов получения низкого качества посадочного материала и увеличения сроков его выращивания. По данным ГУП РК «Кареллесхоз» на 2019 год всего в Карелии выращено 48.8 млн семян, в том числе 2.8 млн – с закрытой корневой системой, из них стандартного – 15.6 млн. Неизбежность длительного хранения лесных семян, связанная с периодичностью обильного семеношения хвойных пород, приводит к их естественному старению, снижению всхожести, а в результате к завышению норм высева и к потере лесосеменного сырья. При выращивании семян с закрытой корневой системой значительную долю расходов составляет закупка субстрата торфа и комплексных удобрений для проведения регулярных подкормок. Одним из путей решения этих проблем может стать разработка новых экологически ориентированных агротехнических приемов выращивания качественного посадочного материала хвойных пород с использованием местных, доступных источников сырья.

**Степень разработанности темы.** Многочисленными исследованиями выявлено положительное действие стимуляторов роста на всхожесть семян и рост семян хвойных пород. В последнее время все больше внимания уделяется разработке и испытанию экологически безопасных регуляторов роста, полученных из природных источников, в частности из древесной зелени. Однако при выращивании семян не изучено влияние экстрактов из древесной зелени хвойных и лиственных пород с учетом временной составляющей отбора растительного сырья. Известно, что для оптимальной согласованности физиологических процессов с фазами светотемнового цикла эндогенные циркадные часы растений обеспечивают 24-часовой ритм фитогормональной активности в их органах и тканях, что важно учитывать при заготовке растительного сырья. Разрабатываются альтернативные варианты компонентов субстратов для выращивания семян с закрытой корневой системой (ЗКС). Не изученным является использование в качестве компонента субстрата при выращивании хвойных пород органоминерального алюмосодержащего осадка, образующегося в больших количествах на коммунальных водоочистных сооружениях при подготовке питьевой воды.

Цель работы – выявить влияние экстрактов из древесной зелени и водопроводного осадка в качестве компонента субстрата на всхожесть семян и рост семян сосны обыкновенной.

### Задачи исследования:

1. Определить влияние хвойного биопрепарата на рост и элементный состав семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), выявить оптимальный диапазон доз внесения.
2. Изучить суточную динамику активности фитогормонов в растущих листьях ивы козьей (*Salix caprea* L.).
3. Испытать влияние водного экстракта из растущих листьев ивы козьей, заготовленных с учетом их суточной динамики фитогормональной активности, на прорастание семян и рост семян сосны обыкновенной.

4. Исследовать агрохимические и агрофизические свойства контейнерного торфяного субстрата с включением органоминерального алюмосодержащего водопроводного осадка (ВПО) в качестве компонента в различных дозах.

5. Определить влияние ВПО в качестве компонента торфяного субстрата на рост, микоризообразование и содержание зольных элементов в органах и микоризе семян сосны обыкновенной.

**Научная новизна.** Впервые проведено исследование ростостимулирующего действия хвойного биопрепарата производства Тихвинского химзавода на двухлетние сеянцы сосны обыкновенной с открытой корневой системой (ОКС) и выявлен диапазон эффективных доз. Разработан способ получения водных экстрактов из растущих листьев *Salix caprea* L. с учетом суточной динамики фитогормональной активности листьев для повышения всхожести семян и стимуляции роста сеянцев сосны обыкновенной (Патент №2662999, 2018). Впервые испытан органоминеральный алюмосодержащий ВПО в качестве компонента субстрата при выращивании сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой (ЗКС). Исследованы агрохимические и агрофизические свойства контейнерного торфяного субстрата с включением ВПО в качестве компонента в дозах от 10 до 100% объема. Выявлены дозы включения ВПО в торфяной субстрат, стимулирующие рост и микоризообразование сеянцев сосны с ЗКС, установлена их алюмотолерантность.

**Практическая значимость.** Результаты исследований могут быть использованы для усовершенствования технологии выращивания посадочного материала (ПМ) хвойных пород в лесных питомниках и тепличных комплексах с применением доступного, широко распространенного, возобновляемого растительного сырья, а также отходов водоочистных сооружений. Хвойный препарат из древесной зелени сосны и ели, водные экстракты из растущих листьев *Salix caprea* L., заготовленных с учетом суточной динамики биологической активности листьев, рекомендуются использовать в качестве эффективных стимуляторов роста при выращивании сеянцев сосны обыкновенной. Перспективным является применение ВПО в качестве компонента торфяного субстрата при выращивании сеянцев сосны обыкновенной с ЗКС. Его использование позволит повысить качество посадочного материала, снизить объемы использования торфа, сократить закупку известкующих материалов и комплексных удобрений для основной заправки торфа.

**Методология и методы исследования.** Методология исследования предусматривала анализ имеющихся в научной литературе сведений по выращиванию посадочного материала в теплично-питомнических комплексах, использованию современных регуляторов роста и разработке новых природных биостимуляторов, изучению свойств субстратов, необходимых для выращивания сеянцев с ЗКС, а также по проблемам, возникающим при использовании ВПО при внесении его в почву. Все проведенные исследования основывались на применении хорошо известных апробированных методик. При решении поставленных задач применялась общенаучная методология, включающая методы эксперимента, анализа, синтеза. Обработка полученных данных проведена с применением методов математической статистики.

**Личный вклад автора.** Личный вклад автора заключается в проведении обзора литературных источников, непосредственном участии при определении целей и задач исследования, разработке программы и методики исследований, постановке и проведении лабораторных, вегетационных и полевых экспериментов, сборе, анализе и обобщении экспериментальных материалов.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Повышение биометрических показателей, накопление фосфора у сеянцев сосны обыкновенной с ОКС после однократной корневой подкормки хвойным препаратом производства

Тихвинского химзавода на второй год роста в дозе  $167 \text{ л} \cdot \text{га}^{-1}$ . Масса семян увеличивается в 2 раза, линейные параметры в 1.5 раза.

2. Особенности изменения фитогормональной активности в растущих листьях *Salix caprea* L. в зависимости от времени суток.

3. Повышение качественных характеристик семян сосны обыкновенной после обработки их 5% водным экстрактом из растущих листьев ивы козьей, отобранных в 8.00 и 20.00 часов, в условиях южной Карелии, обладающих максимальной гиббереллин-подобной и минимальной АБК-подобной активностью. Энергия прорастания семян повышается с 68% (в контроле) до 83%, абсолютная всхожесть – с 70% до 88%, техническая всхожесть – с 68% до 85%.

4. Повышение биометрических показателей семян сосны обыкновенной с закрытой корневой системой после двукратной обработки 100% водным экстрактом из растущих листьев ивы козьей, отобранных в 20.00 часов, в условиях южной Карелии, обладающих максимальной ауксин-подобной активностью, при наличии в экстракте высокой гиббереллин-, цитокинин-подобной активности и низкой АБК-подобной активности. Масса семян увеличивается в 1.5-2 раза, диаметр стволика на уровне корневой шейки в 1.3 раза.

5. ВПО характеризуется дефицитом фосфора, калия, кальция, магния и цинка, избыточным, но не превышающим допустимые значения, содержанием серы, железа, марганца, кремния, никеля, хрома и высоким уровнем алюминия (24% от сухого вещества). Торфяные субстраты с долей ВПО свыше 60% не соответствуют требованиям технологии выращивания посадочного материала с ЗКС по агрофизическим свойствам. ВПО, имеющий слабокислую реакцию, повышает рН полученных вариантов смесей до значений, оптимальных для семян сосны обыкновенной.

6. Применение в качестве компонента субстрата органоминерального алюмосодержащего водопроводного осадка в дозе 60% при выращивании семян сосны обыкновенной с ЗКС стимулирует микоризообразование в 2 раза, рост семян сосны обыкновенной – в 1.5 раза, значительно повышает долю алюминия в составе зольных элементов микоризы и корней семян, обладающих высокой алюмотолерантностью.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность и обоснованность результатов исследований обеспечена репрезентативностью полученных экспериментальных данных и подтверждена с использованием статистических методов при их обработке. Основные положения и результаты исследований представлены на 10 региональных, всероссийских и международных конференциях. По материалам диссертации опубликовано 9 работ, в том числе 3 научные статьи в российских рецензируемых журналах, среди них 2 статьи в журналах, входящих в список ВАК РФ. Получен 1 патент РФ на изобретение.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 125 страницах машинописного текста, включает 15 таблиц и 16 рисунков, состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованной литературы из 382 наименований, 9 приложений.

**Благодарности.** Автор глубоко признателен научному руководителю д.б.н. в.н.с. ИЛ КарНЦ РАН Н.П. Чернобровкиной, а также н.с. Е.В. Робонен за помощь методического и организационного характера, академику РАЕН д.б.н. Н.В. Обручевой, д.б.н. Н.А. Галибиной, к.с.-х.н. С.М. Синькевичу, д.б.н. Л.В. Ветчинниковой, к.с.-х.н. А.Н. Пеккоеву за ценные советы и плодотворную дискуссию при обсуждении полученных результатов. Искренняя благодарность д.с.-х.н. Б.В. Раевскому, к.т.н. ПетрГУ М.И. Зайцевой, м.н.с. Л.А. Савельеву, гл. спец.-физику А.Н. Терновому, сотрудникам аналитической лаборатории ИЛ КарНЦ РАН.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Проблема совершенствования технологии выращивания семян основных лесобразующих пород была и остается актуальной. В последние десятилетия при выращивании семян хвойных

пород активно внедряется применение физиологически активных веществ, в малых дозах оказывающих положительное воздействие на всхожесть семян и рост сеянцев хвойных пород, тем самым позволяя увеличивать выход посадочного материала и снижать затраты на его выращивание (Пентелькин, 2001; Пентелькина, 2002, 2003, 2012; Пентелькина, Острошенко, 2005; Feurtado et al., 2007; Xu et al., 2012; Zhao, Zhong, 2012; Острошенко, Акимов, 2013; Острошенко, Ватулич, 2014; Проказин и др., 2013; Zhao, Jiang, 2014; Ковылина и др., 2014; Острошенко и др., 2015; Mugloo et al., 2017). Возрастает тенденция повышения использования экологически безопасных регуляторов роста, полученных из природных источников. Особое внимание уделяется древесной зелени, которая при существующих способах переработки древесного сырья в России является неиспользованным биоресурсом (Ушанова и др., 1998; Рубчевская и др., 2005). Получением биологически активных веществ из древесной зелени, в том числе стимулирующих рост растений, занимались ученые г. Санкт-Петербурга (Солодкий, Агранат, 1956; Ягодин, 1981, 2009; Рошин и др., 1994, Васильев и др., 1995, 2000); Сибири (Левин, Репях, 1984; Рубчевская и др., 2005; Ушанова, Репях, 2007; Ушанова, 2012; Степень, 2015); Коми (Кучин и др., 1998, 2007; Карманова и др., 2002; Хуршкайнен, 2004; Широких и др., 2008; Морозов и др., 2009; Речкина и др., 2009; Коломникова и др., 2011; Хуршкайнен, Кучин, 2011); Марий Эл (Панюшкина и др., 2015). Большой интерес представляет разработка и испытание регуляторов роста из древесной зелени хвойных и лиственных пород, произрастающих на территории Карелии, при выращивании лесопосадочного материала. Рассмотрены перспективные направления при получении новых, эффективных, простых в приготовлении природных стимуляторов роста с использованием местных источников сырья.

Совершенствуются и внедряются индустриальные методы создания лесных культур с использованием посадочного материала с ЗКС, обеспечивающие рациональное расходование семян, сокращение сроков выращивания сеянцев, лучшую их сохранность и рост, механизацию и автоматизацию посадки лесных культур (Буш, 1974; Маслаков и др., 1981; Магюхина и др., 1986; Жигунов, 2000; Рикала, 2000; Мочалов, 2005; Соколов, 2006, 2012; Робонен и др., 2006; Зайцева, 2010; Гаврилова, 2011; Морозова, 2011; Бартенев, 2012; Мочалов, Бобушкина, 2012, 2013; Бобушкина, 2014; Степанов, Зайцева, 2015; Граник, Крук, 2015, 2018). Лучшим для выращивания сеянцев в теплично-питомнических комплексах традиционно считался субстрат из верхового сфагнового торфа, однако в течение последних лет вложено много средств и усилий в разработку и испытание альтернативных торфяных вариантов компонентов субстратов в связи с экологическими проблемами, возникающими в результате торфодобычи (Робонен и др., 2015; Чернобровкина и др., 2016). Во многих регионах России, в том числе в Карелии, из-за отсутствия промышленной заготовки верхового сфагнового торфа, его вынуждены закупать в других областях, что значительно усложняет и удорожает процесс выращивания сеянцев с ЗКС. В качестве компонентов контейнерных субстратов для хвойных пород были испытаны отходы коммунального хозяйства, лесопромышленного комплекса, целлюлозно-бумажной, горнодобывающей промышленности в виде компостов и смесей (Brown, Emino, 1981; Riviere, Milhau, 1983; Kenna, Whitcomb, 1985; Lemaire et al., 1989; Gruda, Schnitzler, 1999; Bohne, 2004; Робонен и др., 2006, 2015; Wright et al., 2006; Vejjalainen et al., 2007; Jackson, Wright, 2009; Зайцева, 2010; Зайцева и др., 2010; Мухортов, Романов, 2013; Петрик, 2014; Тебенюкова и др., 2014, 2017; Мочалов, Бутина, 2015; Дурова, Жигунов, 2018). В последнее время внимание ученых привлекает использование в землеустройстве органоминерального апомосодержащего водопроводного осадка (ВПО), близкого по своим свойствам к сапропелям и образующегося в больших количествах при подготовке питьевой воды водоочистными сооружениями (Kim et al., 2002; Moodley et al., 2004; Titshall, Hughes, 2005; Babatunde, Zhao, 2007; Мерзлая, 2009; Янин, 2010; Dassanayakea, 2015). Рассмотрены потенциальные отрицательные последствия от внесения ВПО в почву и перспективные

направления его использования, в частности в качестве составной части контейнерных торфяных субстратов при выращивании хвойных пород.

## ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Объекты исследований

Объектами исследований были семена и сеянцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

*Семена сосны обыкновенной.* Семена сосны обыкновенной 2-го класса качества были предоставлены Карельской лесосеменной станцией. Место сбора семян – Республика Карелия, Медвежьегорское центральное лесничество (сбор 2013 года). Семена получены на высокотехнологичной шишкосушилке типа «Sampro» и хранились в течение 3-х лет на специализированном складе базисного лесного питомника «Вилга», обеспечивающим необходимые условия хранения согласно требованиям ГОСТ 14161–86.

На семенах сосны обыкновенной с целью повышения их качественных характеристик испытывали действие водных экстрактов из растущих листьев ивы козьей, отобранных в различные часы в течение суточного светового периода.

*Сеянцы первого года выращивания с ЗКС.* Сеянцы сосны выращивали из улучшенных семян 1-го класса качества (место сбора семян – Петрозаводская лесосеменная плантация, сбор 2016 года) в жестких пластмассовых кассетах типа Plantek-81 на торфяном субстрате, соответствующем стандартной технологии выращивания ПМ ЗКС (Степанов, Зайцева, 2015). Исследовали ростостимулирующее действие водных экстрактов из растущих листьев ивы козьей, отобранных в различные часы в течение суточного светового периода.

*Сеянцы второго года выращивания с ОКС.* Сеянцы сосны обыкновенной, выращивали из семян 1-го класса качества (место сбора семян – Медвежьегорское центральное лесничество, сбор 2010 года), в условиях супесчаных почв в лесном питомнике.

На рост и элементный состав сеянцев сосны с ОКС второго года выращивания изучали действие хвойного экстракта, в качестве которого использовали препарат из хвои сосны и ели производства Тихвинского химзавода, состоящий из хлорофилло-каротиновой пасты, хвойного экстракта и хвойного эфирного масла.

*12-недельные сеянцы сосны обыкновенной.* 12-недельные сеянцы сосны обыкновенной выращивали из семян 1-го класса качества (место сбора семян – Медвежьегорское центральное лесничество, сбор 2016 года) в жестких пластмассовых кассетах типа Plantek-121 в условиях светоустановки при температуре 24°C, 16-часовом фотопериоде, освещенности 8 клк. На рост, микоризообразование и соотношение зольных элементов в органах и микоризе сеянцев изучали влияние внесения в торфяной субстрат в различных дозах алюмосодержащего водопроводного осадка водоочистных сооружений г. Петрозаводска, представляющего собой гелеобразную массу серо-коричневого цвета.

*Экспериментальные подходы.* Изучение влияния хвойного препарата на рост двухлетних сеянцев сосны с ОКС (посев 2010 года) проводили в 2011 году. Для условий Карелии 2010 и 2011 гг. отличались экстремально жарким летом с дефицитом осадков в июле и первой половине августа (Государственный ..., 2011, 2012). Было заложено 5 вариантов опыта. Для каждого варианта выбирали изолированные участки площадью 1,6 м x 1 м (6-строчный посев) в 3-х повторностях. Варианты опыта отличались дозой вносимого в почву хвойного препарата: 17 л\*га<sup>-1</sup>; 50; 167; 500 л\*га<sup>-1</sup> и 0 (контроль). Хвойный экстракт разбавляли в 5 л дистиллированной воды до соответствующей дозы. В качестве контроля использовали дистиллированную воду без добавления экстракта. Корневую подкормку хвойным препаратом проводили однократно в первую декаду июня в сухую погоду. Далее сеянцы выращивали в производственных условиях по стандартной технологии. Отбор образцов для проведения сравнительного анализа опытных и контрольных показателей проводили методом случайной выборки по 100 штук в каждом варианте.

Для изучения влияния экстрактов из древесной зелени лиственных пород на прорастание семян и рост сеянцев сосны, листья ивы козьей (*Salix caprea* L.) в стадии активного роста отбирали в мае и в июле 2016 и 2017 гг. в ясные солнечные дни в течение светового периода, с 8.00 до 20.00 часов с интервалом 2 часа. С целью унификации определения фенологического состояния объекта (в нашем случае – растущего листа ивы козьей) использовали классификацию фенофаз развития вегетативных органов растений (Терентьева, 2008). Используемое нами понятие «растущий лист ивы козьей» соответствовало по данной классификации фенофазам «расхопливание почек», «зеленение» и «молодой лист». Сезонное развитие каждого вида растений индивидуально и не всегда четко вписывается в рамки феностандарта. У ивы козьей рост побегов и появление новых листьев может продолжаться после каждой обрезки практически весь вегетационный период, поэтому при отборе листьев для приготовления экстрактов оценивали стандарты фенофаз листьев. Листья промывали водой, измельчали до размеров 1-2 мм, растирали до однородной массы, экстрагировали дистиллированной водой путем выдерживания в темноте в течение 24 часов при температуре +2–+4°C и гидромодуле 1:10 (1 г листьев: 10 мл воды). Затем экстракты отфильтровывали через два слоя ткани. Семена сосны обыкновенной, соответствующие 2-му классу качества (всхожесть менее 80% для 1 зоны, по ГОСТ 14161-86), проращивали в чашках Петри на 5% растворах водных экстрактов из растущих листьев ивы козьей, в контроле – на дистиллированной воде, использовали 3-кратную повторность. Эксперимент проводили в условиях светоустановки при температуре 24°C, 16-часовом фотопериоде, освещенности 4 клк. Ежедневным добавлением воды поддерживали постоянный уровень раствора. На 7-й день проращивания семян определяли энергию прорастания, на 15 день – абсолютную и техническую всхожесть семян (ГОСТ 13056.6-97).

Для изучения влияния водных экстрактов из растущих листьев ивы козьей на рост сеянцев сосны с ЗКС первого года выращивания (по 80 шт. в каждом варианте опыта) обработку водным экстрактом проводили дважды после появления всходов с интервалом в 3 недели. Использовали 100%-ный экстракт, а также разбавленный дистиллированной водой до концентраций 50% и 75%. Вносили по 5 мл экстракта различной концентрации по вариантам эксперимента на ячейку с сеянцем. В качестве контроля использовали дистиллированную воду (0%).

Для изучения влияния алюмосодержащего водопроводного осадка в качестве компонента торфяного субстрата на рост 12-недельных сеянцев сосны с ЗКС (по 80 шт. в каждом варианте опыта) готовили варианты смесей субстратов, состоящих из верхового сфагнового торфа с включением ВПО в дозах от 10 до 100% объема с шагом 10%. В качестве контроля был принят торф с доломитовой мукой 1 г/л без добавления осадка. Кассеты наполняли подготовленным субстратом и засевали семенами сосны. В стадии проращивания семян поддерживали условия 100% влажности воздуха. Отсутствие основной заправки элементами минерального питания (ЭМП) в осадке и смесях субстрата компенсировали подкормками комплексными удобрениями (N:P:K = 18:18:18), используемыми в производстве.

#### Методы исследований

**Элементный анализ растительного материала.** Проводили анализ содержания макро- и микроэлементов в органах растений по общепринятой методике (Аринушкина, 1970). Содержание общего азота определяли сжиганием по Кьельдалю, фосфор – спектрофотометрически (Спектрофотометр СФ-2000, Россия), калий – атомно-абсорбционным методом (Атомно-абсорбционный спектрофотометр Shimadzu AA-7000, Япония).

**Биометрические методы.** В полевых исследованиях в конце вегетационного сезона, в лабораторных экспериментах через 12 недель выращивания, сеянцы выкапывали, корни промывали водой. Растения разделяли на хвою, стволки и корни, измеряли их биометрические показатели по ГОСТ 3317–90, высушивали в термостате при 105°C до постоянного веса, определяли абсолютно сухую массу.



### Методы биотестов

*Определение гиббереллин-подобной активности экстрактов.* Семена салата сорта Берлинский желтый (*Lactuca sativa* L.) проращивали 60 часов при 20 – 22°C в темноте. Затем проростки длиной 6–8 мм помещали по 10 штук в чашки Петри корнями к центру, накрывали корни отрезками фильтровальной бумаги и добавляли по 5 мл 5% растворов исследуемых экстрактов. В качестве контроля использовали дистиллированную воду. Чашки выдерживали двое суток при постоянном освещении (4 клк) и температуре 24°C, затем измеряли длину гипокотилей (Егоршина и др., 2012).

*Определение АБК-подобной активности экстрактов.* Семена горчицы сарептской (*Brassica juncea* L.) (по 50 шт.) проращивали в чашках Петри на 5% растворах исследуемых экстрактов в темноте при 20-22°C в течение 20-24 часов. В качестве контроля использовали дистиллированную воду. Подсчет проросших семян в опыте проводили после достижения 50% уровня прорастания семян в контроле (Кефели, 1974).

*Построение калибровочных кривых.* Гиббереллин-подобную активность в экстрактах количественно выражали в эквивалентах ГК<sub>3</sub>, АБК-подобную активность – в эквивалентах АБК, используя аппроксимирующие уравнения калибровочных кривых, для построения которых проводили испытания воздействия на тест-растения растворов ГК<sub>3</sub> в диапазоне концентраций 0.1 ÷ 700 мкМ и АБК – в диапазоне 0.02 ÷ 3.8 мкМ. По полученным данным были построены аппроксимирующие уравнения вида (1):

$$y = a * \exp(b * x), \quad (1)$$

где:  $y$  – концентрация стандартного раствора (мкМ)

$x$  – количественное выражение реакции тест-растения на воздействие стандартным раствором (относительно контроля).

Получали коэффициенты аппроксимирующих уравнений, используемых в качестве калибровочных, оценивали достоверность аппроксимации, выявляли рабочие диапазоны концентраций испытуемых веществ для построенных уравнений (таблица 1).

Таблица 1 – Параметры аппроксимирующих калибровочных уравнений вида  $y = a * \exp(b * x)$

Фитогормон	a	b	R <sup>2</sup>	Диапазон калибровочных данных
ГК <sub>3</sub>	0.19	0.13	0.98	0.1 ÷ 140 мкМ-экв ГК <sub>3</sub>
АБК	0.0107	0.061	0.98	0.02 ÷ 3.8 мкМ-экв АБК

Примечание: ГК<sub>3</sub> – гибберелловая кислота; АБК – абсцизовая кислота; R<sup>2</sup> – коэффициент достоверности аппроксимации.

*Определение ауксин-подобной активности.* Листовые черенки 10-дневных проростков фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.) помещали в исследуемые растворы на 24 часа при освещенности 4 клк, затем черенки промывали и помещали в воду. В качестве контроля использовали дистиллированную воду и раствор ИУК (1 мг/л). На 8-е сутки подсчитывали количество образовавшихся корешков. Данный биотест является показательным, так как в воде (контроле) листовые черенки фасоли корней не образуют (Турецкая и др., 1975).

*Определение цитокинин-подобной активности.* Цитокинин-подобную активность определяли по методике Fletcher (1982). Семядоли 5-дневных этилированных проростков огурца обыкновенного (*Cucumis sativus* L.) вырезали при тусклом зеленом свете, помещали в чашки Петри с диаметром 5 см и добавляли 3 мл раствора, представляющего собой комбинацию экстракта из листьев нвы в соответствующих концентрациях с 0.6% водным раствором KCl в соотношении 1:1. Далее выдерживали в темноте 24 часа, а затем на свету 3.5 часа (4 клк). Семядоли, массой 150 мг, гомогенизировали, хлорофилл экстрагировали 3 мл 80% этанола и его содержание определяли фотометрически при длине волны 663 нм. В качестве контроля использовали дистиллированную

воду с 0.6% водным раствором KCl в соотношении 1:1 и раствор БАП (2.5 мг/л) с 0.6% водным раствором KCl в соотношении 1:1.

#### **Анализ субстрата**

*Агрохимический анализ.* Использовали общепринятые в почвоведении методики анализа агрохимических свойств почвы (Александрова, Найденова, 1967; Аринушкина, 1970; Почвоведение, 1988; Наквасина, 2009). pH водной и солевой вытяжек определяли потенциометрически. Содержание общего азота и фосфора определяли сжиганием по Кьельдалю с титриметрическим и спектрофотометрическим окончанием, серы – модифицированным методом Ринькиса со спектрофотометрированием, калия, натрия, кальция, магния, железа, марганца, кремния, меди, молибдена, цинка, никеля, кобальта, хрома, свинца, титана, алюминия – атомно-эмиссионным, атомно-абсорбционным методами.

*Агрофизический анализ.* Определяли агрофизические свойства осадка и субстратов: насыпную плотность – по ГОСТ 24701-2013, массовую долю влаги – по ГОСТ 11305-2013. Исследовали возможные риски изменения размеров и структуры кома субстратов при возможном иссушении. Для этого ячейки кассет наполняли приготовленными вариантами смесей в 6 повторностях, поливали до полного обеспечения кома влагой и выдерживали без полива, затем измеряли диаметр и высоту кома субстрата.

Для изучения процесса образования эктомикориз на корнях сеянцев сосны и соотношения химических элементов в микоризе и органах сеянцев были выбраны 3 варианта: 60% ВПО, где отмечался активный рост сеянцев; 90% ВПО – ингибирование роста и 0 % ВПО – контроль.

*Энергодисперсионный рентгеноспектральный (ЭДРС) микроанализ.* Предварительный ЭДРС-микроанализ поперечных срезов образцов растений показал, что алюминий накапливается в ризодерме корня, эпидермальном слое надземных органов и в грибном чехле микоризы. Локализацию и соотношение зольных элементов (мас. %) в грибном чехле апикальных частей микоризы, ризодерме корня и в эпидермальном слое надземных органов сеянцев определяли у 5 сеянцев каждого варианта опыта методом ЭДРС-микроанализа, исследовали 3 произвольно выбранных участка в каждом органе и микоризе сеянцев (глубина проникновения 5 мкм) (Сканирующий микроскоп с энергодисперсионным анализатором Vega INCA Energy-350, Teskan Oxford, Чехия, Англия, 2006).

*Анализ микоризообразования у сеянцев сосны.* Процесс образования микориз изучали на корнях 10 сеянцев сосны каждого из трех вариантов опыта по общепринятым методам (Селиванов, 1981). Эктомикоризы классифицировали по форме: простая, вильчатая, коралловидная и другие.

*Статистическая обработка данных.* Статистическую обработку данных, полученных в исследованиях, проводили с использованием пакета программ «Statistica 6» и «Microsoft Excel» стандартными методами статистического анализа – расчет основных статистик, однофакторный дисперсионный анализ, регрессионный анализ.

Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

## **ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ ХВОЙНОГО ПРЕПАРАТА НА РОСТ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ СЕЯНЦЕВ *PINUS SYLVESTRIS* L. В УСЛОВИЯХ ЛЕСНОГО ПИТОМНИКА**

### **3.1 Влияние хвойного препарата на рост сеянцев сосны**

Результаты испытания хвойного препарата на рост сеянцев сосны обыкновенной второго года жизни показали стимулирующий эффект при использовании его в дозах 17; 50; 167 л\*га<sup>-1</sup> (рисунок 1).

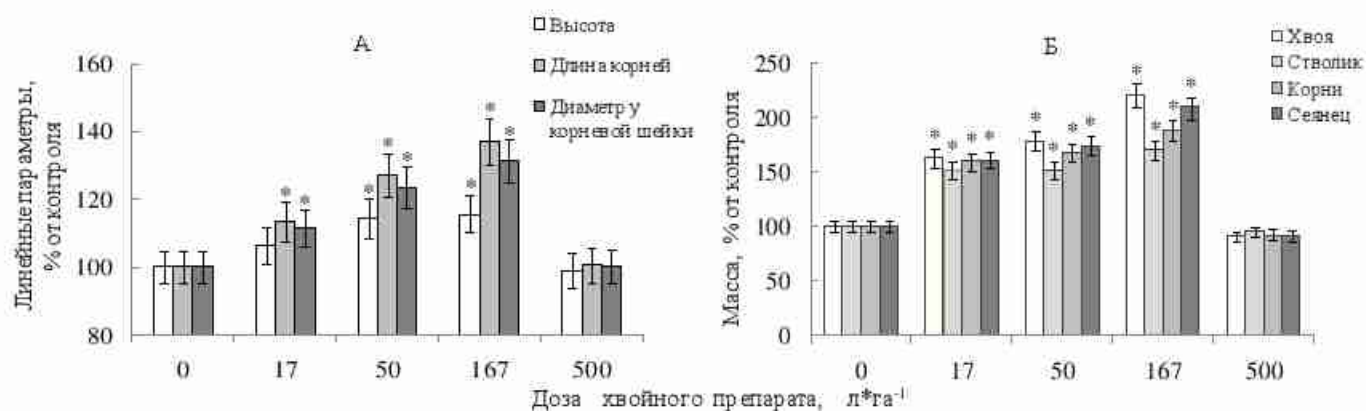


Рисунок 1 – Биометрические показатели органов двухлетних сеянцев сосны обыкновенной после однократной корневой подкормки хвойным препаратом, % от контроля

Примечание. Абсолютные значения в контроле: высота – 5.4 см, длина корней – 14.5 см, диаметр у корневой шейки – 0.9 мм, сухая масса: хвоя – 160 мг, стволика – 16 мг, корней – 61 мг.

\* – различия достоверны по сравнению с контролем при  $p \leq 0.05$

Максимальный эффект от действия препарата наблюдался при дозе внесения 167 л\*га<sup>-1</sup>. У сеянцев после однократной корневой подкормки, по сравнению с контрольными, увеличивалась высота надземной части, длина корневой системы и особенно значительно диаметр стволика на уровне корневой шейки, максимально в 1.5 раза, масса хвои, стволиков, корней и сеянца увеличивалась до 2 раз, соотношение масс надземной и подземной частей сеянца повышалось на 15% за счет значительного увеличения массы хвои. Доза хвойного препарата 500 л\*га<sup>-1</sup> не оказывала стимулирующего влияния на рост сеянцев.

### 3.2 Влияние хвойного препарата на элементный состав органов сеянцев сосны

Под воздействием хвойного препарата содержание азота в расчете на единицу сухого вещества в органах сеянцев сосны не изменялось, содержание фосфора увеличивалось при внесении в дозах 17 - 167 л\*га<sup>-1</sup>, а уровень калия повышался в хвое при дозе 50 л\*га<sup>-1</sup> (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание макроэлементов (NPK) в органах двухлетних сеянцев сосны обыкновенной после однократной корневой подкормки хвойным препаратом, % от а.с.м.

Орган растения	Доза хвойного препарата, л*га <sup>-1</sup>	N	P	K	N/P
Хвоя	0	1.93±0.08	0.13±0.01	1.44±0.08	14.8
	17	2.01±0.09	0.17±0.01	1.58±0.07	11.8
	50	1.89±0.09	0.20±0.02	1.77±0.07	9.5
	167	1.98±0.08	0.21±0.02	1.32±0.06	9.4
	500	2.14±0.09	0.14±0.01	1.17±0.06	15.3
Стволик	0	1.24±0.06	0.09±0.01	0.62±0.03	13.8
	17	1.27±0.05	0.12±0.01	0.59±0.03	10.6
	50	1.02±0.06	0.12±0.01	0.69±0.05	8.5
	167	1.01±0.05	0.10±0.01	0.60±0.03	10.1
	500	1.16±0.06	0.10±0.01	0.60±0.03	11.6
Корни	0	1.40±0.07	0.15±0.01	1.25±0.08	9.3
	17	1.48±0.07	0.17±0.01	1.33±0.06	8.7
	50	1.43±0.06	0.21±0.02	1.42±0.09	6.8
	167	1.41±0.07	0.17±0.01	1.08±0.08	8.3
	500	1.49±0.07	0.15±0.01	1.01±0.09	9.9

Оптимальным для сеянцев сосны считается соотношение N/P равное 8-9, с незначительными различиями по органам (Чурагулова, 1974). Внесение хвойного препарата в

дозах 50 и 167 л\*га<sup>-1</sup> способствовало понижению значений соотношения N/P в хвое и стволиках сеянцев до уровня оптимальных.

## ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ ВОДНЫХ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ЛИСТЬЕВ ИВЫ КОЗЬЕЙ НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН И РОСТ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

### 4.1 Суточная динамика фитогормональной активности водных экстрактов из растущих листьев ивы козьей

Результаты исследований с использованием методов биотестирования позволили выявить суточную динамику активности фитогормонов в растущих листьях ивы козьей. При отборе образцов в мае и в июле, максимальная гиббереллин-подобная активность при минимальной АБК-подобной активности наблюдалась в 8.00 и 20.00 часов, тогда как в дневное время отмечалась обратная тенденция. Наибольшая ауксин-подобная активность наблюдалась в водных экстрактах из растущих листьев ивы козьей, отобранных в 20.00 часов. Этот экстракт обладал также высокой цитокинин-подобной активностью. Выявленная нами закономерность для ивы козьей согласуется с результатами многих исследований, проведенных на других видах растений, в которых показан аналогичный характер суточных изменений активности фитогормонов (Talon et al., 1991; Курапов, 1996; Lee et al., 1998; Stavang et al., 2005; Novakova et al., 2005; Michael et al., 2008).

### 4.2 Влияние водных экстрактов из растущих листьев ивы козьей на прорастание семян сосны обыкновенной

Эффективность действия водных экстрактов из листьев ивы козьей на прорастание семян сосны обыкновенной была связана с гиббереллин- и АБК-подобной активностью экстрактов (рисунок 2). В литературе показано, что выход семян из покоя и переход к прорастанию представляют собой единый процесс, подразумевающий функционирование одной общей системы контроля прорастания, при этом регуляторную функцию выполняют фитогормоны, в частности АБК и ГК (Обручева, 2012; Vaistija et al., 2018).

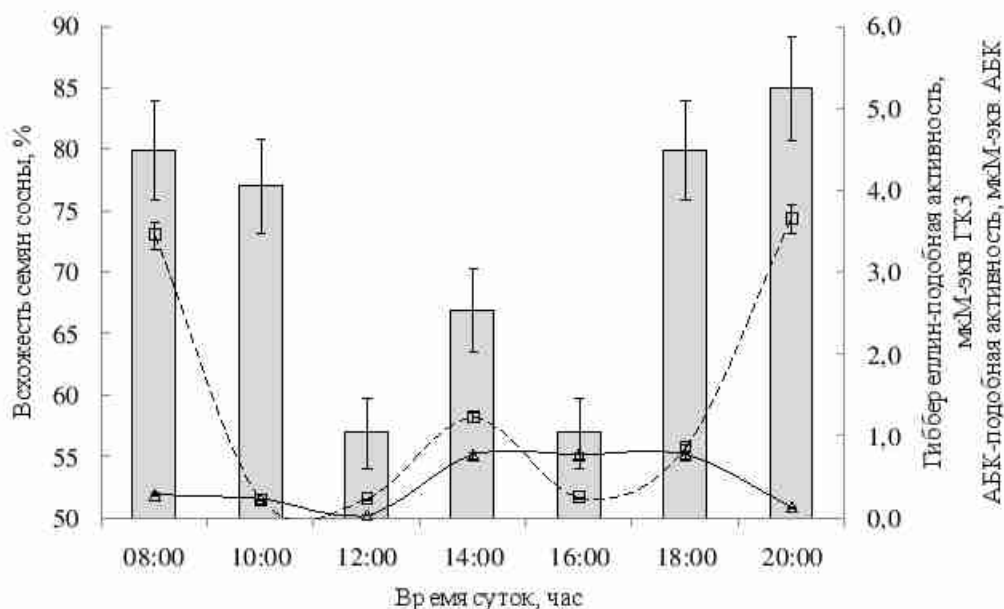


Рисунок 2 – Влияние 5% водного экстракта из растущих листьев *Salix caprea* L. на всхожесть семян *Pinus sylvestris* L. (столбцы) в зависимости от суточной динамики активности фитогормонов в листьях. Гиббереллин-подобная активность, определяемая по росту гипокотилей салата, выраженная в мкМ-эквивалентах ГК<sub>3</sub> (□); АБК-подобная активность, определяемая по количеству проросших семян горчицы, выраженная в мкМ-эквивалентах АБК (△)

Таблица 3 Посевные качества семян *Pinus sylvestris* L. после обработки 5% водными экстрактами из растущих листьев *Salix caprea* L., отобранных в течение суточного светового периода

Посевные качества семян	Варианты опыта							
	Контроль (вода)	Время отбора листьев для экстрактов, час						
		8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00
Энергия прорастания, %	68	80	73	56	60	53	80	83
Абсолютная всхожесть, %	70	82	79	60	69	60	82	88
Техническая всхожесть, %	68	80	77	57	67	57	80	85
Число не проросших семян, шт из них								
- здоровые	32	20	23	43	33	43	20	15
- загнившие	27	16	19	37	30	38	15	11
- запаренные	1	1	-	2	1	2	-	-
- пустые	2	1	2	1	-	-	3	1
- пустые	2	2	2	3	2	3	2	3

Использование экстрактов из листьев ивы, отобранных в утреннее (8.00) и вечернее (20.00) время в мае в условиях южной Карелии, с гиббереллин- и АБК-подобной активностью, эквивалентной 3.4-3.6 мкМ ГК<sub>3</sub> и 0.15-0.30 мкМ АБК, оказывало наибольший эффект на прорастание семян сосны, при этом энергия прорастания семян повышалась с 68% (в контроле) до 83%, абсолютная всхожесть – с 70% до 88% (таблица 3), техническая всхожесть – с 68% до 85% (рисунок 2), в результате семена второго класса по своим качественным характеристикам стали соответствовать первому (всхожесть более 80%).

#### 4.3 Влияние водных экстрактов из растущих листьев ивы козьей на рост сеянцев сосны обыкновенной с ЗКС

Значительный положительный эффект на рост растений наблюдался при использовании экстракта из листьев ивы, отобранных в 20.00 часов в июле в условиях южной Карелии (рисунок 3).

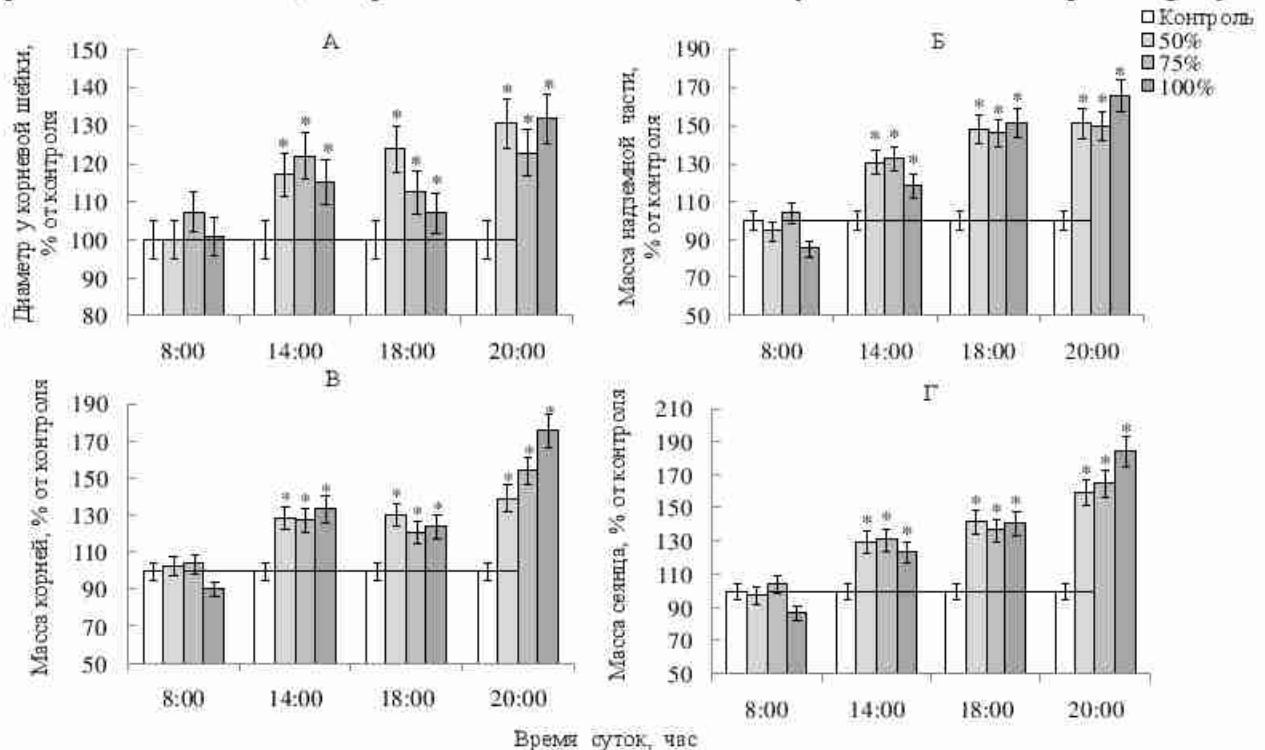


Рисунок 3 – Биометрические показатели однолетних сеянцев *Pinus sylvestris* L. с ЗКС после двукратной обработки водными экстрактами (0% – контроль, 50%, 75%, 100%) из растущих листьев ивы козьей, заготовленных в течение суточного светового периода, % от контроля  
Примечание. Абсолютные значения в контроле: диаметр у корневой шейки – 1.1 мм, сухая масса: надземной части – 114 мг, корней – 71 мг, сеянца – 185 мг.

\* – различия достоверны по сравнению с контролем при  $p \leq 0.05$

Данный экстракт обладал максимальной ауксин-подобной активностью, при наличии в экстракте высокой гиббереллин-, цитокинин-подобной активности и низкой АБК-подобной активности. Под воздействием экстракта происходило повышение диаметра стволика на уровне корневой шейки сеянцев сосны до 1.3 раз, сухой массы сеянца – до 1.5-2 раз по сравнению с контролем. Использование экстрактов из листьев ивы, отобранных в утреннее время – 8.00, где ауксин-подобная активность была более низкой, не оказывало влияния на рост сеянцев. Известно, что ауксины и цитокинины участвуют у растений в регуляции таких важных процессов как деление клеток (Кулаева, 1995; Романов, 2009), способствуют стимуляции роста растений (Климачев и др., 2016), в том числе древесных (Singh et al., 2009; Hadi et al., 2010; Xu et al., 2012).

## ГЛАВА 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОПРОВОДНОГО ОСАДКА В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА КОНТЕЙНЕРНОГО СУБСТРАТА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

### 5.1 Агрохимические свойства ВПО-содержащих субстратов

Верховой сфагновый торф, наиболее подходящий для приготовления субстрата при выращивании сеянцев хвойных пород с ЗКС, характеризовался крайне низким содержанием

Таблица 4 – Исходное содержание химических элементов в верховом сфагновом торфе и водопроводном осадке (ВПО)

Элемент	Торф	ВПО
C, %	34±1.5	23±1.1
N, %	0.76±0.03	0.91±0.04
P, %	0.022±0.001	0.026±0.001
S, %	0.062±0.003	0.308±0.015
K, мг/кг	88±4	99±4
Na, мг/кг	132±6	191±9
Ca, мг/кг	3377±157	14±1
Mg, мг/кг	536±26	398±16
Fe, мг/кг	773±36	20154±952
Mn, мг/кг	22±1	137±6
Si, мг/кг	287±13	1994±89
Cu, мг/кг	3.4±0.1	6.8±0.3
Mo, мг/кг	5.2±0.2	9.8±0.4
Zn, мг/кг	13.4±0.6	6.4±0.3
Ni, мг/кг	1.1±0.05	2.9±0.13
Co, мг/кг	< 0.01	< 0.01
Cr, мг/кг	2.4±0.1	5.4±0.2
Pb, мг/кг	5.2±0.2	1.9±0.1
Cd, мг/кг	0.300±0.014	0.040±0.002
Al, мг/кг	2599±120	242781±11345
Ti, мг/кг	1588±68	1156±54

элементов минерального питания (таблица 4). В ВПО отмечался низкий уровень фосфора, калия, кальция, магния и цинка, высокий – серы, железа, марганца, кремния, никеля, хрома, алюминия. Содержание микроэлементов, включая тяжелые металлы, не превышало ПДК и ОДК. Особое внимание представляло повышенное содержание алюминия. Различия в данных по содержанию химических элементов согласно паспорту осадка и полученных нами говорят о том, что состав ВПО может изменяться, поэтому перед непосредственным использованием его для приготовления субстратов необходимо проводить химический анализ каждой партии.

Соответственно, с увеличением доли осадка в смеси с верховым сфагновым торфом содержание фосфора, калия, кальция, магния и цинка оставалось на низком уровне. Несколько повышался уровень азота, меди, молибдена, серы, железа, марганца, кремния, никеля, хрома и значительно – алюминия. Недостаток элементов питания для растений компенсировался подкормками комплексными удобрениями.

При смешивании ВПО, имеющего слабокислую реакцию ( $pH_{\text{водн}} 5.8$ ), с верховым сфагновым торфом значения pH полученных вариантов смесей увеличивались до значений, оптимальных для выращивания растений, в том числе хвойных пород (таблица 5). В работе Kim с соавт. (2002) показано, что повышение pH почвенного раствора при внесении ВПО позволяет исключить использование известкующих материалов. По нашим данным, отмечалась тенденция снижения кислотности почвы в процессе выращивания. Корневые выделения в процессе роста растения могут изменять pH среды (Gupta et al., 2013), что могло обуславливать переход большинства элементов в субстрате, в том числе алюминия, в подвижные формы.

Таблица 5 – Значения кислотности почвенных растворов различных вариантов смесей верхового сфагнового торфа и водопроводного осадка (ВПО) в начале и в конце выращивания

pH <sub>водн</sub>	Вариант	Содержание ВПО в субстрате, %											
		0*	0**	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	начальное	3.4	6.1	4.6	5.1	5.2	5.5	5.5	5.7	5.7	5.8	5.8	5.8
	конечное	-	5.1	5.7	4.8	4.8	4.8	5.0	5.1	5.1	5.3	5.3	5.3

\* – торф; \*\* – торф с доломитовой мукой 1 г/л, контроль

С увеличением доли ВПО в вариантах смесей с верховым сфагновым торфом наблюдалось повышение массовой доли влаги и насыпной плотности (рисунок 4).

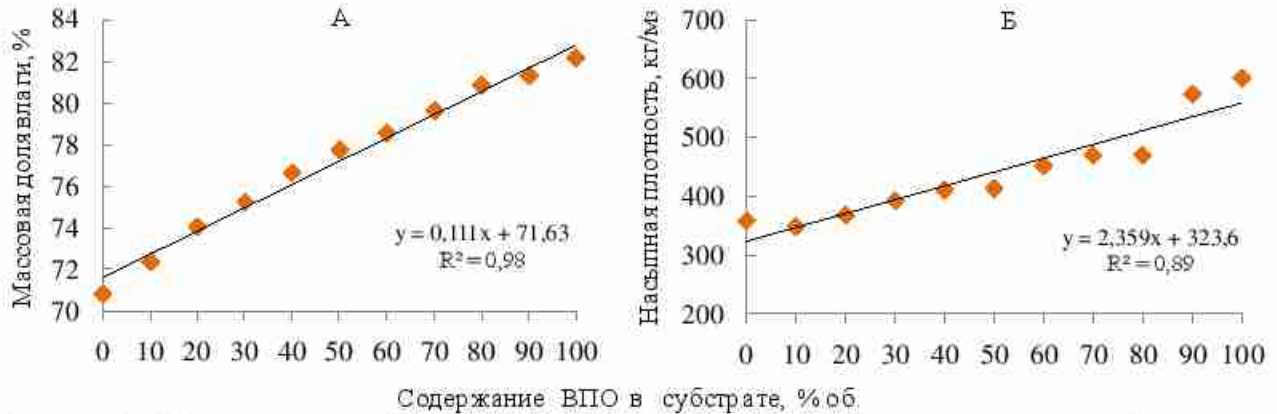


Рисунок 4 – Изменение агрофизических характеристик различных вариантов смесей верхового сфагнового торфа и водопроводного осадка (ВПО)

А – массовая доля влаги, %; Б – насыпная плотность, кг/м<sup>3</sup>

Проведенные исследования по влиянию возможного иссушения кома полученных вариантов субстратов показали, что при внесении максимальных доз осадка размеры кома снижались в 1.3 раза, при этом в вариантах с внесением ВПО до 60% рассыпчатая структура высохшего кома сохранялась, с повышением доли осадка в смеси субстрат в ячейке приобретал твердую структуру и терял водоудерживающую способность, при последующем поливе физические свойства не восстанавливались.

### 5.2 Влияние водопроводного осадка на рост сеянцев сосны обыкновенной

Лабораторные исследования показали, что использование ВПО в качестве компонента торфяного субстрата возможно при внесении его в количестве до 60%. При этом в варианте с внесением осадка 60% отмечалось максимальное стимулирующее действие его на рост 12-недельных сеянцев сосны: длина корневой системы и масса надземной части превышала контрольный вариант в 1.4 раза, масса корня – в 2.5 раза (рисунок 5). При дальнейшем увеличении доли ВПО свыше 60% стимулирующий эффект на рост сеянцев сосны понижался до ингибирования. В литературе показано, что использование алюмосодержащего осадка в определенных дозах не оказывает отрицательного влияния на рост сорго (Heil, 1989), кукурузы (Rengasamy, 1980), горчицы (Kim, 2002), томатов (Elliot, 1988), некоторых видов трав (Ippolito, 1999), зерновых культур (Янин, 2010), пшеницы (Ibrahim et al., 2015).

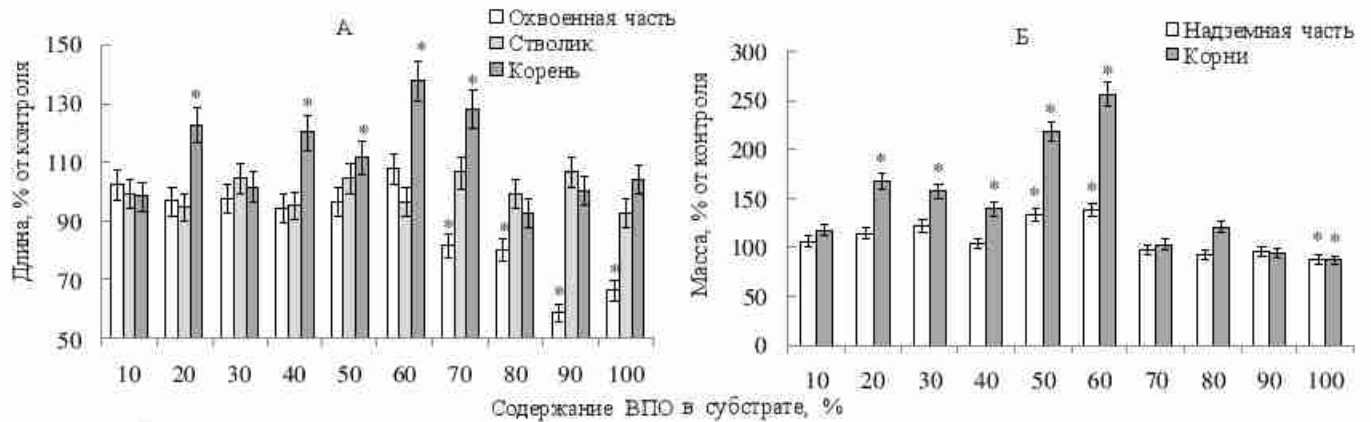


Рисунок 5 – Биометрические показатели 12-недельных сеянцев *Pinus sylvestris* L., выращенных в торфяном субстрате с внесением в качестве компонента водопроводного осадка (ВПО) в различных дозах, % от контроля

Примечание. Абсолютные значения в контроле – длина: охвоенной части – 11 мм, стволика – 41 мм, корней – 58 мм, сухая масса: надземной части – 37 мг, корней – 6 мг.

\* – различия достоверны по сравнению с контролем при  $p \leq 0,05$

### 5.3 Влияние водопроводного осадка на микоризообразование корневых систем сеянцев сосны

Внесение ВПО в торфяной субстрат в количестве 60% способствовало двукратному (по сравнению с контролем), увеличению плотности эктомикориз на корнях сеянцев сосны, тогда как при внесении 90% – этот показатель снижался. В контрольном варианте наблюдались простая и вильчатая формы микоризы, в варианте с внесением 60% ВПО отмечалось также формирование развитых (коралловидных) форм микоризных окончаний, тогда как в варианте с 90% ВПО присутствовали только простые формы. По данным Копыткова и Коновалова (2015) внесение органоминеральных добавок в почву способствует повышению роста корневой системы, микоризообразования и развитию коралловидных форм эктомикоризы у однолетних сеянцев сосны обыкновенной.

### 5.4 Влияние водопроводного осадка на соотношение зольных элементов в органах и микоризе сеянцев сосны

ЭДРС-микроанализ сеянцев сосны контрольного (0% ВПО) и двух опытных (60 и 90% ВПО) вариантов показал, что при внесении алюмосодержащего осадка в торфяной субстрат происходило увеличение доли алюминия в составе зольных элементов преимущественно в ризодерме корней и грибном чехле апикальных частей микоризы сеянцев за счет понижения доли кальция, магния, марганца, кремния в грибном чехле апикальных частей микоризы, и фосфора, калия, кальция, магния, серы, хлора – в ризодерме корней (рисунок 6). Отмечали различия по локализации алюминия в зависимости от формы микоризы – максимальный уровень алюминия был зафиксирован в грибном чехле апикальной части коралловидной формы. В эпидермальном слое стволиков доля алюминия повышалась только в варианте с 90% осадка. В эпидермальном слое хвои сеянцев сосны двух опытных вариантов, по сравнению с контролем, отмечалось незначительное повышение его доли в составе зольных элементов, наблюдалось увеличение доли калия за счет понижения доли фосфора, хлора и серы. Известно, что растворимость большинства минералов, в том числе и гидроксидов алюминия, возрастает при  $pH < 4$  и  $pH > 8$  (Толпешта, Соколова, 2010). Изменения pH среды в процессе роста растений (таблица 5), вероятно, обуславливало переход алюминия в подвижные формы.



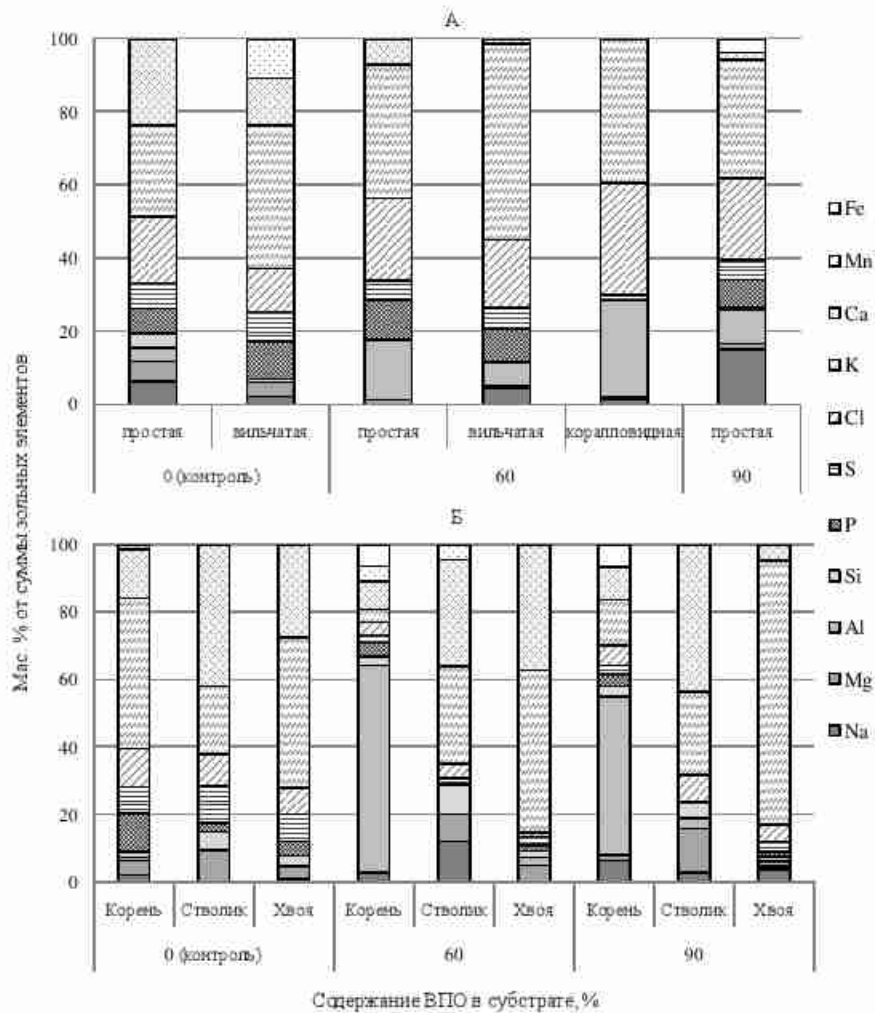


Рисунок 6 – Содержание (мас. % от суммы зольных элементов) химических элементов в грибном чехле апикальной части микоризы (А), в ризодерме корня и в эпидермальном слое надземных органов сеянцев (Б) *Pinus sylvestris* L., выращенных на торфяном субстрате с внесением в качестве компонента водопроводного осадка (ВПО) в различных дозах

Алюмотолерантность растений имеет сложную природу и контролируется генетически (Амосова и др., 2007; Huang et al., 2010). В литературе показано, что сосна ладанная (*Pinus taeda* L.), произрастающая на кислых почвах бореальных лесов, толерантна к воздействию алюминия (Moyer-Henry et al., 2005); микориза способствует большей устойчивости сеянцев хвойных пород к повышенным концентрациям алюминия (Nowak, Friend, 2006). По данным Sholl с соавт. (2004) токсичность алюминия для сеянцев сосны определяется только его концентрацией, независимо от изменения уровня кальция и магния в органах. Goransson с соавт. (1991) показано, что под действием алюминия в определенных дозах содержание химических элементов в сеянцах сосны обыкновенной снижается, но остается на уровне, достаточном для обеспечения их максимального роста. В нашем эксперименте основной причиной снижения биометрических показателей и микоризообразования сеянцев при внесении высоких доз осадка, вероятно, было изменение агрофизических свойств субстрата, нарушающее технологию выращивания сеянцев с ЗКС.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований впервые научно обоснованы и предложены для внедрения новые экологически ориентированные агротехнические приемы выращивания

посадочного материала хвойных пород с использованием местных, доступных источников сырья – древесной зелени и водопроводного осадка.

Показано, что хвойный препарат из древесной зелени сосны и ели оказывает стимулирующее действие на рост двухлетних сеянцев сосны обыкновенной с открытой корневой системой, способствует повышению содержания фосфора в органах растений при внесении его в определенных дозах. Максимальный положительный эффект наблюдался при дозе 167 л\*га<sup>-1</sup>: масса сеянца увеличивалась в 2 раза, линейные параметры в 1.5 раза.

Выявлена суточная динамика активности фитогормонов в растущих листьях *Salix caprea* L. в условиях южной Карелии в мае и в июле. Максимальная гиббереллин-подобная активность при минимальной АБК-подобной активности наблюдалась в утреннее (8.00) и вечернее (20.00) время, тогда как в дневное время отмечалась обратная тенденция. Максимальная ауксин-подобная и высокая цитокинин-подобная активность отмечена в вечернее (20.00) время. Разработан способ получения стимулятора роста для сосны обыкновенной из растущих листьев ивы козьей (Патент РФ, 2018).

Улучшение качества семян сосны обыкновенной наблюдалось после обработки их 5% водными экстрактами из растущих листьев ивы козьей, отобранных в 8.00 и 20.00 часов, в мае в условиях южной Карелии. Энергия прорастания семян повышалась с 68% (в контроле) до 83%, абсолютная всхожесть – с 70% до 88%, техническая всхожесть – с 68% до 85%. В результате семена второго класса по своим качественным характеристикам стали соответствовать первому. Значимость такого эффекта очевидна для практики, поскольку рекомендации по выращиванию сеянцев сосны обыкновенной по современной технологии с ЗКС предусматривают использование семян хвойных не ниже первого класса качества.

Двукратная обработка 100% водным экстрактом из растущих листьев ивы козьей, заготовленных в 20.00 часов в условиях южной Карелии в июле, оказывала максимальное (по сравнению с экстрактами из листьев, отобранных в другое время суток) стимулирующее действие на рост однолетних сеянцев сосны обыкновенной с ЗКС. Под воздействием экстракта диаметр стволика на уровне корневой шейки увеличивался в 1.3 раза, масса сеянцев – в 1.5-2 раза.

Исследования ВПО в качестве компонента торфяного субстрата для выращивания сеянцев сосны обыкновенной с ЗКС показали, что по агрохимическим свойствам осадок характеризуется дефицитом фосфора, калия, кальция, магния и цинка, избыточным, но не превышающим допустимые значения, содержанием серы, железа, марганца, кремния, никеля, хрома, и высоким уровнем алюминия. Недостаток элементов питания компенсировался подкормками комплексными удобрениями. При смешивании ВПО, имеющего слабокислую реакцию, с верховым сфагновым торфом рН полученных вариантов смесей увеличивалось до значений, оптимальных для выращивания сеянцев сосны, что позволяет предлагать для разработки технологию приготовления торфяного субстрата без внесения известкующих материалов. По агрофизическим свойствам торфяные субстраты с долей ВПО свыше 60% не соответствовали требованиям технологии выращивания посадочного материала с ЗКС: без учащенного режима полива для поддержания постоянной влажности кома субстрата в ячейках кассет происходил необратимый процесс иссушения.

Внесение осадка в количестве до 50% оказывало незначительное положительное влияние на рост 12-недельных сеянцев сосны, выращенных в кассетах типа Plantek-121 в условиях светоустановки. При дозе 60% отмечено существенное увеличение биометрических показателей сеянцев: длина корневой системы и масса надземной части повышались в 1.4 раза, масса корня – в 2.5 раза. При этом наблюдалось двукратное, по сравнению с контролем, повышение микоризообразования у корней сеянцев сосны, отмечено появление коралловидной формы микоризы. Происходило повышение доли алюминия в составе зольных элементов в ризодерме корней, эпидермальном слое надземных органов сеянцев и грибном чехле апикальных частей

микоризы под влиянием алюмосодержащего осадка в дозе 60%. Интенсивный рост сеянцев этого варианта свидетельствует об их устойчивости к высоким концентрациям алюминия в субстрате.

Хвойный препарат из древесной зелени сосны и ели, водный экстракт из растущих листьев ивы козьей, отобранных с учетом временной составляющей, рекомендуются в качестве стимуляторов роста для выращивания посадочного материала хвойных пород и повышения его качества. Перспективным является дальнейшее исследование ВПО-содержащих субстратов при выращивании посадочного материала древесных растений с разными пределами алюмотолерантности и проведение испытаний по их использованию в производстве.

## СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### *Публикации в изданиях Перечня ВАК РФ*

1. Чернобровкина Н.П. Современные технологии выращивания посадочного материала хвойных пород и пути их совершенствования / Н.П. Чернобровкина, О.В. Чернышенко, А.В. Егорова, М.И. Зайцева, Е.В. Робонен // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2016. – № 6. – С. 6–14.
2. Егорова А.В. Влияние хвойного препарата на рост и элементный состав сеянцев *Pinus sylvestris* L. в условиях лесного питомника / А.В. Егорова, Н.П. Чернобровкина, Е.В. Робонен // Химия растительного сырья. – 2017. – № 2. – С. 171–180.

### *Патенты*

1. Егорова А.В., Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В. «Способ получения стимулятора роста сосны обыкновенной». Патент на изобретение RU №2662999. Офиц. бюлл. № 22. «Изобретения. Полезные модели». Опубл. 22.07.2018 г.

### *Публикации в других изданиях*

1. Егорова А.В. Влияние хвойного экстракта на прорастание семян сосны обыкновенной / А.В. Егорова // В сб.: Ресурсосберегающие технологии, материалы и конструкции – Петрозаводск, 2014. – С. 38–43.
2. Робонен Е.В. К проблеме утилизации фиторемедиантов / Е.В. Робонен, А.В. Егорова, М.И. Зайцева, С.А. Степанов, Н.П. Чернобровкина // Матер. междунар. науч. конф. по биологии и биотехнологии растений (28-30 мая 2014 года, Алматы). – Алматы: ИББР, 2014. – С. 403.
3. Егорова А.В. Регуляторы роста в процессах прорастания семян и роста сеянцев хвойных пород / А.В. Егорова // Растения в условиях глобальных и локальных природно-климатических и антропогенных воздействий / VIII Съезд об-ва физиологов растений России: тез. докл. Всеросс. науч. конф. и школы для молодых ученых, 21-26 сентября 2015 г. / Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. – С. 183.
4. Егорова А.В. Использование биостимуляторов при выращивании посадочного материала хвойных пород / А.В. Егорова // StudArctic Forum. – 2016. – №1. – С. 38–41.
5. Егорова А.В. Влияние хвойного препарата на рост сеянцев сосны обыкновенной / А.В. Егорова // Матер. Всеросс. научно-практич. конф. с междунар. участием (Красноярск, 19-23 сентября 2016 г.) – Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2016. – С. 79–80.
6. Егорова А.В. Использование экстрактов из древесной зелени для выращивания сеянцев хвойных пород / А.В. Егорова, Н.П. Чернобровкина, Е.В. Робонен, М.И. Зайцева // Матер. III Всеросс. науч. конф. с междунар. участием, М., 30 октября – 1 ноября 2018 г. – С. 41–43.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с указанием фамилии, имени, отчества, почтового адреса, адреса электронной почты, наименования организации, должности лица, составившего отзыв, подписанные и заверенные печатью, просим направлять по адресу: 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5, литер У, ученому секретарю диссертационного совета