

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный лесотехнический университет»

На правах рукописи

Старыгин Лев Алексеевич

**Эффективность использования органоминеральных удобрений
из отходов промышленного производства при выращивании
посадочного материала**

Специальность 4.1.6 – Лесоведение, лесоводство, лесные культуры,
агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор С.В. Залесов

Екатеринбург, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Проблема утилизации отходов промышленного производства.....	8
1.1. Отходы древесины и их утилизация.....	8
1.2. Куриный помет как сырье для получения удобрений.....	11
1.3. Золошлаковые отходы и их утилизация.....	17
1.4. Использование отходов при выращивании посадочного материала в лес- ных питомниках.....	18
Выводы.....	27
2. Природные условия района исследований.....	29
2.1. Географическое положение и лесорастительное районирование.....	29
2.2. Климат.....	32
2.3. Рельеф и почвы.....	36
2.4. Гидрография и гидрологические условия.....	42
Выводы.....	44
3. Программа, методики исследований, объем выполненных работ.....	46
3.1. Программа работ.....	46
3.2. Методики исследований.....	46
3.3. Объем выполненных работ.....	58
4. Технология получения органоминеральных удобрений.....	60
4.1. Традиционные технологии получения удобрений из куриного помета и других отходов.....	60
4.2. Предлагаемая технология получения органоминеральных удобре- ний.....	64
4.2.1 Интенсификация способа получения органоминеральных удобрений.....	72
4.3. Оценка потребительских свойств органоминеральных удобрений в лабо- раторных условиях.....	79
4.4. Оборудование для получения органоминеральных удобрений.....	83

Выводы.....	93
5. Эффективность использования органоминеральных удобрений при выращивании сеянцев сосны и ели.....	96
5.1. Характеристика почв лесных питомников.....	96
5.2. Влияние различных доз органоминеральных удобрений на среднюю высоту сеянцев сосны обыкновенной и ели сибирской.....	99
5.3. Влияние внесения органоминеральных удобрений на диаметр сеянцев у корневой шейки.....	111
5.4. Фитомасса и длина хвои у сеянцев сосны обыкновенной и ели сибирской.....	122
5.5. Выход стандартного посадочного материала при разных дозах и схемах внесения органоминеральных удобрений.....	154
Выводы.....	159
Заключение.....	161
Предложения производству.....	163
Список литературы.....	164

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Интенсификация лесного хозяйства неразрывно связана с увеличением доли искусственного лесовосстановления и лесоразведения, а, следовательно, с использованием качественного посадочного материала. Однако, в связи с выносом вместе с реализуемым посадочным материалом значительного количества необходимых для роста растений химических элементов, потенциальное плодородие почв лесных питомников снижается, что ставит под вопрос возможность выращивания стандартного посадочного материала в будущем. Компенсация выноса питательных веществ внесением минеральных и органических удобрений проблематична по причине их дефицита и высокой стоимости, что повышает себестоимость выращиваемого посадочного материала и снижает его конкурентоспособность.

В то же время, на территории Свердловской области и РФ в целом, имеются значительные объемы отходов переработки древесины, золы тепловых электростанций, осадков сточных вод и куриного помета, которые содержат в своем составе необходимые для растений питательные элементы. Разработка технологии получения из отходов органоминеральных удобрений и установление доз их внесения при выращивании посадочного материала является актуальной задачей, поскольку помимо повышения плодородия почв лесных питомников позволяет утилизировать отходы и улучшить экологическую обстановку.

Степень разработанности темы исследования. Проблемой использования различных видов удобрений в том числе нетрадиционных, при выращивании посадочного материала на лесных питомниках в разные годы занимались многие ученые, а именно В.М. Кан, К.А. Фрейберг, Е.М. Романов, Д.И. Мухортов, С.В. Залесов, М.В. Ермакова, Е.А. Фролова, В.В. Копытков и многие другие. Однако в научной литературе крайне мало работ, посвященных разработке технологии получения органоминеральных удобрений из отходов и установлению дозы их внесения при выращивании посадочного материала, что и обусловило проведение исследований. Диссертация является закончен-

ным научным исследованием.

Цель исследования. Разработать технологию получения органоминеральных удобрений из бесподстилочного куриного помета и установить эффективность их использования при выращивании посадочного материала в лесных питомниках.

В соответствии с заявленной целью решались следующие **задачи**:

- разработать технологию получения органоминерального удобрения (ОМУ) на основе куриного помета и отходов других производств;
- установить эффективность внесения различных доз ОМУ при выращивании сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus silvestrys* L.) и ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.);
- разработать предложения по использованию ОМУ при выращивании посадочного материала в лесных питомниках.

Научная новизна. Впервые получены ОМУ из производственных отходов, обогащенные микроэлементами. Предложен способ получения ОМУ с заданными свойствами и установлены дозы их внесения при выращивании сеянцев сосны обыкновенной и ели сибирской.

Установлено влияние различных доз ОМУ на морфологические показатели выращиваемого посадочного материала. Разработаны предложения по совершенствованию использования ОМУ в лесных питомниках.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в расширении современных знаний о влиянии различных доз органоминеральных удобрений на морфологические показатели и фитомассу сеянцев сосны обыкновенной и ели сибирской. В ходе исследований разработана технология получения ОМУ и создан образец опытно-производственной установки по их получению производительностью 0,16 т/сутки. Разработаны предложения по внесению ОМУ в лесных питомниках при выращивании посадочного материала основных хвойных пород.

Результаты исследований используются в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров направления 35.03.01 и 35.04.01 «Лесное дело»

(имеется справка о внедрении).

Методология и методы исследования. В основу исследований положены апробированные методики и методы описательной статистики с вычислением параметров положения (среднее, мода, медиана, минимум, максимум и др.) и разброса (дисперсия, стандартное отклонение, коэффициент вариации и др.). Обработка данных производилась с применением программных продуктов Microsoft Excel, Statistika, MapInfo. Полученные в ходе работы данные подвергались статистической обработке с получением результатов на 95% уровне значимости.

Положения, выносимые на защиту:

- эффективный способ получения ОМУ из бесподстилочного куриного помета и других отходов производства;
- оптимальное соотношение компонентов при получении ОМУ;
- способ сохранения азота в составе ОМУ;
- эффективные дозы внесения ОМУ при выращивании сеянцев хвойных пород;
- предложения по использованию ОМУ при выращивании сосны обыкновенной и ели сибирской в лесных питомниках.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов исследований обеспечивается достаточным объемом экспериментального материала, полученного с использованием общеизвестных в лесоводственной науке апробированных методик, применением статистических методов анализа, использованием прикладных компьютерных программ для обработки данных, а также опытно-производственной проверкой полученных результатов.

Основные результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на: XI Междунар. науч.-техн. конф. «Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса» (Екатеринбург, 2017); XIX Всерос.

(нац.) науч.-техн. конф. студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» (Екатеринбург, 2023); Всерос. науч. конф. с междунар. участием «Интенсификация использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего Востока» (Хабаровск, 2024); XV Междунар. науч.-техн. конф. «Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий» (Екатеринбург, 2024); Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность и биоразнообразие» (Новокузнецк, 2024); Междунар. науч.-практ. конф. «Устойчивость природных ландшафтов и их компонентов к внешнему воздействию» (Грозный, 2024); VII Всерос. конф. «Химия и химическая технология: достижения и перспективы» (Кемерово, 2025); XXXIII Междунар. науч.-практ. конф. «Вызовы современности и стратегии развития общества в условиях новой реальности» (Москва, 2025).

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие в постановке цели и задач исследований, выборе методики работ, сборе экспериментальных материалов, их обработке, анализе, а также написании статей, подготовке автореферата и диссертации.

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 17 печатных работах, в том числе 7 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ и три патента.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 192 странице машинописного текста, состоит из введения, 5 глав, заключения и предложений производству. Библиографический список включает 232 наименований в том числе 23 на иностранных языках. Текст проиллюстрирован 55 таблицами и 20 рисунками.

Благодарности: автор выражает глубокую благодарность и признательность д-ру техн. наук, проф. Борису Нутовичу Дрикеру за помощь в проведении исследований по разработке ОМУ и интерпретации результатов.

1. ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

1.1. Отходы древесины и их утилизация

Развитие промышленного и сельскохозяйственного производства обуславливает накопление отходов, что в свою очередь создает существенные проблемы для населения в связи с изъятием земель под их складирование и загрязнением окружающей среды. В то же время значительная часть отходов может быть использована, т.е. является сырьем для последующей переработки. Утилизация отходов позволяет не только получить дополнительную продукцию, что немаловажно для экономики страны, но и улучшает экологическую обстановку, создавая комфортные условия для проживающего населения.

В современной терминологии использование или применение отходов в качестве вторичных сырья и материалов называется утилизацией (Федеральный закон № 89-ФЗ..., 1998). В литературе широко описано применение, как общеизвестных (навоз, помет, биоуголь, опил, лесная подстилка) так и нетрадиционных (осадки очистных сооружений, лигнин и др.) органических удобрений (Романов, 1992, 1996, 1997, 2000; Романов, Мухортов, 1997; Мухортов, Романов, 1997, 2013; Романов, Нуреева, 1998; Мухортов, 1999, 2013; Романов и др., 2000; Saarsalmi, Mälkönen, 2001; Ермакова, 2009а,б, 2018; Derbina, 2013; Залесов и др., 2014, 2015а,б,в,г; From et al., 2015; ГОСТ 34102-2017; Тихонов и др., 2024), однако, как общеупотребляемые органические, так и нетрадиционные удобрения рассматриваются, как приобретаемые у сторонних организации готовые продукты с неизвестными потребительскими свойствами, тогда как современная законодательная и нормативная база позволяет ряду предприятий лесного хозяйства самостоятельно готовить органоминеральные удобрения с заданными характеристиками, практически из подручных материалов.

Известно (Пахненко, 2007; Бортник, Яковлев, 2017; Бортник и др., 2018;

Vokkosov, Kanoatov, 2022), что утилизация отходов промышленного и сельскохозяйственного производства является одной из важнейших проблем современного развития человечества.

Сложность решения проблемы утилизации заключается в многообразии видов отходов, а также в значительных объемах их образования, что, в свою очередь, требует индивидуальных подходов к переработке и больших финансовых вложений.

Так, в частности, в Свердловской области функционирует более 500 деревообрабатывающих предприятий (Свердловская область: реестр предприятий обработки..., 2025), на которых образуется значительный объем древесных отходов. При анализе отходов лесопильного производства нельзя не отметить, что в настоящее время перерабатывается не более 30% общего объема опилок (Ларченко, Джафаров, 2013). Чаще всего опилки отвозятся на специальные полигоны либо сжигаются в отвалах (Дитрих и др., 2010). Довольно часто опил размещается в пониженных элементах рельефа в течение многих десятилетий (Белов и др., 2018).

Из общего объема отходов лесопромышленного производства, отходы деревообрабатывающих предприятий составляют около 1 млн. м³ в год (Мехренцев, Корж, 2019). Известно, что объем стружки и опила составляет чуть меньше половины от общего образования отходов при деревообработке, то есть около 47%. В последнее десятилетие значительная часть древесных отходов перерабатывается в топливные гранулы (пеллеты) или брикеты, выпуск которых в Свердловской области в 2018 году составил 50 тыс. тонн (Опилки на экспорт, 2018). Однако, более значительная часть, из образующихся древесных отходов, все так же требует переработки. Особенно остро проблема утилизации древесных отходов стоит на небольших по объему перерабатываемой древесины предприятиях, расположенных на территории Свердловской области. Данные субъекты предпринимательства пытаются решить проблему освобождения производственных площадей от отходов, предлагая передать бес-

платно или за «символическую плату» кусковые отходы, опил и стружку всем желающим.

Перспективным способом вторичной переработки и утилизации органических отходов деревообрабатывающей промышленности, агропромышленного комплекса, целлюлозно-бумажной и других отраслей является пиролиз, то есть сжигание с целью получения тепловой и электрической энергии (Бернадинер, Шурыгин, 1990; Бернадинер, Хорева, 2013; Тугов, 2013). При этом после сжигания получается комплексное удобрение – зола, которое востребовано в сельскохозяйственном производстве. Применение золы в качестве удобрения позволяет снизить кислотность почвы, повышает уровень ее плодородия и обогащает макро- и микроэлементами (Дабахова, 2005; Дабахова и др., 2005; Субботина, 2012; Бортник и др., 2014; Субботина и др., 2017). Экспериментально установлено, что применение золы из биологических отходов в сельскохозяйственном производстве экологически безопасно и экономически выгодно (Wildbacher, 2007).

В то же время пиролиз органических отходов не всегда приемлем и экономически оправдан. Нередко отходы имеют высокую влажность и на их высушивание требуется большое количество энергии. Кроме того, сжигание органических отходов с целью получить электрическую энергию требует их концентрации, что не всегда возможно и экономически оправдано при распылённости мелких производителей. Другими словами, пиролиз органических отходов наиболее целесообразен на крупных лесоперерабатывающих комбинатах, где отходы сжигаются для получения тепловой энергии, расходуемой, в частности, на высушивание пиломатериалов.

Древесные отходы используются в качестве добавок при производстве композиционных и строительных материалов (Липунов, 2010; Липунов и др., 2017).

Учеными Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН разработаны и апробированы на лесных питомниках биоудобрения, основной частью которых является опил (Антонов и др., 2018, 2021; Патент..., 2019). Эксперименты

показали, что внесение в почву биоудобрения не только оптимизировало процессы разложения и минерализации опилочной массы, но и положительно сказывались на морфологических качествах сеянцев хвойных пород.

1.2. Куриный помет как сырье для получения удобрений

Наиболее развитым и массовым производством в Российской Федерации является разведение и промышленное выращивание курицы. Специфика промышленного выращивания домашней птицы делает птицеводство одной из самых рентабельных отраслей животноводства. При этом наряду с основной продукцией птицеводческая отрасль генерирует в большом количестве различные отходы. Наибольшая масса из образующихся отходов приходится на помет.

В Российской Федерации насчитывается свыше 600 птицеводческих хозяйств, на которых производится от 50 тыс. до 1,5 млрд. яиц и от 20 тыс. до 460 тыс. т. мяса (Лысенко, 2015; Семенченко и др., 2015; Поголовье..., 2016). При этом средняя особь птицы производит от 50 до 150 г помета. Так, при выращивании бройлеров на 1 кг получаемого мяса приходится 3 кг помета (Антонова и др., 2016). В целом же можно отметить, что выход помета на порядок превышает массу производимой мясной и яичной продукции.

Согласно открытым данным (Государственный доклад..., 2023) и материалов ряда исследователей (Мерзлая, Лысенко, 2005; Мерзлая и др., 2009; Лысенко, 2009, 2011а,б; 2012, 2013; Фисинин и др., 2013) масса ежегодно образующегося в РФ помета составляет более 25 млн. тонн. Прогнозируемое количество к 2025 году составит порядка 30 млн. тонн в год.

По состоянию на 1 октября 2025 года в Свердловской области зарегистрировано 12 птицеводческих предприятий (Свердловская область: реестр предприятий разведения..., 2025). На данных предприятиях ежегодно образуется около 500 тыс. тонн помета (Государственный доклад..., 2022, 2024). Не менее 70% от общего количества образующегося помета, составляет бесподстилочный (Новиков и др., 1989; Государственный доклад..., 2022). В силу

большого объема образования и накопления куриный помет представляет значительную экологическую опасность. Картина усугубляется тем, что птицефабрики, как правило, располагаются вблизи населенных пунктов. Поскольку промышленные технологии переработки помета слабо разработаны нередко в районах расположения птицефабрик наблюдается загрязнение окружающей среды и грунтовых вод (Пахненко, 2007; Суховеркова, 2016; Seidavi et al., 2019).

В зависимости от технологии выращивания и содержания на птицефабриках образуется как твердый помет с влажностью 67-76%, так и жидкий с влажностью 95-96% (Тарханов, Тарханова, 2009). При использовании куриного помета в качестве удобрения без предварительной обработки возникает ряд проблем. В частности, перевозка большого количества отходов птицефабрик требует немалых средств. Кроме того, существует высокая вероятность загрязнения почв, подземных и поверхностных вод инвазивными инфекционными и токсичными элементами. Не следует забывать, что чрезмерное использование птичьего помета приводит к накоплению нитратов, меди, цинка в зерне, траве и водных источниках (Царева, Персикова, 2023). Помет является источником неприятного запаха, может содержать яйца и личинки гельминтов, он является благоприятной средой для патогенных микроорганизмов, в нем содержатся семена сорных растений. Особо следует отметить, что в помете могут содержаться антибиотики, соли тяжелых металлов, радионуклиды, остатки пестицидов и другие опасные вещества. Указанное объясняет тот факт, что свежий помет запрещается использовать в качестве удобрений.

В свою очередь помет является одним из побочных продуктов птицеводства и содержит в своем составе полезные биогенные вещества: азот, фосфор и др. (Nahm, 2003; Лысенко, 2011а,б; Лысенко и др., 2014; Ashworth et al., 2020). Азот в помете в количестве 30-40% содержится в составе белковых соединений (белки, аминокислоты), 60-70% составляют азотсодержащие вещества небелковой природы – струвит, мочевая кислота, ее соли и др. (Попов и др., 2020; Crouch et al., 2020). Белковые соединения, в отличие от мочевой кис-

лоты и ее солей в первую очередь подвергаются биохимической трансформации (ферментации) образуя органическое удобрение.

Азота и фосфора в помете в несколько раз больше чем в навозе крупного рогатого скота и свиней (Шмидт, 2020). В отличие от навоза в свежем курином помете, практически не содержится семян сорных трав (Экологические основы..., 2014), вместе с тем не обработанный помет является потенциально благоприятной средой для развития патогенной микрофлоры, гельминтов, личинок синантропных насекомых. В помете содержатся составляющие фармацевтических и ветеринарных препаратов, широко используемых в промышленном птицеводстве (Chen et al., 2014; Wegst-Uhrich et al., 2014; Антропова и др., 2024).

Свежий помет, как правило, не содержит возбудителей опасных болезней животных и человека, однако его внесение в почву без предварительного карантинирования и выдержки в специальных условиях не допускается (Постановление Правительства..., 2022).

Использование помета в сельском хозяйстве весьма разнообразно и этому посвящено большое число работ (Барта и др., 1984; Новиков и др., 1989; Яковлев, 2003; Щёткин, 2004; Хазан и др., 2005; Лысенко, 2011а,б, 2015; Фисинин и др., 2013; Лысенко и др., 2014; Lim et al., 2015; Шмидт и др., 2018; Шмидт, 2020; Попов и др., 2020; Шалавина и др., 2021). В последние два десятилетия растет число исследований, где помет используют в качестве кормовой добавки. Так, подкормка в виде обработанного куриного помета приводит к увеличению привеса у животных. Снижение затрат на корма составляет при этом 10-30% (Степанова и др., 2019).

В основном, в настоящее время, помет используется в качестве удобрения в сельском хозяйстве. По открытым данным ФГБУ ГЦАС «Свердловский» в Свердловской области потребность в органических удобрениях для сохранения баланса гумуса только в пахотные почвы требует внесения 8,4 т/га, тогда как внесение органических отходов в эти почвы в среднем за 5 лет (2016-2020) составляет не более 2,1 т/га в год, что не покрывает потребность почв в гумусе.

Утилизация куриного помета, который по принятой в Российской Федерации классификации (Об утверждении Федерального..., 2017) относится к 3 и 4 классам опасности для окружающей среды: помет куриный свежий (3 класс) и помет куриный перепревший (4 класс) требует наличия лицензии по обращению с отходами.

В 2023 году в законодательство РФ введено понятие «побочная продукция животноводства» (Федеральный закон № 248-ФЗ..., 2022; Рябинин, 2023). Большинство сельхозпроизводителей в своей деятельности при работе с пометом и навозом применяют традиционную технологию пассивного компостирования. Данная технология помимо положительных качеств, имеет и ряд отрицательных. Основными недостатками являются: длительность переработки помета и навоза, и соответственно необходимость использования больших специализированных площадей для организации этого процесса. При подаче документов на лицензирование деятельности по утилизации помета и навоза есть большая вероятность, что технология пассивного компостирования не пройдет процедуру лицензирования в силу значительного физического и морального износа применяемых сооружений так как большинство из них построено по типовым проектам в 70-80-е годы 20 века.

В настоящее время, основываясь на положениях Федерального закона №248-ФЗ от 14 июля 2022 г. и подзаконных актов, у птицеводческих предприятий есть альтернатива при выборе направления использования помета. Законодательно предлагаемый вариант заключается в том, чтобы помет позиционировать не как отход, а как – побочную продукцию животноводства. Для этого помет должен быть выдержан определенное время на специальных площадках и передан юридическим лицам или крестьянско-фермерским хозяйствам – сельхозпроизводителям. Также, при этом необходимо подать уведомление в органы Россельхознадзора. Только в этом случае побочный продукт животноводства может быть законно использован для повышения плодородия почв.

При инициировании использования куриного помета в качестве удобре-

ния необходимо учитывать, что интенсивность обменных процессов в организме птицы связана с ее скороспелостью и высокой продуктивностью. Для поддержания жизни и продуктивности птице необходимы достаточное количество энергии и комплекс питательных веществ.

Кислая среда мышечного желудка благоприятствует действию пепсина, который расщепляет легкопереваримые белки до полипептидов, а ферменты микрофлоры продолжают гидролизовать углеводы. При этом, протеин кормов животного происхождения переваривается на 85-95%, растительных – на 80-85%, однако, несмотря на это, усвоение азотистой части корма птицей не превышает 45-55%. В целом энергия корма, трансформируемая из углеводов, жира, клетчатки и частично из протеина, используется на 70-80% (Кокасва, 2010). Непереваренная часть корма выделяется в виде помета, в котором азотистая часть кормов частично трансформируется до солей мочевой кислоты, солей аммония. В помете содержится 30-80% органического вещества (Попов и др., 2020).

Белки – важная часть питания птицы, поскольку в ее организме не могут синтезироваться все незаменимые аминокислоты, и часть должна поступать с белковой пищей (Лысенко, 2009). В процессе пищеварения ферменты разрушают потреблённые белки до аминокислот, которые используются в свою очередь для биосинтеза собственных белков организма или подвергаются дальнейшему распаду для получения энергии. Так как аминокислоты являются составными частями белков они участвуют во всех процессах жизнедеятельности.

Пептиды – это природные или синтетические соединения, молекулы которых построены из двух и более остатков аминокислот, соединённых в цепь пептидными (амидными) связями.

Аминокислоты (аминокарбоновые кислоты) – органические соединения, в молекуле которых одновременно содержатся карбоксильные и амино-группы. Аминокислоты могут рассматриваться как производные карбоновых кислот, в которых один или несколько атомов водорода заменены на амино-груп-

пы. Важнейшее значение играют природные аминокислоты, содержащиеся в растительных и животных организмах. Химические свойства аминокислот обусловлены присутствием карбоксильной и аминогруппы, а также функциональными группами и их расположением в радикале. Аминокислоты, как амфотерные соединения, образуют соли как при действии кислот, так и при действии щелочей. Общие сведения об аминокислотах и приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Общие сведения об аминокислотах, содержащихся в курином помете

Тривиальное название аминокислоты	Химическая формула	Молярная масса, г/моль	Содержание	
			азота в молекуле, %	серы в молекуле, %
Аспарагиновая кислота	$C_4H_7NO_4$	133,10	10,51	-
Треонин	$C_4H_9NO_3$	119,12	11,75	-
Серин	$C_3H_7NO_3$	105,09	13,30	-
Глутаминовая кислота	$C_5H_9NO_4$	147,12	9,51	-
Глицин	$C_2H_5NO_2$	75,07	18,60	-
Аланин	$C_3H_7NO_2$	89,09	15,70	-
Валин	$C_5H_{11}NO_2$	117,15	11,90	-
Тиамин (витамин B1)	$C_{12}H_{17}N_4OS$	265,4	21,10	12,06
Изолейцин	$C_6H_{12}NO_2$	131,17	10,60	-
Тирозин	$C_9H_{11}NO_3$	181,19	7,70	-
Фенилаланин	$C_9H_{11}NO_2$	165,19	8,40	-
Гистидин	$C_6H_9N_3O_2$	155,16	27,06	-
Лизин	$C_6H_{14}N_2O_2$	146,19	19,10	-
Аргинин	$C_6H_{14}N_4O_2$	174,2	36,73	-
Лейцин	$C_6H_{13}NO_2$	131,18	10,67	-
Пролин	$C_5H_9NO_2$	115,13	12,16	-
Цистеин	$C_3H_7NO_2S$	121,16	11,55	26,41
Метионин	$C_5H_{11}NO_2S$	149,21	9,38	21,46
Орнитин	$C_5H_{12}N_2O_2$	132,16	21,1	-

Наряду с белками в помете содержатся жиры, углеводы, клетчатка, но только белковые соединения содержат в своем составе азот. Как видно из данных таблицы 1.1 все аминокислоты содержат одну или несколько аминогрупп, которые, как правило, при разложении трансформируются в аммонийсодержащие соединения. Три аминокислоты содержат в своем составе серу, которая при разложении аминокислот преобразуется в летучие серосодержащие соединения (сероводород, метилмеркаптан и др.).

В курином помете в расчете на воздушно-сухое вещество аминокислоты содержатся в следующем количестве, %: лизин – 0,7-0,8; гистидин – 0,15-0,20; аргинин – 0,35-0,42; аспаргиновая кислота – 1,01-1,02; треонин – 0,5-0,6; серин – 0,5-0,7; глутаминовая кислота – 1,2-1,3; пролин – 0,2-0,3; глицин – 1,1-1,3; аланин – 0,7-0,8; валин – 0,6; изолейцин – 0,4-0,5; лейцин – 0,67-0,85; тирозин – 0,17-0,20; фенилаланин – 0,36-0,45 (Павлоцкий, 2011; Теучеж, 2017).

Примерно 65–70% азотистых веществ составляют небелковые азотистые соединения, преимущественно в форме мочевой кислоты и ее солей. Чистого белка в 1 кг сухого вещества помета отдельных видов птицы содержится: куры несушки – 107 г, цыплята бройлеры – 130 г. (Барта и др., 1984). Исходя из приведенных данных, в среднем, содержание белка в помете цыплят бройлеров и кур несушек составляет 118,5 г. Зная количество белка в помете, можно рассчитать ориентировочное количество азота. Обычно используют усреднённое содержание азота в белке – 16%, тогда, коэффициент пересчёта на белок – 6,25 (100/16). Для пересчёта содержание азота в белках, его известное количество делят на коэффициент пересчёта. Таким образом, содержание белкового азота в одном килограмме куриного помета составит в среднем 18,9 г/кг.

1.3. Золошлаковые отходы и их утилизация

Основной объем золошлаковых отходов концентрируется вблизи тепловых электростанций, работающих на твердом топливе. Примером такой электростанции в Свердловской области может служить Рефтинская ГРЭС. Зола Рефтинской ГРЭС представляет собой тонкодисперсный твердый сыпучий материал серого цвета. Зола имеет влажность 13-17%, насыпная плотность составила в среднем 0,76-0,8 т/м³, истинная плотность 1,96 т/м³ (Левченко, 2014; Зола-уноса..., 2020; Сафронов и др., 2023).

Золошлаковые отходы являются побочным продуктом деятельности угольных электростанций. Сухие золошлаковые отходы традиционно используются в производстве строительных материалов, дорожном строительстве, сельском хозяйстве (Терин, 2014; Худякова и др., 2019; Палеев, Худякова,

2021; Таскин и др., 2025). На Рефтинской ГРЭС, расположенной в Свердловской области, топливом является уголь Экибастузского угольного бассейна (Республика Казахстан). Зольность угля, в среднем, составляет 45%, количество образованных в течение года золошлаковых продуктов составляет 4,5 млн. т. (Сафронов и др., 2023).

После проведенной в 2015 году масштабной реконструкции системы золоудаления гидравлический способ удаления золошлаковых отходов был заменен на сухой, что существенно расширяет возможности дальнейшего использования золы. Количество утилизируемых сухих золошлаковых продуктов составляет около 400 тыс. т/год (не более 10%). Основным потребителем золы является местное производство стеновых газобетонных блоков, сухих строительных смесей, бетонных растворов.

Использование золы Рефтинской ГРЭС в качестве одного из компонентов удобрения является перспективной задачей. Отходы золы угольных ТЭС лишены органических веществ и имеют лишь следы азота, но содержание в них некоторых микроэлементов, имеющих важное значение для роста и развития растений, в 20-100 раз превышает их содержание в почве.

Естественно, что помимо указанных отходов существует и много других. В частности, только в г. Екатеринбурге при очистке хозяйственно-бытовых сточных вод ежегодно образуется более 90 тыс. т. твердого осадка. Общим для приведенных нами отходов является наличие в них необходимых для растений химических элементов, что позволяет использовать указанные отходы в качестве нетрадиционных удобрений.

1.4. Использование отходов при выращивании посадочного материала в лесных питомниках

Использование удобрений в лесном хозяйстве весьма перспективно и многогранно (Слухай, 1965; Stewart, 1965; Яковлев и др., 1980; Рябинин, 1983; Копытков, 1991; Turkington et al., 2002; Запевалов, Наумов, 2002; Choi et al., 2005; Сунгурова, Гундерин, 2008; Smethurst, 2010; Кан, 2013, 2015; Антонов,

2018; Залесов и др., 2021; Лапушкин, 2021; Старыгин, 2025) Так, в частности, удобрения могут быть использованы для повышения урожайности семян. Развитие генеративных органов у хвойных древесных растений продолжается в течение ряда лет. Плодоносящие почки у хвойных деревьев образуются в год, предшествующий цветению и образованию шишек. Развитие женских генеративных органов и созревание семян происходит у сосны на протяжении двух лет, у ели – в течение одного года. Следовательно, семенная производительность древостоя в данный год определяется условиями минерального питания предыдущих лет, а эффект вносимых туков на обилие плодоношения указанных пород может полностью проявиться через 2-3 года. Все это предполагает частое (систематическое) внесение удобрений.

Перспективно использование удобрений при лесовосстановлении и лесоразведении, поскольку внесение удобрений повышает приживаемость лесных культур, ускоряет сроки смыкания их в рядах и междурядьях и, в конечном счете, перевод лесных культур в покрытые лесной растительностью земли.

При кажущейся простоте, использования удобрений нельзя не учитывать, что влияние последних может существенно различаться. Так, внесение полного удобрения на лесокультурную площадь перед посадкой в год посадки лесных культур сосны и ели привело к снижению приживаемости высаженных сеянцев в связи с разрастанием живого напочвенного покрова (Сунгурова, Гундерин, 2008; Сунгурова, Лагунов, 2008).

При рассмотрении вопроса целесообразности повторного или первоначального внесения минеральных удобрений важное значение имеет масса и видовой состав живого напочвенного покрова. Приуроченность растений к определённым почвенным условиям, а также то обстоятельство, что именно нижние яруса растительности более оперативно реагируют на изменение экологической обстановки, позволяет широко использовать их характеристики в качестве критериев общей экологической оценки местообитаний. В настоящее время производству предложен целый ряд растений индикаторов для оценки

богатства, влажности, кислотности и других характеристик почв.

Наличие в живом напочвенном покрове крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.), кочедыжника женского (*Athyrium filix - femina* (L.) Roth.) ожики волосистой (*Luzula pilosa* (L.) Willd.), а в подлеске малины обыкновенной (*Rubus idaeus* L.), свидетельствует о высоком плодородии почв, в то время как осока лесная (*Carex sylvatica* Huds.), луговик извилистый (*Delschampsia flexuosa* (L.) Trin.), черника (*Vaccinium myrtillus* L.), мятлик лесной (*Poa nemoralis* L.), майник двулистный (*Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt) свидетельствуют о среднем плодородии почвы, а белоус льняной (*Nardus remotum* Schrk.), орляк обыкновенный (*Pteridium aquilinum* L.), вейник лесной (*Calamagrostis arundinacea* Roth.) и луговик дернистый (*Deschampsia caespitosa* (L.) P.B.) – о бедности или точнее низком потенциальном плодородии почв (Вайгис, 1981).

На сильно кислых почвах предпочитают расти такие виды как чина болотная (*Lathyrus palustris* L.), седмичник европейский (*Trientalis europaea* L.), черника (*Vaccinium myrtillus* L.), щавель лесной (*Rumex sylvestris* (L.) Wallr.); на кислых – таволга иволистная (*Spiraea salicifolia* L.), земляника лесная (*Fragaria vesca* L.), лютик едкий (*Ranunculus acris* L.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.); на слабокислых – щучка дернистая (*Deschampsia caespitosa* (L.) Beauv.), ветреница дубравная (*Anemonoides nemorosa* L.), гравилат речной (*Geum rivale* L.), хвощ болотный (*Equisetum palustre* L.), осока волосистая (*Carex pilosa* Scop.), кошачья лапка (*Antennaria dioica* (L.) Greuth.) (Рябинин, 1983).

Наиболее перспективным направлением внесения удобрений является создание плантации по выращиванию древесины различного целевого назначения. В частности, в северных районах нередко в целях рекультивации используются посадки ивы. Выращивание ивы люди практиковали многие сотни лет. Так, в гробнице Тутанхамона при раскопках были обнаружены два плетеных стула, которые хорошо сохранились и выглядели вполне современно.

Плантационное выращивание ивы широко практиковалось в середине XIX века в Германии, Англии, Бельгии и Франции. В 1878 г. на страницах

«Лесного журнала» № 12 была опубликована статья венского профессора Брейтенлонера в переводе Ивана Августовича «Культура корзиночной ивы». В указанной статье подробно рассматривались вопросы культивирования ивы и в частности, отмечалась польза внесения органических удобрений при ее выращивании. В качестве удобрения рекомендовалось внесение навоза. Целесообразность последнего убедительно доказали последующие исследования. Так, Э.Э. Керн (1926) в своей работе отмечает, что при выращивании ивы пурпурной (*Salix purpurea* L.) с одного гектара почвы извлекается калия 27,5; фосфора 8,2 и азота 36,4 кг, соответственно.

При создании плантации ивы используется весь прут, кроме вершины, которая к посадке не пригодна и всегда отбрасывается (Керн, 1932; Правдин, 1952).

Особенно необходимо внесение удобрений при выращивании посадочного материала в лесных питомниках. Общеизвестно, что выход стандартного посадочного материала древесных видов зависит, прежде всего, от почвенного плодородия (Окультуривание..., 1994)

Под плодородием почвы понимается такое состояние всего комплекса ее свойств и процессов, при которых обеспечивается снабжение растений почвенными факторами жизни – элементами питания, водой и другими условиями роста и развития (Наставление по системам..., 1991). В зависимости от степени усвояемости элементов питания в момент наблюдения важно оценить плодородие почвы эффективное и потенциальное. Эффективное плодородие проявляется через продуктивность выращиваемых растений и включает в себя как природные, так и экономические факторы. Потенциальное плодородие – это максимальные возможности почвы (Марчик, Ефремов, 2006).

Выращивание посадочного материала в лесных питомниках приводит к истощению почв и требует мероприятий по восстановлению плодородия.

Качественная работа постоянного лесного питомника зависит от эффективной эксплуатации его продуцирующей части, которая характеризуется выходом стандартного посадочного материала. Постоянные лесные питомники

характеризуются длительным сроком эксплуатации, при этом, их продуцирующая часть, на которой выращивается весь объем посадочного материала подвержена постоянному уменьшению количества элементов питания растений. Независимо от назначения лесного питомника (лесной, декоративный, плодовой), выращивание посадочного материала требует постоянных мероприятий по восстановлению почвенного плодородия (Редько и др., 1996).

Размер выноса биогенных элементов в массе сеянцев хвойных пород при плановом их выходе 2,0-2,5 млн. экземпляров на 1 га приближается к выносу их в урожае зерновых культур 40-45 ц/га: с 1 га на слабоокультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве с трехлетками ели в среднем отчуждается: 57-63 кг азота, 18-21 кг фосфора, 23-24 кг калия, 41-46 кг кальция (Наставление по системам..., 1991).

При выкопке сеянцев на их корневой системе остается значительная масса наиболее биохимически активной почвы, поэтому фактический вынос питательных веществ из почвы еще больше (при влажности той же почвы 20% с каждого гектара отчуждается около 13 т., при влажности 25% около 23 т. почвы, с которой выносятся около 5-7 кг/га общего азота, 10-14 кг/га валового фосфора, 25 кг/га калия. Эти потери возмещаются при применении органических и минеральных удобрений.

Одним из основных мероприятий, стимулирующих рост сеянцев и саженцев в посевных и школьных отделениях лесных питомников, является внесение удобрений (Слухай, 1965; Победов, 1972, 1975, 1981, 1988; Синькевич, 1972; Огиевский, 1980; Наквасина, 1983; Победов и др., 1986; Брынцев, Заре, 2016; Демина, 2024).

Применение минеральных удобрений способно полностью покрыть потребность в элементах питания при этом не удастся восполнить баланс органического вещества (гумуса).

Как правило, сухие гранулированные органические и органоминеральные удобрения обладают высокими питательными свойствами, безопасны при применении, однако, в засушливые годы наблюдается снижение эффекта от их

внесения в почву.

К легким субстратам, используемым при заделке семян, обеспечивающим появление дружных всходов, относятся такие мульчирующие материалы и смеси: торф, торфоопильная смесь, смесь торфа с песком. При этом мульчирующий материал не должен содержать семян сорняков и возбудителей грибных болезней (Жигунов, Маркова, 2005). Легкие торфяные и торфопесочные субстраты хорошо зарекомендовали себя при сохранении посевов, вместе с тем эти материалы являются природными ресурсами, добываемыми с нарушением земель. Мульчирование выполняют сетчатым мульчирователем МСН-0,75 с последующей прикаткой.

В питомниках, где плодородие почвы низкое используют посадку сидератов в качестве зеленых удобрений. Запашка сидератов равнозначна внесению 10-20 т навоза на 1 га.

Одной из проблем применения органических удобрений, полученных компостированием, является невозможность стерилизации органического субстрата. Это приводит к тому, что семена сорной растительности засоряют поле. Чтобы устранить распространение сорняков в производственных условиях, как правило, нестерилизованные компосты вносят перед вспашкой, а затем осуществлять послойную (на глубину 5-15 см) культивацию почвы, провоцируя прорастание сорняков и уничтожая их при каждом последующем рыхлении в жаркую и сухую солнечную погоду (Жигунов, Маркова, 2005; Chad Lincoln et al., 2007; Blouin et al., 2008). Эти мероприятия приводят к увеличению расходов на выращивание посадочного материала и как следствие к удорожанию последнего. Засоренные компосты, внесенные перед посадкой культивируемых пород, осложняют очистку плантации от сорняков механическим способом, в этом случае уход за посевами необходимо выполнять вручную прополкой в посевных строчках.

В лесных питомниках применяется интенсивная технология выращивания лесного посадочного материала с учетом современных достижений науки и техники (Мочалов, 2009; Чернобровкина и др., 2016; Фомина, 2022). Совер-

шенствование и интенсификация агротехнических приемов и способов выращивания посадочного материала является актуальной задачей.

Вспомогательная часть постоянного лесного питомника (ГОСТ 17559-82), как правило, имеет площадки, выделенные под «компостники», которые представляют собой участки для изготовления из подручных материалов органических удобрений – компоста, а также участки для хранения торфа и органических удобрений (Новосельцева, Смирнов, 1983).

Перспективность использования органических и минеральных удобрений при выращивании посадочного материала сомнения не вызывает, однако для большинства регионов органические удобрения стали дефицитом в связи с сокращением поголовья скота, а внесение торфа приводит к засорению лесного питомника. Кроме того, добыча низинного торфа не только трудоемка, но и ограничена. Во всяком случае, на территории Свердловской области добычей торфа занимаются в настоящее время только два небольших предприятия и обеспечить торфом всех желающих они просто не в состоянии.

В качестве альтернативы дефицитным дорогостоящим органическим удобрениям многие ученые предлагают использовать на лесных питомниках нетрадиционные удобрения (Гольдфарб и др., 1983; Рекомендации..., 1984, 1987; Переработка..., 1986; Применение..., 1987; Романов и др., 1988, 2000; Романов, 1992, 1996, 1997; Требования..., 1995; Романов, Мухортов, 1997; Мухортов, Романов, 1997; Романов, Нуреева, 1998; Удобрения..., 1998; Малюта, Романов, 2000; Залесов и др., 2014, 2015а,б,в; Фролова, Залесов, 2017а,б; Зарипов и др., 2017, 2018).

Высокая стоимость органических удобрений вызывает необходимость поиска их заменителей. В частности, Е.М. Романов, Т.В. Нуреева, Д.И. Мухортов (2000) предложили использовать в качестве удобрений осадок сточных вод (ОСВ) и гидролизный лигнин. Другими словами, было предложено использование нетрадиционных удобрений. Последнее, как правило, представляет собой смеси, состоящие из различных по своим свойствам органических материалов – субстратов и наполнителей.

В качестве субстрата, используются материалы имеющие высокую влажность, мелкую структуру и узкое отношение углерода к азоту (C:N). Указанными свойствами в полной мере обладают осадки сточных вод очистных сооружений канализации населенных пунктов (табл. 1.2).

Таблица 1.2 – Содержание питательных элементов в компонентах нетрадиционных удобрений

Компоненты	Содержание, %		
	азот	фосфор	калий
Опилки лиственные	0,26	0,20	0,17
Опилки хвойные	0	0,20-0,25	0,10-0,20
Кора древесных растений	0,40-0,50	0,01-0,012	0
Гидролизный лигнин	0,15-0,35	0,02-0,08	0,04-0,06
Сорная травяная растительность	0,20-1,98	0,30-2,40	1,90-4,60
Осадок сточных вод	0,68-3,60	0,10-3,10	0,20-4,50

В качестве наполнителя можно использовать отходы лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности. После компостирования, полученные нетрадиционные удобрения по основным показателям не уступают или превосходят такие традиционные удобрения как торф. Последнее наглядно подтверждают исследования Д.И. Мухортова и Д.А. Трегубова (2005) (табл. 1.3).

Таблица 1.3 – Содержание питательных элементов в торфе и нетрадиционных удобрениях.

Удобрение	Содержание на сухое вещество, %		
	азот	фосфор	калий
Низинный торф (месторождения Марий Эл)	2,3	1,0	0,1
Компост (ОСВ + опил)	1,4	1,7	0,3
Компост (ОСВ + гидролизный лигнин)	1,0-1,5	0,6-0,9	0,1-0,2
Компост (ОСВ + опил+ сорная травяная растительность)	0,8	0,3	2,5

Применение ОСВ в качестве удобрения и его параметры регламентировались действующим на тот момент времени СанПиН 2.1.7.573-96. Согласно требованиям данного документа, нормы внесения осадков устанавливаются в зависимости от их удобрительной ценности и содержания тяжелых металлов

(ТМ) в почвах и ОСВ. Запрещается внесение осадков, если содержание ТМ в них превышает нормы, указанные в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - Нормативные требования к осадкам сточных вод и методы определения их состава

Показатель	Норма	Метод определения
Влага, % не более	82	ГОСТ 26713-85
Органическое вещество, % на сухой продукт, не менее	20	ГОСТ 26714-85
Кислотность, pH (KCl)	5,5-8,5	Потенциометрический
Валовое содержание, мг/кг не более		
Свинец (Pb)	1000	Атомно-абсорбционный
Мышьяк (As)	20	Тот же
Ртуть (Hg)	15	Тот же
Кадмий (Cd)	30	Тот же
Никель (Ni)	400	Тот же
Хром (Cr ³)	1200	Тот же
Марганец (Mn)	2000	Тот же
Цинк (Zn)	4000	Тот же
Медь (Cu)	1500	Тот же
Санитарно-гигиенические показатели		
Коли-титр*, г не менее	0,01	Оценочные показатели санитарного состояния почвы населённых мест, 1977
Яйца гельминтов (жизнеспособных), шт.	0	Тот же
Патогенные энтеробактерии клеток	0	Тот же

Примечание. *- наименьшее количество исследуемого материала, в котором обнаруживается одна кишечная палочка (*Escherichia coli*).

С 2001 г. введен в действие ГОСТ Р 17.4.3-07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. Как видно из данных таблицы 1.4 важным показателем качества осадка сточных вод является содержание тяжелых металлов. Снижение подвижности и усвояемости растениями тяжелых металлов достигается

внесением в почву извести. Такой метод позволяет снизить содержание тяжелых металлов в растениях от 20-65%. Поэтому рекомендуется к ОСВ добавлять известь по норме гидролитической кислотности (Овчаренко и др., 1996; Bean et al., 2007).

Несмотря на существенные изменения санитарного и природоохранного законодательства осадки сточных вод рассматриваются, как перспективный материал для производства удобрений. К настоящему времени ключевым документом в области технического регулирования использования ОСВ стал ГОСТ Р 59748-2021 «Технические принципы обработки осадков сточных вод. Общие требования», который устанавливает требования к методам и оборудованию для обработки осадков для использования их в качестве удобрений.

Выводы

1. В процессе переработки природных ресурсов и сельскохозяйственного производства образуется значительное количество отходов, которое ухудшает условия проживания населения и экологическую обстановку в регионе.

2. Отходы деревообработки, тепловых электростанций, работающих на твердом топливе, куриный помет и осадки сточных вод содержат в своем составе химические элементы необходимые для роста и развития растений.

3. Для минимизации опасности ухудшения экологической обстановки целесообразна утилизация отходов, то есть их переработка с целью получения востребованной продукции.

4. Поскольку отходы содержат необходимые для растений химические элементы, одним из направлений переработки может стать производство нетрадиционных удобрений.

5. Потребность в удобрениях, при проведении лесоводственных и лесокультурных мероприятий, а также лесоразведения огромна. При этом спектр их применения очень широк. Однако наиболее перспективным и востребованным направлением является их использование для повышения плодородия

почвы лесных питомников при выращивании посадочного материала.

6. Использование отходов в качестве ударений в чистом виде проблематично по ряду причин, поэтому перспективным направлением является создание нетрадиционных органоминеральных удобрений.

7. Широкое внедрение органоминеральных удобрений в лесоводственную практику сдерживается отсутствием научно-обоснованных разработок по их изготовлению и дозировкам по внесению. Последнее обстоятельство обусловило направление наших исследований.

2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Географическое положение и лесорастительное районирование

Исследования по теме диссертационной работы проводилось на четырех питомниках: Сухоложском, на постоянных лесных питомниках №1 и №2 Березовского лесничества и питомнике ООО «Калина Парк». Сухоложский питомник расположен на расстоянии 80 км на восток от города Екатеринбурга, а остальные три питомника расположены в радиусе 15 км от областного центра Свердловской области.

Сухоложский базисный питомник расположен на территории Государственного казенного учреждения Свердловской области «Сухоложское лесничество» Департамента лесного хозяйства Свердловской области (ГКУ СО «Сухоложское лесничество»). Согласно схемы лесорастительного районирования (Колесников и др., 1974) территория питомника и лесничества в целом относится к округу сосново-березовых предлесостепных лесов Зауральской равнинной провинции Западно-Сибирской равнинной лесорастительной области.

Постоянные лесные питомники №1 и №2 ГКУ СО «Березовское лесничество», а также декоративный питомник ООО «Калина Парк» в соответствии с вышеуказанным лесорастительным районированием относятся к южно-таежному округу Зауральской холмисто-предгорной провинции Западно-Сибирской равнинной лесорастительной области. Схема расположения питомников по их принадлежности к различным лесорастительным районам на территории Свердловской области приведена на рис. 2.1.

В соответствии с действующим нормативным документом (Об утверждении Перечня..., 2014) территория всех четырех питомников, где проводились экспериментальные исследования, относится к Средне-Уральскому таежному лесному району.

В то же время, ряд авторов считает, что указанное районирование не в полной мере соответствует требованиям современного лесоводства и предлагает выделить в Средне-Уральском таежном лесном районе три подрайона

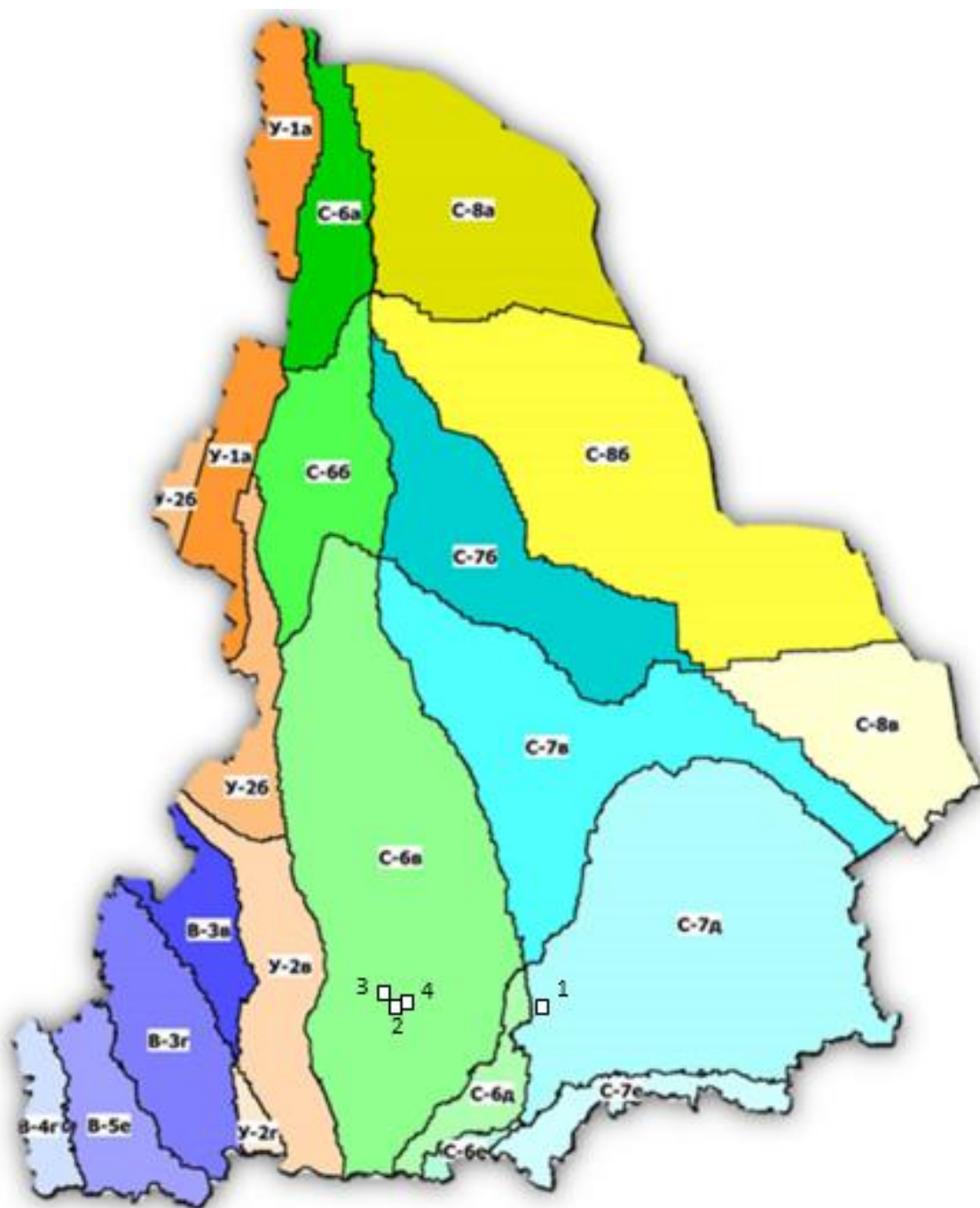


Рисунок 2.1. Лесорастительное районирование территории Свердловской области по Б. П. Колесникову. Схема расположения питомников на территории Свердловской области: 1 – Сухоложский, 2 – ПЛП №1 Березовского лесничества, 3 – ПЛП № 2 Березовского лесничества, 4 – питомник ООО «Калина Парк».

(Годовалов и др., 2011, 2016): Восточно-Европейский равнинный, Горный и Западно-Сибирский равнинный. При этом Березовское лесничество относится к Горному, а Сухоложское лесничество к Западно-Сибирскому равнинному подрайонам (рис. 2.2).

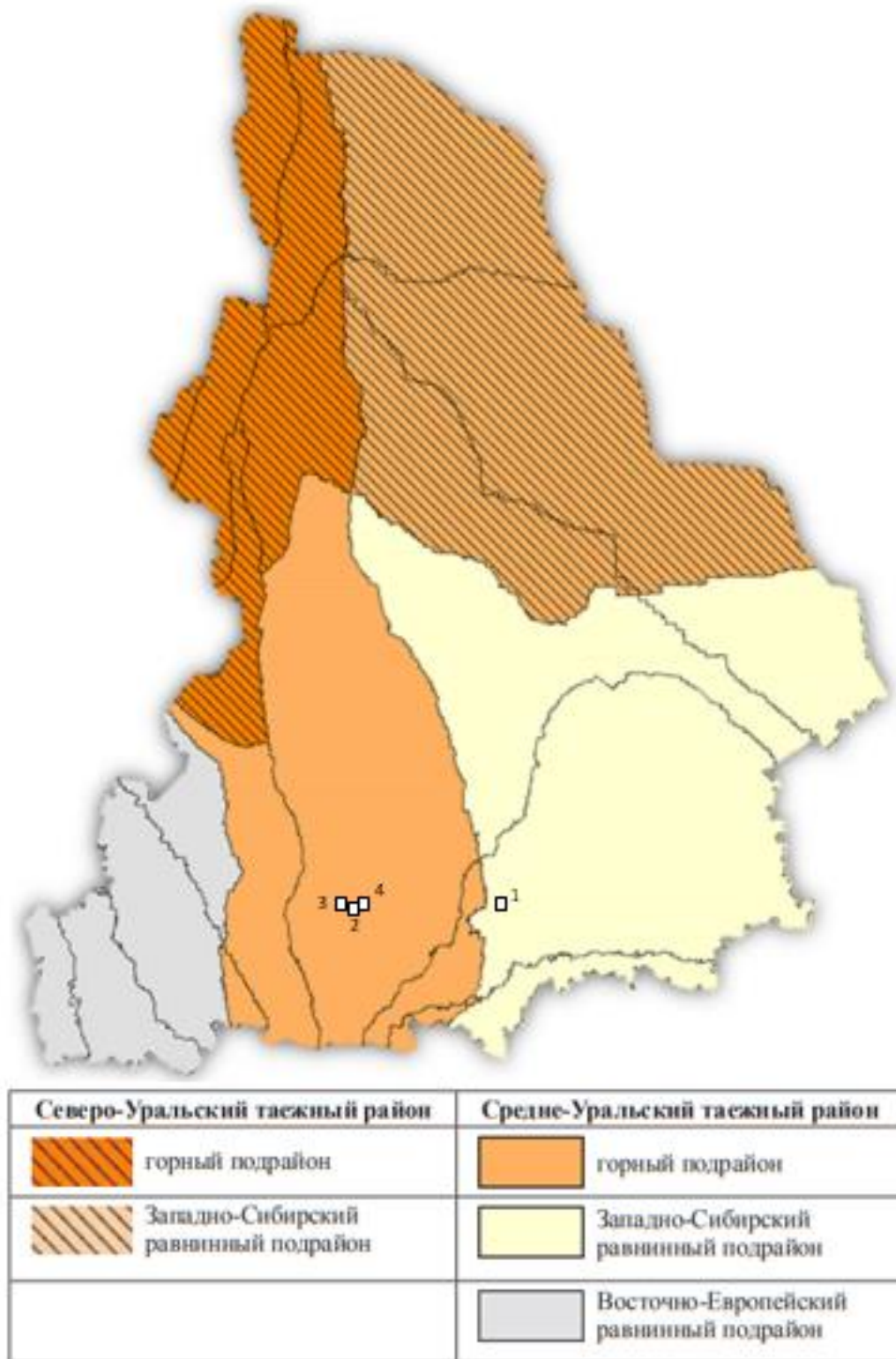


Рисунок 2.2. Лесные районы Свердловской области с делением на подрайоны (Годовалов и др., 2011, 2016). Схема расположения питомников на территории Свердловской области: 1 – Сухоложский, 2 – ПЛП №1 Березовского лесничества 3 – ПЛП № 2 Березовского лесничества, 4 – питомник ООО «Калина Парк».

2.2. Климат

Поскольку два лесных питомника Березовского лесничества и питомник ООО «Калина Парк» находятся на расстоянии не более 25 км друг от друга описание природных условий выполнено нами для двух «ключевых» лесничеств» расположенных в разных лесорастительных округах: Сухоложского и Березовского. Естественно, что некоторые климатические характеристики указанных лесничеств довольно близки, в то время как другие, имеют некоторую специфику.

ГКУ СО «Сухоложское лесничество»

Климат территории Сухоложского лесничества формируется под воздействием трех типов воздушных масс. При этом последние, поступающие с севера, относительно сухие и холодные. Поступающие с юга воздушные массы сухие и теплые, а с запада влажные и прохладные. Поскольку Урал является естественной границей между Русской и Западно-Сибирской равнинами, на климат района исследований существенное влияние оказывает орografia. Несмотря на низкую высоту гор Среднего Урала они, в то же время, замедляют, а в ряде случаев и останавливают продвижение западных циклонов. Последнее приводит не только к выпадению большого количества осадков на западном склоне Уральских гор (Горчаковский, 1956; Зубарева, 1970), но и сокращению количества осадков по мере удаления на восток от Уральского хребта.

Поскольку цепь Уральских гор не препятствует перемещению циклонов в северном и южном направлениях, в зимний период арктический холодный воздух нередко перемещается далеко на юг, а в летний период сухие и теплые воздушные массы с юга перемещаются далеко на север (Справочник..., 1966а,б; 1968). Указанное обстоятельство во многом объясняет неустойчивую погоду, а также возврат холодов в конце весны и начале лета.

В целом можно констатировать, что на территории Сухоложского лесничества преобладают ветры западных и юго-западных направлений – 39%,

реже – северных и восточных направлений – 28% от повторяемости годового распределения ветров. Минимальной частотой характеризуются ветры восточных направлений – 4% (Агроклиматический справочник..., 1966; Гулинова, 1974). Особо следует отметить, что ветры северного и северо-восточного направлений являются в летний период причиной резкого похолодания, в то время как зимой холодную и сухую погоду приносят ветры западного и юго-западного направлений.

Средние показатели скорости ветра находятся в пределах от 3,2 до 4,8 м/с, однако они могут значительно варьироваться в зависимости от времени года. При средней скорости ветра 4,2 м/с в летние месяцы средняя скорость ветра снижается до 3,5 м/с, а в зимние, напротив, возрастает до 4,7 м/с.

Представление об основных климатических характеристиках на территории Сухоложского лесничества позволяют получить материалы, приведенные в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Среднемесячные климатические данные по Сухоложскому лесничеству.

Месяц	Средняя температура воздуха, °С		Средняя сумма осадков, мм	Среднее количество дней с осадками более 0,1 мм, шт.
	ночь	день		
Январь	-18,	-11,0	23	7
Февраль	-16,2	-7,8	19	5
Март	-8,4	0,6	16	4
Апрель	-0,2	9,9	28	6
Май	5,5	16,9	44	8
Июнь	10,9	22,0	74	10
Июль	13,8	24,0	81	10
Август	11,0	20,7	66	10
Сентябрь	5,9	14,3	53	9
Октябрь	-1,3	5,0	40	9
Ноябрь	-8,4	-2,5	31	8
Декабрь	-14,5	-8,3	23	6

Материалы табл. 2.1 свидетельствуют, что на территории Сухоложского лесничества зима длится 5 месяцев с ноября по март включительно. Средняя температура воздуха в летние месяцы + 23°С. Однако, возникают ситуации, когда в летние месяцы устанавливается сухая жаркая погода и влажность воз-

духа снижается до 20-30% (Мошкин и др., 1970). Последнее вызывает необходимость затенения и полива сеянцев в лесных питомниках, а также повышенного внимания к охране лесов от пожаров.

Поздние весенние заморозки, по описанным ранее причинам, продолжаются до начала июня, что приводит к повреждению цветов и завязей у сосны и ели и, как следствие этого, к снижению урожая семян. Во второй половине августа имеют место ранние осенние заморозки, которые приводят к пожелтению и опадению хвои у сеянцев, а также вызывают повреждения побегов.

Известно (Ткаченко, 1955), что для древесных растений начало и конец вегетационного периода связаны со среднесуточными температурами воздуха $+10^{\circ}\text{C}$ и почвы - $+5^{\circ}\text{C}$. В целом продолжительность вегетационного периода в Сухоложском лесничестве составляет 110-119 дней.

Для произрастания древесной растительности и выращивании сеянцев очень важны такие показатели, как сумма осадков и динамика выпадения их в течение года. Материалы таблицы 2.1 свидетельствуют, что среднегодовое количество осадков составляет в районе исследований 498 мм. При этом основное количество осадков выпадает с мая по сентябрь - 63,9%. Количество осадков с ноября по март не превышает 22,5%.

Снежный покров на территории Сухоложского лесничества формируется во второй половине октября, а в первой декаде ноября формируется устойчивый снежный покров, который в конце марта имеет среднюю высоту 40-45 см. В среднем продолжительность устойчивого снежного покрова составляет 160-161 дней. Весеннее таяние снега происходит довольно быстро, особенно на непокрытых лесной растительностью площадях. При этом до первой декады июня может наблюдаться выпадение мокрого снега (Степанов, 1956, 1964; Кувшинова, 1968).

В целом можно констатировать, что климат на территории Сухоложского лесничества можно характеризовать, как континентальный. При этом благоприятное сочетание тепла и влаги позволяет выращивать высокопроизводительные сосновые насаждения.

ГКУ СО «Берёзовское лесничество»

Климат Берёзовского лесничества можно охарактеризовать как умеренно-континентальный. На климатические условия наиболее существенное влияние оказывает западные ветры, дующие со стороны Атлантического океана со средней скоростью 4-5 м/с. Кроме того нередко имеют место холодные северные ветры и тёплые южные. Из-за частой смены тёплого и холодного потоков наблюдается резкое изменение температуры воздуха не только в течение месяца или недели, но даже и суток.

Распределение осадков по сезонам года неравномерное по месяцам при общем годовом объёме в среднем 450 мм. Если учесть, что испарение составляет 320 мм то можно сделать вывод о достаточном увлажнении.

Для Берёзовского лесничества характерна частая смена циклонов и антициклонов. В осенний сезон преобладают циклоны - выпадают основные осадки и преобладает пасмурная погода. Для зимы и лета характерно доминирование антициклонов, что сопровождается значительным количеством ясных солнечных дней.

Продолжительность вегетационного периода составляет 130-145 дней. При этом вегетационный период начинается в мае и заканчивается в конце сентября.

В конце октября в начале ноября начинает формироваться снежный покров, приобретающий устойчивость во второй половине ноября. Полное исчезновение снежного покрова наблюдается в конце апреля.

Глубина промерзания почвы зависит от глубины снежного покрова и варьируется в значительных пределах, составляя в среднем 70-80 см. Общие сведения о климатических показателях на территории Берёзовского лесничества приведены в таблице 2.2.

Среднегодовая температура воздуха составляет 3,2°C. Материалы таблицы 2.2 свидетельствуют, что самым холодным месяцем является январь, а самым тёплым – июль. Зима холодная и продолжается около 5 месяцев. Лето короткое, малооблачное, нередко связано с пасмурными, дождливыми днями

Таблица 2.2 – Среднемесячные климатические данные по Берёзовскому лесничеству

Месяц	Средняя температура воздуха, °С		Средняя сумма осадков, мм	Среднее количество дней с осадками более 0,1 мм
	ночь	день		
1	2	3	4	5
Январь	-12,4	-18,3	24,9	7
Февраль	-9,5	-17,0	19,2	5
Март	-2,8	-10,4	29,0	4
Апрель	6,8	-0,9	31,4	6
Май	16,8	4,8	46,4	8
Июнь	22,3	10,5	72,4	10
Июль	23,5	11,5	90,8	10
Август	22,0	10,4	75,3	10
Сентябрь	14,5	5,9	44,0	9
Октябрь	4,6	-0,7	33,0	9
Ноябрь	-3,4	-8,1	28,0	8
Декабрь	-9,6	-14,9	26,0	6

и похолоданиями. Однако, в последние годы участились случаи сухой погоды (Об утверждении Лесного плана..., 2019).

К климатическим факторам, негативно влияющим на рост и развитие древесной растительности, относятся короткий вегетационный период, редкие летние, более частые поздние весенние и ранние осенние заморозки, сокращающие безморозный и вегетационный периоды. Последние заморозки весной зафиксированы 25 мая – 6 июня и даже 18 июня, а первые осенние 5-13 сентября. Указанные обстоятельства необходимо учитывать при выращивании посадочного материала.

2.3. Рельеф и почвы

ГКУ СО «Сухоложское лесничество»

Рельеф Сухоложского лесничества представляет собой слабо расчленённую равнину с общим незначительным уклоном на восток. Рельеф характеризуется слабовыраженными холмами, гривами, ложбинами, что характерно для Зауралья.

В орографическом отношении лесничество располагается на Восточном

склоне среднего Урала в переходной зоне к Западно-Сибирской равнине. Последнее обстоятельство сказывается на формировании рельефа в данной местности. Западная часть Сухоложского лесничества характеризуется эрозионально-абразивной платформой, тогда как восточная - ровным рельефом с наличием разных по величине и форме замкнутых котловин и западин, занятых в большинстве своём моховыми и осоковыми болотами.

Несмотря на общий равнинный характер рельефа в западной части лесничества имеют место необычные формации, например, глубокие каньоны достигающие высоты 40 м, которые пересекают равнину и создают уникальный ландшафт.

Территория Сухоложского лесничества представляет собой невысокую водораздельную гряду, которая разделяет бассейны реки Пышма и его левого притока р. Рефт. Абсолютные отметки изменяются от 197,6 до 232,6 м для указанных рек характерны узкие глубокие долины. Берега часто образованы скалами из горных пород, выходящих на дневную поверхность. Надпойменные террасы слабо развиты, а рельеф формируется преимущественно характером горных пород. В то же время отложение коренных пород можно наблюдать только на склонах долин рек.

В целом территория Сухоложского лесничества расположена на широкой, до 100 км, холмистой равнине (Зауральский пенеппен), пологой наклоненной от 380 до 180 м к Западно-Сибирской равнине (Борисевич, 1968).

Основными горными породами, на которых сформировались почвы являются кристаллические сланцы, известняки и граниты. Эти породы образовались на территории в результате отступления третичного моря и действия различных геологических процессов. Если говорить подробнее о гранитах, то это магматические породы, образовавшиеся из глубинных горных пород. Граниты характеризуются высокой плотностью и прочностью благодаря чему медленно поддаются разрушению. Кристаллические сланцы имеют характерные слоистые структуры, а известняки образованы останками морских организмов. В настоящее время основные горные породы покрыты тонким слоем элюви-

альных отложений малоразвитых щебенчатых почв, образовавшихся в процессе выветривания горных пород (Фирсова, 1969, 1977; Зубарева и др., 1972).

Интересно отметить, что почвообразующие породы в районе исследований представлены преимущественно делювиально-аллювиальными отложениями и продуктами выветривания. Указанное свидетельствует, что почвы на территории Сухоложского лесничества имеют определённую историю формирования, которую важно учитывать при их изучении.

По почвенно-географическому районированию территория Сухоложского лесничества является составной частью провинцией горных дерново-подзолистых почв Уральской горной южно-таёжной подзоны зоны тайги. В соответствии с почвенным районированием Свердловской области (Гафуров, 2008) территория лесничества относится к Березовскому почвенному району. По агроклиматическому районированию почвенный район характеризуется как прохладный по теплообеспеченности и влажный по влагообеспеченности. Гидротермический коэффициент варьируется от 1,4 до 1,6.

В строении почвенного покрова ведущее место занимает сочетание дерново-подзолистых, болотно-подзолистых и болотных низинных торфяных почв. До 50% почвенных разностей представлено автоморфными почвами. На долю полугидроморфных и гидроморфных почв приходится 35% площади лесного фонда.

Почвы подзолистого типа формируются в условиях промывного водного режима под хвойными и хвойно-лиственными насаждениями с моховым и мохово-травяным покровом. Указанные почвы имеют кислую реакцию водной среды и тяжёлый гранулометрический состав.

Болотно-подзолистые почвы приурочены к слабодренированным территориям. Эти почвы развиваются в условиях избыточного увлажнения поверхностными или мягкими грунтовыми водами. Данные почвы занимают плоские равнины и неглубокие понижения с произрастающими еловыми, сосново-еловыми или смешанными насаждениями, а также с влажными лугами. При этом болотно-подзолистые почвы характеризуются сильнокислой реакцией.

Болотные торфяные почвы формируются в условиях избыточного увлажнения атмосферными, застойными пресными или слабопроточными грунтовыми водами. Указанные почвы приурочены к глубоким слабосточным депрессиям рельефа на водораздельных равнинах и местах, где обеспечен приток грунтовых вод. Почвы имеют кислую или сильноокислую реакцию среды и на них формируются травяные (осока, тростник), моховые (тиновые мхи) и мягколиственные (берёза, ольха, ива) ассоциации.

Дренированность почв вполне удовлетворительная. По влажности 81% почв относятся к свежим. По механическому составу 53% относится к средне-суглинистым, 31,3% к легкосуглинистым, 9,2% к торфянистым, 4,9% к торфяным, 1,1% к супесчаным и 0,5% тяжелосуглинистым. При этом стоит учитывать, что каждая почва имеет свои особенности и требует индивидуального подхода при использовании для целей лесного и сельского хозяйства.

ГКУ СО «Берёзовское лесничество»

Территория лесничества относится к восточному склону Уральских гор в районе среднего Урала. Геологические процессы и оледенение Земли определили современный рельеф территории. Макрорельеф представлен холмисто-увалистой равниной с абсолютными высотными отметками от 200 до 380 м.

Положительные формы мезорельефа представлены вытянутыми и выположенными холмами и увалами, отрицательные – межувальными понижениями, гривами, ложбинами и лощинами.

Холмистость не резкая с уклонами не более 50 м и имеет вид длинных покатых увалов. Наблюдается общий уклон местности к реке Пышме. Вершины холмов и увалов выположенные плосковыпуклые.

Характерной особенностью территории являются частые выходы на поверхность горных пород в виде скал-останцев, а также скальные обнажения по бортам долин рек. В пределах небольшой площади можно встретить почвы горного облика и их равнинные аналоги. Наряду с молодыми почвами элювиальных четвертичных отложений горных вершин можно встретить отдельные

фрагменты почвенного покрова, сохранившие в своем облике следы криогенных модификаций ледникового периода.

Почвообразование протекает на элювиально-делювиальных и делювиальных отложениях. Элювиально-делювиальные отложения представлены щебнем, суглинками и глинами мощностью от 0,5 до 4-5 м. Делювиальные отложения выстилают лога, склоны холмов и увалов, речные долины. Они представлены суглинками, глинами песчаными и песчано-алевритовыми, иногда со щебнем. Преобладают автоморфные почвы (50%), доля полугидроморфных и гидроморфных почв составляет 35% (Гафуров, 2008).

По растительному покрову в данных почвенных условиях преобладают вторичные леса, чаще всего сосновые, осиновые и берёзовые. Коренные лиственнично-сосновые и сосновые зеленомошные травяно-кустарничковые леса сохранились в зелёных зонах городов и водоохраных полосах.

Вершины и верхние трети крутых склонов, где мощность элювиальных отложений наименьшая, заняты маломощными бурыми почвами. К средним и нижним частям покатых склонов приурочены бурые средне- и сильноподзолистые почвы. Плоские вершины невысоких увалов, пологие склоны, а также хорошо дренируемые понижения заняты дерново-палево подзолистыми почвами, которые отличаются по мощности профиля и степени оподзоленности.

Бурые горнолесные почвы представлены неполноразвитыми типичными и оподзоленными почвами. Почвы данного типа характеризуются преобладанием в механическом составе песчаных частиц. Относятся они к сухим местоположениям и формируются под сосняками с изреженным живым напочвенным покровом (ЖНП) из брусники и кошачьей лапки.

Оподзоленные бурые горнолесные почвы формируются в более влажных условиях. Приурочены они к средним и нижним частям пологих и нижним третям крутых склонов. Это преимущественно почвы ягодниковых типов сосновых лесов II - III классов бонитета.

Дерново-палево-подзолистые почвы широко распространены и отличаются от вышеприведённых почв морфологически ясно выраженной оподзо-

ленностью при небольшой мощности почвенного профиля, в среднем составляющего 60-80 см. Оподзоленный горизонт имеет палевую или желтовато-бурю окраску. Эти почвы занимают низкие по рельефу местоположения по сравнению с бурыми неполноразвитыми. Отличительным свойством дерново-палево-подзолистых почв является наличие в их профиле маломощной подстилки, составляющей в среднем 2 см. Под слоем подстилки выделяется серый или тёмно-серый гумусовый горизонт комковатой структурой, мощностью 8 см. На указанных почвах произрастают сосновые и берёзовые насаждения травяных типов лесов I - III классов бонитета.

Почвы болотного типа выделены следующими видами: дерново-подзолисто-глеевые, торфянисто-глеевые, торфяно-глеевые и торфяные. Доля болотных почв в общем почвенном покрове не превышает 10%.

Дерново-подзолисто-глеевые почвы встречаются в разного рода понижениях, обычно периодически или постоянно избыточно увлажнённых и на равнинных слабо дренированных местоположениях. По влажности они относятся к категории влажных и серых. Почвы встречаются под мшистыми березняками и сосняками.

Торфянисто-глеевые и торфяно-глеевые почвы встречаются в березняках и сосняках сфагновых типов леса. Характеризуются наличием на поверхности торфяного горизонта мощностью 30-50 см. Распространены в слабо дренированных понижениях и по заболоченным берегам водоёмов.

Торфяные почвы имеют мощность горизонта более 50 см., распространены в сосняках сфагновых, где связь с древесной растительности с минеральной почвой полностью отсутствует.

Для почв Берёзовского лесничества характерна слабая степень развития эрозионных процессов. Однако, во время половодья и летних паводков в безлесных местах наблюдается размыв и снос поверхностных слоёв берегов рек. Не случайно леса данного лесничества имеют важное значение в предотвращении эрозионных процессов как основной водорегулирующий фактор, обеспечивающий перевод поверхностного стока в внутрипочвенный (Об утвер-

ждении проекта..., 2010).

Можно констатировать, что на территории Берёзовского лесничества ведущее место занимают сочетания дерново-подзолистых, торфяно- и торфянисто-глеевых, бурых горнолесных почв. Доминируют пятнистости дерново-подзолистых почв. В целом структура почвенного покрова сложная по построению и сильноконтрастная по составу. В то же время почвенные условия вполне благоприятны для произрастания высокопроизводительных насаждений.

2.4 Гидрография и гидрологические условия

ГКУ СО «Сухоложское лесничество»

На территории Сухоложского лесничества протекают две значимые реки Пышма и Тура, характеризующиеся наличием многочисленных притоков. Они получают большую часть воды от снега, а также от дождей и грунтовых вод. Для указанных рек характерен сезонный режим, включающий в себя несколько этапов: весеннее половодье, когда уровень воды на реках повышается на несколько метров в связи с таянием снега; пониженный летний уровень воды с временными паводками в период интенсивных ливневых дождей; низкий уровень воды зимой из-за сокращения питания рек.

Зимой на реках образуется ледяная корка, которая сохраняется в течение 5-6 месяцев, с конца октября – первой половины ноября до середины - конца апреля.

Река Тура, протекающая на территории Свердловской области, является важным элементом ландшафта имеет длину 1030 км., при площади бассейна - 80,4 тыс. км². Бассейн р. Туры имеет длину 505 км. при ширине до 285 км. Глубина реки варьируется от 0,7 до 3,5 м. Скорость течения составляет в среднем 1,5-2,5 м/с, а характер течения – в верховьях предгорный, а в среднем и нижнем течении равнинный. По пути своего течения р. Тура собирает в себя воду из многих притоков, среди которых важно назвать реки: Салда, Пышма Ница, Тагил. При этом, в частности, река Пышма является равнинной на всём

своём протяжении. Все реки протекающие на территории лесничества относятся к бассейну реки Тобол.

Большинство рек представляет собой уникальную экосистему, которая состоит из каменистых перекатов, скальных шивер и порогов с быстрым течением, чередующихся со спокойными плесами. Спокойное течения рек имеет скорость от 0,1 до 0,5 м/с, но в период половодья возрастает до 0,8 м/с.

Река Пышма имеет левый приток – реку Рефт, которая впадает на 461 км. Указанная река образовалась от слияния двух рек Большой и Малый Рефт. В районе встречаются озёра, среди которых Чёрное, Травяное и Белое.

Сочетание рек и озёр обеспечивает дренаж местности и снижает заболоченность территории несмотря на ровный рельеф.

ГКУ СО «Берёзовское лесничество»

На Среднем Урале имеет место густая речная сеть, большое количество озёр и искусственных водоёмов - прудов и водохранилищ. Основная часть рек находится на склонах Уральских гор и стекает с них к западу и востоку. В питании рек принимают участие снеговые (до 70% расхода), дождевые (20-30%), и подземные воды – не более 20%. На территории лесничества реки замерзают в конце октября. Разрушается ледяной слой в начале апреля. При этом на весну приходится 40-60% и более объёма годового стока.

Среди значительного количества рек, протекающих в районе исследований можно выделить Туру с притоками: Пышма, Ница, Тагил, Салда (Фролова, Сурков, 2020). К негативным особенностям рек, протекающих на территории Берёзовского лесничества, следует отнести их загрязнённость стоками и отходами промышленного производства (Сурков, Галов, 2020).

В восточной части лесничества расположено Белоярское водохранилище, из-за чего наблюдается подпор грунтовых вод и происходит процесс заболачивания и подтопления территорий, изменение почв, химического состава грунтовых вод и растительности (Вендров, 1961; Водохранилища..., 1986).

Выводы

1. Исследования проводились на территории Сухоложского и Берёзовского лесничества Департамента лесного хозяйства Свердловской области. Сухоложское лесничество согласно схемы лесорастительного районирования (Колесников и др., 1974) относится к округу сосново-берёзовых предлесостепных лесов Зауральской равнинной провинции, а Берёзовское лесничество к южнотаёжному округу Зауральской холмисто-предгорной провинции Западно-Сибирской равнинной лесорастительной области.

2. В соответствии с действующими нормативными документами (Об утверждении..., 2014) территории указанных лесничеств относятся к Средне-Уральскому таёжному лесному району.

3. Климат Сухоложского лесничества характеризуется как континентальный, Берёзовского – умеренно-континентальный.

4. Общим недостатком климата указанных лесничеств является относительно короткий вегетационный период, поздние весенние и раннее осенние заморозки. В то же время, благоприятное сочетание тепла и влаги позволяет выращивать высокопроизводительные насаждения.

5. Рельеф Сухоложского лесничества характеризуется слабовыраженными холмами, гривами, ложбинами и представляет собой слаборасчленённую равнину с уклоном на восток. Территория Берёзовского лесничества представлена вытянутыми и выположенными холмами и увалами межувальными понижениями, гривами, ложбинами и лощинами. В целом, это холмисто-увалистая равнина с абсолютными высотными отметками от 200 до 380 метров.

6. Для Сухоложского лесничества характерны выходы на дневную поверхность горных пород только в поймах рек, в то время как в Берёзовском лесничестве, это довольно частое явление.

7. На территории «ключевых» лесничеств имеется значительное количество рек и ручьёв, обеспечивающих дренаж, что объясняет незначительную долю избыточно влажных почв.

8. Специфика рельефа объясняет мозаичность почв в вышеуказанных лесничествах. Однако, в почвенном покрове доминируют свежие среднесуглинистые почвы разной степени оподзоленности. Каждая почва при этом имеет свои особенности и требует индивидуального подхода при ведении лесного хозяйства и выращивании посадочного материала.

3. Программа, методики исследований и объём выполненных работ

3.1. Программа работ

В соответствии с целью и задачами исследований была разработана и реализована следующая программа работ:

1. Выполнить анализ научной и ведомственной литературы по проблеме утилизации отходов промышленного производства в направлении получения нетрадиционных удобрений для лесного хозяйства.
2. Проанализировать природные условия района исследований.
3. Исследовать и разработать технологию производства органоминеральных удобрений на основе куриного помета и других промышленных отходов.
4. Разработать оборудование для получения органоминеральных удобрений.
5. Изучить влияние различных доз органоминеральных удобрений на биометрические показатели сеянцев сосны и ели.
6. Изучить влияние органоминеральных удобрений на фитомассу сеянцев сосны и ели и на выход посадочного материала.
7. Разработать предложения по использованию органоминеральных удобрений на лесных питомниках Среднего Урала.

3.2. Методика исследований

Диссертация представляет собой многоплановые комплексные исследования, включающие лабораторные, технологические и опытно-производственные работы, направленные на создание органоминеральных удобрений и изучение эффективности их использования при выращивании сеянцев сосны обыкновенной и ели сибирской в лесных питомниках на Среднем Урале.

Началу проведения исследований предшествовала работа с литературными и ведомственными материалами по проблеме обращения с отходами

промышленного и сельскохозяйственного производства, использованию таких отходов как: куриный помет, угольная зола тепловых электростанций, отходы деревообработки, древесный уголь для получения нетрадиционных удобрений, а также опыту их применения при выращивании посадочного материала в лесных питомниках.

Разработка технологии производства органоминеральных удобрений вызвала необходимость исследовать качество бесподстилочного куриного помета и других отходов, используемых для их получения.

Для исследования процесса получения органоминеральных удобрений на первом этапе потребовалось разработать, изготовить и испытать лабораторную установку для проведения эксперимента по получению органоминерального удобрения методом аэробной твердофазной ферментации. Исследовать оптимальные соотношения компонентов смеси, подвергаемой аэробной твердофазной ферментации, а также различные технологические режимы получения органоминеральных удобрений.

Полученные образцы органоминеральных удобрений необходимо исследовать с точки зрения их потребительских свойств, а также с позиции безопасности для человека и окружающей среды.

На втором этапе необходимо изучить влияние полученных образцов органоминеральных удобрений на модельные тест-объекты (кресс-салат) в лабораторных условиях, установить воздействие различных дозировок компонентов и добавок на потребительские свойства продукта.

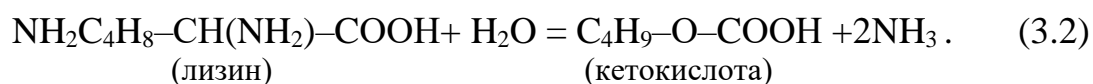
На третьем этапе была разработана, спроектирована и изготовлена опытно-промышленная установка для получения органоминеральных удобрений методом аэробной твердофазной ферментации.

На четвертом этапе необходимо провести полевые исследования образцов органоминеральных удобрений при выращивании посадочного материала сосны обыкновенной и ели сибирской в лесных питомниках Свердловской области.

В ходе подготовительных работ отобраны пробы свежего бесподстилоч-

ного куриного помета с нескольких птицефабрик различного птицеводческого профиля (ГОСТ 31461-2012). Физико-химические характеристики, содержание макро- и микроэлементов в помете выполнены в лаборатории ФГБУ ГЦАС «Свердловский». Микробиологические, санитарно-бактериологические, санитарно-зоогигиенические, санитарно-паразитологические показатели и паразитарная чистота были исследованы ГБУ СО «Свердловская облветлаборатория». Кроме того, были отобраны образцы стружки и опила лиственных и хвойных пород и их смеси, а также золы Рефтинской ГРЭС. Зола-уноса была приобретена в одной из специализированных организации по торговле строительными материалами в Свердловской области. Указанная зола реализуется потребителям в качестве побочной продукции (Технические условия..., 2020). Анализ химического состава золы-уноса Рефтинской ГРЭС выполнен на атомно-эмиссионном спектрофотометре с индуктивно связанной плазмой iCAP 6300 DUO.

Органоминеральные удобрения производились методом аэробной твердофазной ферментации. Процесс ферментации связан с разложением аминокислот, содержащихся в белковых соединениях, в результате реакций дезаминирования. Функциональная аминогруппа ($-\text{NH}_2$) отщепляется с образованием карбоновых кислот, их производных и аммиака. В качестве примера, реакции дезаминирования аминокислот – глицина и лизина протекают следующим образом (3.1, 3.2).



Контроль процесса ферментации проводили по количеству выделившегося аммиака (в пересчете на азот), уловленного в последовательно установленных поглотителях с раствором соляной кислоты ($1,0 \div 1,2 \text{ Н}$).

Для проведения исследования по аэробной твердофазной ферментации собрана лабораторная установка. Схема лабораторной установки представлена на рис 3.1.

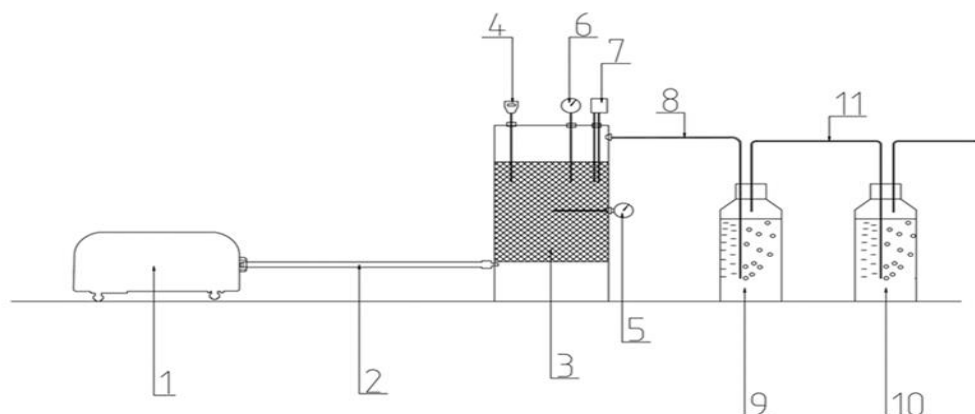


Рисунок 3.1 Лабораторная установка ферментации куриного помета:
 1 – воздушный компрессор с ротаметром; 2 – подводящий гибкий шланг;
 3 – реактор; 4 – рН-метр; 5, 6 – термометры; 7 – влагомер; 8 – гибкий шланг
 для отвода конденсата и газов; 9, 10 – сосуды с поглотительным раствором;
 11 – соединительные шланги

Ферментации подвергали смесь бесподстилочного куриного помета с добавками (отходы деревообработки – опил и стружка лиственных и хвойных пород, и их смесь, угольная зола ТЭС, древесный активированный уголь). Стружку и опил использовали в качестве источника углерода и улучшителя структуры смеси. Все компоненты смешивались до получения однородной массы и помещались в реактор. Аэрацию ферментируемой смеси проводили воздухом из расчета 1 л/мин на 1 кг. Регулирование объема воздуха, контролировали ротаметром.

Технологические параметры процесса контролировали в непрерывном (температура) и периодическом режимах (влажность, рН, количество выделившегося аммиака).

Процесс ферментации считали завершенным по практически полному прекращению выделения аммиака и снижению температуры ферментируемой

смеси до 30°C. В ходе серии проведенных экспериментов получены и испытаны два образца органоминеральных удобрений для дальнейших исследований.

Методика лабораторных испытаний органоминеральных удобрений

Потребительские свойства образцов полученных органоминеральных удобрений (ОМУ №1 и №2) исследовали в лабораторных условиях при выращивании тест-растений. Для оценки фитотоксичных и стимулирующих свойств органоминеральных удобрений использована общепринятая методика (ГОСТ Р ИСО 18763-2019). В качестве тест-растения использовано двудольное растение кресс-салат (*Lipidium sativum* L.). В ходе исследований фиксировали размер корневой и надземной части растений. Тестируемая система представляла собой водные вытяжки различных концентрации, полученные из органоминеральных удобрений. Суспензию готовили в следующем весовом соотношении: 1 часть органоминерального удобрения (влажность 15%) и 4 части дистиллированной воды. Полученную суспензию перемешивали в течение 2 часов отстаивали и фильтровали. Водные вытяжки образцов органоминерального удобрений разбавляли в 9 и 81 раз. В качестве контрольной среды сравнения использовали дистиллированную воду.

В нижнюю часть планшета на подложку помещали фильтровальную бумагу, смоченную 2 мл водной вытяжки удобрений. На смоченную бумажную подложку помещали по пять семян кресс-салата, равномерно распределенных на одной линии. Планшеты помещали вертикально в держателях. Проращивание производили в темноте в течение 72 ± 1 часов при температуре $20 \div 25^\circ\text{C}$. Определение производили в трех параллельных измерениях.

Эффект торможения роста и развития корневой и надземной части (%) вычисляли в соответствии с формулой 4.2.

Исследование исходной почвы на опытных участках в питомниках

Обследование опытных участков проводили для оценки почвенной характеристики в целом для того, чтобы сделать возможным перенесение полученных результатов на сходные почвы. Данное обследование необходимо для

оптимального расположения опытных и контрольных площадок с учетом наиболее близких почвенных разностей т.е. путем выбора наибольшего однообразия почвенного комплекса для всех вариантов опыта.

В условиях мелкоплощадного опыта отбор проб почвы производился с элементарного участка расположенного на поле питомника площадью 0,04 га (20x20 м) на, котором закладывали испытуемые и контрольные участки.

Отбор проб почвы в питомниках производили по ГОСТ Р 58595-2019. Лабораторный анализ почвы выполнен в ФГБУ ГЦАС «Свердловский» на следующие показатели: содержание гумуса (%), кислотность (рН), массовая доля (мг/кг): общего азота, подвижных соединений фосфора и калия. Содержание (мг/кг) следующих микроэлементов: меди, цинка, марганца, бора, железа, молибдена.

Методика выполнения полевого эксперимента

Полевой опыт проводился в производственных условиях по заранее согласованной схеме на территории постоянных лесных питомников двух различных лесничеств (Сухоложское и Березовское) и озеленительного (декоративного) питомника ООО «Калина Парк».

По продолжительности периода наблюдений за действием удобрения применялась схема однолетнего и длительного (2 вегетационных сезона) полевых опытов. При этом исследовались образцы молодых растений при однократном и двукратном внесении. Испытуемые органоминеральные удобрения (ОМУ) для выращивания посадочного материала сыпучие с влажностью 45-50%, дисперсностью 0-15 мм. При внесении удобрений применялись стандартные агротехнические приемы.

В экспериментальном исследовании использована схема мелкоплощадных опытов (Щерба, 1967). План-схема организации экспериментального участка представлена на рис. 3.2.

Основной задачей рационального размещения опыта на участке является возможное уменьшение различий в исходном плодородии сравниваемых

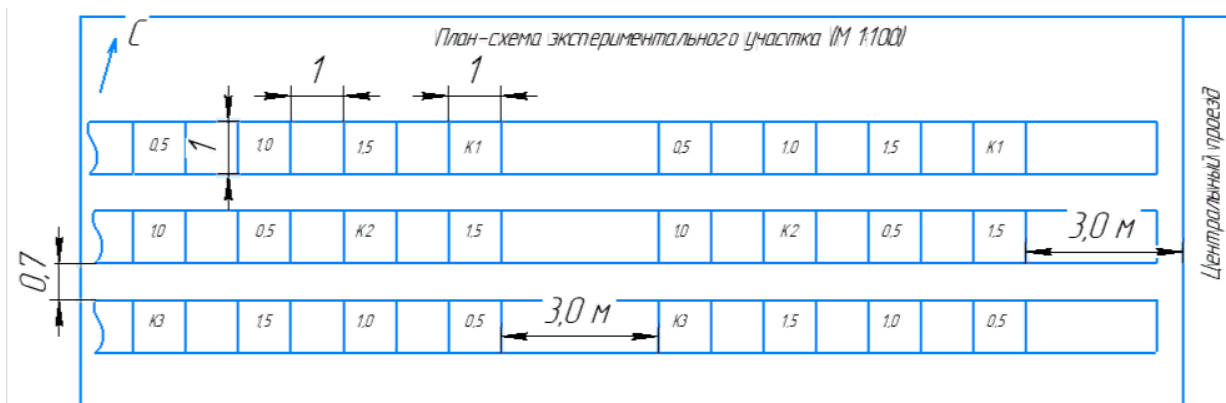


Рисунок 3.2. План-схема экспериментального участка для испытания эффективности двух образцов органоминерального удобрения (К1-К3 – контрольные опыты, 0,5-1,5 дозы вносимых органоминеральных удобрений в кг.)

делянок, вызванных пестротой участка (Щерба, 1967; Методика полевого..., 1969).

При закладке полевого эксперимента на посадочном поле в каждом питомнике выбраны ровные участки с однородным почвенным покровом. Опытные делянки располагали не ближе 50 м от сплошного леса и не ближе 25 м от защитных разделительных лесных полос. Заложение выполнено с защитной полосой от внутренних дорог в 3-5 м.

На территории посевных отделений трех питомников закладывали параллельные опыты с двумя видами органоминеральных удобрений на основе куриного помета с добавками (ОМУ №1, ОМУ №2) с разной дозировкой (5, 10, 15 т/га) каждый опыт выполняли в трех повторностях. Также закладывали по 3 повторности контрольных делянок, общий вид опытного участка приведен рис. 3.3.

В декоративном питомнике ООО «Калина Парк» посев семян производится в гряды, для обеспечения необходимого числа повторностей закладка экспериментальных участков производилась в трех параллельных грядах рис. 3.4.

Общая площадь удобряемых делянок с необходимым количеством повторностей, в трех дозировках, для опыта с одним образцом удобрения составляет 9 м², площадь контрольных делянок 3 м², итого 12 м². Таким образом об-



Рисунок 3.3. Обустройство опытного участка в посевном отделении постоянного лесного питомника № 1 (ПЛП №1) Березовского лесничества



Рисунок 3.4. Обустройство опытного участка в посевном отделении декоративного питомника ООО «Калина Парк»

щая площадь одного опытного участка в питомнике с обеспечением необходимых промежутков между делянками составила около 100 м².

Методика выполнения полевого опыта по выращиванию семян

По схеме опыта в каждое повторение включали одну контрольную делянку. Таким образом, для каждой серии дозировок удобрения устраивалась

одна контрольная делянка. Разбивка опыта и закладка контрольных делянок чередовались в каждой повторности таким образом, чтобы нивелировать почвенную пестроту. Каждый опыт (площадь 1 м²) с заданной дозировкой удобрения и контрольный опыт закреплялся по своим границам колышками и маркировался рис. 3.5, 3.6.



а)

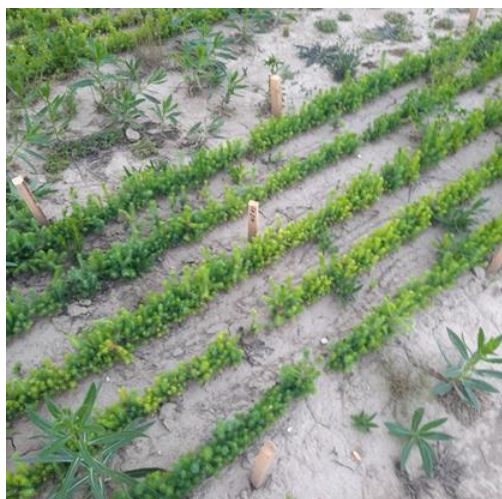


б)

Рисунок 3.5. Постоянный лесной питомник Сухоложского лесничества:

а) общий вид на единичный опытный участок площадью 1 м²;

б) общий вид на обустройство опытного участка (делянку).



а)



б)

Рисунок 3.6. Вид контрольного и опытного участка выращивания сеянцев ели сибирской на постоянном лесном питомнике № 1 Березовского лесничества:

а) контрольный опыт, б) опыт с внесенной дозой удобрения (ОМУ №2)

10 т/га (2024 г.)

В качестве испытуемых органоминеральных удобрений, использовали полученные в соответствии с собственными разработанными технологиями

производства (Патент..., 2023, 2024а,б) образцы:

- ОМУ №1 (на основе ферментированного куриного помета с добавлением золы Рефтинской ГРЭС 10% по массе и древесных опила и стружки 10% по массе).
- ОМУ №2 (на основе ферментированного куриного помета с добавлением золы Рефтинской ГРЭС 10% по массе и смеси опила (5%) с активированным древесным углем БАУ-А 5%).

Непосредственно перед проведением полевого опыта образцы органо-минеральных удобрений испытывали на содержание следующих показателей (кислотность, содержание органического вещества, содержание общего азота, фосфора, калия). Испытания проводили в аккредитованной лаборатории ФБГУ ГЦАС «Свердловский».

Лабораторными исследованиями установлено, что рН удобрения составляет 8-9, влажность 45% содержание азота на сухое вещество составляет 1,5-2,5%, фосфора 1,0-1,5%, калия 2,0-2,3%. Таким образом, с учетом влажности удобрения содержание общего азота составляет около 13,5 г/кг. Рассчитывали необходимое количество удобрения по азоту в килограммах на делянку (3.3).

$$X = \frac{A \cdot C}{100 \cdot B}, \quad (3.3)$$

где X – количество удобрения на делянку, кг; A – доза питательного вещества кг/га (оптимальная по справочнику); B – питательное вещество в удобрении, кг; C – площадь делянки, м².

При заданной влажности и содержании общего азота (в пересчете на сухое вещество) 1,5-2,5%, минимальное количество удобрения, вносимого на 1 м² составляет 0,4-1,3 кг/м².

Оптимальные параметры лесорастительных свойств почв в пахотном слое лесных питомников следующие: мощность пахотного слоя 30-40 см, рН 5,0-5,5; содержание гумуса 2,5-3,0%; подвижный фосфор >150-200 мг/кг; обменный калий >170-220 мг/кг; азот общий более 80-100 мг/кг (Наставление по системам..., 1991).

Внесение производили прикорневым способом в рядки между посевных строк. Перед внесением удобрения почву на площадке делянки рыхлили. Для равномерного внесения удобрения на площадь делянки, последнее смешивали с небольшим количеством исходной почвы, измельчали, после чего с помощью дозатора равномерно распределяли по площади делянки, производили боронование.

Потребность в образцах органоминерального удобрения с учетом 3 кратной повторности опыта для 4 питомников и 2 пород исследуемых образцов посадочного материала приведена на примере расчета для одного питомника и одного образца удобрения приведена в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Потребность в одном образце удобрения для проведения полевого опыта (на одну породу) для одного питомника

Питомник	Вид удобрения	Доза удобрения, т/га	Повторности			Сумма, кг
			опыт № 1, кг	опыт №2, кг	опыт № 3, кг	
1	2	3	4	5	6	7
1. Лесной питомник №1 1.1 под посев	1.1.1 Удобрение №1 (ОМУ №1)	5	0,5	0,5	0,5	1,5
		10	1,0	1,0	1,0	3,0
		15	1,5	1,5	1,5	4,5
	1.1.2 Контроль	-	-	-	-	-
	1.1.3 Итого		3,0	3,0	3,0	9,0
1.2 под сеянцы 2 года выращивания	1.2.1 ОМУ №1	5	0,5	0,5	0,5	1,5
		10	1,0	1,0	1,0	3,0
		15	1,5	1,5	1,5	4,5
	1.2.2 Контроль	-	-	-	-	-
	1.2.3 Итого		3,0	3,0	3,0	9,0
	Всего ОМУ №1		6,0	6,0	6,0	18,0

Как следует из данных таблицы 3.1 количество органоминерального удобрения одного вида для проведения испытаний эффективности его применения на одном питомнике за сезон составит 18 кг. Общая потребность в удобрениях для полевого опыта с 2 породами сеянцев на один вегетационный сезон для 4 питомников составляет (ОМУ №1/ОМУ №2): 144/144 кг.

В течение вегетационного периода производится уход за культурами с помощью тех же приемов, что и в хозяйственных условиях. Работы по уходу (прополка, рыхление и др.) выполнялись совершенно одинаково по всем де-

лянкам в течение одного дня для каждой экспериментальной площадки.

При закладке опытов учитывались и описывались погодные условия, с занесением в рабочий журнал (дата внесения удобрений, температура воздуха, влажность, наличие облачности и др.). Наблюдение за погодными условиями в течение вегетационного периода вели с использованием данных ближайших метеостанции.

По окончании вегетационного сезона в августе-сентябре производилась выкопка образцов посадочного материала (рис. 3.7).



Рисунок 3.7. Выкопка и сбор образцов посадочного материала на постоянном лесном питомнике №2 Березовского лесничества (2025 г.)

Стандартные параметры сеянцев принимались в соответствии с требованиями, указанными в приложении Правил лесовосстановления (Об утверждении Правил..., 2021). При оценке качества посадочного материала для лесовосстановления в Средне-Уральском таежном лесном районе использовались следующие стандартные размеры для сосны обыкновенной и ели сибирской: высота не менее 10 см при диаметре корневой шейки 2,0 и 1,5 мм, соответственно.

Оценка биометрических показателей производилась вручную при помощи измерительных инструментов: линейка металлическая ГОСТ 427-75, штангенциркуль ГОСТ 166-89. Высота надземной части, длина корней и хвои определялась с точностью до 1,0 мм, а диаметр стволика у корневой шейки с точностью до 0,1 мм.

Помимо биометрических показателей определялась масса надземной и подземной частей сеянцев, а также масса хвои с взвешиванием на торсионных весах с точностью до 0,01 г. Для получения массы в абсолютно сухом состоянии образцы высушивались в шкафу SNOL 67/350 при температуре 105°C до прекращения изменения их массы.

Для оценки объективности выводов при анализе и описании совокупности наблюдений использовались методы описательной статистики с вычислением параметров положения (среднее, мода, медиана, минимум, максимум и др.) и разброса (дисперсия, стандартное отклонение, коэффициент вариации и др.). Полученные в ходе работы данные подвергались статистической обработке с получением результатов на 95% уровне значимости (Митропольский, 1971; Зайцев, 1984; Доспехов, 1985; Бондаренко, Жигунов, 2016). Обработка данных производилась с применением программных продуктов Microsoft Excel, Statistika (Шевелина, Нуриев, 2022).

3.3. Объем выполненных работ

Исследования проводились с 2022 по 2025 гг. За указанный период был исследован процесс получения органоминеральных удобрений из бесподстилочного куриного помета с различными добавками. Изучена кинетика химических реакции при твердофазной аэробной ферментации бесподстилочного куриного помета. Установлены оптимальные дозы компонентов и технологические режимы получения органоминеральных удобрений. Получены и испытаны в лабораторных условиях образцы органоминеральных удобрений при выращивании тест-растений.

Разработан, спроектирован и сконструирован опытно-промышленный биореактор барабанного типа производительностью 0,16 т/сут. Произведены две партии органоминеральных удобрений (по 0,5 т) для испытания в полевых условиях при выращивании посадочного материала.

В 2024-2025 гг. проводились полевые экспериментальные исследования. В качестве объекта изучения выступали сеянцы сосны обыкновенной и ели

сибирской.

При выращивании сеянцев производилось однократное и двукратное прикорневое рядковое внесение удобрений. По нашему мнению, этот агротехнический прием является наиболее важным при выращивании посадочного материала, так как сеянцы в начальный период роста достаточно медленно укореняются и слабо используют удобрения, внесённые под глубокую вспашку.

В четырех питомниках по методике мелкоплощадного опыта заложено 8 исследовательских опытных площадок для испытания двух удобрений (ОМУ №1 и ОМУ №2). Каждый эксперимент включал для двух образцов удобрений три различных дозировки (5, 10 и 15 т/га) и контрольный опыт. Все опыты выполнены в трехкратной повторности. На исследовательских площадках испытывалось однократное и двукратное внесение удобрений. В ходе эксперимента было отобрано 5760 сеянцев сосны обыкновенной и 1920 сеянцев ели сибирской для оценки их параметров. У всех отобранных сеянцев определены: высота, диаметр стволика у корневой шейки, длина хвои, длина корневой системы, а также фитомасса хвои, стволиков, надземной и подземной частей, определена общая фитомасса в абсолютно сухом состоянии с последующей статистической обработкой.

4. Технология получения органоминеральных удобрений

4.1. Традиционные технологии получения удобрений из куриного помета и других отходов

Из применяемых в России технологий переработки бесподстилочного помета в органическое удобрение наиболее распространенная и наименее затратная – технология пассивного компостирования (РД-АПК 1.10.15.02-17). Как отмечалось ранее, данная технология реализуется с использованием помехранилищ и площадок компостирования т.е. специальных плоскостных бетонных сооружений, построенных по типовым проектам в 70-80-е годы XX века. Данный способ накопления и длительной (в течение 3-6 мес.) выдержки помета позволяет временно складировать и получать «перепревший» или «полуперепревший» помет для последующего использования в качестве органического удобрения (Распоряжение Правительства РФ № 84-р..., 2018). Безусловно, данный способ обращения с пометом и полученный продукт не в полной мере соответствует современным экологическим и санитарным требованиям.

Помет можно использовать разными способами, но самый передовой – тот, который не приводит к высоким издержкам. В странах Европы с развитым животноводством и США помет, не содержащий патогенов, может вноситься на поля сразу без всякой обработки (Тарасов, 2020). Достаточно широкое распространение в Европе получила биоэнергетическая технология анаэробного сбраживания куриного помета и растительных отходов с получением метана (Abouelenien et al., 2010).

В России технология утилизации помета практически не меняется несколько десятков лет. Помет из корпусов содержания птицы складывается в помехранилища, проходит длительную обработку в аэробном или анаэробном режимах, после чего вывозится на поля с последующей заделкой в почву. При подобной технологии удобрительные качества в большинстве случаев

утрачиваются, так как птичий помет, представляет собой среду, благоприятную для сохранения семян сорных растений, роста и развития личинок синантропных насекомых и патогенных микроорганизмов. В зависимости от видовой устойчивости, сезона, климатических, метеорологических и многих других факторов они могут выживать в этой среде от нескольких часов до нескольких лет (Неверова и др., 2014; Сидыганов и др., 2018).

Таким образом, в процессе хранения помета и применения его в качестве удобрения данными способами, происходит загрязнение окружающей среды, а при транспортировке на большие расстояния (более 10 км), затраты на внесение в почву такого удобрения не окупаются прибавкой урожайности сельскохозяйственных культур, что ограничивает его применение (Пискаева, 2016).

В Свердловской области масштабное развитие промышленного птицеводства берет свое начало с середины 70-х годов. За короткий период времени были введены в действие несколько крупных птицефабрик яичного и мясного направлений. Например, в 1981 году начала работу птицефабрика Рефтинская. За годы своего развития Рефтинская птицефабрика увеличила свои мощности с проектных 13,4 тысяч тонн в год мяса птицы в живом весе в 4-5 раз. Интенсификация производства привела соответственно и к увеличению образования помета. Проектной документацией была предусмотрена переработка помета на помехранилище вместимостью 40 тысяч тонн методом пассивного компостирования (Камалов и др., 2025).

Все способы переработки органических отходов в удобрения можно поделить на две группы: биологические и термические. К биологическим относятся аэробный и анаэробный методы. Первый (аэробный – с участием воздуха) предполагает процесс компостирования – когда исходное органическое вещество превращается в гумусоподобное. В компосте уже нет патогенных организмов и фитотоксичных составляющих. Его можно использовать в качестве

удобрения. Но в этом способе переработки есть один существенный недостаток: даже в промышленных условиях этот процесс занимает много времени (от 6 до 12 месяцев) и требует больших площадей (Лысенко и др., 2014).

Из биологических способов наибольшее распространение получило компостирование, которое включает получение органических смесей (птичий помет + птичий помет с подстилкой, птичий помет + торф, птичий помет + древесные опилки, птичий помет + другие местные органические отходы). Органическая смесь формируется в штабели высотой до 2,5 метров. Через 6-8 месяцев хранения на полевых площадках происходит созревание этой смеси и образуется компост, который пригоден для использования в земледелии (Звездин и др., 2004; Лысенко, Горохов, 2010; Noller, 2010).

Преимуществом способа являются невысокие капитальные вложения и энергетические затраты. Получаемый биогумус имеет хорошее качество, однако около 30-40% питательных веществ в процессе переработки теряется в виде газов, загрязняющих атмосферный воздух. К недостаткам способа относятся: необходимость наличия специальных площадок, техники, большого количества торфа, соломы и других материалов, снижающих содержание влаги, невысокая продажная цена при промышленных объемах производства, длительность процесса (Фисинин и др., 2013).

Из физических способов наибольшее распространение получило механическое обезвоживание, при котором обработка помета осуществляется в пресс-фильтрах или центрифугированием. Обычно после механической сушки остается около 60% влаги. Такой помет при хранении нагревается и выделяет сильный запах.

Применение вакуум-фильтров для обезвоживания птичьего помета экономически невыгодно. Для ликвидации многолетних накоплений пометных стоков в последнее время птицефабрикам рекомендуется использовать вакуумную сушку. В основе данной технологии лежит непрерывный экологически безопасный одностадийный процесс сушки помета в вакууме, позволяющий обеспечивать обработку помета в режиме щадящих температур с сохранением

полезных элементов в органическом удобрении. Реальные затраты на получение сухого помета за счет вакуумной сушки достаточно высокие, что сдерживает промышленное применение данного способа (Аверьянов и др., 2010; Пискаева, 2016).

В результате анализа существующих технологий содержания птицы и утилизации птичьего помета в условиях птицефабрик России становится очевидным, что основным способом переработки может быть ускоренное компостирование помета с последующим использованием в качестве удобрений. Такой технологии свойственны следующие недостатки: высокая длительность и периодичность процесса, эмиссия соединений азота в атмосферу во время компостирования и разбрасывания, отчуждение сельскохозяйственных (чаще производственных) территорий, низкие показатели качества удобрений и др. Длительность процесса в значительной степени обусловлена применением на птицефабриках антибиотиков и иных ветеринарных препаратов, которые, по нашему мнению, увеличивают время ферментации.

С учетом перечисленных обстоятельств, наиболее перспективным направлением использования птичьего помета в качестве удобрения становится направление его на переработку, обеспечивающую доведение качественных показателей удобрения до необходимых технологических, и санитарно-гигиенических параметров (Фредейкин, 2017).

Одной из наиболее важных проблем в земледелии и растениеводстве является повышение плодородия почв и, следовательно, урожайности сельскохозяйственных культур. Технологии по производству топлива, по сжиганию помета для получения тепловой и электроэнергии, анаэробному процессу разложения компонентов компоста для получения биогаза уже используются, что вызывает озабоченность агрономов, выступающих против таких альтернатив использования помета (Mazur et al., 2014).

Аэробная твердофазная ферментация осуществляется в установках контейнерного и барабанного типа, причем в последних можно перерабатывать за сутки от 0,1-50 м³ помета. Данный способ наиболее приемлем для малых и

средних хозяйств при наличии собственных полей для внесения получаемых органических удобрений. Данный способ практически не имеет недостатков кроме того, что при переработке большого объема отходов имеются сложности изготовления аппаратной части (фундаменты, электропривод, роlikо-опоры и др.), что, по нашему мнению, может быть решено применением меньших по объему аппаратов, работающих параллельно. В остальном барабанная конструкция биореактора обладает неоспоримыми преимуществами: качественное перемешивание материала, равномерный нагрев смеси, возможность регулирования подачи сырья и времени технологического процесса.

4.2 Предлагаемая технология получения органоминеральных удобрений

Известно (Государственный доклад..., 2022), что при производстве сельскохозяйственной продукции ежегодно образуется значительно количество отходов. Как указывалось ранее только в Свердловской области функционирует 13 птицеводческих хозяйств, на которых ежегодно образуется около 500 тыс. т. помета, на долю бесподстилочного помета приходится около 70% от его общей массы. Крупные и средние производители птицеводческой продукции практически повсеместно эксплуатируют специальные плоскостные сооружения для накопления и временного складирования куриного помета, то есть его переработки традиционным способом. При такой технологии складирования помета не исключается попадание загрязняющих веществ в подземные и поверхностные водные источники, в местах его накопления распространяется неприятный запах, имеется потенциальная опасность размножения синантропных насекомых (мух и др.).

В то же время, несмотря на описанные недостатки, нельзя не учитывать, что куриный помет является источником азота, фосфора и других ценных для растений макро- и микроэлементов, при этом азот в курином помете содержится в том виде, который наиболее существенно влияет на плодородие почв.

Азот в помете представлен белковыми и небелковыми соединениями. Содержание белкового азота (белки, аминокислоты) в курином помете составляет 30-40%, кроме того, 60-70% азотсодержащих соединений приходится на вещества небелковой природы – струвит, мочевая кислота и ее соли. Особо следует отметить, что белковые соединения в отличие от мочевой кислоты и ее солей в первую очередь подвергаются биохимической трансформации (ферментации) образуя органическое удобрения (Попов и др., 2020).

В то же время в курином помете наблюдается недостаток ряда микроэлементов, этот недостаток можно исправить добавлением золы, получаемой при сжигании каменного угля на тепловых электростанциях.

В процессе исследований нами была предпринята попытка производства органоминеральных удобрений путем применения усовершенствованной технологии твердофазной аэробной ферментации бесподстилочного куриного помета.

С учетом определенных в процессе работы приоритетов для получения образцов органоминеральных удобрений использовали бесподстилочный куриный помет двух птицефабрик Свердловской области (АО «Птицефабрика Рефтинская» и ООО «ППР Свердловский») и угольную золу Рефтинской ГРЭС. Содержание общего азота в образцах исследуемого помета составляет 15,0-16,0 г/кг, при содержании белкового азота около 5,0-6,0 г/кг (в расчете на сухое вещество), что составляет суммарно около 35%, это хорошо соотносится с данными других авторов (Барта и др., 1984; Марченко, 2000; Марченко и др., 2006).

Азот белковых соединений в помете представлен более чем десятью различными аминокислотами, количественное соотношение между которыми зависит от кормовой базы. Как отмечалось ранее, для обогащения создаваемых органоминеральных удобрений микроэлементами была использовано зола Рефтинской ГРЭС. Сухая мелкодисперсная зола получалась при сжигании на указанной электростанции высокосольного каменного угля Экибастузского месторождения (Республика Казахстан). Высокая зольность указанного угля

(около 43%) обуславливает масштабы ее накопления в специализированных площадных сооружениях даже при сухом способе транспортирования и хранения (Сафронов и др., 2023).

Анализ золы Рефтинской ГРЭС выполненный на атомно-эмиссионном спектрофотометре с индуктивно связанной плазмой iCAP 6300 DUO, показал наличие в ее составе большого числа различных макро- и микроэлементов, в том числе тех, которые широко используются в составе различных удобрений: Fe – 0,65%, Al – 0,3%, Mg – 0,22%, Cu – 0,00072%, Mo – 0,00034%, Zn – 0,0018%, Mn – 0,0016%, Se – 0,00014%, Co – 0,00011%, Ti – 0,0011%. В таблице 4.1 приведен развернутый перечень химических элементов и их содержание в угольной золе Рефтинской ГРЭС.

Таблица 4.1. – Перечень и содержание химических элементов в угольной золе Рефтинской ГРЭС

Химический элемент	Содержание, %	Химический элемент	Содержание, %	Химический элемент	Содержание, %
Al	0,32788	Cu	0,00072	Se	0,00014
As	0,00013	Fe	0,65596	Sn	0,00566
B	0,00132	K	0,00848	Sr	0,00507
Ba	0,01111	Li	0,00015	Te	0,00008
Be	0,00002	Mg	0,22125	Ti	0,01184
Bi	0,00049	Mn	0,01620	V	0,00291
Ca	1,24950	Mo	0,00034	Zn	0,00182
Cd	0,00001	Na	0,01866	W	0,00039
Co	0,00012	Ni	0,00011	Si	0,17068
Cr	0,00022	Pb	0,00011	P	0,12465
Sb	0,00005	-	-	-	-

Из анализа содержания химических элементов в составе угольной золы представляется очевидным, что наличие таких элементов как железо, молибден, селен, цинк, бор и др. согласно литературным данным (Наставление по системам..., 1991) позволяет предположить их полезность в составе получаемых удобрений.

Помимо угольной золы, бесподстилочного куриного помета в качестве источника углерода и для улучшения структуры смеси использовали отходы

переработки древесины, в частности, стружку и опил хвойных и лиственных пород, а также их смеси. С той же целью, в ряде экспериментов, использовали мелкодисперсный древесный уголь.

Для получения органоминеральных удобрений разработана лабораторная установка, подробно описанная в третьей главе настоящей работы (Старыгин и др., 2024, 2025). В ходе эксперимента, все компоненты, используемые для производства органоминерального удобрения, перемешивались до получения однородной массы, которая затем помещалась в лабораторный реактор. Аэрацию ферментируемой смеси проводили воздухом из расчета 1 л/мин на 1 кг смеси (Lai et al., 2023). Объем подаваемого на ферментацию воздуха регулировали по ротаметру. В процессе ферментации происходило разложение аминокислот, содержащихся в белковых соединениях, в свою очередь, при разложении азотсодержащих химических соединений белковой природы выделяется аммиак. Контроль процесса ферментации осуществляли по количеству выделившегося аммиака (в пересчете на азот), улавливание которого производилось в последовательно установленных поглотителях с раствором соляной кислоты (1,0-1,2 Н). Технологические параметры процесса контролировали в непрерывном (температура) и периодическом (влажность, рН, количество выделившегося аммиака) режиме.

Процесс ферментации считали законченным при, практически, полном прекращении выделения аммиака и снижении температуры ферментируемой смеси до 30°C. Зависимость температуры от продолжительности процесса, которая, в среднем, составляла около 400 часов представлена на рис. 4.1.

Выполненные исследования показали, что активная фаза ферментации начинается через 150÷200 часов от начала эксперимента, вне зависимости от породы древесных опилок или стружки, через 240÷280 часов температура достигает 58-63°C вследствие экзотермичности протекающих реакций. Графики, приведенные на рисунке 4.1, показывают, что период, предшествующий активизации процесса продолжительностью 150-200 ч. снижает экономические показатели получения продукции за счет увеличения общей продолжительности

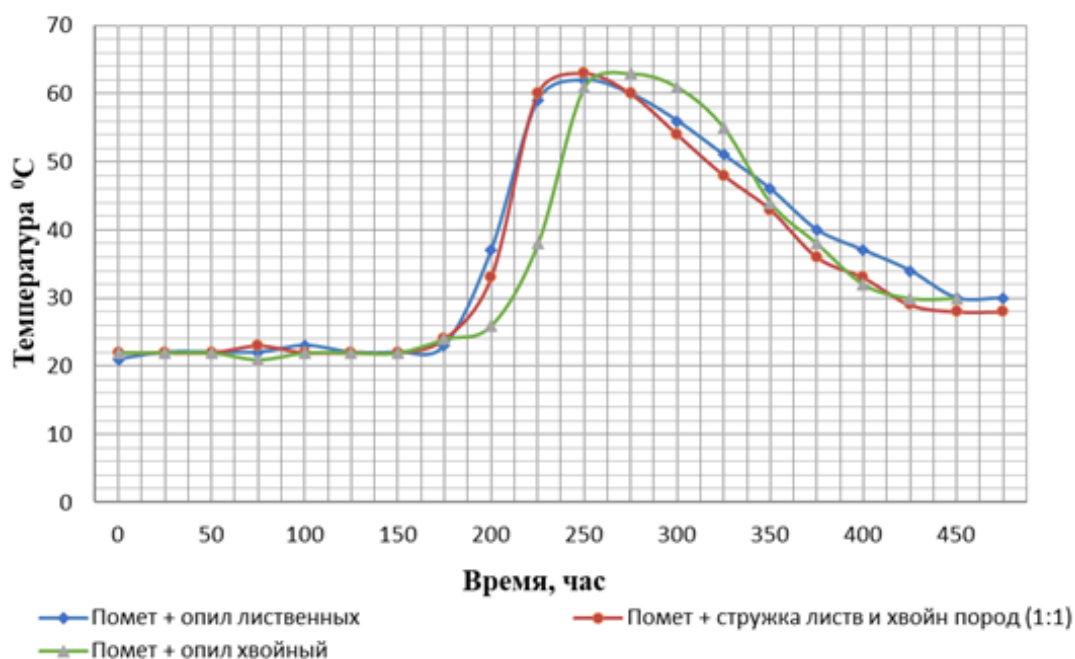


Рисунок 4.1. Изменение температуры смеси в процессе ферментации

получения органоминерального удобрения.

В то же время температура (55-65°C) и продолжительность ее поддержания на этом уровне в течение 24 и более часов, по нашему мнению, положительно сказывается на качестве конечного продукта. Данный уровень температуры и ее экспозиция позволяют уничтожить патогенные микроорганизмы, а семена сорных растений теряют свою всхожесть.

Важным технологическим показателем при изготовлении удобрений методом аэробной твердофазной ферментации является время нахождения ферментируемой смеси в биореакторе независимо от их конструкции и периодического или непрерывного способа производства. С целью сокращения начального периода и, соответственно, общей продолжительности процесса ферментации, в приготовленную смесь предварительно вводили различные количества (5÷20% от массы помета) заранее подготовленного ферментированного продукта (ФП) полученного аналогичным образом. В качестве примера на рис. 4.2 представлены кривые продолжительности процесса в зависимости от состава смеси, не содержащей предварительно ферментированный продукт, и в его присутствии (10% от массы помета).

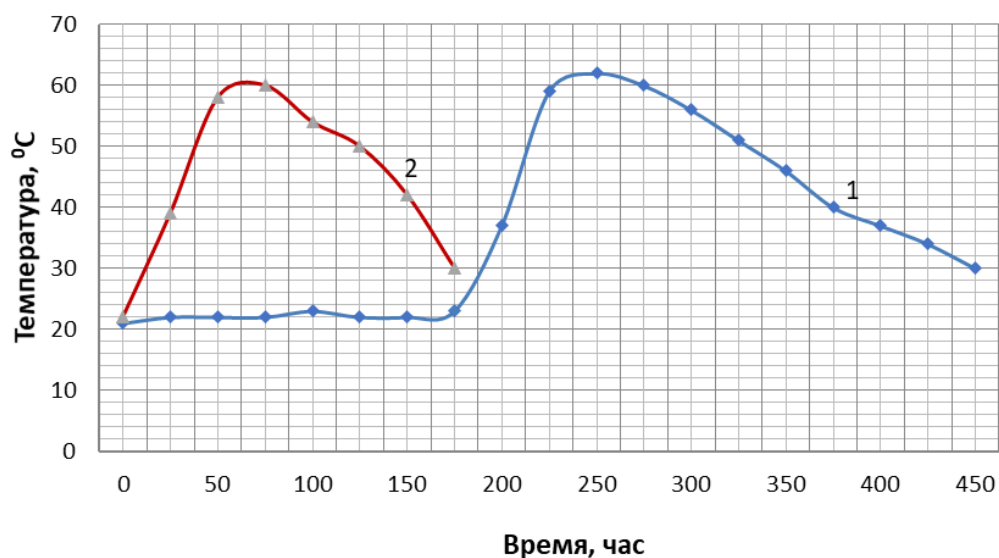


Рисунок 4.2. Зависимость продолжительности ферментации от состава смеси: кривая 1 – без ферментированного продукта; кривая 2 – с ферментированным продуктом (10% от массы помета)

Как видно из рис. 4.2 при добавлении ферментированного продукта в количестве 10% от массы помета, активация процесса (рост температуры смеси, выделение аммиака) начинается спустя 18÷24 часа от начала аэрации смеси. Аналогичный вид имеет зависимость количества выделившегося аммиака от продолжительности процесса (рис. 4.3).

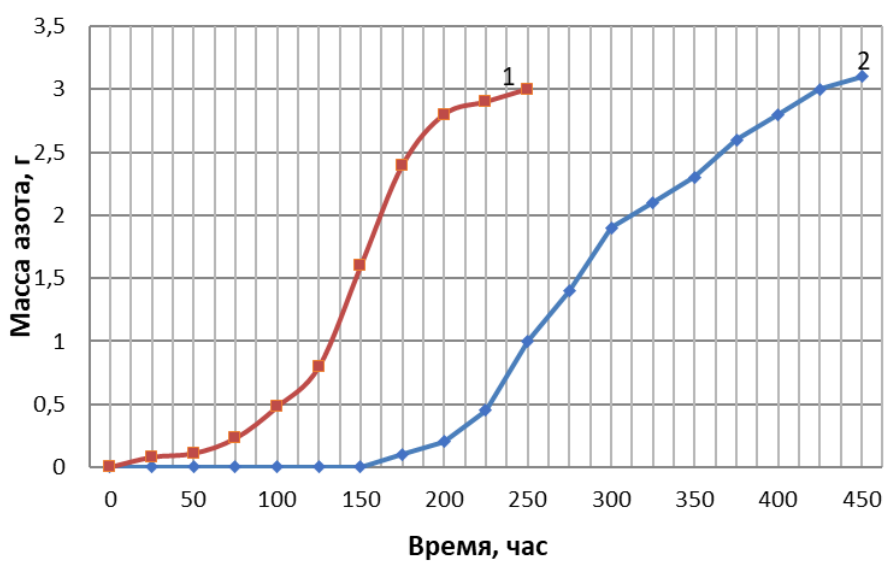


Рисунок 4.3. Зависимость массы выделившегося аммиака (в пересчете на азот) от продолжительности процесса: 1 – с добавкой ФП (10% от массы помета); 2 – без ФП.

Положительный эффект при добавлении к смеси предварительно ферментированного продукта той же птицефабрики, по нашему мнению, достигается за счет обогащения смеси адаптированными микроорганизмами, участвующими в ферментации. В таблице 4.2 представлены опытные результаты влияния состава ферментируемой смеси на продолжительность процесса и величину рН.

Таблица 4.2. – Влияние состава ферментируемой смеси на величину рН и продолжительность процесса

№ п/п	Состав	Значение рН смеси		Продолжительность процесса, час
		начальное	конечное	
1	2	3	4	5
1	Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 100 г (10%) Зола – 10 г	4,5	8,1	410
2	Помет – 1000 г Опил (хвойных пород) – 100 г (10%) Зола – 10 г	5,2	8,8	440
3	Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 100 г (10%) ФП – 200 г (20%)	5,4	9,1	210
4	Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 100 г (10%) ФП – 200 г (20%) Зола – 10 г (1%)	5,4	9,1	212
5	Помет – 1000 г Стружка (лиственных пород) – 100 г (10%) ФП – 100 г (10%) Зола – 50 г (5%)	5,4	9,2	195
6	Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 50 г (5%) ФП – 100 г (10%) Зола – 100 г (10%)	5,4	9,1	210
7	Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 100 г (10%) ФП – 50 г (5%) Зола – 100 г (10%)	5,4	9,1	200
8	Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 100 г (10%) ФП – 100 г (10%) Зола – 100 г (10%)	5,47	9,5	180

1	2	3	4	5
9	Помет – 1000 г Стружка (лиственных пород) – 100 г (10%) ФП – 200 г (20%) Зола – 100 г (10%)	5,47	9,5	160
10	Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 100 г (10 %) ФП – 200 г (20%) Зола – 150 г (15%)	5,5	9,5	160
11	Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 100 г (10%) ФП – 200 г (20%) Зола – 200 г (20%)	5,5	9,5	210

Данные таблицы 4.2 показывают положительное влияние добавления ферментированного помета (ФП) на общую продолжительность процесса ферментации. При оптимальной дозе внесения ФП в обрабатываемую смесь продолжительность процесса сокращается с 400 часов до 160-180 часов. Увеличение значения рН смеси свидетельствует о ее подщелачивании за счет выделения аммиака. Изменение продолжительности процесса коррелируется с процессом выделения аммиака (в пересчете на азот) в процессе ферментации.

Для определения скорости образования и удаления аммиака из ферментируемой смеси произведен расчет кинетики процесса твердофазной аэробной ферментации. Обработка экспериментальных данных показала, что процесс ферментации описывается уравнением реакции первого порядка (Эммануэль, Кнорре, 1966).

Условная суммарная константа скорости реакции рассчитывалась по формуле (4.1).

$$K_p = \frac{1}{\tau} \ln \frac{C_0 - C_p}{C_\tau - C_p}, \quad (4.1)$$

где K_p – константа скорости реакции, c^{-1} ; τ – продолжительность процесса, с; C_0 – концентрация азота с учетом разложения азотсодержащих веществ, моль/л; C_p – равновесная концентрация аммиака, моль/л; C_τ – концентрация азота в момент времени τ , моль/л.

Значения условных суммарных констант скоростей реакций ферментации (K_p), рассчитанные графическим способом для экспериментов с добавлением ФП (10% от массы загружаемого помета) и без него составляют соответственно: $K_p=3,84 \times 10^{-6} \text{ с}^{-1}$, $K_p=2,09 \times 10^{-6} \text{ с}^{-1}$. Рассчитанные значения констант скоростей химической реакции показывают, что при использовании ферментированного продукта (ФП) значение константы скорости реакции увеличивается, практически в два раза, что вполне удовлетворительно согласуется с данными по уменьшению общей продолжительности процесса.

Исследованиями установлено, влияние состава ферментируемой смеси на продолжительность процесса ферментации. В процессе ферментации выделяется аммиак, что является результатом разложения белковых соединений, содержащихся в помете. Потери азота из ферментированного продукта снижают его потребительские свойства, в этой связи в настоящей работе предпринята попытка их снижения.

4.2.1. Интенсификация способа получения органоминеральных удобрений

Содержание азота в органическом удобрении является важным технологическим показателем, с помощью которого определяют способы и дозы внесения удобрения. Недостатком практически всех способов переработки помета является потеря азота, происходящая вследствие разложения азотсодержащих соединений и превращений их в аммиак. Потери тем более значительны, чем длительнее процесс ферментации (Брюханов, 2009; Брюханов и др., 2024).

Потери общего азота могут составлять до 70%, снижаясь в среднем с 6,5% (в пересчете на сухое вещество) до статистически достоверных 1-3% (в пересчете на сухое вещество) по окончании процесса ферментации (Брюханов, Гаас, 2016).

Одним из направлений наших исследований являлась разработка способа сохранения содержания азота в смеси, подвергаемой твердофазной аэроб-

ной ферментации с одновременным улучшением потребительских свойств конечного продукта.

Помет необходимо перерабатывать круглый год, однако, использование органических удобрений возможно в основном в период весенних и осенних полевых работ. Следовательно, технология переработки должна позволять оперативно перерабатывать значительные массы образующегося помета, при этом сохранять ценные компоненты удобрения и делать материал безопасным для персонала и окружающей среды.

Технологически требуемый результат достигается тем, что в смесь из птичьего помета, золы и стимулятора ферментации вместо целлюлозосодержащего наполнителя (древесные стружка и опил) вводили смесь последнего с древесным активированным углем, взятым в соотношениях от 9:1 до 1:9. Таким образом, образцы ферментируемой смеси имели следующий состав:

- целлюлозосодержащий наполнитель, древесный активированный уголь в соотношении 1:9 – 9:1: 5-20%;
- бесподстилочный помет (с относительной влажностью 65-75%) - остальное.

В качестве целлюлозосодержащего наполнителя использовали смесь сухого опила лиственных и хвойных пород. Как отмечалось ранее, целлюлозосодержащий наполнитель выполняет функцию влагопоглощающего инертного наполнителя, структурирует смесь для улучшения условий аэрации смеси и является источником углерода. Древесный уголь (марки БАУ-А) использовали в качестве сорбента, для улавливания, выделяющегося в процессе ферментации аммиака, одновременно способствуя повышению рН смеси, что положительно сказывается на потребительских свойствах продукта. Полученную смесь, подвергали ферментации с использованием ранее описанной лабораторной установки. Результаты испытания композиций ферментируемой смеси с разными дозами и соотношениями углеродсодержащих материалов представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3. – Примеры внесения различных дозировок углеродсодержащих компонентов в ферментируемую смесь

№ п/п	Состав образцов	Влажность, %	Кислотность, рН	Содержание остаточного азота, %
1	Помет 1000 г Опил, древесный уголь 100 г (10%) при массовом соотношении 9:1	51,0	8,6	2,05
2	Помет 1000 г Опил, древесный уголь 100 г (10%) при массовом соотношении 7:3	55,0	8,9	2,85
3	Помет 1000 г Опил, древесный уголь 100 г (10%) при массовом соотношении 5:5	58,5	9,3	2,90
4	Помет 1000 г Опил, древесный уголь 100 г (10%) при массовом соотношении 3:7	58,9	9,1	2,80
5	Помет 1000 г Опил, древесный уголь 100 г (10%) при массовом соотношении 1:9	52,0	8,5	2,10
6	Помет 1000 г Опил, древесный уголь 30 г (3%) при массовом соотношении 5:5	50,2	8,4	2,0
7	Помет 1000 г Опил, древесный уголь 50 г (5%) при массовом соотношении 5:5	59,0	9,0	2,40
8	Помет 1000 г Опил, древесный уголь 200 г (20%) при массовом соотношении 5:5	60,5	9,5	3,20
9	Помет 1000 г Опил, древесный уголь 250 г (25%) при массовом соотношении 5:5	58,0	9,3	2,90

Из данных, приведенных в таблице 4.3 видно, что использование в составе композиции активированного древесного угля при массовом соотношении опил : древесный уголь 7:3 – 3:7 способствует поддержанию оптимальной влажности процесса ферментации, повышению значения рН в готовом продукте и существенному увеличению содержания остаточного азота на 20-50% (образцы №№ 2-4, 8, 9).

По нашему мнению, это обусловлено наличием в древесном угле функциональных спиртовых и карбоксильных групп, которые взаимодействуя с аммиаком образуют соответствующие аммонийные соли. За счет физической адсорбции увеличивается и значение рН среды. В целом, смесь опила и древес-

ного угля в указанных соотношениях оптимизирует процесс ферментации вследствие более качественного структурирования массы, удаления из реакционной массы аммиака (в соответствии с принципом Ле Шателье).

С другой стороны, соотношение опил : древесный уголь 9:1 (образец №1) или 1:9 (образец №5) являются неоптимальными для процесса ферментации, как в плане структурообразования (образец №5), так и в условиях удаления из реакционной массы аммиака (образец № 1). Эти обстоятельства сказываются на содержании остаточного азота в конечном продукте. Повышение содержания смеси опила и древесного угля (образец № 9) хотя и приводит к увеличению рН и содержанию остаточного азота по сравнению, например, с образцом №4, но, одновременно, сокращает объем полезной загрузки реактора и выход целевого продукта, что в условиях производства приведет к уменьшению производительности по исходному сырью и увеличению себестоимости продукции.

Аммиак является продуктом окислительного дезаминирования азотсодержащих соединений, содержащихся в помете. Для определения скорости образования и удаления аммиака из ферментируемой смеси изучена кинетика процесса твердофазной аэробной ферментации и построены графики изменения концентрации азота различных составов ферментируемой смеси от времени. Данные представлены на рис. 4.4.

Как следует из графика на рис 4.4 процесс ферментации смеси с добавлением древесного угля идет более активно, что сопровождается более интенсивным выделением аммиака.

Процесс ферментации и расходования азота описывается уравнением реакции I порядка. Для определения скорости образования и удаления аммиака из ферментируемой смеси в полулогарифмических координатах $\ln(C) - \tau$ построены кинетические кривые, по которым графическим методом произведен расчет условных суммарных констант скоростей химических реакции рис. 4.5.

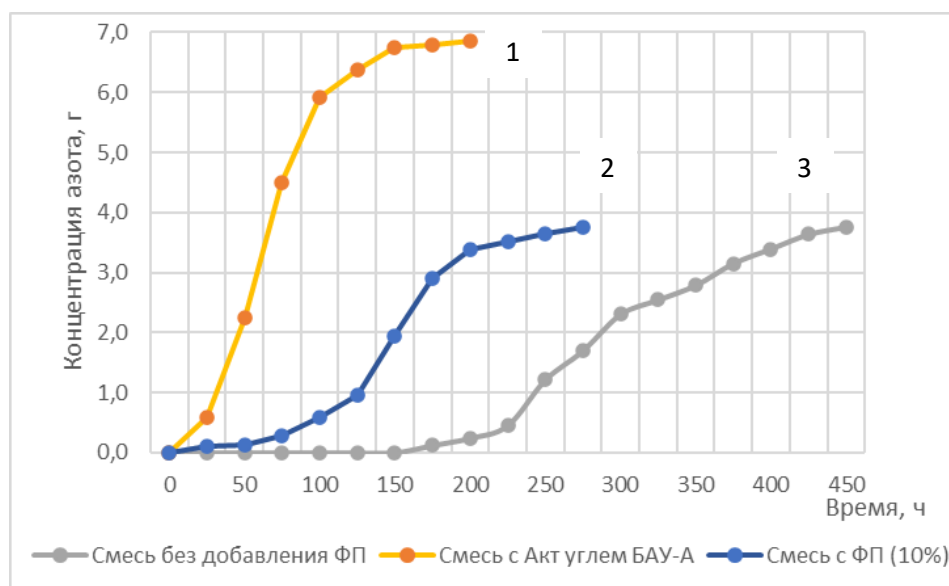


Рисунок 4.4. График изменения содержания азота (по аммиаку) в ферментируемой смеси при разных составах: 1 – смесь с активированным углем БАУ-А (5%), 2 – смесь без добавления активированного угля, 3 – смесь помета с опилом

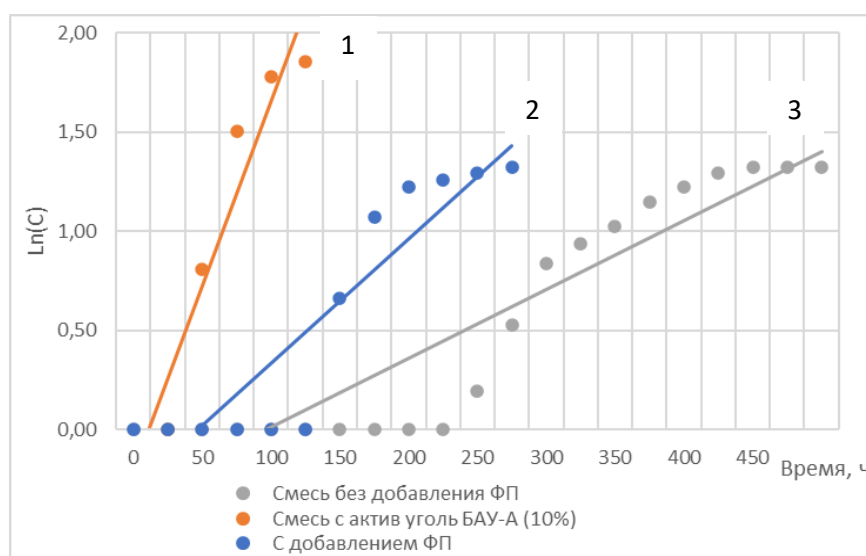


Рисунок 4.5. Кинетические кривые процесса ферментации: 1 – смесь с активированным углем БАУ-А (5%), 2 – смесь без добавления активированного угля, 3 – смесь помета с опилом.

Из данных, представленных на рис. 4.4 и 4.5, видно, что изменение концентрации азота при добавлении к смеси активированного угля (БАУ-А) характеризуется более интенсивным выделением аммиака и сокращением продолжительности активной фазы ферментации.

Значения условных суммарных констант скоростей реакций фермента-

ции (K_p), рассчитанные графическим способом для экспериментов с добавлением активированного угля БАУ-А (в соотношении 7:3 и 3:7) к массе целлюлозосодержащего наполнителя) и без него составляют соответственно: $K_p=5,58 \times 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ и $K_p=3,84 \times 10^{-6} \text{ с}^{-1}$, в случае дозирования соотношения компонентов 1:9, что вполне удовлетворительно согласуется с данными по полученными в предыдущем эксперименте, где древесный уголь не добавлялся. В то же время следует отметить существенное увеличение константы скорости реакции при добавлении угля БАУ-А в оптимальных соотношениях. Это приводит к тому, что ферментация смеси идет быстрее, что положительно сказывается на технологических параметрах всего процесса.

Готовый материал представляет собой темный однородный сыпучий продукт с влажностью 50-55% с запахом аммиака. Визуально оценить внешний вид полученных органоминеральных удобрений можно по фотографиям, (рис. 4.6, 4.7).



а)



б)

Рисунок 4.6. Внешний вид материала (после выгрузки из реактора):
а) после выгрузки из реактора, б) после просеивания



а)



б)

Рисунок 4.7. Внешний вид материала приготовленного с добавлением активированного угля при оптимальном соотношении компонентов: а) органоминеральные удобрения россыпью, (б) упакованные в мешки ОМУ

С целью объективной оценки качества полученного ферментированного продукта пробы анализировали в аккредитованной агрохимической лаборатории ФГБУ Агрохимцентр «Свердловский» по следующим параметрам: влажность (по ГОСТ 26713-85), pH (по ГОСТ 27979-88), содержание общего азота (по ГОСТ 26715-85). Данные представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4. – Характеристика произведенных органоминеральных удобрений (средний показатель по серии из 15 экспериментов)

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Органоминеральное удобрение	Показатели по ГОСТ 33830-2016
1	Показатель активности водородных ионов	ед. pH	$8,7 \pm 0,30$	6,0-8,5
2	Массовая доля общего азота на сухое вещество	%	$2,22 \pm 0,280$	0,7
3	Массовая доля общего фосфора (P_2O_5) на сухое вещество	%	$3,47 \pm 0,280$	0,5
4	Массовая доля калия (K_2O) на сухое вещество	%	$2,94 \pm 0,140$	0,3
5	Массовая доля органического вещества	%	$55,2 \pm 1,40$	не менее 50
6	Массовая доля влаги	%	$53,0 \pm 1,40$	не более 75

Как следует из данных таблицы 4.4 органоминеральные удобрения имеют параметры, соответствующие требованиям ГОСТ 33830-2016.

4.3. Оценка потребительских свойств органоминеральных удобрений в лабораторных условиях

Для оценки фитотоксичных и стимулирующих свойств полученных органоминеральных удобрений использована стандартная методика, изложенная в ГОСТ Р ИСО 18763-2019. Методика позволяет оценить влияние почвы и околочвенных материалов на всхожесть семян и ранние этапы роста высших растений.

В качестве тест растения использовано двудольное растение кресс-салат (*Lipidium sativum* L.). В ходе исследований фиксировали размер корневой и надземной части растений. Тестируемая система представляла собой водные вытяжки, полученные из органоминеральных удобрений приготовленные в весовом соотношений: 1 часть органоминерального удобрения (влажность 15%) с 4 частями дистиллированной воды. Полученную суспензию перемешивали в течение 2 часов отстаивали и фильтровали. В качестве контрольной среды использовали дистиллированную воду. В нижнюю часть планшета на подложку помещали фильтровальную бумагу, смоченную равномерно 2 мл вытяжки, помещают по пять семян кресс-салата, равномерно распределенных на одной линии поверхности бумаги. Определение производили в трех параллельных измерениях. Планшеты помещали вертикально в держателях. Проращивание производили в темноте в течение 72 ± 1 часов при температуре $20 \div 25^\circ\text{C}$.

Эффект (ЭФ) торможения роста и развития корневой и надземной части (%) вычисляют по формуле 3.3):

$$\text{ЭФ} = \frac{(A-B) \times 100}{A}, \quad (4.2)$$

где А – среднее значение длины корней или проростков в контрольном опыте, см; В – среднее значение длины корней или проростков в исследуемой среде, см.

Водные вытяжки образцов органоминерального удобрений разбавляли в 9 и 81 раз. Экспериментальные данные представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Эффект развития корневой и надземной части кресс-салата

в водных вытяжках органоминерального удобрения

№ п/п	Образец удобрения	Крат- ность раз- бавления водной вытяжки, раз	рН вод- ной вы- тяжки	Эффект тормо- жения, %	
				кор- невая часть	надзем ная часть
1	<i>Помет</i> – 1000 г <i>Стружка</i> (лиственных пород) – 100 г (10%) <i>ФП</i> – 200 г (20%)	9	8,8	-104,2	-24
		81	8,6	-56,5	-12,1
2	<i>Помет</i> – 1000 г <i>Опил</i> (лиственных пород) – 100 г (10%) <i>ФП</i> – 200 г (20%), <i>Зола</i> – 10 г (1%)	9	8,8	-101,3	-21,8
		81	8,6	-49,7	-9,9
1	<i>Помет</i> – 1000 г <i>Стружка</i> (лиственных пород) – 100 г (10%) <i>ФП</i> – 200 г (20%)	9	8,8	-104,2	-24
		81	8,6	-56,5	-12,1
2	<i>Помет</i> – 1000 г <i>Опил</i> (лиственных пород) – 100 г (10%) <i>ФП</i> – 200 г (20%), <i>Зола</i> – 10 г (1%)	9	8,8	-101,3	-21,8
		81	8,6	-49,7	-9,9
3	<i>Помет</i> – 1000 г <i>Стружка</i> (лиственных пород) – 100 г (10%) <i>ФП</i> – 100 г (10%) <i>Зола</i> – 50 г (5%)	9	8,9	-168,4	-24,5
		81	8,6	-56,8	-12,7
4	<i>Помет</i> – 1000 г <i>Опил</i> (лиственных пород) – 50 г (5%) <i>ФП</i> – 100 г (10%) <i>Зола</i> – 100 г (10%)	9	9,0	-147,5	-24,1
		81	8,8	-56,8	-42,3
5	<i>Помет</i> – 1000 г <i>Опил</i> (лиственных пород) – 100 г (10%) <i>ФП</i> – 50 г (5%), <i>Зола</i> – 100 г (10%)	9	9,0	-145,2	-24,0
		81	8,8	-56,6	-12,2
6	<i>Помет</i> – 1000 г <i>Опил</i> (лиственных пород) – 100 г (10%) <i>ФП</i> – 100 г (10%) <i>Зола</i> – 100 г (10%)	9	9,0	-186,4	-28,5
		81	8,8	-50,1	-14,9
7	Контрольный <i>Помет</i> – 1000 г <i>Стружка</i> (лиственных пород) – 100 г (10%) <i>ФП</i> – 200 г (20%) <i>Зола</i> – 100 г (10%)	9	9,3	-254,7	-46,1
		81	9,1	-60	-32,4
8	Контрольный <i>Помет</i> – 1000 г <i>Опил</i> (лиственных пород) – 100 г (10%) <i>ФП</i> – 200 г (20%) <i>Зола</i> – 150 г (15%)	9	9,3	-245	-42,4
		81	9,1	-57,2	-28,1

Материалы таблицы 4.5 указывают на положительный эффект при внесении добавок (зола). Так, использование золы положительно сказывается на корневой и надземной частях выращиваемого кресс-салата. Наличие в составе золы, получаемой при сжигании каменного угля, обеспечивает органоминеральное удобрение микроэлементами, что, на наш взгляд, способствовало улучшению роста кресс-салата. По сравнению с приростом корневой части в контрольном опыте при 9-кратном разбавлении таковой увеличивается от 1,5 до 2,5 раз. При этом прирост надземной части превышает показатель на контроле в 3-6 раз (образцы № 2-8). При исключении из состава удобрения золы (образец №1), прирост надземной и корневой частей превышает аналогичный показатель в контрольном опыте только в 1,5-2,5 раза. Аналогичным образом испытывали образцы органоминеральных удобрений, в которых добавлен активированный уголь. Данные представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Эффект развития корневой и надземной систем кресс-салата в водных вытяжках ОМУ с активированным углем

№ п/п	Образец удобрения	Кратность разбавления водной вытяжки, раз	рН водной вытяжки	Эффект торможения, %	
				корневая часть	надземная часть
1	Контрольный Помет 1000 г; опил, древесный уголь 100 г (10%), массовое соотношение 9:1	в 9 раз в 81 раз	8,6 8,3	- 45,0 - 12,9	- 7,9 0,5
2	Образец 1. Помет 1000 г, опил, древесный уголь 100 г (10%), массовое соотношение 7:3	в 9 раз в 81 раз	8,9 8,5	- 59,0 - 25,0	- 23,0 - 11,0
3	Образец № 2. Помет 1000 г, опил, древесный уголь 100 г (10%), массовое соотношение 5:5	в 9 раз в 81 раз	9,3 9,1	- 72,0 - 51,0	- 31,0 - 15,0
4	Образец № 3. Помет 1000 г, опил, древесный уголь 100 г (10%), массовое соотношение 3:7	в 9 раз в 81 раз	9,0 8,9	- 69,0 - 49,0	- 30,0 - 13,0
5	Образец № 4. Помет 1000 г, Опил, древесный уголь 200 г (20%), массовое соотношение 5:5	в 9 раз в 81 раз	9,4 9,2	- 74,0 - 55,0	- 35,0 - 18,0

Из данных таблицы 4.6 следует, что использование ферментированного продукта с добавлением древесного активированного угля (образцы №№ 2, 5) позволяет существенно увеличить прирост корневой, и особенно, надземной части кресс-салата. По сравнению с контрольным опытом прирост корневой части при разведении в 9 раз увеличился более чем в 1,5 раза, при разведении в 81 раз прирост увеличился более чем в четыре раза. Аналогичная картина наблюдается в приросте надземной системы растений. При разведении в 9 раз прирост увеличился более чем в 4 раза, а при разведении в 81 раз в 5-6 раз по сравнению с контролем.

По нашему мнению, это обусловлено более высоким содержанием азота в исследуемых образцах. Снижение количества древесного угля (образец №1) не позволяет улучшить потребительские свойства продукта, но приводит к снижению производительности процесса.

Результаты лабораторных исследований качества полученных образцов органоминеральных удобрений, показали их эффективность при выращивании тест-растений. Это обстоятельство послужило основой для продолжения исследований эффективности применения органоминеральных удобрений в полевых условиях. Для организации этих исследований необходимы более значительные объемы органоминеральных удобрений. С учетом того, что в условиях лабораторий получить образцы органоминеральных удобрений для испытаний массой 300-600 кг. не представлялось возможным было принято решение разработать и изготовить конструкцию опытно-промышленного биореактора для производства образцов удобрений в необходимом количестве.

Анализ литературных источников и результаты исследований показали, что оптимальным по конструкции будет являться агрегат барабанного типа, как наиболее технологичного и позволяющего вести процесс непрерывно. Полученные экспериментальные данные легли в основу расчётов конструкции опытно-промышленного биореактора барабанного типа.

4.4. Оборудование для получения органоминеральных удобрений

Твердофазную ферментацию осуществляют в аппаратах различной конструкции (контейнерного, туннельного, барабанного типа), которые могут быть установлены стационарно на специализированных предприятиях или могут иметь передвижное исполнение и устанавливаются в местах складирования птичьего помета для переработки его на месте. Недостатками аппаратов контейнерного, туннельного типа является периодичность процесса, наличие застойных зон с недостаточной аэрацией и неравномерным прогревом смеси, что может сказаться на качественных показателях. К достоинствам следует отнести высокую производительность и простоту изготовления данных агрегатов.

Аппараты барабанного типа могут работать в непрерывном режиме. Смесь загружается постоянно или с некоторыми интервалами, выгрузка готового продукта происходит непрерывно. Материал в барабане постоянно перемешивается, равномерно аэрируется и прогревается, что приводит к надежному обеззараживанию, уничтожению личинок гельминтов и синантропных насекомых, семян сорняков. Параметры технологического процесса можно регулировать, а паровоздушную смесь, выделившуюся в ходе ферментации, отводить из реакционного пространства и подвергать очистке с получением жидкого азотного удобрения.

Актуальной задачей при производстве органоминеральных удобрений является разработка биореактора такой конструкции, которая позволит в непрерывной режиме перерабатывать бесподстилочный помет, а также другие отходы. Наилучший контакт между органическим веществом и кислородом, и соответственно, благоприятные условия для течения биохимических реакций и прогрева материала обеспечиваются при перемешивании. В этом случае вся ферментируемая масса равномерно прогревается, что приводит к надежному уничтожению патогенных микроорганизмов, яиц гельминтов, личинок синантропных насекомых, лишает витальности семена сорняков.

Для производства органоминеральных удобрений из куриного помета применялись разработанные нами способы, описанные в работах (Патент..., 2023а,б; 2024).

В настоящее время барабанные биореакторы для проведения аэробной твердофазной ферментации не выпускаются серийно. Существует ряд опытных разработок установок барабанного типа (РД-АПК 1.10.15.02-17; Уваров, 2018).

С учетом этого для производства органоминеральных удобрений разработан, спроектирован и изготовлен опытно-промышленный биореактор с объемом загрузки 1,0 тонна ферментируемой смеси.

Выбор и расчет конструктивных параметров опытно-промышленного биореактора выполнен с учетом возможности проведения качественных испытаний процесса твердофазной аэробной ферментации, как в условиях экспериментального производства, так и в условиях действующих птицефабрик.

Как отмечалось ранее, аэробная ферментация – это биохимический процесс разложения органической части помета микроорганизмами при определенных условиях (температура, влажность, рН смеси). При ферментации в биохимических реакциях взаимодействует органический материал, кислород и бактерии (сапрофитные аэробные микроорганизмы). Процесс ферментации приводит к образованию органоминерального субстрата гумусовой природы (ИТС 42-2017 «Интенсивное..., 2017).

Также продуктами являются: диоксид углерода, пары воды, аммиак, сероводород. При определенном соотношении углерода к азоту (C:N), как правило оптимальное соотношение составляет 25..28:1, протекающие реакции экзотермические, ферментируемая смесь разогревается до 60-75°C (ИТС 42-2023).

Бесподстилочный помет представляет собой влажный неоднородный материала с влажностью 65-75%. Испытаниями, проведенными в аккредитованной лаборатории ФГБУ ГЦАС «Свердловский» установлено, что сырой

бесподстилочный куриный помет при влажности 70% в среднем содержит следующие вещества (в пересчете на сухое): 5,5% азота, 4,2% фосфора, 3,0% калия.

Оптимальная по составу смесь, загружаемая в биореактор, должна иметь влажность не более 55%. В противном случае материал будет налипать на поверхности агрегатов. Для расчета принимаем влажность материала 50%.

Состав смеси (Патент..., 2023, 2024а,б): пометная масса – 0,775 тонн; опил воздушно-сухой – 0,077 тонны; зола уноса Рефтинской ГРЭС – 0,077 тонна, «затравочная» смесь – 0,077 тонн («затравочная» смесь – предварительно ферментированный продукт в котором микроорганизмы адаптированы к условиям ферментируемой смеси и содержащимся в ее составе ветеринарным препаратам).

В ходе лабораторных исследований установлено, что после перемешивания объемный вес помета с добавками, подготовленный для загрузки в биореактор, составляет 0,65 т/м³. Тогда объем смеси на переработку (м³) можно рассчитать по формуле (4.3):

$$V_{\text{см}} = (M_{\text{п}} + M_{\text{з}} + M_{\text{оп}} + M_{\text{воз}}) : P_{\text{см}}, \quad (4.3)$$

где $M_{\text{п}}$ – масса помета, т; $M_{\text{з}}$ – масса угольной золы, т; $M_{\text{оп}}$ – масса опила, т; $M_{\text{воз}}$ – масса затравки, т; $P_{\text{см}}$ – объемный вес смеси, т/м³.

$$V_{\text{см}} = (0,775 + 0,077 + 0,77 + 0,77) : 0,65 = 1,54 \text{ м}^3.$$

Экспериментально установлено, что активная фаза ферментации составляет 100 часов ($T_{\text{общ}}$) поэтому для расчета, принимаем продолжительность процесса 100 часов. Исходя из этого, рассчитаем часовой объем загрузки смеси в биореактор ($V_{\text{час}}$) по формуле (4.4).

$$V_{\text{час}} = V_{\text{см}} : T_{\text{общ}} = 1,54 : 100 = 0,015 \text{ м}^3/\text{час}. \quad (4.4)$$

Зная часовой объем загружаемой смеси, рассчитаем объем материала, подаваемого в течение суток ($V_{\text{сут}}$) в биореактор по формуле (4.5).

$$V_{\text{сут}} = V_{\text{час}} \cdot 24 = 0,015 \cdot 24 = 0,36 \text{ м}^3/\text{сутки}. \quad (4.5)$$

Необходимо подавать в реактор непрерывно или с промежутками по времени в течение суток 0,36 м³ смеси.

Продолжительность переработки помета (нахождения смеси в биореакторе) составляет 100 часов, что составит цикл (Π_1) равный 4,2 суток. Рассчитаем необходимый объем барабанного биореактора ($V_{БР}$) по формуле (4.6).

$$V_{БР} = V_{СУТ} \cdot \Pi_1 = 0,36 \cdot 4,2 = 1,51 \text{ м}^3. \quad (4.6)$$

Принимаем для дальнейших расчетов необходимый объем биореактора ($V_{БР}$) равным 1,51 м³.

Экспериментально установлено, что загрузка для обеспечения оптимальных условий аэрации смеси в биореакторе должна составлять 90% от его внутреннего объема, рассчитаем общий объем реактора ($V_{БРО}$) по формуле (4.7).

$$V_{БРО} = V_{БР} : 0,9 = 1,51 : 0,9 = 1,67 \text{ м}^3. \quad (4.7)$$

Определим конструктивные параметры биореактора. Из литературных данных (Уваров, 2016, 2018), что оптимальное соотношение длины ($L_{БР}$) к диаметру барабана ($D_{БР}$) составляет 2:1 – 5:1.

Принимаем диаметр реактора по имеющейся трубной заготовке с внутренним диаметром 0,9 м (труба стальная по ГОСТ 8696-74) и рассчитаем площадь поперечного сечения барабана ($S_{БР}$) по формуле (4.8).

$$S_{БР} = \pi R^2 = 3,14 \cdot 0,45^2 = 0,635 \text{ м}^2. \quad (4.8)$$

Определим длину барабана ($L_{БР}$), зная требуемый объем биореактора и площадь поперечного сечения трубной заготовки по формуле (4.9).

$$L_{БР} = V_{БРО} : S_{БР} = 1,67 : 0,635 = 2,63 \text{ м}. \quad (4.9)$$

Принимаем для дальнейших расчетов длину барабана с запасом 2,7 метров. Проверим расчетное соотношение длины ($L_{БР}$) к диаметру барабана ($D_{БР}$). Расчетное соотношение составляет: 2,7:0,9 или 3:1, что соответствует условию (2:1 - 5:1).

Рассчитаем по выбранным габаритным размерам биореактора скорректированный внутренний объем ($V_{БРОК}$) используя формулу (4.10).

$$V_{БРОК} = L_{БР} \cdot S_{БР} = 2,7 \cdot 0,635 = 1,7 \text{ м}^3. \quad (4.10)$$

Расчёт выхода готового продукта (ВП)

Экспериментально установлено, что в процессе твердофазной аэробной

ферментации происходит, нагрев смеси до температуры 60-75°C, что, в свою очередь, приводит к ускорению течения биохимических реакции и активному разложению органического вещества. Нагрев смеси до температуры 60-75°C и длительное время (более 24 часов) воздействия высокой температуры приводит к надежной дезинфекции смеси. Как описывалось ранее, в первую очередь биохимической трансформации подвергаются жиры, углеводы и белки. При этом, только белковые соединения имеют аминогруппу ($-\text{NH}_2$), которая в условиях аэробного процесса разложения приводит к окислительному дезаминированию белкового азота с образованием аммиака. При аэробной ферментации практически не выделяется метан, являющийся одним из самых опасных парниковых газов. В меньшей степени при разложении белков выделяются серо-содержащие вещества (сероводород, меркаптаны и др.). В большом количестве в процессе ферментации за счет разложения углеводов, жиров выделяются углекислый газ, водяные пары. В ходе лабораторных исследований установлено, что потеря массы ферментируемой смеси после окончания активной стадии ферментации составляла от 15-20%, в среднем 17%.

Около 10% потери массы уловлено в виде конденсата ($M_{\text{ПВП}}$) в склянках с поглотительным раствором, 6-8% потерь массы приходится, вероятно, на выделение углекислого газа ($M_{\text{ПУГ}}$). Эти данные хорошо коррелируются с расчетными значениями выбросов углекислого газа и водяных паров при хранении помета (Рекомендации по расчету..., 2015). Часть готового продукта 10-15% будет потеряна при просеивании и возвращена в «голову процесса» – т.е. добавлена к исходной смеси в качестве «затравки». (Влажность выгружаемого материала составляла 38-45% по данным измерений), объёмный вес смеси после ферментации составляет 0,5-0,6 т/м³.

Рассчитаем выход готового продукта (ВП) с учетом потерь по формуле (4.11):

$$\text{ВП} = M_{\text{СМ}} - (M_{\text{ПВП}} + M_{\text{ПУГ}} + M_{\text{ВОЗ}}), \quad (4.11)$$

где ВП – выход готовой продукции, т/час; $M_{\text{СМ}}$ – масса смеси, т; $M_{\text{ПВП}}$ – потеря массы с водяным паром, т; $M_{\text{ПУГ}}$ – потеря массы с оксидом углерода, т;

$M_{\text{воз}}$ – потеря массы с возвратным отсевом, т.

$$\text{ВП} = 0,234 - (0,023 + 0,016 + 0,023) = 0,172 \text{ т/сутки.}$$

Таким образом, расчетная масса выгружаемого продукта составит 0,172 т/сутки, выход готовой продукции составляет 90-95% от количества загружаемого помета (0,184 т).

Одним из основных потребительских свойств органоминерального удобрения является содержание азота в ферментированном продукте. ГОСТ Р 53117-2008 предписывает, что содержание общего азота должно быть не менее 0,7% на сырую массу.

Экспериментально установлено, что потери азота при твердофазной аэробной ферментации за 100 часов при соблюдении оптимальных условий (т.е. температура смеси последовательно повышается до 60-75°C и снижается до 25-30°C к концу четвертых суток) составляют, в среднем 10-17%. При достижении смесью температуры 30-35°C, которая регистрируется термометром, установленным в торцевой разгрузочной крышке, считаем, что активная фаза ферментации завершена и дальнейшее нахождение смеси в биореакторе не целесообразно. После выгрузки материал может «дозревать» на открытой площадке. Остаточное содержание азота по результатам исследований готового продукта составило около 2,2% (на сухое вещество) при влажности смеси 45%.

Общее начальное содержание азота ($M_{\text{Ннач}}$) в ферментируемой смеси составляет 16,5 кг/т (на сухое вещество). Масса материала, выгруженного из реактора за цикл 0,722 т. При конечной влажности материала в среднем 45%, сухая его масса составит 0,397 т, соответственно содержание азота в ней составит 12,8 кг/т. Рассчитаем остаточное содержание азота ($M_{\text{Нконеч}}$) по формуле (4.12).

$$M_{\text{Нконеч}} = 0,397 \cdot 2,2\% = 8,7 \text{ кг.} \quad (4.12)$$

В пересчете на сырую массу удобрения составит 1,1% (что соответствует ГОСТ Р 53117-2008).

Потери азота при аэробной твердофазной ферментации в абсолютных и относительных единицах рассчитываются по формулам (4.13, 4.14).

$$M_{\text{потерь N}} = 12,8 - 8,7 = 4,1 \text{ кг.} \quad (4.13)$$

$$M_{\text{потерь N}} = 100\% \cdot (4,1 : 12,8) = 32\%. \quad (4.14)$$

Полученное значение коррелирует с нашими результатами лабораторных исследований процесса твердофазной аэробной ферментации.

С учетом собственной массы и материала рассчитаем полную массу барабана ($M_{\text{БАРАБ}}$) по формуле (4.15):

$$M_{\text{БАРАБ}} = M_{\text{ТРУБ}} + M_{\text{МАТ}} + M_{\text{ИЗОЛ}} + M_{\text{Д.У.}} = 0,61 + 1,0 + 0,08 + 0,01 = 1,7 \text{ т,} \quad (4.15)$$

где $M_{\text{БАРАБ}}$ – полная масса барабана, т; $M_{\text{ТРУБ}}$ – масса трубной заготовки, т; $M_{\text{МАТ}}$ – масса ферментируемого материала, т; $M_{\text{ИЗОЛ}}$ – масса теплоизоляции, т; $M_{\text{Д.У.}}$ – масса дополнительных устройств (КИПиА и др.), т.

Полная масса барабана составит 1,7 тонны.

Как отмечалось ранее, оборудование для твердофазной аэробной ферментации не выпускается серийно. В этой связи нами было подобрано вспомогательное оборудование для подачи материала на ферментацию и приводной механизм биореактора. Для подачи ферментируемой смеси в биореактор использован доработанный бункер-питатель производства ООО «КО «Теплодар». Устройство имеет бункер объемом 0,35 м³, производительность подающего шнека при небольшой доработке составила 12 кг/час смеси, что соответствует требуемому объему суточной подачи 0,350-0,360 м³/сут. В качестве приводного устройства барабана использовано оборудование для вращения трубных заготовок выпускаемое серийно. Подбор осуществлен по полной расчетной массе биореактора 1,7 т. Выбрано устройство грузоподъемностью 2 т (роликовый вращатель ГРП-СВР-А-2, электрическая мощность привода N=0,7 кВт). Для подачи воздуха на аэрацию использован стандартный тепловентилятор ТР-03220, который позволяет нагнетать объем воздуха до 100 м³/ч с возможностью регулирования его подачи и температуры (электрическая мощность N=2,2 кВт). Суммарная электрическая мощность агрегата составляет 3 кВт.

Сборочный чертеж прототипа опытно-промышленного биореактора представлен на рис. 4.8.

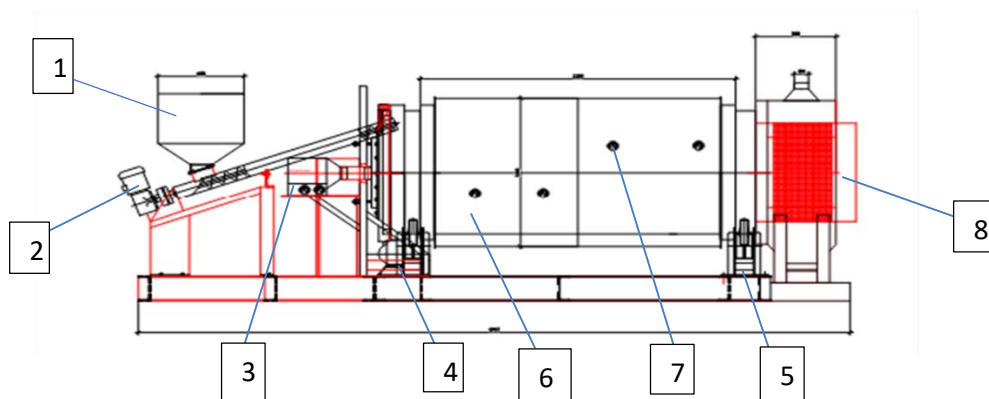


Рисунок 4.8. Сборочный чертеж опытно-промышленного биореактора: 1 – бункер исходного материала; 2 – подающий шнековый конвейер; 3 – воздушодувка; 4 – приводной механизм; 5 – роlikоопора; 6 – корпус биореактора; 7 – измерительные приборы; 8 – разгрузочный барабан с устройством для удаления паровоздушной смеси.

Опытно-промышленный биореактор спроектирован с учетом эффективности и наглядности испытаний в промышленных условиях, а также удобства монтажа, транспортирования, обслуживания и других эксплуатационных соображений.

Принцип работы экспериментального реактора основан на непрерывном перемещении и перемешивании материала по длине реактора с непрерывной загрузкой и выгрузкой. Смесь помета и добавок загружается в бункер (1) биореактора вместимостью около 240 кг. Количество загружаемого материала составляет 200-240 кг/сут, что соответствует суточной производительности аппарата с небольшим запасом. Подача материала в биореактор может производиться непрерывно или периодически шнековым конвейером (2). Вращение реактора обеспечивается за счет приводного механизма, включающего приводную секцию (4) и «холостую» роlikоопору (5). За счет наклона корпуса биореактора 3-5° в сторону разгрузочной крышки, материал внутри реактора перемещается вдоль оси аппарата. Биореактор (6) представляет собой стальную трубу диаметром 900 мм и длиной 2,7 м. Внутри корпуса реактора смонтированы перемешивающие устройства. Поскольку ферментируемая смесь коррозионно-активна, корпус изнутри и снаружи обработан в несколько слоев специальным защитным составом. Для обеспечения необходимого теплового

режима снаружи биореактора предусмотрена теплоизоляция базальтовой ватой толщиной 100 мм. и дополнительно смонтирована обшивка из стальных профилированных листов. Аппарат работает в непрерывном режиме. Аэрация смеси производится с помощью теплового вентилятора (3) воздухом, при этом, вследствие экзотермичности процесса образуется паровоздушная смесь, которая удаляется из биореактора через вентиляционные окна в торцевой разгрузочной крышке. Конструкция биореактора, уровень загрузки ферментируемой смеси и подобранный режим подачи воздуха обеспечивает небольшое избыточное давление внутри аппарата, что положительно сказывается на режиме аэрации. Удаляемый из биореактора воздух содержит пары воды, углекислый газ и аммиак и отводится за пределы помещения через вентиляционный патрубок. Ферментированный продукт после выгрузки фракционируется на цилиндрической барабанной решетке (8). Подрешетная фракция с размерами кусков 0-15 мм является готовым продуктом. Надрешетный продукт (отсев) содержащий в т.ч крупные куски, перо направляется в «голову процесса» т.е. в разгрузочный бункер. Расчетное количество отсева составляет 5-15%. Отсев представляет собой крупные фрагменты ферментированного продукта. Конструкция опытно-промышленного биореактора представлена на рис 4.9.



Рисунок 4.9. Опытно-промышленный биореактор барабанного типа в сборе (транспортное положение).

Особенностью технологического процесса, успешно защищенного патентом (Патент..., 2023) является тот факт, что при подаче в бункер отсева и перемещении его внутри происходит перемешивание и обогащение ферментируемой смеси микроорганизмами, таким образом отсев выступает в качестве «затравки». На рисунке 4.10 представлен внешний вид образца полученного продукта и «отсева», изготовленные в опытно-промышленном реакторе.



а)



б)

Рисунок 4.10. Внешний вид готового продукта: (а) готовый продукт; (б) остаток на сите при просеивании ферментированного продукта – отсев.

Полученный материал представляет собой органоминеральное удобрение, обогащенное микроэлементами. Для проверки соответствия качества продукта требованиям нормативной документации (ГОСТ Р 53117-2008) органоминеральное удобрение направляется на исследования в аккредитованные испытательные центры.

Собранный опытно-промышленный биореактор представлен на рис. 4.9 имеет компактную разборную крупноузловую компоновку, состоящую из трех отдельных элементов: бункер с загрузочным шнековым конвейером, биореактор на раме, разгрузочная крышка с барабанным просеивателем. Технические характеристики опытно-промышленного биореактора представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Расчётные технические характеристики опытно-промышленного биореактора (ОПБ-1)

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	ОПБ-1
1	Производительность по смеси	т/ч	0,01
2	Производительность по помету	т/ч	0,007
3	Суточная загрузка ферментируемой смеси	т/сут	0,240
4	Выход готового продукта	т/ч	0,007
5	Суточный выход готового продукта	т/сут	0,168
6	Энергопотребление	кВт	1-3
7	Режим работы	-	непрерывный
8	Режим загрузки смеси	-	периодический/ непрерывный
9	Максимальная температура смеси	°С	75
10	Конструкция биореактора	-	модульная, разборная
11	Габаритные размеры (ДхШхВ)	м	4,5х1,8х1,8
12	Масса в сборе	т	2,8

Конструкция агрегата позволяет легко привести его в транспортное и рабочее положение. Сборка осуществляется силами 2 человек в течение 2-3 часов, после чего агрегат готов к работе. Начальная загрузка ферментируемой смеси в количестве 50% от заданного объема производится вручную, оставшаяся часть с помощью винтового конвейера из бункера.

Собранный биореактор прошел испытание в производственных условиях ООО ЭК «РЕГИОН».

Выводы

1. Внесение свежего птичьего помета в почву не допускается, а внесение «полуперепревшего» помета в качестве удобрения связано с целым рядом негативных последствий. На птицеводческих предприятиях традиционно применяется его предварительная обработка выдержкой в помехранилищах.

Основными недостатками пассивного компостирования птичьего помета является длительный срок процесса, занятие значительных площадей под компостные бурты, выделяющийся при компостировании неприятный запах и т.д. Более экологичным и эффективным способом переработки птичьего помета является контролируемая аэробная твердофазная ферментация, осуществ-

вляемая в установках барабанного типа.

2. Для повышения качества органоминерального удобрения из безподстилочного куриного помета в него добавляют отходы и побочные продукты других производств, в частности: отходы переработки древесины, золу, получаемую при сжигании каменного угля на тепловой электростанции.

3. Наличие в составе свежего куриного помета различных ветеринарных фармацевтических препаратов (антибиотиков, антигельминтных препаратов, биодобавок и др.), используемых на птицефабриках, ограничивает его применение и отрицательно сказывается на потребительских свойствах, а также снижает потенциальную возможность компостирования обычными способами. Для ускорения процесса ферментации при получении органоминерального удобрения в смесь добавляется до 10% предварительно ферментированного продукта, что обогащает смесь микроорганизмами и сокращает общий период активной фазы ферментации с 400 до 160-180 часов т.е. в 1,5-2,5 раза.

В целом можно констатировать, что условия ферментации в значительной степени зависят от состава смеси. Оптимальный подбор состава смеси, а также использование предварительно ферментированного продукта позволяет сократить продолжительность ферментации без ухудшения потребительских свойств получаемого продукта.

4. За счет добавления золы от сжигания угля на стадии приготовления смеси и последующей ее ферментацией в биореакторе, полученное органоминеральное удобрение содержит не только высокую концентрацию макроэлементов, но и микроэлементы, что позволяет использовать его в лесном и сельском хозяйстве.

5. При получении органоминерального удобрения в процессе ферментации, целлюлозосодержащий наполнитель и древесный уголь БАУ-А вводили в количестве 5-20 мас. % от массы птичьего помета. Древесный уголь, введенный в ферментируемую смесь в оптимальном соотношении, сокращает время ферментации, и способствует сохранению азота в материале вследствие физи-

ческой и химической адсорбции аммиака (в соответствии с принципом Ле-Шателье).

6. В процессе ферментации идет активная трансформация органических соединений (пептидов, аминокислот, углеводов, жиров). По нашему мнению, входящие в состав золы, микроэлементы приобретают в процессе ферментации органического вещества те формы, в которых они легче будут усваиваться растениями (хелатирование, гумусирование).

7. На основании проведенных исследований разработан и сконструирован опытно-промышленный биореактор. Установка позволяет получать 0,007 т/ч готовых органоминеральных удобрений в непрерывном режиме. Выполненные испытания на опытно-промышленном биореакторе позволят рассчитать необходимые конструктивные параметры биореактора и их количество для условий конкретного производства.

8. Метод аэробной твердофазной ферментации позволяет круглогодично перерабатывать птичий помет, обеспечивая высокую эффективность и производительность процесса за счет снижения продолжительности ферментации при одновременном повышении эффективности получаемого органического удобрения, обеспечивающего интенсивный прирост корневой и наземной частей растений.

9. Выпуск партии экспериментальных органоминеральных удобрений с использованием опытно-промышленного биореактора показал, что при производстве образуется отсев, в количестве 5-15% по массе который содержит крупные куски материала, перья и пр. В условиях испытаний отсев направлялся в бункер с исходной смесью, подаваемой на ферментацию, и служил стимулятором процесса – «затравочной» смесью, что успешно защищено патентом.

5. Эффективность использования органоминеральных удобрений при выращивании сеянцев сосны и ели

5.1. Характеристика почв лесных питомников

Выращивание стандартного посадочного материала тесно связано с потенциальным плодородием почв лесных питомников. Как правило, при закладке последних подбираются ровные участки с наиболее плодородными почвами без застойного увлажнения, то есть хорошо дренированные. Однако, почвы лесных питомников, быстро теряют потенциальное плодородие в связи с выносом питательных элементов вместе с выращенным посадочным материалом. Использование сидератов позволяет в значительной степени восстановить почвенное плодородие. Вместе с тем, данный способ вызывает необходимость увеличения площади лесного питомника. Внесение минеральных и органических удобрений приводит к увеличению себестоимости получаемой продукции. Основное внесение разбросным или иным способом требует большого объема органических удобрений. При осенней или весенней вспашке в посевных отделениях органические удобрения заделываются на глубину 20-30 см, что в первый год выращивания сеянцев мало влияет на их рост и развитие. По нашему мнению, проблема может быть решена внесением сбалансированных по своему составу и качеству органоминеральных удобрений. Для установления оптимальных доз вносимых удобрений необходимо иметь объективные данные о потенциальном плодородии почв на момент внесения удобрений. С этой целью взяты образцы почвы на всех питомниках, в которых предполагалось использование органоминеральных удобрений и определены их основные агрохимические характеристики. Отбор проб почвы производился по ГОСТ 58595-2019. Процесс отбора почв проиллюстрирован рис. 5.1. Анализ агрохимических показателей почвы выполнен в специализированной лаборатории ФГБУ ГЦАС «Свердловский». Данные представлены в таблице 5.1.



а)



б)

Рисунок 5.1. Отбор единичной пробы почвы тростевым буром в лесном питомнике: а) помещение в почву пробозаборника тростевого бура, б) взятие буром образца почвы

Таблица 5.1 – Агрохимические показатели качества почв в питомниках

рН	Орг. вещество, %	Массовая доля, мг/кг			Содержание, микроэлементов, мг/кг					
		общего азота, мг/кг	подвижных соединений							
			фосфора, мг/кг	калия, мг/кг	медь (Cu)	цинк (Zn)	марганец (Mn)	бор (B)	железо (Fe)	молибден (Mo)
Выращиваемая порода - сосна обыкновенная										
Постоянный лесной питомник ГКУ СО «Сухоложское лесничество»										
5,5	1,41	4,8	116,6	83,0	2,35	1,70	45,65	0,42	87,11	0,35
Постоянный лесной питомник № 2 (ПЛП №2) ГКУ СО «Березовское лесничество»										
4,6	4,62	17,8	178,7	83,0	10,42	2,49	80,38	0,65	222,92	0,21
Декоративный питомник ООО «Калина Парк»										
4,4	43,9	53,9	20,74	95,0	4,57	1,74	58,65	1,58	561,00	0,41
Выращиваемая порода - ель сибирская										
Постоянный лесной питомник № 1 (ПЛП №1) ГКУ СО «Березовское лесничество»										
3,9	2,27	6,7	25,1	78,0	11,47	1,85	61,27	0,46	165,81	0,29

Согласно имеющихся рекомендаций (Наставление по системам..., 1991) оптимальными для выращивания сеянцев в лесных питомниках являются следующие показатели качества почв: мощность пахотного слоя 30-40 см, рН 5,0-5,5, содержание гумуса 2,5-3,0%, подвижного фосфора более 150-200 мг/кг, обменного калия больше 170-220 мг/кг, азота общего 80-100 мг/кг.

Сравнение указанных данных с результатами изучения почв лесных питомников показало, что оптимальная кислотность почвы зафиксирована

только в питомнике ГКУ СО «Сухоложское лесничество». Почвы остальных питомников имеют рН от 3,9-4,6, что ниже оптимальной (5,0-5,5). Это свидетельствует о необходимости раскисления почвы и приближения реакции почвы к нейтральной. Понижение показателя кислотности почв можно обеспечить, за счет наличия в составе органоминеральных удобрений золы и солей аммония.

Содержание общего органического вещества недостаточно в почвах лесного питомника ГКУ СО «Сухоложское лесничество» и ПЛП №1 ГКУ СО «Березовское лесничество». В то же время на остальных двух питомниках содержание гумуса превышает нормативный показатель, особенно в декоративном питомнике ООО «Калина Парк».

Наиболее заметно проявляется в почвах лесных питомников недостаток общего азота. На всех питомниках он ниже нормативных значений, а на лесном питомнике ГКУ СО «Сухоложское лесничество» содержание общего азота в 16,7 раза ниже минимального значения указанного оптимума.

Масса подвижного фосфора достигает нормативных значений только на постоянном лесном питомнике №2 ГКУ СО «Березовское лесничество». На остальных питомниках наличие фосфора значительно меньше нормы. Особенно нуждаются почвы лесных питомников в калии. Содержание данного химического элемента в почвах всех лесных питомниках значительно меньше нормы.

Таким образом, химический анализ состава почв лесных питомников показывает, что они нуждаются практически во всех макроэлементах, а следовательно, внесение органоминеральных удобрений является острой производственной необходимостью. Кроме того, почвы лесных питомников характеризуются существенным варьированием микроэлементов, что также позволяет изменить ситуацию внесением органоминеральных удобрений.

5.2. Влияние различных доз органоминеральных удобрений на среднюю высоту сеянцев сосны обыкновенной и ели сибирской

Ключевыми характеристиками сеянцев сосны и ели являются высота стволика и диаметр корневой шейки. Именно по этим показателям производится отбор стандартного посадочного материала. Наряду с этими показателями важное значение имеет соотношение надземной и подземной частей сеянцев, а также фитомасса стволиков, корней и ассимиляционного аппарата. Все перечисленные параметры сеянцев оказывают влияние на приживаемость посадочного материала при переносе их на лесокультурную площадь, а также на последующий рост и сохранность.

Как было отмечено ранее, исследования проводились на четырех постоянных лесных питомниках с определением влияния различных доз двух органоминеральных удобрений на таксационные показатели сеянцев сосны и ели.

В качестве органоминеральных удобрений были испытаны два образца, которые имеют обозначение: ОМУ №1 и ОМУ №2. Органоминеральные удобрения произведены методом ускоренной твердофазной аэробной ферментации на опытно-промышленном биореакторе барабанного типа собственной разработки. Оба удобрения были произведены партиями в количестве 400 кг. Образцы удобрений были испытаны в аккредитованной лабораторий ФГБУ ГЦАС «Свердловский». Сведения об агрохимических параметрах удобрений приведены в таблице 5.2.

Оба удобрения имеют сходные значения по основным агрохимическим показателям, однако существенно различаются способы их производства и состав входящих в них веществ.

Внесение органоминеральных удобрений производилось перед началом вегетационного сезона, а выкопки сеянцев осенью после прекращения роста. Обмер и установление других показателей производился в соответствии с методикой, описанной в главе 3 настоящей работы.

Таблица 5.2 – Характеристика произведенных удобрений, использованных в эксперименте

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Органоминеральное удобрение №1 (ОМУ №1)	Органоминеральное удобрение №2 (ОМУ №2)
1	Показатель активности водородных ионов	ед. рН	8,7±0,30	8,6±0,30
2	Массовая доля общего азота на сухое вещество	%	2,22±0,280	2,13±0,280
3	Массовая доля общего фосфора (P ₂ O ₅) на сухое вещество	%	3,47±0,280	3,37±0,280
4	Массовая доля калия (K ₂ O) на сухое вещество	%	2,94±0,140	2,19±0,140
5	Массовая доля органического вещества	%	55,2±1,40	64,8±1,40
6	Массовая доля влаги	%	63,0±1,40	62,6±1,40

Исследования показали, что внесение при посеве семян сосны обыкновенной различных доз органоминеральных удобрений уже осенью продемонстрировало существенные различия по высоте однолетних сеянцев. Последнее подтверждается статистическими данными, приведенными в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Высота однолетних сеянцев сосны обыкновенной при разных дозах внесения органоминеральных удобрений на лесном питомнике ГКУ СО «Сухоложское лесничество» (посевы весной 2024)

Доза удобрения, т/га	Средняя высота стволика (H _{ств}), мм	Ошибка среднего, (± h _{ств}), мм	Стандартное отклонение (σ), мм	Коэффициент вариации (V), %	Точность опыта (P), %	Асимметрия, (A)	Экссесс, (E)
ОМУ №1							
Контроль	48	0,9	7,7	16,1	2,1	0,45	0,12
5	56	1,0	7,8	14,0	1,81	0,51	1,96
10	58	0,9	6,9	11,9	1,55	0,52	0,22
15	65	0,9	7,4	11,4	1,47	0,13	0,32
ОМУ №2							
Контроль	53	1,3	9,8	18,6	2,41	0,74	1,12
5	55	1,0	8,1	14,8	1,92	0,14	0,00
10	61	1,3	10,3	16,9	2,11	0,016	-0,69
15	65	1,3	10,0	15,5	2,00	0,42	-0,22

В течение первого года выращивания посадочного материала высота

стволика на опытных участках существенно различается. Различия по высоте стволика для однолетних сеянцев при разных дозах внесения оказались достоверными и составили при дозировках: 5, 10 и 15 т/га ОМУ №1 соответственно: $56 \pm 1,0$; $58 \pm 0,9$; $65 \pm 0,9$ мм, что в процентном отношении выражено эффектом: 21, 24, 41% к контрольному значению. Различия по высоте при применении ОМУ №2 при дозировке 5 т/га оказались выше, чем значение в контроле, однако различия оказались недостоверными. Показатели при дозировках 10 и 15 т/га оказались достоверно выше контрольных. В абсолютных значениях, высота стволиков составила: $61 \pm 1,3$; $65 \pm 1,3$ мм, при этом в процентном отношении эти показатели выражены эффектом 15 и 28% к контролю. Точность опыта была в пределах $\pm 3\%$, вариативность составила 18-11%, при чем наименьшая вариативность наблюдалась в дозировках 15 т/га и составляла 11-15%, что, на наш взгляд, свидетельствует о действующем факторе вносимой дозы удобрения.

Положительный результат по высоте сеянцев сосны обыкновенной получен и при внесении ОМУ весной 2024 г. в ПЛП №2 ГКУ СО «Березовское лесничество». Экспериментальные данные приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Высота однолетних сеянцев сосны обыкновенной при разных дозах внесения ОМУ в ПЛП №2 ГКУ СО «Березовское лесничество»

Доза удобрения, т/га	Средняя высота стволика (Н _{ств}), мм	Ошибка среднего ($\pm h_{ств}$), мм	Стандартное отклонение (σ), мм	Коэффициент вариации (V), %	Точность опыта (P), %	Асимметрия (A)	Экссесс (E)
ОМУ №1							
Контроль	58	0,9	10,8	18,5	1,94	0,59	0,05
5	61	1,3	10,2	16,7	2,16	1,38	3,40
10	62	1,2	9,0	14,5	1,88	0,11	0,10
15	63	1,1	9,1	14,6	1,18	0,46	0,02
ОМУ №2							
Контроль	58	0,9	10,8	18,5	1,94	0,59	0,05
5	63	1,7	13,4	21,1	2,73	1,01	0,43
10	67	1,3	10,4	15,6	2,02	0,14	-0,50
15	64	1,1	8,8	13,7	1,78	0,04	-0,76

Как следует из материалов таблицы 5.4 высота стволиков сеянцев сосны обыкновенной, выращенных в ПЛП №2 в течение вегетационного периода 2024 г. существенно различается. При внесении доз ОМУ №1 от 5 до 15 т/га, наблюдалось увеличение высоты стволиков по отношению к контрольному значению. В процентном отношении увеличение высоты составило: 5, 7, 9%. Однако, данные показатели недостаточно убедительны (с доверительной вероятностью $p=0,95$). При внесении ОМУ №2 в дозировке 5 т/га увеличение высоты составило 9%, что недостаточно достоверно на выбранном уровне значимости, однако при дозировке 10 т/га по высоте сеянцы показали более значимый эффект 16% к контролю, а при дозировке 15 т/га 10% к контролю. Точность опыта была в пределах $\pm 2\%$, коэффициент вариации составил 18,5-13,7%, при чем наименьшая вариативность наблюдалась в дозировках 10 и 15 т/га, что, на наш взгляд, свидетельствует о действующем факторе дозы вносимых органоминеральных удобрений.

Положительно сказалось внесение органоминеральных удобрений на рост в высоту сеянцев сосны обыкновенной в декоративном питомнике ООО «Калина Парк», данные измерений и их обработки приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Высота однолетних сеянцев сосны обыкновенной при разных дозах внесения органоминеральных удобрений весной 2024 г. на питомнике ООО «Калина-Парк»

Доза удобрения, т/га	Средняя высота стволика ($H_{ств}$), мм	Ошибка среднего ($\pm h_{ств}$), мм	Стандартное отклонение (σ), мм	Коэффициент вариации (V), %	Точность опыта (P), %	Асимметрия (A)	Экссесс (E)
ОМУ №1							
Контроль	78	1,2	9,0	11,6	1,5	0,28	0,13
5	74	1,2	9,5	17,6	1,7	0,18	0,60
10	90	1,7	12,9	14,3	1,9	0,16	0,43
15	93	1,4	10,8	11,0	1,5	0,23	0,83
ОМУ №2							
Контроль	94	1,8	14,6	15,4	2,0	0,46	0,54
5	94	2,3	18,5	19,8	2,5	0,19	0,60
10	97	1,9	14,7	15,3	2,0	0,34	0,46
15	101	1,7	13,4	13,3	1,7	0,15	0,47

На культурных почвах декоративного питомника ООО «Калина–Парк» внесенные дозы органоминеральных удобрений показали значительное влияние на высоту стволиков сеянцев сосны обыкновенной. При дозировке 5 т/га значения высоты стволиков менялись незначительно или имели показатели одинаковые с контролем. При увеличении дозировки до 10 и 15 т/га ОМУ №1 установлены достоверные положительные эффекты при внесении удобрений. При дозировке 10 т/га высота сеянцев в опыте составила $90 \pm 1,7$ мм, что на 15% выше, чем в контрольном опыте, а при дозировке 15 т/га высота стволика составила $93 \pm 1,4$ мм, что выше на 19% чем в контроле. Дозировки 10 и 15 т/га ОМУ №2 показали эффект по сравнению с контрольным опытом на уровне 3,2 и 7,4%, причем последнее значение является достоверным.

Согласно требованиям нормативных документов высота сеянцев сосны обыкновенной должна составлять для Средне-Уральского таежного лесного района 10 см. Материалы наших исследований показали, что при внесении 15 т/га органоминерального удобрения (ОМУ №2) средняя высота сеянцев достигает стандартных размеров, то есть, даже в открытом грунте можно выращивать стандартный посадочный материал за 1 год при условии внесения органоминеральных удобрений.

Помимо сосны обыкновенной в практике лесовосстановления на Урале широко используется ель сибирская. Действующими Правилами лесовосстановления (Об утверждении Правил..., 2021) сеянцы ели сибирской используемые для создания лесных культур должны иметь высоту стволика не менее 10 см, а его диаметр у корневой шейки 1,5 мм. Поскольку ель сибирская растет медленнее, чем сосна обыкновенная, возраст посадочного материала установлен 3-4 года.

Нами в процессе исследований проанализирована высота сеянцев ели сибирской первого года при внесении одновременно с посевом семян различных доз органоминеральных удобрений в почву ПЛП №1 ГКУ СО «Березовское лесничество». Данные по высоте сеянцев ели сибирской выращенной в вегетационный период 2024 г. приведены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Средняя высота однолетних сеянцев ели сибирской при внесении различных доз органоминеральных удобрений в ПЛП №1 ГКУ СО «Березовское лесничество» (весенний посев 2024 г.)

Доза удобрения, т/га	Средняя высота стволика ($H_{\text{СТВ}}$), мм	Ошибка среднего ($\pm h_{\text{СТВ}}$), мм	Стандартное отклонение (σ), мм	Коэффициент вариации (V), %	Точность опыта (P), %	Асимметрия (A)	Экцесс (E)
ОМУ №1							
Контроль	37	0,7	5,9	18,6	2,0	0,21	-0,25
5	36	0,9	4,8	13,6	2,4	1,45	1,76
10	38	1,0	5,4	15,2	2,8	-0,37	0,60
15	41	1,0	5,4	13,4	2,4	0,40	-0,56
ОМУ №2							
Контроль	37	0,7	5,9	18,6	2,0	0,21	-0,25
5	41	1,7	9,7	23,8	4,4	0,73	-0,37
10	42	0,7	4,2	9,9	1,8	0,17	-1,10
15	44	1,2	6,8	15,6	2,8	0,32	-0,34

Обследование посевов, где внесены органоминеральные удобрения показало, что при дозах удобрений ОМУ №1: 5, 10 и 15 т/га средняя высота стволика сеянцев составила $36 \pm 0,9$; $38 \pm 1,0$ и $41 \pm 1,0$ мм, соответственно при $37 \pm 0,7$ мм на контрольном участке. Другими словами, при внесении ОМУ №1 в дозе 5 т/га оказалась ниже на 2,7% чем на контроле, данное значение можно отнести на погрешность опыта. При дозах внесения 10 и 15 т/га значение средней высоты превысила таковой на контроле на 2,7 и 10,8% ($t_{10} = 0,7$; $t_{15} = 3,1$ при $t_{\text{ТАБЛ}} = 1,98$ и $p = 0,95$).

Внесение ОМУ №2 показало несколько большую эффективность при выращивании сеянцев ели сибирской. При внесении данного удобрения в дозе 5; 10 и 15 т/га средняя высота в процентном отношении составила: 10,8; 13,5 и 18,9% от таковых в контроле, значимость различий ($t_5 = 2,0$, $t_{10} = 2,5$, $t_{15} = 4,8$ при $t_{\text{ТАБЛ}} = 1,98$ и $\alpha = 0,05$).

Обычно сеянцы сосны обыкновенной выращиваются в открытом грунте лесных питомников 2 года, поэтому очень важно иметь объективные данные о средней высоте двухлетних сеянцев при внесении удобрений через год после посева. Данные измерений средней высоты сеянцев приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Средняя высота двухлетних сеянцев сосны обыкновенной при однократном внесении органоминеральных удобрений весной второго года в ПЛП ГКУ СО «Сухоложское лесничество» (посевы 2023 г., удобрения внесены весной 2024 г.)

Доза удобрения, т/га	Средняя высота стволика ($H_{\text{СТВ}}$), мм	Ошибка среднего ($\pm h_{\text{СТВ}}$), мм	Стандартное отклонение (σ), мм	Коэффициент вариации (V), %	Точность опыта (P), %	Асимметрия (A)	Экссесс (E)
ОМУ №1							
Контроль	117	4,9	27,1	23,1	4,2	0,26	-0,61
5	138	5,3	29,1	21,0	3,8	0,29	0,11
10	135	4,9	26,9	19,9	3,6	0,80	-0,09
15	150	7,5	41,4	27,5	5,0	0,42	-1,11
ОМУ №2							
Контроль	106	4,1	22,8	21,6	3,9	0,38	0,38
5	110	3,4	18,5	16,9	3,1	-0,38	-0,59
10	126	6,4	35,5	28,2	5,1	0,31	-0,56
15	132	5,7	31,5	23,8	4,3	0,94	1,30

У двухлетних сеянцев сосны, под которые однократно внесены удобрения достоверно отмечены следующие различия с контрольными опытами. Для ОМУ №1 при дозировках 5, 10 и 15 т/га средняя высота сеянцев составила: $138 \pm 3,7$; $135 \pm 2,7$ и $150 \pm 7,5$ мм, что в процентном отношении выражено эффектом: 23, 18 и 34% к контрольному значению.

Различия по высоте двухлетних сеянцев при однократном внесении ОМУ №2 в дозировке 5 т/га оказались выше, но недостаточно достоверными, однако показатели при дозировках 10 и 15 т/га оказались достоверными ($t_{10}=2,6$, $t_{15}=3,7$ при $t_{\text{ТАБЛ}}=1,98$ и $p=0,95$). В абсолютных значениях высота стволиков составила: $126 \pm 6,4$ и $132 \pm 5,7$ мм, в процентном отношении эти же показатели выражены эффектом: 28,29% к контрольному значению. Точность опыта была в пределах $\pm 5\%$, вариативность имела средние показатели и составила 28-20%.

Материалы таблицы 5.7 наглядно показывают, что на постоянном лесном питомнике ГКУ СО «Сухоложское лесничество» за два года выращивания можно обеспечить достижение требуемой нормативными документами вы-

соты сеянцев сосны обыкновенной. При этом внесение органоминеральных удобрений даже однократно в посевы резко увеличивает среднюю высоту в результате чего все сеянцы достигают требуемых размеров.

Помимо внесения органоминеральных удобрений на рост сеянцев оказывают влияние и почвенные условия. Нами в процессе исследований установлены средние высоты сеянцев весны 2024 г. в постоянном лесном питомнике (ПЛП) ГКУ СО «Сухоложское лесничество», где органоминеральные удобрения вносились при посеве и повторно весной 2025 г. Данные измерений и их обработки приведены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Средние высоты двухлетних сеянцев сосны обыкновенной при внесении различных доз органоминеральных удобрений в ПЛП ГКУ СО «Сухоложское лесничество»

Доза удобрения, т/га	Средняя высота стволика ($H_{\text{СТВ}}$), мм	Ошибка среднего ($\pm h_{\text{СТВ}}$), мм	Стандартное отклонение (σ), мм	Коэффициент вариации (V), %	Точность опыта (P), %	Асимметрия (A)	Экцесс (E)
ОМУ №1							
Однократно весной 2024 г.							
Контроль	81	2,8	15,3	18,9	3,4	0,31	1,81
5	94	3,4	18,3	20,1	3,6	0,28	-0,99
10	117	4,4	24,4	20,9	3,8	0,24	1,25
15	116	6,4	20,3	17,5	5,5	1,37	1,56
Двукратно весной 2024 и 2025 гг.							
5	103	4,6	25,3	24,6	4,5	1,93	5,00
10	104	3,7	20,7	20,0	3,6	-0,12	-1,19
15	105	3,7	20,5	19,6	3,7	-0,08	-0,13
ОМУ №2							
Однократно весной 2024 г.							
Контроль	116	4,0	22,4	19,3	3,5	0,00	-0,39
5	115	4,0	22,9	19,3	3,5	0,49	-0,29
10	119	3,3	18,3	15,4	2,8	-0,16	-1,13
15	149	6,1	33,6	22,6	4,1	-0,13	-1,05
Двукратно весной 2024 и 2025 гг.							
5	108	4,8	26,4	24,5	4,5	0,27	-0,15
10	128	4,6	25,5	19,9	3,6	0,14	1,06
15	130	4,3	23,9	18,3	3,3	0,13	1,52

Материалы, приведенные в таблице 5.8, свидетельствуют, что на участке лесного питомника, где не вносилось или вносилось однократно ОМУ №1 в

дозе 5 т/га сеянцы спустя два года выращивания, не достигают требуемых размеров по высоте, что вынуждает оставлять их на третий год. Внесение удобрений в дозе 10 и 15 т/га решает задачу выращивания стандартного посадочного материала даже при однократном внесении при посеве. При двухкратном внесении сеянцы достигают требуемых размеров даже при дозе внесения 5 т/га. На участки, где вносилось органоминеральное удобрение № 2 сеянцы достигли требуемых размеров как при однократном, так и при двухкратном внесении.

Сравнительный анализ средних высот сеянцев сосны обыкновенной показал (табл. 5.7 и 5.8), что оптимальным, при выращивании сеянцев сосны обыкновенной, является однократное внесение органоминеральных удобрений спустя год после посева. Двукратное внесение увеличивает его расход, но при этом не дает существенных преимуществ перед однократным внесением.

Таблица 5.9 – Средние высоты двухлетних сеянцев сосны обыкновенной осенью 2025 г., при внесении различных доз органоминеральных удобрений на ПЛП №2 расположенного на территории Балтымского участкового лесничества ГКУ СО «Березовское лесничество»

Доза удобрения, т/га	Средняя высота стволика ($H_{\text{СТВ}}$), мм	Ошибка среднего ($\pm h_{\text{СТВ}}$), мм	Стандартное отклонение (σ), мм	Коэффициент вариации (V), %	Точность опыта (P), %	Асимметрия (A)	Экссесс (E)
1	2	3	4	5	6	7	8
ОМУ №1							
Однократно весной 2024 г.							
Контроль	85	4,1	22,6	26,6	4,8	-0,20	0,00
5	85	2,9	15,9	18,7	3,4	0,63	-1,37
10	98	3,9	21,5	22,0	4,0	0,56	-0,26
15	90	2,3	12,7	14,2	2,0	0,54	-1,62
Двукратно, весной 2024 и 2025 гг.							
5	101	3,0	16,4	16,2	2,9	0,13	-0,13
10	94	3,6	20,0	21,4	3,9	-0,09	-0,69
15	100	3,3	18,1	18,1	3,3	-0,35	-1,11

Окончание таблицы 5.9

1	2	3	4	5	6	7	8
ОМУ № 2							
Однократно весной 2024 г.							
Кон- троль	85	2,3	13,0	15,3	2,8	-0,69	-0,18
5	98	3,0	16,9	16,8	3,0	-0,25	-0,11
10	103	5,2	28,5	27,6	5,0	0,67	2,21
15	102	3,5	19,4	19,0	3,4	-0,17	-0,89
Двукратно весной 2024 и 2025 гг.							
5	93	3,3	18,4	19,9	3,6	-0,36	-0,79
10	117	3,8	21,6	18,1	3,3	-0,31	0,08
15	97	3,2	17,9	18,5	3,3	-0,78	0,19

У двухлетних сеянцев сосны, под которые двукратно (2024, 2025 гг.) внесены удобрения достоверно отмечены различия показателей высоты по сравнению с контрольными опытами. При внесении дозы 5 т/га ОМУ №1 однократно различия по высоте с контролем не выявлено. При дозе 10 т/га установлены достоверные различия по высоте на 15%, а при дозе 15 т/га различия составило 6%, но оказалось недостоверным. При двукратном внесении ОМУ №1 во всех дозировках отмечено значимое достоверное увеличение высоты на 18, 11 и 17% к контролю. Заслуживает внимания тот факт, что при двукратном внесении нет достоверных различий между вносимыми дозировками, но в целом экспериментальные данные указывают на положительное влияние повторно внесенных удобрений.

При оценке действия ОМУ №2 однократно отмечены достоверные различия с контрольным опытом. Однако при дозировке 5 т/га средний показатель высоты сеянцев ниже стандартного значения. При дозе 10 т/га обеспечено увеличение высоты на 21%, при 15 т/га на 20% к контролю, а сеянцы имеют высоту выше, чем требуется по стандарту. Точность опыта в пределах $\pm 5\%$.

В целом можно констатировать, что на ПЛП №2 ГКУ СО «Березовское лесничество» для выращивания стандартного посадочного материала сосны в течение двух лет необходимо двукратное внесение удобрений в дозах 5 и 15 т/га. Кроме того, требуемый результат достигается внесением ОМУ №2 однократно в дозе 10 и 15 т/га или двукратно в дозе 10 т/га.

Как отмечалось ранее, сеянцы ели сибирской отличаются медленным ростом по сравнению с сеянцами сосны обыкновенной. Обследование в 2024 г. посевов ели сибирской весны 2022 г. в ПЛП №1 ГКУ СО «Березовское лесничество» показало, что высота сеянцев составляет $61 \pm 2,0$ мм, что значительно меньше требуемой нормативными документами. Соответственно, данные посевы были оставлены на доращивание еще на один год. Весной 2024 г. на экспериментальные участки были внесены органоминеральные удобрения в разных дозах. Данные определения средней высоты трехлетних сеянцев ели сибирской, приведены в таблица 5.10.

Таблица 5.10 – Средняя высота сеянцев ели сибирской при внесении в двухлетние посевы органоминеральных удобрений в лесном питомнике № 1 ГКУ СО «Березовское лесничество» (посев 2022 г.)

Доза удобрения, т/га	Средняя высота стволика (Нств), мм	Ошибка среднего ($\pm h_{ств}$), мм	Стандартное отклонение (σ), мм	Коэффициент вариации (V), %	Точность опыта (P), %	Асимметрия (A)	Экссесс (E)
ОМУ №1							
Контроль	104	2,2	12,2	11,7	2,1	0,16	-0,10
5	113	2,8	15,7	13,9	2,6	0,79	0,38
10	120	3,4	18,8	15,7	2,8	0,75	0,68
15	138	3,8	20,8	15,1	2,7	0,42	-0,48
ОМУ №2							
Контроль	130	4,9	26,8	20,6	3,7	0,45	-0,70
5	130	3,7	20,3	15,7	2,8	0,32	-0,34
10	155	3,6	19,8	12,8	2,3	-0,23	-0,63
15	163	4,3	23,6	14,6	2,7	0,44	-0,19

Материалы таблицы 5.10 свидетельствуют, что средняя высота сеянцев, выращенных на контрольных участках, выше, чем требуется по стандарту. Вместе с тем следует отметить достоверное увеличение высоты сеянцев при дозировках ОМУ №1 и №2 10 и 15 т/га. В абсолютных значениях при применении ОМУ №1 в дозе 10 т/га высота сеянцев больше, чем в контрольном опыте и составляет $120 \pm 3,4$ мм, а в дозировке 15 т/га $138 \pm 5,0$ мм, эффект составил 15 и 33% к контролю соответственно. При аналогичных дозировках ОМУ №2 наблюдается следующий эффект от внесенных удобрений: высота

стволика увеличивается на 19 и 25% соответственно. Варьирование по высоте при применении указанных дозировок составляет 16-12%, что является средним показателем. Точность опыта находится в пределах $\pm 2-4\%$. Данные таблицы 5.10 убедительно показывают, что более высокие сеянцы выходят с участков, на которые внесены органоминеральные удобрения в дозах 10 и 15 т/га. Улучшенные показатели по высоте, на наш взгляд, дают сеянцам преимущество при конкурировании с травянистой растительностью в культурах.

Интересные данные получены при двукратном внесении органоминеральных удобрений в посевы сосны обыкновенной на декоративном питомнике ООО «Калина Парк» (табл. 5.11).

Таблица 5.11 – Влияние внесения органоминеральных удобрений в посевы сосны обыкновенной на декоративном питомнике ООО «Калина Парк»

Доза удобрения, т/га	Средняя высота стволика (Н _{ств}), мм	Ошибка среднего ($\pm h_{ств}$), мм	Стандартное отклонение (σ), мм	Коэффициент вариации (V), %	Точность опыта (P), %	Асимметрия (A)	Экссесс (E)
ОМУ №1							
Однократно весной 2024 г.							
Контроль	218	5,4	30,1	13,7	2,5	-0,09	-1,81
5	222	6,2	34,2	15,4	2,8	0,61	0,29
10	210	5,8	32,2	15,3	2,8	1,07	1,72
15	200	7,5	41,2	20,6	3,7	0,86	2,20
Двукратно весной 2024 и 2025 гг.							
5	238	5,2	28,5	12,0	2,2	-0,08	-0,15
10	231	4,6	25,2	10,9	2,0	-0,10	-1,60
15	229	3,9	21,4	9,3	1,7	-0,17	0,03
ОМУ №2							
Однократно весной 2024 г.							
Контроль	249	5,1	27,8	11,2	2,0	-0,31	-1,34
5	204	4,3	23,5	11,5	2,1	0,26	-1,35
10	253	5,9	32,4	12,8	2,3	0,65	1,03
15	257	7,0	38,4	15,0	2,7	-0,52	0,65
Двукратно весной 2024 и 2025 гг.							
5	246	3,0	16,9	6,8	1,2	-1,55	3,03
10	285	6,6	36,6	12,8	2,3	-0,89	0,25
15	247	6,2	33,8	13,7	2,5	-0,22	-0,17

Данные таблицы 5.11 показывают, что как однократное, так и двукратное внесение удобрений не приводит к достоверному увеличению высоты се-

янцев. Исключение составляет дозировка 10 т/га ОМУ №2, где разница с контрольным опытом составила 16% ($t_{10}=4.32$, при $t_{\text{ТАБЛ}}=1,98$ и $\alpha=0,05$). Следует отметить, что значительное увеличение высоты стволика по сравнению со стандартным может иметь и отрицательный эффект при переносе посадочного материала на лесокультурную площадь. У высоких сеянцев сосны отмечается худшая приживаемость и сохранность.

5.3. Влияние внесения органоминеральных удобрений на диаметр сеянцев у корневой шейки

Помимо высоты при оценке качества сеянцев используется показатель диаметра корневой шейки (Об утверждении Правил..., 2021). Данные о величине диаметра, полученные весной 2024 показывают, что диаметр стволика у сеянцев 2023 года на ПЛП ГКУ СО «Сухоложское лесничество» составляет в среднем $0,87 \pm 0,061$ мм. Ситуация существенно меняется при внесении органоминеральных удобрений.

Данные о диаметре корневой шейки у двухлетних сеянцев сосны обыкновенной при различных видах и дозах внесения органоминеральных удобрений на ранее указанных питомниках приведены в таблицах 5.12-5.19.

Таблица 5.12 – Средние показатели диаметра стволика у корневой шейки сеянцев сосны 2 лет в Сухоложском ПЛП (посев 2023 г.)

Доза удобрения, т/га	Средний диаметр (м), мм	Ошибка среднего ($\pm d_{\text{СТВ}}$), мм	Стандартное отклонение (σ), мм	Коэффициент вариации (V), %	Точность опыта (P), %	Асимметрия (A)	Эксцесс (E)
1	2	3	4	5	6	7	8
ОМУ №1							
Контроль	1,91	0,108	0,59	30,9	5,6	1,91	5,53
5	2,10	0,086	0,47	22,5	4,1	0,21	-0,57
10	2,25	0,125	0,68	30,4	5,5	0,69	0,29
15	2,61	0,127	0,69	26,7	4,8	1,41	2,13
ОМУ №2							
Контроль	1,69	0,121	0,66	39,1	7,1	1,03	0,57

1	2	3	4	5	6	7	8
5	1,67	0,103	0,57	33,8	6,1	0,20	0,01
10	1,89	0,144	0,79	41,9	7,6	0,65	-0,01
15	2,41	0,188	1,02	42,6	7,8	1,31	2,43

Исследованиями достоверно доказано, что при однократном внесении ОМУ №1 различие в величине показателя диаметр стволика у корневой шейки существенны и составляют в абсолютных значениях: $2,1 \pm 0,09$; $2,2 \pm 0,11$ и $2,6 \pm 0,12$ мм, что в относительных величинах составляет: 23, 18, 34% к контрольному значению. В аналогичном опыте с ОМУ №2 при дозировке 5 т/га данные по различию с контрольным опытом оказались недостоверными. При дозировках 10 и 15 т/га различия достоверны и составляют 17 и 47% к контрольному опыту. Однако, при анализе абсолютных значений диаметр корневой шейки оказался меньше, чем при аналогичных дозировках ОМУ №1 и составил: $1,9 \pm 0,14$ и $2,3 \pm 0,11$ мм, что в случае дозы ОМУ №2 10 т/га не достоверно различается с контролем и не соответствует стандарту.

Результаты дальнейших исследований по оценке диаметра корневой шейки при использовании органоминеральных удобрений собственного производства на посевах сосны обыкновенной выполненные в 2024 и 2025 гг. приведены в таблице 5.13.

Таблица 5.13 – Средние показатели диаметра стволика у корневой шейки однолетних и двухлетних сеянцев сосны в Сухоложском ПЛП (посев 2024 г.)

Доза удобрения, т/га	Средний диаметр (м), мм	Ошибка среднего ($\pm d_{\text{ств}}$), мм	Стандартное отклонение (σ), мм	Коэффициент вариации (V), %	Точность опыта (P), %	Асимметрия (A)	Экссесс (E)
1	2	3	4	5	6	7	8
Однолетние сеянцы осенью 2024 г.							
ОМУ №1							
Однократно в посевы весной 2024 г.							
Контроль	0,63	0,019	0,15	23,3	3,0	1,07	1,12
5	0,67	0,020	0,16	23,8	3,0	0,58	0,64
10	0,73	0,018	0,14	19,4	2,5	0,86	1,26
15	0,77	0,018	0,14	17,7	2,3	0,66	0,30

1	2	3	4	5	6	7	8
ОМУ №2							
Однократно в посевы весной 2024 г.							
Контроль	0,73	0,023	0,17	24,2	3,1	0,89	0,44
5	0,66	0,020	0,16	23,8	3,1	0,58	0,63
10	0,79	0,025	0,19	24,3	3,1	0,52	-0,14
15	0,75	0,020	0,16	20,9	2,7	0,91	1,83
Двухлетние сеянцы осенью 2025 г.							
ОМУ №1							
Однократно весной 2024							
Контроль	1,21	0,083	0,45	37,7	6,8	1,58	3,11
5	1,20	0,072	0,39	32,8	6,0	1,40	2,19
10	1,53	0,114	0,62	40,6	7,4	1,61	3,14
15	1,30	0,093	0,29	22,6	7,1	0,84	0,42
Двукратно весной 2024 и 2025 гг.							
5	1,38	0,076	0,41	30,2	5,5	1,23	0,31
10	1,85	0,066	0,36	19,6	3,6	-0,14	-0,16
15	1,41	0,064	0,35	24,8	4,5	-0,08	-0,25
ОМУ №2							
Однократно весной 2024 г.							
Контроль	2,21	0,101	0,553	25,0	4,5	-0,42	1,05
5	1,42	0,063	0,346	24,3	4,4	-0,17	-0,23
10	1,80	0,099	0,542	30,1	5,5	0,58	-0,09
15	2,82	0,157	0,861	30,0	5,5	0,62	-1,34
Двукратно весной 2024 и 2025 гг.							
5	2,29	0,129	0,708	30,9	5,6	0,95	3,32
10	1,88	0,088	0,480	25,5	4,6	0,35	0,52
15	1,67	0,072	0,392	23,4	4,2	1,45	3,28

По данным проведенных исследований у посевов сосны первого года выращивания при применении в дозировках 10 и 15 т/га ОМУ №1 достоверно увеличивается диаметр корневой шейки на 16 и 22% по сравнению с контролем. Варьирование составило в среднем 23-18%, причем более низкие показатели коэффициента вариации наблюдались на участках с дозами удобрений 15 т/га. При тех же условиях применение ОМУ №2 положительный эффект от внесения удобрения есть, но не подтверждается достоверно. Значение диаметра при дозировке 5 т/га оказалось несколько ниже, чем в контрольном опыте. Точность опыта находится в пределах 2-3%.

При последующем анализе данных установлено, что при однократном внесении получены убедительные данные об увеличении диаметра корневой шейки по сравнению с контрольным опытом только при дозировке 10 т/га. При

однократно внесенной дозе положительный эффект присутствует, однако, на уровне значимости ($\alpha=0,05$) данные не достоверны. При внесении ОМУ №1 повторно установлено достоверное увеличение диаметра корневой шейки по сравнению с контрольным опытом. Эффект от внесения удобрений составил: 14, 52, и 16% к контролю. При внесении однократно и двукратно ОМУ №1 сеянцы двухлетки достигают стандартного размера по диаметру корневой шейки только при внесении 10 т/га.

Оценка диаметра при использовании ОМУ №2 показала, что в контрольном опыте диаметр соответствует стандарту. При однократном внесении стандартный диаметр корневой шейки достигается при дозировке 15 т/га. Достоверный эффект по сравнению с контролем составил 27%. При двукратном внесении значение диаметра, соответствующее стандарту получено с экспериментального участка, где доза ОМУ №2 составила 5 т/га. Значение показателя выше, чем в контрольном опыте, однако различие несущественно. Значительное различие между показателями опытных участков с ОМУ №1 и ОМУ №2, по нашему мнению, заключается в том, что в условиях значительного количества выпавших в 2025 году осадков произошло чрезмерное увлажнение опытных участков, на которых внесено ОМУ №1. Это может объяснить пониженные значения диаметра во всех опытах по сравнению с аналогичными участками, на которые внесено органоминеральное удобрение №2 (данные участки расположены чуть выше). Различие в исходном плодородии почв обусловило специфику реакции на внесение органоминеральных удобрений (табл. 5.14).

Данные таблицы 5.14 свидетельствуют, что на слабокультуренных почвах ПЛП №2, не богатых питательными веществами, диаметр стволика у сеянцев с внесением различных доз органоминеральных удобрений №1 и №2 при посеве весной 2024 г. менялся незначительно, различия можно отнести на погрешность эксперимента. Вместе с тем показатели оцениваемого параметра существенно менялись при их оценке на второй год выращивания. При однократно внесенном ОМУ №1 в дозировках 5, 10 и 15 т/га весной 2024 г диаметр корневой шейки сеянцев увеличился на: 38, 14 и 38% по сравнению с контро-

Таблица 5.14 – Средние показатели диаметра стволика у корневой шейки сеянцев сосны обыкновенной в ПЛП №2 ГКУ СО «Березовское» лесничество»

Доза удобрения, т/га	Средний диаметр (М), мм	Ошибка среднего ($\pm d_{\text{ств}}$), мм	Стандартное отклонение (σ), мм	Коэффициент вариации (V), %	Точность опыта (Р), %	Асимметрия (А)	Экссесс (Е)
1	2	3	4	5	6	7	8
Однолетние сеянцы, осенью 2024 г.							
ОМУ №1							
Однократно весной 2024 г.							
Контроль	0,83	0,028	0,22	27,0	3,5	0,55	-0,52
5	0,74	0,022	0,17	23,1	3,0	0,78	0,96
10	0,86	0,029	0,22	26,4	3,4	0,64	-0,72
15	0,76	0,023	0,18	23,7	3,0	0,84	0,26
ОМУ №2							
Однократно весной 2024 г.							
5	0,76	0,031	0,24	31,0	4,0	0,98	0,22
10	0,76	0,029	0,22	29,5	3,8	1,29	0,92
15	0,81	0,028	0,22	26,6	3,5	0,90	0,71
Двухлетние сеянцы осенью 2025 г.							
ОМУ №1							
Однократно весной 2024 г.							
Контроль	1,83	0,065	0,35	19,5	3,5	-0,38	-0,35
5	2,48	0,117	0,63	25,7	4,7	0,80	0,59
10	2,09	0,105	0,57	27,5	5,0	0,99	0,64
15	2,48	0,100	0,54	21,9	4,0	-1,22	0,28
Двукратно весной 2024 и 2025 гг.							
5	2,48	0,103	0,56	22,7	4,1	0,44	0,06
10	2,72	0,095	0,51	19,0	3,4	0,30	-1,25
15	2,23	0,064	0,35	15,7	2,8	-0,93	0,89
ОМУ № 2							
Однократно весной 2024 г.							
Контроль	1,78	0,088	0,48	27,1	4,9	0,45	-1,34
5	2,46	0,115	0,63	25,6	4,6	-0,91	-0,55
10	3,15	0,123	0,67	21,4	3,9	0,09	-1,17
15	2,89	0,117	0,64	22,1	4,0	0,49	-1,18
Двукратно весной 2024 и 2025 гг.							
5	2,15	0,063	0,34	16,1	2,9	0,34	0,20
10	2,58	0,134	0,73	28,5	5,2	0,89	1,95
15	2,10	0,068	0,37	17,6	3,2	0,16	-0,30

лем. При тех же дозах внесения ОМУ №2 получены достоверные отличия с контрольным опытом на: 38, 77 и 62%. При двукратном внесении тех же доз удобрений наблюдали достоверное увеличение диаметра корневой шейки для опытов с ОМУ №1 на 38, 48 и 22%. При использовании ОМУ №2 зафиксированы достоверные показатели на уровне: 20, 45 и 18% при дозировках от 5 до

15 т/га. По нашему мнению, эффект от внесения удобрений при посеве выразился в более значительную прибавку по диаметру стволика за счет пролонгированного эффекта от действия питательных веществ, содержащихся в удобрениях. Это хорошо согласуется с данными, что на суглинистых почвах разложение органического вещества, содержащегося в компостах, изготовленных из куриного помета, идет медленнее.

На более плодородных почвах декоративного питомника ООО «Калина Парк» внесение удобрений оказалось менее эффективным (табл. 5.15).

Таблица 5.15 – Средние показатели диаметра стволика у корневой шейки сеянцев сосны обыкновенной в декоративном питомнике ООО «Калина-Парк»

Доза удобрения, т/га	Средний диаметр (М), мм	Ошибка среднего ($\pm d_{\text{ств}}$), мм	Стандартное отклонение (σ), мм	Коэффициент вариации (V), %	Точность опыта (Р), %	Асимметрия (А)	Экссесс (Е)
1	2	3	4	5	6	7	8
Однолетние сеянцы, осенью 2024 г.							
ОМУ №1							
Однократное внесение весной 2024 г.							
Контроль	0,93	0,024	0,18	19,7	2,1	0,60	-0,42
5	0,92	0,024	0,18	20,4	2,6	0,36	-0,44
10	1,08	0,028	0,22	20,0	2,6	0,24	-0,37
15	1,08	0,026	0,20	18,4	2,4	0,31	-0,49
ОМУ №2							
Однократное внесение весной 2024 г.							
Контроль	1,02	0,024	0,18	18,0	2,3	-0,28	-0,71
5	1,09	0,036	0,28	25,5	3,2	0,17	0,01
10	1,09	0,027	0,21	19,3	2,5	0,47	0,11
15	1,15	0,028	0,22	19,0	2,5	-0,29	-0,04
Двухлетние сеянцы осенью 2025 г.							
ОМУ №1							
Однократно весной 2024 г.							
Контроль	2,61	0,107	0,58	22,5	4,1	0,06	-0,41
5	2,27	0,091	0,50	22,0	4,0	-0,59	-1,42
10	2,49	0,120	0,65	26,3	4,8	0,40	-0,40
15	2,37	0,091	0,49	20,9	3,8	0,07	-0,10
Двукратно весной 2024 и 2025 гг.							
5	2,69	0,138	0,75	28,1	5,1	0,17	-0,46
10	2,51	0,169	0,92	36,8	6,7	1,16	1,04
15	2,75	0,106	0,58	21,0	3,8	0,39	-0,58

1	2	3	4	5	6	7	8
ОМУ №2							
Однократно весной 2024 г.							
Контроль	2,15	0,115	0,63	29,3	5,3	0,22	-1,64
5	2,24	0,122	0,67	29,7	5,4	0,45	-0,99
10	3,05	0,103	0,56	18,5	3,3	0,11	-1,18
15	2,50	0,139	0,76	30,5	5,5	0,16	-0,33
Двукратно весной 2024 и 2025 гг.							
5	2,37	0,108	0,59	25,0	4,5	0,08	-0,19
10	3,30	0,108	0,59	17,9	3,2	-0,33	1,47
15	3,23	0,095	0,52	16,1	2,9	0,02	-0,92

Данные, приведенные в таблице 5.15, указывают, что даже на почвах декоративного питомника диаметр стволика у однолетних сеянцев не соответствует значениям, приведенным в действующих правилах (Об утверждении Правил..., 2021). С внесенными при посеве удобрениями ОМУ №1 и №2 диаметр корневой шейки меняется значительно. Так, при внесенных дозах ОМУ № 1: 10 и 15 т/га получены достоверные сведения об увеличении диаметра корневой шейки на 17% к контролю. При внесении ОМУ №2 в дозах 5 т/га получены достоверные данные по увеличению диаметра на 6%, при дозе 15 т/га на 12%. Несмотря на значимые показатели увеличения диаметра по сравнению с контролем этого недостаточно для достижения стандартных размеров сеянцев.

Экспериментальные данные, собранные осенью 2025 г. показали, что значения среднего диаметра корневой шейки во всех без исключения опытах выше, чем требуется по стандарту. При внесении удобрений на культурные почвы однократно в случае ОМУ №1 показатели диаметра менялись незначительно, что можно отнести на погрешность экспериментальных данных. В тех же условиях однократное применение ОМУ №2 показывает достоверное увеличение диаметра стволика на 42 и 16% по сравнению с контрольным опытом при дозах 10 и 15 т/га. Необходимо отметить, что доза удобрения 10 т/га показывает более значимый достоверный результат по сравнению с показателем при дозировке 15 т/га.

Обследование весной 2024 г. посевов ели сибирской 2022 г. в постоянном лесном питомнике №1 ГКУ СО «Березовское лесничество» показало, что диаметр стволика у корневой шейки составляет $0,96 \pm 0,036$ мм, что значительно меньше требуемого нормативными документами размера. Весной 2024 г. на экспериментальные участки были внесены органоминеральные удобрения в разных дозах. Экспериментальные показатели и результаты их обработки приведены в таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Средние значения диаметра стволика у корневой шейки сеянцев ели в ПЛП №1 ГКУ СО «Березовское лесничество» (посевы 2022 г.)

Доза удобрения, т/га	Средний диаметр (М), мм	Ошибка среднего ($\pm d_{\text{ств}}$), мм	Стандартное отклонение (σ), мм	Коэффициент вариации (V), %	Точность опыта (P), %	Асимметрия (A)	Экссесс (E)
Двухлетние сеянцы весной 2024 г.							
Контроль	0,96	0,036	0,279	29,2	3,7	0,40	-0,50
ОМУ №1							
Осенью 2024 г.							
Контроль	1,43	0,051	0,282	19,7	3,6	0,87	2,53
5	1,51	0,039	0,216	14,3	2,6	-0,67	0,99
10	1,63	0,053	0,289	17,7	3,2	0,25	-0,51
15	1,77	0,069	0,377	21,2	3,8	0,41	-0,36
ОМУ №2							
Осенью 2024 г.							
Контроль	1,84	0,084	0,460	24,9	4,5	1,11	1,26
5	1,65	0,051	0,282	17,2	3,1	0,98	1,76
10	2,00	0,061	0,334	16,6	3,0	0,22	-0,36
15	2,10	0,072	0,397	19,3	3,5	0,35	-0,48

Диаметр корневой шейки у двухлетних сеянцев ели сибирской составляет $0,96 \pm 0,036$ мм, что недостаточно для стандартизации сеянца по данному показателю. Следовательно, сеянцы оставляют на доращивание на год. При анализе диаметра корневой шейки у двухлетних сеянцев ели отмечено, что внесенные дозы органоминеральных удобрений ОМУ №1 и №2 положительно влияют на данный показатель, однако при дозах 5 т/га эффект выражен незначительно и находится в пределах погрешности. При дозировках ОМУ №1 10 и 15 т/га установлено достоверное увеличение диаметра по сравнению с контрольным опытом на 14 и 24% к контролю соответственно. При дозировках

ОМУ №2 10 и 15 т/га установлено что в первом случае эффект составляет 9% что не является достоверным, при дозе 15 т/га эффект составляет 14%, что значимо (при $\alpha=0,05$). Точность опытов составила 2,6-4,5%. Вариативность не превышала 25%. По результатам анализа экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что применение органоминеральных удобрений в дозировках 10-15 т/га внесенных прикорневым способом в междурядья посевных строк в вегетационный сезон третьего года выращивания позволит получить соответствующие стандарту сеянцы ели сибирской по показателю - диаметр стволика у корневой шейки.

Исходя из экспериментальных данных полученных в 2024 г. при изучении двухлетних сеянцев полевой опыт с различными дозировками удобрений был продолжен при посеве и последующем выращивании посадочного материала ели сибирской. Результаты эксперимента и их обработки приведены в таблице 5.17.

Таблица 5.17 – Средние значения диаметра стволика у корневой шейки ели сибирской на постоянном лесном питомнике №1 ГКУ СО «Березовское лесничество»

Доза удобрения, т/га	Средний диаметр (M), мм	Ошибка среднего ($\pm d_{\text{ств}}$), мм	Стандартное отклонение (σ), мм	Коэффициент вариации (V), %	Точность опыта (P), %	Асимметрия (A)	Экссесс (E)
1	2	3	4	5	6	7	8
Однолетние сеянцы осенью 2024 г.							
ОМУ №1							
Однократно весной 2024 г.							
Контроль	0,40	0,007	0,053	13,3	1,7	0,54	0,19
5	0,40	0,010	0,055	14,9	2,7	0,43	-0,45
10	0,41	0,012	0,067	16,2	2,9	-0,06	-1,11
15	0,43	0,012	0,068	16,0	2,9	0,13	1,41
ОМУ №2							
Однократно весной 2024 г.							
Контроль	0,40	0,007	0,053	13,3	1,7	0,53	0,19
5	0,44	0,016	0,090	20,1	3,8	0,24	-0,66
10	0,43	0,012	0,068	15,7	2,9	-0,26	-0,89
15	0,44	0,013	0,070	15,9	2,9	0,22	-0,31

1	2	3	4	5	6	7	8
Двухлетние сеянцы осенью 2025 г.							
ОМУ №1							
Однократно весной 2024 г.							
Контроль	0,82	0,044	0,243	29,6	5,4	0,69	-0,79
5	0,96	0,055	0,303	31,5	5,7	1,02	0,89
10	0,95	0,055	0,299	31,6	5,7	0,21	-0,81
15	1,12	0,069	0,376	33,3	6,0	0,24	-0,76
Двукратно весной 2024 и 2025 гг.							
Контроль	0,96	0,045	0,248	25,7	4,6	-0,63	-0,27
5	1,08	0,028	0,155	14,3	2,6	0,20	0,65
10	1,00	0,033	0,181	18,1	3,3	0,29	-0,15
15	1,20	0,031	0,168	13,9	2,5	-0,18	-0,33
ОМУ №2							
Однократно весной 2024 г.							
Контроль	0,96	0,054	0,296	30,8	5,6	0,97	1,50
5	0,97	0,032	0,177	18,25	3,3	-0,64	-0,95
10	1,15	0,055	0,300	26,2	4,7	-0,87	-0,24
15	1,21	0,066	0,208	17,1	5,4	0,83	-0,38
Двукратно весной 2024 и 2025 гг.							
Контроль	0,85	0,041	0,131	15,4	4,8	0,27	0,25
5	0,78	0,036	0,197	25,2	4,6	0,46	0,43
10	1,12	0,053	0,288	25,6	4,6	-0,61	-0,60
15	1,23	0,049	0,266	21,7	3,9	0,15	0,09

По данным, приведенным в таблице 5.17, можно сделать вывод, что на слабоокультуренной почве посевного отделения ПЛП №1 при внесении дозы ОМУ №1 15 т/га с посевом в 2024 г. получен достоверный положительный эффект на уровне 8% к контролю ($t_{15} = 2,16$, при $t_{кр}=1,98$; на уровне значимости $\alpha=0,05$). При дозах 5 и 10 т/га в посевах эффект отсутствует или не превышает статистической погрешности. При внесении разных доз ОМУ №2 в посевах весной 2024 г. установлено наличие положительного эффекта на уровне 8-10% к контролю ($t_5 = 2,29$, $t_{10} = 2,16$, $t_{15} = 2,71$; при $t_{кр}=1,98$; на уровне значимости $\alpha=0,05$). Следует отметить, что достоверных различий между диаметрами стволиков экспериментальных участков с разными дозами ОМУ №2 между собой не выявлено. На наш взгляд положительный эффект от внесения органоминерального удобрения №2 обеспечен входящим в его состав древесным углем. При проведении уходов за посевами в течение вегетационного периода 2024 г. установлено, что на опытных участках, где внесено ОМУ №2

механический состав почвы улучшался. Дальнейшее подтверждение этому наблюдению было получено при изучении параметров посадочного материала собранного в 2025 г. При однократном внесении ОМУ №2 диаметр стволика у корневой шейки в среднем был на 10% выше, чем на аналогичных участках с внесенными дозами ОМУ №1.

Анализ собранного экспериментального материала за 2025 г. показал, что при однократном внесении ОМУ №1 в дозировках 5-15 т/га получен достоверный положительный эффект на уровне: 17, 16, 36% к значению диаметра корневой шейки в контроле. Причем, различий в положительном эффекте при внесении дозы 5 и 10 т/га не установлено. При внесении дозы 15 т/га эффект от внесения достоверно различался с дозами 5 и 10 т/га и составил 18 и 19% соответственно.

При однократном и двукратном внесении ОМУ №2 в дозе 5 т/га эффект не выявлен различия с контролем находятся на уровне погрешности. При однократно внесенном ОМУ №2 в дозах 10 и 15 т/га получен достоверный положительный эффект на уровне 20 и 26% к контролю. При двукратном внесении тех же доз также получен положительный эффект, который оказался более значительным 32 и 45% к контролю. Полученные данные свидетельствуют, что при двукратном внесении 10 и 15 т/га ОМУ №2 удалось достичь значимого увеличения диаметра корневой шейки на 12 и 19% по сравнению с однократным внесением.

В целом можно констатировать, что при максимальных дозах внесенных органоминеральных удобрений однократно и двукратно диаметр корневой шейки близок к требуемому нормативным документом значению (Об утверждении Правил..., 2021), но не достаточен, что подтверждает установившийся на практике трех-, четырехлетний срок выращивания посадочного материала ели сибирской.

5.4. Фитомасса и длина хвои сеянцев сосны обыкновенной и ели сибирской

Изучение изменения фитомассы сеянцев сосны и ели при использовании органоминеральных удобрений является важным аспектом оценки их качества. Данный показатель отражает количество живого органического вещества, накопленного в органах растения и используется для оценки роста и развития сеянцев сосны и ели (Фрейберг и др., 1998; 2003).

Оптимальные дозы внесенных органоминеральных удобрений, содержащих азот, положительно сказываются на линейном росте сеянцев, тогда как внесение больших доз азотных удобрений при низком уровне фосфорно-калийного питания может вызвать значительное увеличение размеров хвои на фоне низких темпов образования пластинчатых веществ (Биологические особенности..., 2025).

Ускоренное накопление элементов минерального питания происходит у сеянцев в хвое. Исходя из этого представляется интересным изучение длины хвои при использовании органоминеральных удобрений, так как ее увеличение приводит к увеличению площади, которая в свою очередь усиливает фотосинтезирующую деятельность. По результатам определения фитомассы отдельных элементов растений для однолетних сеянцев сосны и двухлетних сеянцев ели выполнен расчет отношения надземной фитомассы к подземной ($M_{\text{надз}}/M_{\text{подз}}$). Данный показатель является важной диагностической величиной, характеризующей гармоничное развитие сеянцев, и результативность их использования на лесокультурных площадях (Родин и др., 1974; Смирнов, 1975; Миронов, 1977). Экспериментальные материалы по оценке длины хвои и фитомассы сеянцев приведены в таблицах 5.18-5.36.

При внесении ОМУ №1 в посевы сосны обыкновенной 2023 г. (табл. 5.18) установлено, что при разных дозировках длина хвои меняется незначительно. При внесении доз 5 и 10 т/га не выходит за пределы статистической погрешности при сравнении с контролем. При внесении дозы 15 т/га наблюда-

Таблица 5.18 – Длина хвои и фитомасса у двухлетних сеянцев сосны обыкновенной в Сухоложском ПЛП ГКУ СО «Сухоложское лесничество» при использовании ОМУ №1 (посевы 2023 г.)

Показатель	Длина хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{надз} / М _{подз}
		ко- рень	ство- лик	хвоя	над- зем- ная	общая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль							
Среднее значение, (X)	89,3	0,190	0,272	0,818	1,090	1,280	5,7
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,99	0,026	0,030	0,126	0,152	0,160	
Стандартное отклонение, (σ)	16,384	0,141	0,166	0,692	0,834	0,875	
Коэффициент вариации (V), %	18,35	74,21	61,03	84,60	76,51	68,36	
Точность среднего (P), %	3,35	13,55	11,14	15,45	13,97	12,48	
ОМУ №1, 5 т/га							
Среднее значение, (X)	84,4	0,155	0,348	0,910	1,258	1,413	8,1
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,82	0,013	0,027	0,081	0,105	0,111	
Стандартное отклонение, (σ)	15,452	0,072	0,148	0,441	0,575	0,609	
Коэффициент вариации (V), %	18,30	46,45	42,53	48,46	45,71	43,10	
Точность среднего (P), %	3,34	8,48	7,76	8,85	8,35	7,87	
ОМУ №1, 10 т/га							
Среднее значение, (X)	91,8	0,194	0,343	0,933	1,276	1,469	6,9
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	4,20	0,031	0,043	0,125	0,167	0,189	
Стандартное отклонение, (σ)	23,035	0,171	0,237	0,687	0,914	1,035	
Коэффициент вариации (V), %	25,08	88,14	69,10	73,63	71,63	70,46	
Точность среднего (P), %	4,58	16,09	12,62	13,44	13,08	12,86	
ОМУ №1, 15 т/га							
Среднее значение, (X)	107,0	0,28	0,555	1,446	2,001	2,281	7,1
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	3,46	0,031	0,064	0,186	0,247	0,263	
Стандартное отклонение, (σ)	18,992	0,171	0,349	1,021	1,352	1,443	
Коэффициент вариации (V), %	17,74	61,07	62,88	70,61	67,57	63,26	
Точность среднего (P), %	3,24	11,15	11,48	12,89	12,34	11,55	

ется увеличение длины хвои на 12% ($t_{15}=3,93$; при $t_{\text{ТАБЛ}}=2,02$, на уровне значимости $\alpha=0,05$). Показатели средней фитомассы сеянцев указывает, что при дозах 5 и 10 т/га последняя увеличивается на 14 и 16%. Значения фитомассы значительно варьируют. При дозе 15 т/га значения фитомассы увеличивается на 83%.

Почва в посевном отделении питомника имеет рыхлое сложение поэтому корни сеянцев проникают на значительную глубину, что затрудняет их выкопку без повреждений и дает ошибку при оценке. Поэтому при подготовке

корней сеянцев к определению фитомассы производили подрезку на уровне 20 см от корневой шейки. Фитомасса корней при дозах 5 и 10 т/га меняется незначительно и не превышает статистической погрешности при сравнении с контрольным опытом. Исключение составляет дозировка 15 т/га при ее внесении отмечено увеличение массы корней на 47% к контролю ($t_{15}=2,20$; при $t_{ТАБЛ}=2,02$, на уровне значимости $\alpha=0,05$). Важным показателем развития сеянцев является показатель отношения надземной фитомассы к подземной, но учитывая, что общая фитомасса корней не определялась данный параметр приведен, но не подвергается анализу.

Таблица 5.19 – Длина хвои и фитомасса у двухлетних сеянцев сосны обыкновенной в Сухоложском ПЛП ГКУ СО «Сухоложское лесничество» при использовании ОМУ №2 (посевы 2023 г.)

Показатель	Длина хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{НАДЗ} / М _{ПОДЗ}
		ко- рень	ство- лик	хвоя	над- зем- ная	общая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль							
Среднее значение, (X)	91,1	0,114	0,241	0,745	0,985	1,099	8,6
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	3,751	0,018	0,034	0,113	0,146	0,155	
Стандартное отклонение, (σ)	20,544	0,096	0,187	0,617	0,798	0,851	
Коэффициент вариации (V), %	22,54	84,21	77,92	82,82	81,02	77,43	
Точность среднего (P), %	4,11	15,37	14,23	15,12	14,79	14,14	
ОМУ №2, 5 т/га							
Среднее значение, (X)	90,4	0,108	0,220	0,683	0,903	1,011	8,3
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	3,042	0,013	0,020	0,076	0,095	0,098	
Стандартное отклонение, (σ)	16,66	0,07	0,11	0,416	0,518	0,537	
Коэффициент вариации (V), %	18,43	64,81	50,00	60,91	57,36	53,12	
Точность среднего (P), %	3,36	11,83	9,13	11,12	10,47	9,70	
ОМУ №2, 10 т/га							
Среднее значение, (X)	91,8	0,194	0,343	0,933	1,276	1,469	6,5
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	4,206	0,031	0,043	0,125	0,167	0,189	
Стандартное отклонение, (σ)	23,035	0,171	0,237	0,687	0,914	1,035	
Коэффициент вариации (V), %	25,08	88,14	69,10	73,63	71,63	70,46	
Точность среднего (P), %	4,58	16,09	12,62	13,44	13,08	12,86	
ОМУ №2, 15 т/га							
Среднее значение, (X)	106,7	0,250	0,489	1,320	1,809	2,059	7,2

1	2	3	4	5	6	7	8
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,724	0,032	0,098	0,199	0,293	0,318	
Стандартное отклонение, (σ)	14,919	0,176	0,538	1,09	1,606	1,741	
Коэффициент вариации (V), %	13,98	70,40	110,0	82,58	88,78	84,56	
Точность среднего (P), %	2,55	12,85	20,09	15,08	16,21	15,44	

Данные таблицы 5.19 показывают, что при внесении доз 5 и 10 т/га ОМУ № 2 длина хвои не меняется. При дозировке 15 т/га длина хвои достоверно выше на 16% чем в контрольном опыте. Надземная фитомасса незначительно различается при сравнении с контрольным показателем при дозах 5 и 10 т/га, тогда как при дозе 15 т/га последняя достоверно увеличивается на 16%. При изучении значений массы корней установлены достоверные различия с контрольным опытом при дозе 10 т/га ($t_{15}=2,23$, при $t_{ТАБЛ}=2,02$, на уровне значимости $\alpha=0,05$), в то же время при дозе 15 т/га масса корней увеличилась в 2,1 раза по сравнению с контролем. Общая фитомасса среднего сеянца по результатам обработки экспериментальных данных увеличивается по отношению к контролю при дозах 10 и 15 т/га на 34 и 87% соответственно.

Таблица 5.20 – Длина хвои и фитомасса у двухлетних сеянцев сосны обыкновенной в Сухоложском ПЛП ГКУ СО «Сухоложское лесничество» при использовании ОМУ №1 (посевы 2024 г.)

Показатель	Дли- на хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{НАДЗ} / М _{ПОДЗ}
		ко- рень	ство- лик	хвоя	над- зем ная	об- щая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль №1							
Среднее значение, (X)	23	0,029	0,014	0,052	0,066	0,095	2,3
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,5	0,003	0,001	0,003	0,004	0,005	
Стандартное отклонение, (σ)	4,059	0,020	0,007	0,022	0,028	0,038	
Коэффициент вариации (V), %	17,95	68,97	50,00	42,31	42,42	40,00	
Точность среднего (P), %	2,32	8,90	6,45	5,46	5,48	5,16	
ОМУ №1, 5 т/га							
Среднее значение, (X)	24	0,024	0,019	0,057	0,077	0,101	2,9
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,5	0,001	0,001	0,003	0,004	0,005	
Стандартное отклонение, (σ)	3,961	0,009	0,010	0,024	0,033	0,037	
Коэффициент вариации (V), %	16,57	37,50	52,63	42,11	42,86	36,63	

1	2	3	4	5	6	7	8
Точность среднего (P), %	2,14	4,84	6,79	5,44	5,53	4,73	
ОМУ №1, 10 т/га							
Среднее значение, (X)	25	0,028	0,023	0,071	0,093	0,121	3,3
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,4	0,001	0,001	0,004	0,005	0,005	
Стандартное отклонение, (σ)	3,589	0,011	0,010	0,031	0,038	0,042	
Коэффициент вариации (V), %	14,24	39,29	43,48	43,66	40,86	34,71	
Точность среднего (P), %	1,84	5,07	5,61	5,64	5,28	4,48	
ОМУ №1, 15 т/га							
Среднее значение, (X)	27	0,033	0,025	0,069	0,094	0,128	2,8
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,4	0,002	0,001	0,004	0,005	0,006	
Стандартное отклонение, (σ)	3,559	0,012	0,009	0,029	0,037	0,045	
Коэффициент вариации (V), %	13,30	36,36	36,00	42,03	39,36	35,16	
Точность среднего (P), %	1,72	4,69	4,65	5,43	5,08	4,54	

Интересным представляется внесение разных доз ОМУ №1 при посеве сосны обыкновенной. Данные, приведенные в таблице 5.20 показывают, что длина хвои однолетних сеянцев увеличивалась в зависимости от дозы на 4,3; 8,6 и 17%. Надземная фитомасса существенно увеличивалась по сравнению с контрольным опытом на 17, 41, 42% при дозах 5-15 т/га. Аналогичным образом изменяются данные общей фитомассы увеличение составило 6, 27 и 34%. Подземная фитомасса менялась незначительно. При дозировке 15 т/га фитомасса корней выше чем в контроле на 14%, однако различия не являются достоверными. Соотношение надземной фитомассы к подземной оптимально, как в контрольном опыте, так и в опытах с удобрениями.

Таблица 5.21 – Длина хвои и фитомасса сеянцев сосны обыкновенной в Сухоложском ПЛП ГКУ СО «Сухоложское лесничество» при использовании ОМУ №2 (посевы 2024 г.)

Показатель	Длина хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{надз} / М _{подз}
		ко- рень	ство- лик	хвоя	над- зем- ная	общая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль							
Среднее значение, (X)	24	0,03	0,021	0,064	0,085	0,115	2,8
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,466	0,002	0,001	0,003	0,004	0,005	

1	2	3	4	5	6	7	8
Стандартное отклонение, (σ)	3,607	0,013	0,010	0,024	0,033	0,039	
Коэффициент вариации (V), %	14,76	43,33	47,62	37,50	38,82	33,91	
Точность среднего (P), %	1,91	5,59	6,15	4,84	5,01	4,38	
ОМУ №2, 5 т/га							
Среднее значение, (X)	25	0,028	0,02	0,063	0,083	0,111	2,9
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,511	0,002	0,001	0,008	0,009	0,009	
Стандартное отклонение, (σ)	3,956	0,012	0,010	0,063	0,068	0,071	
Коэффициент вариации (V), %	15,65	42,86	50,00	100,00	81,93	63,96	
Точность среднего (P), %	2,02	5,53	6,45	12,91	10,58	8,26	
ОМУ №2, 10 т/га							
Среднее значение, (X)	28	0,03	0,027	0,075	0,102	0,132	3,4
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,609	0,002	0,002	0,005	0,006	0,006	
Стандартное отклонение, (σ)	4,716	0,012	0,014	0,035	0,045	0,047	
Коэффициент вариации (V), %	17,09	40,00	51,85	46,67	44,12	35,61	
Точность среднего (P), %	2,21	5,16	6,69	6,02	5,70	4,60	
ОМУ №2, 15 т/га							
Среднее значение, (X)	28	0,03	0,026	0,071	0,097	0,127	3,2
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,546	0,001	0,001	0,004	0,005	0,006	
Стандартное отклонение, (σ)	4,23	0,011	0,011	0,030	0,040	0,045	
Коэффициент вариации (V), %	15,24	36,67	42,31	42,25	41,24	35,43	
Точность среднего (P), %	1,97	4,73	5,46	5,45	5,32	4,57	

Длина хвои при внесении ОМУ № 2 в дозах: 5, 10 и 15 т/га увеличивалась на 4, 17 и 17% к контролю соответственно (табл. 5.21). Надземная фитомасса при дозировке 5 т/га имела небольшое снижение на 2,4%, что при заданном уровне значимости является погрешностью. При дозах 10 и 15 т/га получены значения на 20 и 17% превышающие контрольные значения, однако на заданном уровне значимости ($t_{10}=2,36$, $t_{15}=1,87$ при $t_{ТАБЛ}=1,98$ и $\alpha=0,05$) эффект, полученный при внесении дозы 15 т/га оказался недостоверным. Значения общей фитомассы при тех же дозировках существенно выше, чем в контрольном опыте на 15 и 10%. Масса корней при внесении указанных доз ОМУ №2 менялась незначительно и лежала в диапазоне $0,03 \pm 0,002$ г. для всех опытов, включая контрольный. Общая фитомасса среднего сеянца при дозировках 10 и 15 т/га увеличилась на 15 и 10% по сравнению с контролем. При дозировке 5 т/га

оказалась ниже на 3%, что не является статистически значимым. Как отмечалось ранее, важным при выращивании посадочного материала для лесовосстановления является отношение надземной фитомассы к подземной (Родин, 1975; Смирнов, 1975), при этом оптимальные значения находятся в пределах 2:1 – 3:1. При анализе данных о фитомассе сеянцев установлено, что оптимальные значения данного показателя выявлены в контрольном опыте и в опыте с дозировкой 5 т/га. Тогда как в опытах с дозами удобрения 10 и 15 т/га этот показатель выше оптимального. При схожих значениях подземной фитомассы во всех дозировках, надземная оказалась выше в опытах с дозами 10 и 15 т/га, что может быть обусловлено фактором внесения удобрения, содержащего азот в доступной для растений форме.

Таблица 5.22 – Длина хвои и фитомасса сеянцев сосны обыкновенной в Сухоложском ПЛП ГКУ СО «Сухоложское лесничество» (посевы 2024 г., внесено весной 2025 г.)

Показатель	Длина хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{надз} / М _{подз}
		ко- рень	ство- лик	хвоя	над- зем ная	об- щая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль							
Среднее значение, (X)	76	0,047	0,057	0,166	0,222	0,27	4,7
Стандартная ошибка, (±x)	2,390	0,004	0,005	0,016	0,021	0,024	
Стандартное отклонение, (σ)	13,09	0,023	0,026	0,088	0,113	0,134	
Коэффициент вариации (V), %	18,14	48,94	45,61	53,01	50,90	49,63	
Точность среднего (P), %	3,31	8,93	8,33	9,68	9,29	9,06	
ОМУ №1, 5 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	64	0,046	0,079	0,181	0,260	0,307	5,6
Стандартная ошибка, (±x)	2,0	0,004	0,008	0,018	0,026	0,029	
Стандартное отклонение, (σ)	11,231	0,024	0,046	0,096	0,14	0,161	
Коэффициент вариации (V), %	17,67	52,17	58,23	53,04	53,85	52,44	
Точность среднего (P), %	3,23	9,53	10,63	9,68	9,83	9,57	
ОМУ №1, 10 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	100	0,053	0,108	0,300	0,408	0,461	7,6
Стандартная ошибка, (±x)	1,7	0,005	0,007	0,026	0,032	0,036	
Стандартное отклонение, (σ)	9,807	0,025	0,037	0,14	0,174	0,198	
Коэффициент вариации (V), %	9,82	47,17	34,26	46,67	42,65	42,95	
Точность среднего (P), %	1,79	8,61	6,25	8,52	7,79	7,84	

1	2	3	4	5	6	7	8
ОМУ №1, 15 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	64	0,054	0,109	0,259	0,371	0,425	6,8
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	5,6	0,004	0,007	0,019	0,027	0,031	
Стандартное отклонение, (σ)	18,023	0,022	0,041	0,103	0,147	0,169	
Коэффициент вариации (V), %	28,01	41,04	37,61	39,77	39,62	39,76	
Точность среднего (P), %	8,86	7,49	6,87	7,26	7,23	7,26	
ОМУ №1, 5 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	85	0,063	0,084	0,267	0,35	0,413	5,5
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	1,9	0,004	0,006	0,016	0,021	0,024	
Стандартное отклонение, (σ)	10,406	0,021	0,032	0,086	0,116	0,129	
Коэффициент вариации (V), %	12,22	33,33	38,10	32,21	33,14	31,23	
Точность среднего (P), %	2,23	6,09	6,96	5,88	6,05	5,70	
ОМУ №1, 10 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	100	0,082	0,158	0,453	0,61	0,692	7,4
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	1,7	0,006	0,012	0,025	0,035	0,040	
Стандартное отклонение, (σ)	9,807	0,031	0,063	0,139	0,194	0,217	
Коэффициент вариации (V), %	9,82	37,80	39,87	30,68	31,80	31,36	
Точность среднего (P), %	1,79	6,90	7,28	5,60	5,81	5,73	
ОМУ №1, 15 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	79	0,055	0,105	0,306	0,410	0,466	6,8
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	3,2	0,005	0,010	0,037	0,047	0,051	
Стандартное отклонение, (σ)	17,875	0,030	0,055	0,202	0,255	0,28	
Коэффициент вариации (V), %	22,50	54,55	52,38	66,01	62,20	60,09	
Точность среднего (P), %	4,11	9,96	9,56	12,05	11,36	10,97	

При дозе 5 и 15 т/га внесенной однократно отмечено достоверное уменьшение длины хвои на 18% (табл. 5.22). При дозе 10 т/га, напротив получены убедительные данные об увеличении длины хвои на 15% ($t_{10}=2,49$; при $t_{\text{ТАБЛ}}=1,98$, $\alpha=0,05$). Надземная фитомасса при дозах 5, 10 и 15 т/га увеличивалась, на 18, 85 и 67% к контролю. Общая фитомасса при дозах 5-15 т/га увеличилась на 13, 70 и 57% к контрольному опыту. На опытных участках, где внесены ОМУ №1 повторно в 2025 г. наблюдалось увеличение длины хвои при дозах 5 и 10 т/га на 12 и 31% к контролю, тогда как при дозировке 15 т/га увеличение составило 4,4%, что не является значимым ($\alpha=0,05$). Анализ надземной фитомассы показал существенное увеличение на 70, 108 и 45% по сравнению с контрольным опытом. Общая фитомасса среднего сеянца пропорционально увеличивалась на 65, 96 и 38% при дозах 5-15 т/га по сравнению с контрольным

опытом. Масса корней у исследуемых сеянцев так же существенно менялась на 29 и 38% при дозах 5 и 10 т/га.

Таблица 5.23 – Длина хвои и фитомасса сеянцев сосны обыкновенной в Сухоложском ПЛП ГКУ СО «Сухоложское лесничество» (посевы 2024 г, внесение 2025 г.)

Показатель	Длина хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{надз} / М _{подз}
		ко- рень	ство- лик	хвоя	над- зем- ная	об- щая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль							
Среднее значение, (X)	94	0,192	0,334	0,922	1,256	1,449	6,5
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	3,1	0,014	0,040	0,074	0,107	0,121	
Стандартное отклонение, (σ)	17,469	0,078	0,217	0,406	0,588	0,661	
Коэффициент вариации (V), %	18,52	40,63	64,97	44,03	46,82	45,62	
Точность среднего (P), %	3,38	7,42	11,86	8,04	8,55	8,33	
ОМУ №2, 5 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	99	0,079	0,154	0,437	0,591	0,67	7,4
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	4,9	0,007	0,017	0,053	0,070	0,076	
Стандартное отклонение, (σ)	27,014	0,039	0,093	0,292	0,383	0,419	
Коэффициент вариации (V), %	27,18	49,37	60,39	66,82	64,81	62,54	
Точность среднего (P), %	4,96	9,01	11,03	12,20	11,83	11,42	
ОМУ № 2, 10 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	95	0,126	0,227	0,62	0,847	0,974	6,7
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,9	0,018	0,022	0,068	0,089	0,104	
Стандартное отклонение, (σ)	16,084	0,097	0,12	0,373	0,49	0,569	
Коэффициент вариации (V), %	16,89	76,98	52,86	60,16	57,85	58,42	
Точность среднего (P), %	3,08	14,06	9,65	10,98	10,56	10,67	
ОМУ № 2, 15 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	103	0,167	0,53	1,18	1,71	1,877	10,2
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,7	0,019	0,057	0,131	0,181	0,198	
Стандартное отклонение, (σ)	15,113	0,106	0,312	0,716	0,991	1,086	
Коэффициент вариации (V), %	14,58	63,47	58,87	60,68	57,95	57,86	
Точность среднего (P), %	2,66	11,59	10,75	11,08	10,58	10,56	
ОМУ № 2, 5 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	118	0,221	0,306	0,776	1,082	1,302	4,8
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	3,2	0,024	0,041	0,114	0,153	0,176	
Стандартное отклонение, (σ)	17,663	0,132	0,226	0,626	0,84	0,964	
Коэффициент вариации (V), %	14,91	59,73	73,86	80,67	77,63	74,04	
Точность среднего (P), %	2,72	10,90	13,48	14,73	14,17	13,52	
ОМУ № 2, 10 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	96	0,172	0,223	0,569	0,792	0,965	4,6
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	3,9	0,011	0,017	0,040	0,055	0,061	

1	2	3	4	5	6	7	8
Стандартное отклонение, (σ)	21,737	0,058	0,094	0,221	0,300	0,332	
Коэффициент вариации (V), %	22,56	33,72	42,15	38,84	37,88	34,40	
Точность среднего (P), %	4,12	6,16	7,70	7,09	6,92	6,28	
ОМУ № 2, 15 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	98	0,104	0,212	0,535	0,746	0,85	7,2
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,7	0,011	0,018	0,057	0,074	0,084	
Стандартное отклонение, (σ)	14,825	0,06	0,099	0,311	0,403	0,462	
Коэффициент вариации (V), %	15,10	57,69	46,70	58,13	54,02	54,35	
Точность среднего (P), %	2,76	10,53	8,53	10,61	9,86	9,92	

При использовании ОМУ №2 длина хвои семян при однократном внесении менялась следующим образом: при дозах 5 и 10 т/га незначительно увеличивалась, но средние значения не достоверно различаются с контрольным опытом (табл. 5.23). При дозе 15 т/га длина хвои выше на 10% ($t_{15}=2,22$; при $t_{\text{ТАБЛ}}=2,02$, $\alpha=0,05$). Надземная фитомасса при дозах 5 и 10 т/га существенно меньше, чем в контрольном опыте. То есть имеет место угнетение развития семян, однако при дозе 15 т/га получены данные о существенном приросте фитомассы на 37% при сравнении с контролем. Во всех опытах с однократным внесением ОМУ №2 подземная фитомасса оказалась меньше, чем в контрольном опыте. Общая фитомасса была достоверно больше, чем в контрольном опыте на 29%. По нашему мнению, внесение удобрений при посеве может иметь и негативные последствия. При двукратном внесении того же удобрения в дозе 5 т/га длина хвои существенно выше, чем в контрольном опыте на 25%. В то же время при дозе 10 т/га увеличение составило только 2,0%, а при 15 т/га 4,2%, что не является достоверным. Надземная фитомасса менялась следующим образом: 1,08, 0,79 и 0,76 г при дозах 5, 10 и 15 т/га. Все показатели существенно меньше, чем в контрольном опыте. Аналогичным образом менялась и общая фитомасса. Масса корней при двукратном внесении доз 5 т/га была существенно выше, чем в контроле и составила 15%. При дозе 10 и 15 т/га получены показатели существенно ниже, чем контрольные на 12% и на 54%.

Существенно отличаются анализируемые показатели семян сосны

обыкновенной при внесении ОМУ в более плодородные почвы в декоративном питомнике ООО «Калина Парк» (табл. 5.24).

Таблица 5.24 – Длина хвои и фитомасса сеянцев сосны обыкновенной в декоративном питомнике ООО «Калина Парк» при внесении ОМУ №1 (посевы 2024 г.)

Показатель	Длина хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{НАДЗ} / М _{ПОДЗ}
		ко- рень	ство- лик	хвоя	над- зем- ная	об- щая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль №1							
Среднее значение, (X)	28	0,046	0,039	0,092	0,131	0,176	2,8
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,4	0,003	0,001	0,003	0,004	0,006	
Стандартное отклонение, (σ)	3,778	0,022	0,008	0,026	0,033	0,048	
Коэффициент вариации (V), %	13,68	47,83	20,51	28,26	25,19	27,27	
Точность среднего (P), %	1,77	6,17	2,65	3,65	3,25	3,52	
ОМУ №1, 5 м/га							
Среднее значение, (X)	27	0,046	0,037	0,082	0,118	0,165	2,5
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,5	0,002	0,002	0,003	0,005	0,006	
Стандартное отклонение, (σ)	4,045	0,016	0,012	0,026	0,037	0,044	
Коэффициент вариации (V), %	14,82	34,78	32,43	31,71	31,36	26,67	
Точность среднего (P), %	1,91	4,49	4,19	4,09	4,05	3,44	
ОМУ №1, 10 м/га							
Среднее значение, (X)	29	0,054	0,053	0,103	0,156	0,211	2,8
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,4	0,003	0,001	0,003	0,003	0,005	
Стандартное отклонение, (σ)	3,334	0,022	0,010	0,020	0,027	0,040	
Коэффициент вариации (V), %	11,60	40,74	18,87	19,42	17,31	18,96	
Точность среднего (P), %	1,50	5,26	2,44	2,51	2,23	2,45	
ОМУ №1, 15 м/га							
Среднее значение, (X)	28	0,045	0,052	0,101	0,153	0,197	3,4
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,4	0,002	0,001	0,004	0,005	0,007	
Стандартное отклонение, (σ)	3,746	0,017	0,011	0,031	0,040	0,053	
Коэффициент вариации (V), %	13,19	37,78	21,15	30,69	26,14	26,90	
Точность среднего (P), %	1,70	4,88	2,73	3,96	3,38	3,47	

На культурных почвах декоративного питомника ООО «Калина Парк» внесение ОМУ №1 в разных дозах привело к незначительному, не превышающему пределов погрешности изменению длины хвои сеянцев (табл. 5.24). При

дозе 5 т/га внесенной при посеве надземная фитомасса не имела существенных отличий от контрольного значения. При внесенных ОМУ №1 в дозах 10 и 15 т/га прирост фитомассы составил 19 и 17% соответственно, при этом общая фитомасса сеянцев имеет значения 19 и 12%, что является достоверным на выбранном уровне значимости.

Масса корней менялась менее значительно при сравнении с контрольным опытом. Показатели лежат в пределах погрешности на заданном уровне значимости. Отношение надземной фитомассы к подземной в контрольном опыте и при дозах 5 и 10 т/га лежит в оптимальных пределах. При дозе 15 т/га – это отношение завышено, что, на наш взгляд, обусловлено повышенной концентрацией азота в почве за счет внесенного удобрения.

Несколько иные данные анализируемых показателей сеянцев сосны обыкновенной получены при внесении ОМУ №2 в декоративном питомнике ООО «Калина Парк» (табл. 5.25).

Таблица 5.25 – Длина хвои и фитомасса сеянцев сосны обыкновенной в декоративном питомнике ООО «Калина Парк» при внесении ОМУ №2 (посевы 2024 г.)

Показатель	Длина хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{надз} / М _{подз}
		ко- рень	ство- лик	хвоя	над- зем- ная	общая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль № 2							
Среднее значение, (X)	30	0,048	0,061	0,12	0,181	0,229	3,7
Стандартная ошибка, (±x)	0,4	0,002	0,001	0,002	0,002	0,003	
Стандартное отклонение, (σ)	3,779	0,017	0,008	0,014	0,019	0,026	
Коэффициент вариации (V), %	12,52	35,42	13,11	11,67	10,50	11,35	
Точность среднего (P), %	1,62	4,57	1,69	1,51	1,36	1,47	
ОМУ № 2, 5 т/га							
Среднее значение, (X)	32	0,065	0,07	0,147	0,218	0,282	3,3
Стандартная ошибка, (±x)	0,7	0,003	0,003	0,006	0,009	0,011	
Стандартное отклонение, (σ)	5,493	0,027	0,023	0,050	0,072	0,086	
Коэффициент вариации (V), %	17,36	41,54	32,86	34,01	33,03	30,50	

1	2	3	4	5	6	7	8
Точность среднего (P), %	2,24	5,36	4,24	4,39	4,26	3,94	
ОМУ № 2, 10 м/га							
Среднее значение, (X)	31	0,059	0,065	0,13	0,196	0,254	3,3
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,5	0,003	0,001	0,004	0,005	0,007	
Стандартное отклонение, (σ)	3,919	0,023	0,008	0,032	0,037	0,051	
Коэффициент вариации (V), %	12,66	38,98	12,31	24,62	18,88	20,08	
Точность среднего (P), %	1,63	5,03	1,59	3,18	2,44	2,59	
ОМУ № 2, 15 т/га							
Среднее значение, (X)	30	0,053	0,067	0,115	0,183	0,236	3,4
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,4	0,002	0,002	0,003	0,005	0,006	
Стандартное отклонение, (σ)	3,747	0,018	0,013	0,026	0,037	0,044	
Коэффициент вариации (V), %	12,33	33,96	19,40	22,61	20,22	18,64	
Точность среднего (P), %	1,59	4,38	2,50	2,92	2,61	2,41	

Как следует из данных таблицы 5.25 при внесении ОМУ №2 длина хвои при различных дозах внесенного удобрения не изменялась. Надземная фитомасса при дозах 5, 10 и 15 т/га увеличилась. Причем, при внесении доз 5 и 10 т/га увеличение составило 20 и 8%, что на заданном уровне значимости является достоверным. При дозе 15 т/га значение показателя лежит в пределах погрешности. Аналогичным образом менялась и общая фитомасса. Сухая масса корней при тех же дозировках увеличилась к контрольному значению на 35, 22 и 10%. Отношение надземной фитомассы к подземной не оптимально, расчетные значения выше, что на наш взгляд обусловлено высоким плодородием культурной почвы и дополнительно внесенными дозами органоминерального удобрения. Последнее особенно явно прослеживается при анализе двухлетних сеянцев (табл. 5.26).

При внесении органоминерального удобрения весной 2024 года анализ данных таблицы 5.26 показал, что длина хвои мало меняется под действием разных доз удобрения, расхождения с контрольным опытом при заданном уровне значимости несущественно. Надземная фитомасса при внесении ОМУ №1 однократно в дозах, установленных условиями эксперимента, уменьшалась по сравнению с контрольным опытом на 33, 23 и 63%. Аналогичную динамику имеет показатель общей фитомассы. Масса корней по сравнению с

Таблица 5.26 – Длина хвои и фитомасса двухлетних сеянцев сосны обыкновенной в декоративном питомнике ООО «Калина Парк» (посевы 2024 г., внесение ОМУ №1 в 2024 и 2025 гг.)

Показатель	Длина хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{надз} / М _{подз}
		ко- рень	ство- лик	хвоя	над- зем- ная	общая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль № 1							
Среднее значение, (X)	90	0,119	0,593	1,026	1,618	1,737	13,5
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	3,9	0,010	0,057	0,110	0,166	0,173	
Стандартное отклонение, (σ)	21,476	0,053	0,312	0,605	0,908	0,947	
Коэффициент вариации (V), %	23,81	44,54	52,61	58,97	56,12	54,52	
Точность среднего (P), %	4,35	8,13	9,61	10,77	10,25	9,95	
ОМУ № 1, 5 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	83	0,089	0,47	0,652	1,121	1,21	12,6
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,4	0,007	0,042	0,053	0,092	0,099	
Стандартное отклонение, (σ)	13,31	0,039	0,229	0,29	0,505	0,542	
Коэффициент вариации (V), %	15,96	43,82	48,72	44,48	45,05	44,79	
Точность среднего (P), %	2,91	8,00	8,90	8,12	8,22	8,18	
ОМУ № 1, 10 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	88	0,090	0,478	0,832	1,309	1,400	14,5
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,6	0,012	0,046	0,078	0,123	0,134	
Стандартное отклонение, (σ)	14,555	0,065	0,252	0,429	0,675	0,736	
Коэффициент вариации (V), %	16,46	72,22	52,72	51,56	51,57	52,58	
Точность среднего (P), %	3,00	13,19	9,63	9,41	9,41	9,60	
ОМУ № 1, 15 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	94	0,089	0,363	0,617	0,98	1,069	11,0
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	3,7	0,007	0,034	0,059	0,092	0,098	
Стандартное отклонение, (σ)	20,802	0,038	0,184	0,322	0,502	0,537	
Коэффициент вариации (V), %	22,17	42,70	50,69	52,19	51,22	50,23	
Точность среднего (P), %	4,05	7,80	9,25	9,53	9,35	9,17	
ОМУ № 15 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	81	0,119	0,605	0,883	1,488	1,607	12,5
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,6	0,013	0,057	0,092	0,148	0,160	
Стандартное отклонение, (σ)	14,408	0,072	0,311	0,505	0,810	0,879	
Коэффициент вариации (V), %	17,69	60,50	51,40	57,19	54,44	54,70	
Точность среднего (P), %	3,23	11,05	9,39	10,44	9,94	9,99	
ОМУ № 1, 10 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	94	0,113	0,589	0,988	1,578	1,691	13,9
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	4,8	0,015	0,064	0,117	0,179	0,193	
Стандартное отклонение, (σ)	26,488	0,084	0,35	0,642	0,983	1,058	
Коэффициент вариации (V), %	28,06	74,34	59,42	64,98	62,29	62,57	
Точность среднего (P), %	5,12	13,57	10,85	11,86	11,37	11,42	

1	2	3	4	5	6	7	8
ОМУ № 1, 15 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	85	0,125	0,598	0,937	1,535	1,66	12,3
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,571	0,012	0,046	0,086	0,129	0,139	
Стандартное отклонение, (σ)	14,08	0,065	0,253	0,469	0,706	0,759	
Коэффициент вариации (V), %	16,42	52,00	42,31	50,05	45,99	45,72	
Точность среднего (P), %	3,00	9,49	7,72	9,14	8,40	8,35	

контрольным опытом снижалась на 33, 34 и 32% к контрольному значению.

При двукратном внесении тех же доз удобрения длина хвои менялась незначительно. Показатели надземной, подземной и общей фитомассы оказались ниже, чем те же значения в контрольном опыте. При значительном варьировании данных показателей различия с контрольным опытом не достоверны на заданном уровне значимости.

Таблица 5.27 – Длина хвои и фитомасса сеянцев сосны обыкновенной в декоративном питомнике ООО «Калина Парк» (посевы 2024 г., внесение ОМУ №2 в 2024 и 2025 гг.)

Показатель	Длина хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{НАДЗ} / М _{ПОДЗ}
		ко- рень	ство- лик	хвоя	над- зем- ная	общая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль №2							
Среднее значение, (X)	70,35	0,092	0,541	0,739	1,28	1,372	13,9
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,604	0,009	0,046	0,059	0,103	0,111	
Стандартное отклонение, (σ)	14,265	0,049	0,252	0,322	0,562	0,608	
Коэффициент вариации (V), %	20,28	53,26	46,58	43,57	43,91	44,31	
Точность среднего (P), %	3,70	9,72	8,50	7,96	8,02	8,09	
ОМУ №2, 5 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	64,9	0,092	0,403	0,531	0,935	1,027	10,1
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	1,586	0,009	0,034	0,047	0,080	0,088	
Стандартное отклонение, (σ)	8,688	0,05	0,184	0,258	0,437	0,484	
Коэффициент вариации (V), %	13,39	54,35	45,66	48,59	46,74	47,13	
Точность среднего (P), %	2,44	9,92	8,34	8,87	8,53	8,60	
ОМУ №2, 10 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	77,6	0,148	0,763	1,093	1,856	2,004	12,5
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,036	0,011	0,051	0,065	0,109	0,117	
Стандартное отклонение, (σ)	11,152	0,061	0,278	0,354	0,595	0,641	
Коэффициент вариации (V), %	14,37	41,22	36,44	32,39	32,06	31,99	

1	2	3	4	5	6	7	8
Точность среднего (P), %	2,62	7,53	6,65	5,91	5,85	5,84	
ОМУ №2, 15 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	81	0,128	0,674	0,922	1,596	1,724	12,4
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,891	0,018	0,070	0,094	0,163	0,179	
Стандартное отклонение, (σ)	15,834	0,096	0,383	0,516	0,895	0,983	
Коэффициент вариации (V), %	19,55	75,00	56,82	55,97	56,08	57,02	
Точность среднего (P), %	3,57	13,69	10,37	10,22	10,24	10,41	
ОМУ №2, 5 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	59,35	0,092	0,544	0,694	1,238	1,33	13,4
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,048	0,009	0,044	0,068	0,112	0,120	
Стандартное отклонение, (σ)	11,215	0,052	0,24	0,374	0,612	0,66	
Коэффициент вариации (V), %	18,90	56,52	44,12	53,89	49,43	49,62	
Точность среднего (P), %	3,45	10,32	8,05	9,84	9,03	9,06	
ОМУ №2, 10 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	82,65	0,189	0,907	1,398	2,305	2,494	12,2
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	1,556	0,013	0,061	0,121	0,173	0,185	
Стандартное отклонение, (σ)	8,525	0,069	0,332	0,662	0,947	1,012	
Коэффициент вариации (V), %	10,31	36,51	36,60	47,35	41,08	40,58	
Точность среднего (P), %	1,88	6,67	6,68	8,65	7,50	7,41	
ОМУ №2, 15 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	86,45	0,178	0,783	1,218	2,001	2,179	11,2
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,532	0,014	0,055	0,082	0,132	0,145	
Стандартное отклонение, (σ)	13,867	0,079	0,301	0,45	0,724	0,792	
Коэффициент вариации (V), %	16,04	44,38	38,44	36,95	36,18	36,35	
Точность среднего (P), %	2,93	8,10	7,02	6,75	6,61	6,64	

При внесении ОМУ №2 однократно в вегетационный период 2024 года анализ данных, приведенных в таблице 5.27 показал, что длина хвои не существенно меняется под действием разных доз удобрения. Расхождения с контрольным опытом при заданном уровне значимости незначительны. Надземная фитомасса при внесении ОМУ №1 однократно в дозах, установленных условиями эксперимента, уменьшалась по сравнению с контрольным опытом на 33, 23 и 63%. Аналогичную динамику имеет показатель общей фитомассы. Масса корней по сравнению с контрольным опытом снизилась на 33, 34 и 32% к контрольному значению.

При двукратном внесении тех же доз удобрения длина хвои менялась существенно при дозах 10 и 15 т/га разница с контрольным значением составила 10 и 15%, что на заданном уровне значимости является достоверным. При

дозе ОМУ №2 5 т/га показатели надземной, подземной и общей фитомассы оказались практически одинаковыми с контрольным опытом (различия составили не более 3%). Дозировки 10 и 15 т/га выразились существенным увеличением показателей надземной, подземной и общей фитомассы. Так, общая фитомасса сеянца по сравнению с контрольным значением увеличилась на 81 и 51%. Аналогичные показатели имеют надземная и подземная фитомассы.

Данные о влиянии внесения ОМУ №1 в ПЛП №2 Балтымского участкового лесничества ГКУ СО «Березовское лесничество» приведены в табл. 5.28.

Таблица 5.28 – Длина хвои и фитомасса сеянцев сосны обыкновенной в ПЛП №2 ГКУ СО «Березовское лесничество» при использовании ОМУ №1 (посевы 2024 г.)

Показатель	Длина хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{НАДЗ} / М _{ПОДЗ}
		ко- рень	ство- лик	хвоя	над- зем- ная	общая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль №1							
Среднее значение, (X)	24	0,041	0,033	0,082	0,115	0,156	2,8
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,6	0,002	0,002	0,005	0,007	0,008	
Стандартное отклонение, (σ)	5,38	0,014	0,017	0,037	0,053	0,061	
Коэффициент вариации (V), %	22,45	34,15	51,52	45,12	46,09	39,10	
Точность среднего (P), %	2,90	4,41	6,65	5,83	5,95	5,05	
ОМУ №1, 5 т/га							
Среднее значение, (X)	24	0,046	0,03	0,074	0,104	0,150	2,3
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,5	0,003	0,002	0,003	0,005	0,006	
Стандартное отклонение, (σ)	4,127	0,020	0,015	0,027	0,039	0,049	
Коэффициент вариации (V), %	17,24	43,48	50,00	36,49	37,50	32,67	
Точность среднего (P), %	2,23	5,61	6,45	4,71	4,84	4,22	
ОМУ №1, 10 т/га							
Среднее значение, (X)	24	0,045	0,034	0,08	0,113	0,158	2,5
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,6	0,002	0,002	0,005	0,007	0,008	
Стандартное отклонение, (σ)	5,25	0,019	0,017	0,038	0,053	0,064	
Коэффициент вариации (V), %	22,04	42,22	50,00	47,50	46,90	40,51	
Точность среднего (P), %	2,84	5,45	6,45	6,13	6,06	5,23	
ОМУ №1, 15 т/га							
Среднее значение, (X)	23	0,037	0,029	0,067	0,096	0,133	2,6

1	2	3	4	5	6	7	8
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,5	0,002	0,001	0,004	0,005	0,006	
Стандартное отклонение, (σ)	4,461	0,015	0,010	0,028	0,035	0,044	
Коэффициент вариации (V), %	19,35	40,54	34,48	41,79	36,46	33,08	
Точность среднего (P), %	2,50	5,23	4,45	5,40	4,71	4,27	

При внесении в почву ОМУ №1 однократно в вегетационный период 2024 года анализ данных, приведенных в таблице 5.28 показал, что длина хвои практически не изменялась, расхождения с контрольным опытом при заданном уровне значимости несущественно. Надземная фитомасса незначительно снижалась и при дозах 5, 10 и 15 т/га была меньше контроля на 10, 2 и 16% соответственно. Фитомасса корней при этом увеличивалась в опытах с дозами 5 и 10 т/га на 12 и 10%. При внесении дозы 15 т/га была ниже на 10% чем в контрольном опыте. Общая фитомасса при дозах 5 и 10 т/га менялась не более чем на 4% к аналогичному значению в контрольном опыте, что при заданном уровне значимости не является достоверным. При дозе 15 т/га общая фитомасса оказалась ниже на 16% чем в контроле. Соотношение надземной фитомассы к подземной оптимально, как в контрольном опыте, так и в опытах с удобрениями.

Несколько лучшие закономерности наблюдаются при внесении ОМУ №2 (табл. 5.29).

Внесение ОМУ №2 в слабоокультуренные почвы лесного питомника показало незначительные изменения длины хвои в опытах с разными дозами удобрений, последняя превышала на 6, 3 и 5% контрольное значение, что на выбранном уровне значимости не является достоверным. Надземная фитомасса менялась на 2-6% к контролю, что также незначительно на статистически достоверном уровне. Фитомасса корней была несколько ниже, чем в контрольном опыте и при дозах 5, 10 и 15 т/га составила 14, 9 и 30% к контролю, это указывает, что развитие корневой системы при внесении удобрений происходило менее интенсивно. Следует отметить, что с увеличением дозы удобрения показатели, надземной, подземной и общей фитомассы снижались, при

Таблица 5.29 – Длина хвои и фитомасса однолетних сеянцев сосны обыкновенной в ПЛП №2 Балтынского участкового лесничества ГКУ СО «Березовское лесничество» при внесении ОМУ №2 (посевы 2024 г.)

Показатель	Длина хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{надз} / М _{подз}
		ко- рень	ство- лик	хвоя	над зем- ная	общая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль № 2							
Среднее значение, (X)	24	0,048	0,033	0,078	0,13	0,178	2,7
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,5	0,003	0,001	0,003	0,004	0,005	
Стандартное отклонение, (σ)	4,342	0,022	0,011	0,026	0,030	0,040	
Коэффициент вариации (V), %	18,31	45,83	33,33	33,33	23,08	22,47	
Точность среднего (P), %	2,36	5,92	4,30	4,30	2,98	2,90	
ОМУ №2, 5 т/га							
Среднее значение, (X)	25	0,042	0,037	0,081	0,134	0,176	3,2
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,8	0,003	0,002	0,004	0,005	0,007	
Стандартное отклонение, (σ)	6,573	0,021	0,018	0,032	0,041	0,053	
Коэффициент вариации (V), %	26,10	50,00	48,65	39,51	30,60	30,11	
Точность среднего (P), %	3,37	6,45	6,28	5,10	3,95	3,89	
ОМУ №2, 10 т/га							
Среднее значение, (X)	25	0,044	0,036	0,076	0,126	0,171	2,8
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,6	0,003	0,002	0,003	0,004	0,006	
Стандартное отклонение, (σ)	4,855	0,023	0,014	0,027	0,033	0,047	
Коэффициент вариации (V), %	19,79	52,27	38,89	35,53	26,19	27,49	
Точность среднего (P), %	2,55	6,75	5,02	4,59	3,38	3,55	
ОМУ №2, 15 т/га							
Среднее значение, (X)	25	0,037	0,033	0,074	0,122	0,159	3,2
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,5	0,003	0,001	0,003	0,004	0,006	
Стандартное отклонение, (σ)	4,521	0,020	0,009	0,025	0,034	0,045	
Коэффициент вариации (V), %	18,13	54,05	27,27	33,78	27,87	28,30	
Точность среднего (P), %	2,34	6,98	3,52	4,36	3,60	3,65	

этом при дозировке 15 т/га эти показали достоверно ниже, чем в контрольном опыте.

Анализ соотношения надземной фитомассы к подземной имеет оптимальные значения в контрольном опыте и на участке с внесенной дозой 10 т/га. Тогда как при дозировке 5 и 15 т/га этот показатель незначительно превышает верхний предел оптимального соотношения.

Наибольший интерес с практической точки зрения представляют результаты измерений длины хвои, надземной, подземной и общей фитомассы у двухлетних сеянцев сосны обыкновенной. Данные о выращенных в постоянном лесном питомнике №2 на территории Балтымского участкового лесничества ГКУ СО «Березовского лесничества» сеянцах приведены в таблице 5.30.

Таблица 5.30 – Длина хвои и фитомасса двухлетних сеянцев сосны обыкновенной в ПЛП №2 ГКУ СО «Березовское лесничество» при внесении ОМУ №1 в 2024 и 2025 гг.

Показатель	Длина хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{надз} / М _{подз}
		ко- рень	ство- лик	хвоя	над- зем- ная	об- щая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль № 1							
Среднее значение, (X)	76	0,146	0,184	0,446	0,63	0,776	4,3
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	3,0	0,012	0,016	0,037	0,048	0,057	
Стандартное отклонение, (σ)	16,784	0,064	0,088	0,201	0,264	0,314	
Коэффициент вариации (V), %	21,98	43,84	47,83	45,07	41,90	40,46	
Точность среднего (P), %	4,01	8,00	8,73	8,23	7,65	7,39	
ОМУ № 1, 5 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	79	0,256	0,278	0,598	0,876	1,132	3,4
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,9	0,026	0,031	0,098	0,127	0,152	
Стандартное отклонение, (σ)	16,359	0,145	0,17	0,536	0,693	0,833	
Коэффициент вариации (V), %	20,58	56,64	61,15	89,63	79,11	73,59	
Точность среднего (P), %	3,76	10,34	11,16	16,36	14,44	13,44	
ОМУ № 1, 10 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	81	0,229	0,246	0,498	0,743	0,973	3,2
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,1	0,023	0,029	0,039	0,068	0,090	
Стандартное отклонение, (σ)	11,937	0,125	0,159	0,216	0,372	0,494	
Коэффициент вариации (V), %	14,66	54,59	64,63	43,37	50,07	50,77	
Точность среднего (P), %	2,68	9,97	11,80	7,92	9,14	9,27	
ОМУ № 1, 15 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	79	0,252	0,265	0,46	0,725	0,977	2,8
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	3,1	0,016	0,017	0,049	0,064	0,076	
Стандартное отклонение, (σ)	17,177	0,087	0,094	0,268	0,349	0,419	
Коэффициент вариации (V), %	21,77	34,52	35,47	58,26	48,14	42,89	
Точность среднего (P), %	3,97	6,30	6,48	10,64	8,79	7,83	
ОМУ № 1, 5 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	74	0,343	0,339	0,559	0,898	1,241	2,6
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,8	0,035	0,028	0,041	0,066	0,100	
Стандартное отклонение, (σ)	15,553	0,194	0,154	0,226	0,361	0,549	
Коэффициент вариации (V), %	20,92	56,56	45,43	40,43	40,20	44,24	

Окончание таблицы 5.30

1	2	3	4	5	6	7	8
Точность среднего (P), %	3,82	10,33	8,29	7,38	7,34	8,08	
ОМУ № 1, 10 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	72	0,306	0,366	0,651	1,017	1,324	3,3
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,7	0,028	0,031	0,045	0,070	0,095	
Стандартное отклонение, (σ)	15,266	0,156	0,171	0,247	0,384	0,523	
Коэффициент вариации (V), %	21,23	50,98	46,72	37,94	37,76	39,50	
Точность среднего (P), %	3,88	9,31	8,53	6,93	6,89	7,21	
ОМУ № 1, 15 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	98	0,202	0,258	0,624	0,882	1,085	4,3
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	3,3	0,018	0,018	0,046	0,058	0,072	
Стандартное отклонение, (σ)	18,588	0,100	0,098	0,252	0,317	0,394	
Коэффициент вариации (V), %	19,00	49,50	37,98	40,38	35,94	36,31	
Точность среднего (P), %	3,47	9,04	6,93	7,37	6,56	6,63	

При внесении ОМУ №1 однократно в вегетационный период 2024 года анализ данных таблицы 5.30 показал, что длина хвои меняется под действием разных доз удобрения несущественно, показатели увеличились на 4, 6 и 3% к контролю, что на заданном уровне значимости ($\alpha=0,05$) несущественно. Надземная фитомасса при внесении ОМУ №1 однократно в дозах, установленных условиями эксперимента, по сравнению с контрольным опытом увеличилась на 38, 18 и 15% изменения достоверны на заданном уровне значимости. Подземная фитомасса при тех же дозировках значительно увеличивалась на 75, 56 и 57% к контрольному значению. При этом аналогичную динамику имеет показатель общей фитомассы, увеличение составило 70, 25 и 57% к контролю. Результаты расчета соотношения надземной фитомассы к подземной показывают, что в контрольном опыте данное соотношение выше оптимального. При внесении доз удобрений 5-15 т/га однократно показатель ближе к оптимуму.

При двукратном внесении тех же доз удобрения длина хвои менялась не существенно при дозах 5 и 10 т/га. Однако при дозе 15 т/га данный показатель выше контрольного на 28%. Надземная фитомасса во всех опытах значительно выше контрольного значения на 42, 61 и 40%. При этом фитомасса корней выше значения контрольного опыта на: 135, 109 и 38%, общая фитомасса

на 59, 70 и 40%. Соотношения надземной фитомассы к подземной при дозе 5 т/га оптимально, при дозах 10 и 15 т/га выше оптимального.

Несколько иные значения экспериментальных данных получены при внесении различных дозировок органоминерального удобрения №2. Данные приведены в таблице 5.31.

Таблица 5.31 – Длина хвои и фитомасса сеянцев сосны обыкновенной в ПЛП №2 Балтымского участкового лесничества ГКУ СО «Березовское лесничество» (посевы 2024 г., ОМУ №2 внесено в 2024 и 2025 гг.)

Показатель	Длина хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{надз} / М _{подз}
		ко- рень	ство- лик	хвоя	над- зем- ная	общая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль №2							
Среднее значение, (X)	84,9	0,148	0,162	0,479	0,641	0,789	4,3
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,392	0,128	0,162	0,386	0,547	0,663	
Стандартное отклонение, (σ)	13,102	0,082	0,083	0,24	0,311	0,385	
Коэффициент вариации (V), %	15,43	55,41	51,23	50,10	48,52	48,80	
Точность среднего (P), %	2,82	10,12	9,35	9,15	8,86	8,91	
ОМУ №2, 5 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	86,5	0,227	0,349	0,581	0,929	1,157	4,0
Стандартная ошибка, $\pm x$	4,315	0,021	0,033	0,076	0,095	0,112	
Стандартное отклонение, σ	23,634	0,114	0,181	0,414	0,519	0,616	
Коэффициент вариации (V), %	27,32	50,22	51,86	71,26	55,87	53,24	
Точность среднего, P	4,99	9,17	9,47	13,01	10,20	9,72	
ОМУ №2, 10 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	110,25	0,399	0,534	1,132	1,666	2,065	4,2
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	3,923	0,033	0,051	0,104	0,151	0,178	
Стандартное отклонение, (σ)	21,487	0,182	0,278	0,567	0,825	0,974	
Коэффициент вариации (V), %	19,49	45,61	52,06	50,09	49,52	47,17	
Точность среднего (P), %	3,56	8,33	9,50	9,14	9,04	8,61	
ОМУ №2, 15 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	59,7	0,296	0,46	0,61	1,07	1,366	3,6
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,248	0,022	0,042	0,056	0,096	0,116	
Стандартное отклонение, (σ)	12,311	0,121	0,23	0,306	0,524	0,637	
Коэффициент вариации (V), %	20,62	40,88	50,00	50,16	48,97	46,63	
Точность среднего (P), %	3,76	7,46	9,13	9,16	8,94	8,51	
ОМУ №2, 5 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	65,3	0,215	0,242	0,422	0,664	0,879	4,6
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,379	0,015	0,017	0,026	0,039	0,052	
Стандартное отклонение, (σ)	13,032	0,084	0,091	0,145	0,211	0,287	

1	2	3	4	5	6	7	8
Коэффициент вариации (V), %	19,96	39,07	37,60	34,36	31,78	32,65	
Точность среднего (P), %	3,64	7,13	6,87	6,27	5,80	5,96	
ОМУ № 2, 10 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	89,55	0,229	0,246	0,498	0,743	0,973	3,2
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	3,738	0,015	0,021	0,040	0,059	0,072	
Стандартное отклонение, (σ)	20,473	0,083	0,115	0,218	0,323	0,394	
Коэффициент вариации (V), %	22,86	36,24	46,75	43,78	43,47	40,49	
Точность среднего (P), %	4,17	6,62	8,53	7,99	7,94	7,39	
ОМУ № 2, 10 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	89,55	0,229	0,246	0,498	0,743	0,973	3,2
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	3,738	0,015	0,021	0,040	0,059	0,072	
Стандартное отклонение, (σ)	20,473	0,083	0,115	0,218	0,323	0,394	
Коэффициент вариации (V), %	22,86	36,24	46,75	43,78	43,47	40,49	
Точность среднего (P), %	4,17	6,62	8,53	7,99	7,94	7,39	
ОМУ № 2, 15 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	90,35	0,185	0,226	0,476	0,702	0,887	3,8
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	2,957	0,013	0,014	0,029	0,041	0,049	
Стандартное отклонение, (σ)	16,195	0,071	0,079	0,159	0,222	0,268	
Коэффициент вариации (V), %	17,92	38,38	34,96	33,40	31,62	30,21	
Точность среднего (P), %	3,27	7,01	6,38	6,10	5,77	5,52	

Внесение ОМУ №2 однократно показало, что длина хвои меняется в опыте с дозами 5 и 10 т/га на 2 и 30%, а при дозе 15 т/га уменьшается на 70%. Надземная фитомасса в дозах, установленных условиями эксперимента, по сравнению с контрольным опытом увеличилась на 45, 159 и 67%. Подземная фитомасса при тех же дозировках увеличивалась на 53, 169 и 100% к контрольному значению. При этом аналогичную динамику имеет показатель общей фитомассы увеличение составило: 32, 161 и 73% к контролю. Результаты расчетов соотношения надземной фитомассы к подземной показывают, что при внесении удобрений последние выше оптимального.

При двукратном внесении тех же доз удобрения длина хвои была меньше на 23% при минимальной дозе и выше на 5 и 6% при дозах 5 и 10 т/га. Надземная фитомасса во всех опытах выше контрольного значения на 4, 16 и 10%. Фитомасса корней выше значения контрольного опыта на: 45, 55 и 25%, общая фитомасса на 11, 23 и 12% выше, чем в контроле. Соотношения надземной фитомассы к подземной во всех экспериментах с дозировками удобрения

выше оптимального.

Влияние органоминеральных удобрений на длину хвои и фитомассу у сеянцев ели сибирской показано в таблице 5.32.

Таблица 5.32 – Длина хвои и фитомасса двухлетних сеянцев ели сибирской в ПЛП №1 ГКУ СО «Березовское лесничество» при внесении ОМУ №1 (посевы 2022 г.)

Показатель	Длина хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{надз} / М _{подз}
		ко- рень	ство- лик	хвоя	над- зем- ная	общая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль №1							
Среднее значение, (X)	12	0,158	0,142	0,221	0,363	0,521	2,3
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,3	0,017	0,011	0,018	0,029	0,035	
Стандартное отклонение, (σ)	1,817	0,092	0,061	0,097	0,158	0,191	
Коэффициент вариации (V), %	15,55	58,23	42,96	43,89	43,53	36,66	
Точность среднего (P), %	2,84	10,63	7,84	8,01	7,95	6,69	
ОМУ №1, 5 т/га							
Среднее значение, (X)	13	0,148	0,157	0,219	0,376	0,524	2,5
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,3	0,010	0,009	0,013	0,022	0,024	
Стандартное отклонение, (σ)	2,083	0,053	0,051	0,069	0,119	0,131	
Коэффициент вариации (V), %	15,78	35,81	32,48	31,51	31,65	25,00	
Точность среднего (P), %	2,88	6,54	5,93	5,75	5,78	4,56	
ОМУ №1, 10 т/га							
Среднее значение, (X)	13	0,189	0,214	0,34	0,554	0,743	1,2
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,4	0,011	0,016	0,023	0,039	0,042	
Стандартное отклонение, (σ)	2,149	0,062	0,088	0,126	0,212	0,229	
Коэффициент вариации (V), %	17,10	32,80	41,12	37,06	38,27	30,82	
Точность среднего (P), %	3,12	5,99	7,51	6,77	6,99	5,63	
ОМУ №1, 15 т/га							
Среднее значение, (X)	14	0,217	0,283	0,377	0,66	0,877	3,0
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,4	0,020	0,025	0,031	0,056	0,059	
Стандартное отклонение, (σ)	2,191	0,108	0,137	0,17	0,307	0,321	
Коэффициент вариации (V), %	15,59	49,77	48,41	45,09	46,52	36,60	
Точность среднего (P), %	2,85	9,09	8,84	8,23	8,49	6,68	

Удобрения, внесенные в 2024 г. в посевы ели сибирской 2022 г. показывают существенные изменения в исследуемых показателях. Длина хвои во

всех вариантах опыта с заданными дозировками увеличилась на 13, 7, 20% к контролю. Надземная фитомасса также с ростом дозы удобрения увеличивается на 3,5; 53 и 81% к контролю. Фитомасса корней менялась следующим образом, при дозе 5 т/га снизилась на 7%, что на заданном уровне значимости не является достоверным, при дозах 10 и 15 т/га увеличение составило 20 и 37% к контрольному опыту. Общая фитомасса во всех опытах с удобрением оказалась выше на 3,5; 36 и 81%. Соотношение надземной фитомассы к подземной во всех опытах оптимальное.

Данные об эффективности внесения ОМУ №2 в посевы ели сибирской 2022 г. представлены в таблице 5.33.

Таблица 5.33 – Длина хвои и фитомасса двухлетних сеянцев ели сибирской в ПЛП №1 Березовского участкового лесничества ГКУ СО «Березовское лесничество» при внесении ОМУ №2 (посевы 2022 г.)

Показатель	Длина хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{надз} / М _{подз}
		ко- рень	ство- лик	хвоя	над- зем- ная	об- щая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Осенью 2024 г							
Контроль №2							
Среднее значение, (X)	15	0,216	0,297	0,454	0,751	0,967	3,4
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,4	0,018	0,034	0,047	0,081	0,090	
Стандартное отклонение, (σ)	2,337	0,101	0,184	0,260	0,444	0,494	
Коэффициент вариации (V), %	16,04	46,76	61,95	57,27	59,12	51,09	
Точность среднего (P), %	2,93	8,54	11,31	10,46	10,79	9,33	
ОМУ №2, 5 т/га							
Среднее значение, (X)	14	0,206	0,308	0,444	0,752	0,958	3,6
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,3	0,014	0,022	0,032	0,054	0,056	
Стандартное отклонение, (σ)	1,887	0,078	0,123	0,177	0,298	0,308	
Коэффициент вариации (V), %	13,03	37,86	39,94	39,86	39,63	32,15	
Точность среднего (P), %	2,38	6,91	7,29	7,28	7,23	5,87	
ОМУ №2, 10 т/га							
Среднее значение, (X)	17	0,28	0,337	0,479	0,816	1,096	2,9
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,4	0,017	0,032	0,037	0,068	0,076	
Стандартное отклонение, (σ)	2,42	0,091	0,175	0,203	0,375	0,417	
Коэффициент вариации (V), %	14,04	32,50	51,93	42,38	45,96	38,05	

1	2	3	4	5	6	7	8
Точность среднего (P), %	2,56	5,93	9,48	7,74	8,39	6,95	
ОМУ №2, 15 т/га							
Среднее значение, (X)	16	0,404	0,447	0,558	1,005	1,409	2,5
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,5	0,035	0,035	0,045	0,079	0,082	
Стандартное отклонение, (σ)	2,876	0,194	0,192	0,245	0,435	0,448	
Коэффициент вариации (V), %	17,75	48,02	42,95	43,91	43,28	31,80	
Точность среднего (P), %	3,24	8,77	7,84	8,02	7,90	5,81	

Результаты, приведенные в таблице 5.33 показывают, что длина хвои при внесении дозы ОМУ №2 5 т/га не отличается от контрольного расхождения составило менее 1%. При дозах 10 и 15 т/га длина хвои увеличивалась на 18 и 11% к контролю соответственно. Надземная фитомасса при дозировке 5 т/га показала небольшое снижение на 3%, что при заданном уровне значимости является погрешностью. При дозах 10 и 15 т/га получены значения на 5,4 и 29% превышающие контрольные значения, однако на заданном уровне значимости ($t_5=0,40$, $t_{10}=2,02$ при $t_{\text{ТАБЛ}}=1,98$ и $\alpha=0,05$) эффект, полученный при внесении дозы 10 т/га оказался недостоверным. Масса корней при внесении указанных доз ОМУ №2 менялась следующим образом: при внесении 5 т/га имело место снижение на 13% к контролю. При дозах 10 и 15 т/га получены данные о приросте фитомассы корней на 20 и 72%. Значения общей фитомассы при тех же дозировках выше, на 9 и 41% по сравнению с контролем. При анализе сеянцев установлено, что оптимальные значения соотношения надземной фитомассы к подземной получены для доз 10 и 15 т/га. В контрольном опыте и в опыте с дозировкой 5 т/га данное соотношение выше оптимального.

Интересные данные получены при изучении влияния различных доз ОМУ №1 при внесении их в посевное отделение ПЛП №1 Березовского участкового лесничества при выращивании ели сибирской (табл. 5.34).

Из данных, приведенных в таблице 5.34 следует, что длина хвои при внесении дозы ОМУ №1 от 5 и 10 т/га практически не меняется. При дозе 15 т/га на 10% увеличивается к контролю. Надземная фитомасса менялась значи-

Таблица 5.34 – Длина хвои и фитомасса двухлетних сеянцев ели сибирской в ПЛП №1 Березовского участкового лесничества ГКУ СО «Березовское лесничество» при внесении ОМУ №1 (посевы 2024 г.)

Показатель	Длина хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{НАДЗ} / М _{ПОДЗ}
		ко- рень	ство- лик	хвоя	над- зем ная	об- щая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль №1							
Среднее значение, (X)	10	0,008	0,008	0,021	0,03	0,038	3,7
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,1	0,000	0,0002	0,001	0,001	0,001	
Стандартное отклонение, (σ)	0,989	0,003	0,002	0,004	0,006	0,006	
Коэффициент вариации (V), %	9,98	37,50	25,00	19,05	20,00	15,79	
Точность среднего (P), %	1,29	4,84	3,23	2,46	2,58	2,04	
ОМУ №1, 5 т/га							
Среднее значение, (X)	10	0,006	0,007	0,016	0,023	0,029	3,8
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,3	0,000	0,0002	0,001	0,001	0,001	
Стандартное отклонение, (σ)	1,644	0,002	0,001	0,003	0,004	0,005	
Коэффициент вариации (V), %	16,33	33,33	14,29	18,75	17,39	17,24	
Точность среднего (P), %	2,98	6,09	2,61	3,42	3,18	3,15	
ОМУ №1, 10 т/га							
Среднее значение, (X)	10	0,007	0,008	0,018	0,026	0,033	3,7
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,3	0,001	0,0004	0,001	0,001	0,001	
Стандартное отклонение, (σ)	1,734	0,003	0,002	0,004	0,005	0,008	
Коэффициент вариации (V), %	17,17	42,86	25,00	22,22	19,23	24,24	
Точность среднего (P), %	3,13	7,82	4,56	4,06	3,51	4,43	
ОМУ №1, 15 т/га							
Среднее значение, (X)	11	0,008	0,008	0,021	0,029	0,037	3,6
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,3	0,001	0,0004	0,001	0,000	0,001	
Стандартное отклонение, (σ)	1,712	0,007	0,001	0,001	0,001	0,007	
Коэффициент вариации (V), %	16,18	47,50	20,00	14,76	13,45	18,92	
Точность среднего (P), %	2,95	15,98	4,05	0,87	0,63	3,45	

тельно и в опытах с разными дозами удобрения (5 и 10 т/га) показала снижение к контролю на 30 и 13% к контролю, однако при дозе 15 т/га снижение не превышало 3%. Фитомасса корней также менялась в зависимости от внесенной дозы удобрения, при дозах 5 и 10 т/га снижение составило 33 и 12,5%. При дозе 15 т/га снижение не превышало 3%. Общая фитомасса также снижалась на 23, 24 и 3% к контрольному значению. В контрольном опыте и в опытах с

удобрениями соотношение надземной фитомассы к подземной выше оптимального.

Близкие данные получены также и при внесении ОМУ №2 (табл. 5.35).

Таблица 5.35 – Длина хвои и фитомасса двухлетних сеянцев ели сибирской в ПЛП №1 Березовского участкового лесничества ГКУ СО «Березовское лесничество» при внесении ОМУ №2 (посевы 2024 г.)

Показатель	Длина хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{НАДЗ} / М _{ПОДЗ}
		ко- рень	ство- лик	хвоя	над- зем- ная	общая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль №2							
Среднее значение, (X)	10	0,008	0,008	0,021	0,03	0,038	3,7
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,1	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	
Стандартное отклонение, (σ)	0,989	0,003	0,002	0,004	0,006	0,006	
Коэффициент вариации (V), %	9,98	37,50	25,00	19,05	20,00	15,79	
Точность среднего (P), %	1,29	4,84	3,23	2,46	2,58	2,04	
ОМУ №2, 5 м/га							
Среднее значение, (X)	10	0,011	0,008	0,025	0,056	0,067	5,0
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,2	0,001	0,001	0,001	0,005	0,004	
Стандартное отклонение, (σ)	1,375	0,006	0,003	0,008	0,025	0,024	
Коэффициент вариации (V), %	14,18	54,55	35,56	32,00	44,64	35,82	
Точность среднего (P), %	2,59	9,96	6,83	5,84	8,15	6,54	
ОМУ №2, 10 м/га							
Среднее значение, (X)	10	0,009	0,009	0,024	0,034	0,043	3,7
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,2	0,001	0,000	0,001	0,001	0,002	
Стандартное отклонение, (σ)	1,549	0,004	0,001	0,004	0,006	0,009	
Коэффициент вариации (V), %	15,26	44,44	11,11	16,67	17,65	20,93	
Точность среднего (P), %	2,79	8,11	2,02	3,04	3,22	3,82	
ОМУ №2, 15 м/га							
Среднее значение, (X)	10	0,009	0,01	0,026	0,036	0,045	4,0
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,3	0,001	0,0001	0,0001	0,0002	0,001	
Стандартное отклонение, (σ)	1,66	0,004	0,0004	0,0004	0,001	0,004	
Коэффициент вариации (V), %	16,22	44,44	14,00	11,54	12,78	8,89	
Точность среднего (P), %	2,96	8,11	2,35	3,0	1,51	1,62	

Результаты, приведенные в таблице 5.35 показывают, что длина хвои у сеянцев ели сибирской при внесении установленных доз ОМУ №2 изменялась не более чем на $\pm 3\%$ к контрольному значению. Надземная фитомасса при дозировках 10 и 15 т/га существенно менялась, увеличение при сравнении с контрольным значением составило 13 и 20%, различия достоверны на статистически значимом уровне ($\alpha=0,05$). Фитомасса корней менялась аналогично и при тех же дозах внесенного удобрения составила 37,5 12,5 и 13% к контролю. Общая фитомасса сеянцев закономерно увеличивалась, при этом самые высокие показатели получены при однократно внесенной дозе 15 т/га. Различия в значениях фитомассы при 10 и 15 т/га к контролю 13 и 18%. При сравнении этих показателей между собой их различия минимальны и статистически недостоверны. При анализе показателей фитомассы сеянцев установлено, что отношение надземной фитомассы к подземной выше оптимального.

Особый интерес представляют данные о внесении органоминеральных удобрений в посевы ели сибирской один и два раза за вегетационные сезоны 2024 и 2025 гг. (табл. 5.36, 5.37).

Таблица 5.36 – Длина хвои и фитомасса двухлетних сеянцев ели сибирской в ПЛП №1 Березовского участкового лесничества ГКУ СО «Березовское лесничество» (посевы 2024 г., внесение ОМУ №1 в 2024 и 2025 гг.)

Показатель	Длина хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{надз} / М _{подз}
		ко- рень	ство- лик	хвоя	над- зем- ная	общая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль №1							
Среднее значение, (X)	14	0,026	0,069	0,102	0,171	0,197	6,5
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,4	0,002	0,004	0,006	0,010	0,012	
Стандартное отклонение, (σ)	2,189	0,013	0,022	0,032	0,054	0,064	
Коэффициент вариации (V), %	16,00	50,00	31,88	31,37	31,58	32,49	
Точность среднего (P), %	2,91	9,13	5,82	5,73	5,77	5,93	
ОМУ №1, 5 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	14	0,050	0,052	0,100	0,152	0,202	3,4
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,3	0,006	0,004	0,008	0,012	0,017	
Стандартное отклонение, (σ)	1,890	0,033	0,022	0,043	0,065	0,095	

1	2	3	4	5	6	7	8
Коэффициент вариации (V), %	13,00	66,00	42,31	43,00	42,76	47,03	
Точность среднего (P), %	2,40	12,05	7,72	7,85	7,81	8,59	
ОМУ №1, 10 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	13	0,041	0,055	0,084	0,139	0,179	3,2
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,4	0,007	0,005	0,008	0,014	0,020	
Стандартное отклонение, (σ)	2,219	0,019	0,03	0,046	0,077	0,112	
Коэффициент вариации (V), %	16,0	35,12	54,55	54,76	55,40	62,57	
Точность среднего (P), %	2,83	7,37	9,96	10,00	10,11	11,42	
ОМУ №1, 15 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	11	0,045	0,033	0,0590	0,099	0,144	2,8
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,3	0,004	0,005	0,008	0,013	0,017	
Стандартное отклонение, (σ)	1,80	0,024	0,016	0,028	0,048	0,071	
Коэффициент вариации (V), %	15,98	53,33	48,48	47,46	48,48	49,31	
Точность среднего (P), %	2,75	9,74	8,85	8,66	8,85	9,00	
Контроль №1							
Среднее значение, (X)	11	0,032	0,034	0,069	0,103	0,135	3,2
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,3	0,002	0,003	0,005	0,008	0,009	
Стандартное отклонение, (σ)	1,72	0,010	0,015	0,030	0,044	0,048	
Коэффициент вариации (V), %	16,20	31,25	44,12	43,48	42,72	35,56	
Точность среднего (P), %	2,95	5,71	8,05	7,94	7,80	6,49	
ОМУ №1, 5 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	12	0,020	0,040	0,075	0,115	0,135	2,6
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,3	0,002	0,001	0,005	0,006	0,007	
Стандартное отклонение, (σ)	1,82	0,011	0,008	0,025	0,033	0,036	
Коэффициент вариации (V), %	15,65	55,00	19,80	33,33	28,70	26,67	
Точность среднего (P), %	2,85	10,04	3,62	6,09	5,24	4,87	
ОМУ №1, 10 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	12	0,038	0,047	0,074	0,122	0,159	3,2
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,3	0,003	0,003	0,005	0,009	0,011	
Стандартное отклонение, (σ)	1,98	0,019	0,018	0,029	0,048	0,062	
Коэффициент вариации (V), %	16,42	50,00	38,30	39,19	39,34	38,99	
Точность среднего (P), %	3,09	9,13	6,99	7,15	7,18	7,12	
ОМУ №1, 15 т/га, двукратно							
Среднее значение, (X)	11	0,018	0,024	0,035	0,068	0,086	3,7
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,3	0,001	0,002	0,004	0,006	0,007	
Стандартное отклонение, (σ)	1,722	0,006	0,012	0,02	0,035	0,04	
Коэффициент вариации (V), %	17,20	33,33	50,00	57,14	51,47	46,51	
Точность среднего (P), %	3,15	6,09	9,13	10,43	9,40	8,49	

При внесении ОМУ №1 однократно весной 2024 года анализ данных, приведенных в таблице 5.36 показал, что длина хвои не существенно меняется под действием доз 5 и 10 т/га удобрения, в случае дозировки 15 т/га длина хвои достоверно ниже чем в контрольном опыте. Надземная фитомасса при внесении ОМУ №1 однократно в дозах, установленных условиями эксперимента,

уменьшалась по сравнению с контрольным опытом на 12, 23 и 92%. Масса корней по сравнению с контрольным опытом увеличивалась на 52, 36 и 35% к контрольному значению. Общая фитомасса имеет значения больше на 3% при дозе 5 т/га и меньше при дозах 10 и 15 т/га, чем показатель в контрольном опыте на 10 и 52%. Соотношение надземной фитомассы к подземной при внесении разных доз удобрений близки к оптимальным.

При внесении тех же доз удобрения весной 2024 и 2025 гг. длина хвои увеличивалась не существенно. Надземная фитомасса при внесении ОМУ №1 двухкратно в дозах, установленных условиями эксперимента, увеличивалась по сравнению с контрольным опытом на 12 и 18% (при дозах 5 и 10 т/га). При дозировке 15 т/га зафиксировано снижение надземной фитомассы на 50% к контрольному значению. Масса корней по сравнению с контрольным опытом изменялась следующим образом: при дозе 5 т/га снижение составило 60%, при дозе 10 т/га оказалась выше на 16%, при дозе 15 т/га получено снижение на 77% к контролю. Общая фитомасса при дозе 5 т/га имеет одинаковое значение с контрольным опытом, при дозе 10 т/га увеличение составило 15%, при внесенной дозе 15 т/га фитомасса снизилась на 56% к контрольному показателю. Соотношение надземной фитомассы к подземной близки к оптимальным.

Таблица 5.37 – Длина хвои и фитомасса двухлетних сеянцев ели сибирской в ПЛП №1 ГКУ СО «Березовское лесничество» (посевы 2024 г., внесение ОМУ №2 в 2024 и 2025 гг.)

Показатель	Длина хвои, мм	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г					М _{надз} / М _{подз}
		корень	стволик	хвоя	надземная	общая	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль №2							
Среднее значение, (X)	12	0,033	0,036	0,071	0,108	0,141	3,2
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,3	0,004	0,004	0,008	0,012	0,016	
Стандартное отклонение, (σ)	1,79	0,021	0,022	0,044	0,067	0,086	
Коэффициент вариации (V), %	16,00	63,64	61,11	61,97	62,04	60,99	
Точность среднего (P), %	2,90	11,62	11,16	11,31	11,33	11,14	

1	2	3	4	5	6	7	8
ОМУ №2, 5 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	12	0,034	0,049	0,071	0,120	0,154	3,5
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,3	0,002	0,003	0,005	0,008	0,009	
Стандартное отклонение, (σ)	2,00	0,011	0,018	0,026	0,044	0,051	
Коэффициент вариации (V), %	15,80	32,35	36,73	36,62	36,67	33,12	
Точность среднего (P), %	2,91	5,91	6,71	6,69	6,69	6,05	
ОМУ №2, 10 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	13	0,052	0,055	0,099	0,154	0,205	2,9
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,4	0,005	0,004	0,008	0,012	0,016	
Стандартное отклонение, (σ)	2,29	0,028	0,024	0,044	0,067	0,087	
Коэффициент вариации (V), %	17,00	53,85	43,64	44,44	43,51	42,44	
Точность среднего (P), %	3,22	9,83	7,97	8,11	7,94	7,75	
ОМУ №2, 15 т/га, однократно							
Среднее значение, (X)	13	0,052	0,055	0,099	0,154	0,205	2,9
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,4	0,005	0,007	0,013	0,020	0,024	
Стандартное отклонение, (σ)	2,199	0,016	0,022	0,041	0,063	0,075	
Коэффициент вариации (V), %	15,7	30,77	40,00	41,41	40,91	36,59	
Точность среднего (P), %	2,81	9,73	12,65	13,10	12,94	11,57	
Контроль №2							
Среднее значение, (X)	11	0,029	0,042	0,064	0,106	0,135	3,6
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,3	0,004	0,006	0,009	0,015	0,019	
Стандартное отклонение, (σ)	1,799	0,014	0,018	0,028	0,046	0,059	
Коэффициент вариации (V), %	16,00	48,28	42,86	43,75	43,40	43,70	
Точность среднего (P), %	2,90	15,27	13,55	13,83	13,72	13,82	
ОМУ №2, 5 т/га, двухкратно							
Среднее значение, (X)	10	0,023	0,031	0,045	0,076	0,098	3,3
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,2	0,003	0,003	0,004	0,007	0,010	
Стандартное отклонение, (σ)	1,549	0,015	0,017	0,024	0,041	0,055	
Коэффициент вариации (V), %	15,26	65,22	54,84	53,33	53,95	56,12	
Точность среднего (P), %	2,79	11,91	10,01	9,74	9,85	10,25	
ОМУ №2, 10 т/га, двухкратно							
Среднее значение, (X)	13	0,052	0,064	0,091	0,154	0,206	2,9
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,4	0,006	0,005	0,007	0,011	0,016	
Стандартное отклонение, (σ)	2,29	0,031	0,025	0,036	0,061	0,087	
Коэффициент вариации (V), %	17,20	59,62	39,06	39,56	39,61	42,23	
Точность среднего (P), %	3,12	10,88	7,13	7,22	7,23	7,71	
ОМУ №2, 15 т/га, двухкратно							
Среднее значение, (X)	12	0,039	0,069	0,077	0,145	0,184	3,7
Стандартная ошибка, ($\pm x$)	0,3	0,002	0,006	0,007	0,014	0,015	
Стандартное отклонение, (σ)	2,00	0,011	0,035	0,039	0,075	0,082	
Коэффициент вариации (V), %	16,00	28,21	50,72	50,65	51,72	44,57	
Точность среднего (P), %	2,89	5,15	9,26	9,25	9,44	8,14	

При внесении ОМУ №2 однократно весной 2024 года длина хвои не существенно увеличивается под действием разных доз удобрения. Расхождения

с контрольным опытом при заданном уровне значимости незначительно. Надземная фитомасса при внесении ОМУ №2 однократно увеличивалась по сравнению с контрольным опытом на 10, 30 и 30%. Масса корней по сравнению с контрольным опытом увеличивалась на 3, 36 и 36% при дозах 5, 10 и 15 т/га. Общая фитомасса имеет значения больше на 8,4; 31 и 31%. Соотношение надземной фитомассы к подземной близки к оптимальным в контрольном опыте и при дозировке ОМУ №2 5 т/га. При дозах 10 и 15 т/га соотношения оптимальны.

При двукратном внесении тех же доз удобрения длина хвои менялась существенно при дозе 10 т/га разница с контрольным значением составила 18%. При дозе 15 т/га разница составила 9%, что на заданном уровне значимости также является достоверным. Надземная фитомасса при внесении ОМУ №2 двукратно в дозах, установленных условиями эксперимента, увеличивалась по сравнению с контрольным опытом на 45 и 37% (при дозах 10 и 15 т/га). При дозировке 5 т/га зафиксировано снижение надземной фитомассы на 28% к контрольному значению. Масса корней по сравнению с контрольным опытом изменялась следующим образом: при дозе 5 т/га снижение составило 20%, при дозе 10 т/га оказалась выше на 79%, при дозе 15 т/га увеличилась на 34% к контролю. Общая фитомасса при дозе 5 т/га имеет значение меньше, чем в контрольном опыте на 27%, при дозе 10 т/га увеличение составило 52%, при внесенной дозе 15 т/га фитомасса увеличилась на 36% к контрольному показателю. Рассчитанные соотношение надземной фитомассы к подземной близки к оптимальным.

5.5. Выход стандартного посадочного материала при разных дозах и схемах внесения органоминеральных удобрений

Выращивание качественного посадочного материала возможно на подготовленной почве, в то же время поддержание высоких показателей по выходу стандартного посадочного с 1 га продуцирующей части лесного питомника в течение длительного времени возможно при систематическом внесении

удобрений. Благодаря применению качественного посадочного материала с улучшенными биометрическими показателями на лесокультурных площадях повышается процент приживаемости и сохранности саженцев, что в свою очередь, может положительно сказаться на сроках перевода культур в земли, покрытые лесной растительностью.

Подсчет выхода стандартных сеянцев производился измерением высоты и диаметра корневой шейки у отобранных для анализа сеянцев сосны и ели после чего производилось определение в процентах выхода полностью стандартных сеянцев к общему количеству проанализированных. Данные по выходу стандартного посадочного материала сосны и ели в питомниках приведены в таблице 5.38-5.41.

Таблица 5.38 – Выход стандартного посадочного материала сосны обыкновенной в постоянном лесном питомнике ГКУ СО «Сухоложское лесничество»

Эксперимент	Удобрение	Доза, удобрения, т/га	Соответствующие стандарту, %		Выход стандартных сеянцев, %
			по высоте	по диаметру	
1	2	3	4	5	6
Сосна обыкновенная. Посев 2023 г. Удобрения внесены весной 2024 г. Учет сеянцев произведен осенью 2024 г.	Контроль	-	73	37	30
	ОМУ №1	5	90	57	57
	ОМУ №1	10	97	57	57
	ОМУ №1	15	100	90	90
	Контроль	-	60	30	30
	ОМУ №2	5	66	23	23
	ОМУ №2	10	76	40	40
	ОМУ №2	15	90	67	63
Сосна обыкновенная. Посев 2024 г. Удобрения внесены однократно при посеве. Учет сеянцев произведен осенью 2025 г.	Контроль	-	10	0	0
	ОМУ №1	5	30	10	10
	ОМУ №1	10	80	20	20
	ОМУ №1	15	90	0	0
	Контроль	-	80	70	60
	ОМУ №2	5	70	0	0
	ОМУ №2	10	80	50	50
	ОМУ №2	15	90	90	90
Сосна обыкновенная. Посев 2024 г. Удобрения внесены двукратно весной 2024 и 2025 гг. Учет	Контроль	-	10	0	0
	ОМУ №1	5	60	20	20
	ОМУ №1	10	60	40	40
	ОМУ №1	15	60	10	10

1	2	3	4	5	6
сеянцев осенью 2025 г.	Контроль	-	80	70	60
	ОМУ №2	5	70	80	70
	ОМУ №2	10	80	40	40
	ОМУ №2	15	90	10	10

Как следует из данных таблицы 5.38 однократным внесением органических удобрений в дозах 5-15 т/га удастся существенно повысить выход стандартного посадочного материала. Наиболее значимый показатель выхода стандартного посадочного материала достигнут при внесении доз 15 т/га при однократном внесении под однолетние сеянцы и однократно при посеве. Причем ОМУ №1 имеет лучшие показатели при внесении в однолетние сеянцы, ОМУ №2 при внесении однократно при посеве. На наш взгляд это объясняется тем, что ОМУ №1 в дозе 15 т/га содержит максимальное количество питательных веществ необходимых на виргинильной стадии роста сеянцев. Высокие показатели выхода стандартного посадочного материала с внесением дозы 15 т/га ОМУ №2 можно объяснить присутствием в удобрении древесного угля, который положительно влияет на механический состав почвы экспериментального участка, что позволяет сеянцам лучше развиваться на ювенильной стадии.

Несколько другие показатели выхода стандартного посадочного материала зафиксированы при внесении аналогичных доз ОМУ в постоянном лесном питомнике №2 ГКУ СО «Березовское лесничество» (табл. 5.39).

Таблица 5.39 – Выход стандартного посадочного материала сосны обыкновенной в постоянном лесном питомнике №2 ГКУ СО «Березовское лесничество»

Эксперимент	Удобрение	Доза, удобрения, т/га	Соответствующие стандарту, %		Выход стандартных сеянцев, %
			по высоте	по диаметру	
1	3	4	5	6	7
Сосна обыкновенная. Посев 2024 г. Удобрения внесены однократно	Контроль	-	20	40	20
	ОМУ №1	5	30	70	30
	ОМУ №1	10	50	40	40

1	3	4	5	6	7
весной 2024 г. при посеве. Учет сеянцев осенью 2025 г.	ОМУ №1	15	30	80	30
	Контроль	-	10	40	10
	ОМУ №2	5	60	100	60
	ОМУ №2	10	50	80	50
	ОМУ №2	15	50	100	50
Сосна обыкновенная. Посев 2024 г. Удобрения внесены двукратно весной 2024 и 2025 гг. Учет сеянцев осенью 2025 г.	Контроль	-	20	40	20
	ОМУ №1	5	50	90	50
	ОМУ №1	10	40	100	40
	ОМУ №1	15	50	80	50
	Контроль	-	10	40	10
	ОМУ №2	5	40	80	30
	ОМУ №2	10	80	80	80
	ОМУ №2	15	60	80	60

Как следует из данных, приведенных в таблице 5.39 однократное внесение ОМУ №1 и ОМУ №2 позволяет существенно повысить выход стандартного посадочного материала. На 30% при внесении дозы 10 т/га ОМУ №1, на 50% при внесении той же дозы ОМУ №2. При двукратном внесении ОМУ №1 аналогичного эффекта (30%) удалось достичь внесением минимальной дозы ОМУ №1. При двукратном внесении более высоких доз ОМУ №2 эффект составил так же 30%. При двукратном внесении дозы 10 т/га ОМУ №2 удалось на 70% повысить выход стандартного посадочного материала по сравнению с контролем.

Наглядным доказательством влияния плодородия почв на выход стандартного посадочного материала может служить декоративный питомник ООО «Калина Парк». Высокое плодородие почв на данном питомнике обусловило выход стандартного посадочного материала сосны обыкновенной до 90% без внесения ОМУ (табл. 5.40).

На культурных почвах, богатых питательными веществами применение органоминеральных удобрений для увеличения выхода стандартного посадочного материала не целесообразно. Повышение содержания питательных элементов, как показали наши исследования, приводит к дисбалансу в развитии сеянцев, что в последующем может негативно сказаться на приживаемости и сохранности сеянцев в культурах.

Таблица 5.40 – Выход стандартного посадочного материала сосны обыкновенной в декоративном лесном питомнике ООО «Калина Парк»

Эксперимент	Удобрение	Доза, удобрения, т/га	Соответствующие стандарту, %		Выход стандартных сеянцев, %
			по высоте	по диаметру	
1	2	3	4	5	6
Сосна обыкновенная. Посев 2024 г. Удобрения внесены однократно весной 2024 г. при посеве. Учет сеянцев осенью 2025 г.	Контроль	-	100	90	90
	ОМУ №1	5	100	70	70
	ОМУ №1	10	100	80	80
	ОМУ №1	15	100	90	90
	Контроль	-	50	50	50
	ОМУ №2	5	100	60	60
	ОМУ №2	10	100	98	98
	ОМУ №2	15	100	90	90
Сосна обыкновенная. Посев 2024 г. Удобрения внесены двукратно весной 2024 и 2025 гг. Учет сеянцев осенью 2025 г.	Контроль	-	100	90	90
	ОМУ №1	5	100	80	80
	ОМУ №1	10	100	70	70
	ОМУ №1	15	100	98	98
	Контроль	-	100	50	50
	ОМУ №2	5	100	80	80
	ОМУ №2	10	100	98	98
	ОМУ №2	15	100	98	98

Интересные данные получены о влиянии ОМУ на выход стандартного посадочного материала трехлетних сеянцев ели сибирской (табл. 5.41).

Таблица 5.41 – Выход стандартного посадочного материала ели сибирской в постоянном лесном питомнике №1 ГКУ СО «Сухоложское лесничество»

Эксперимент	Удобрение	Доза, удобрения, т/га	Соответствующие стандарту, %		Выход стандартных сеянцев, %
			по высоте	по диаметру	
Ель сибирская. Посев 2022 г. Внесение ОМУ весной 2024 г. Определение выхода стандартных сеянцев - осенью 2025 г.	Контроль	-	67	60	37
	ОМУ №1	5	77	67	57
	ОМУ №1	10	87	73	67
	ОМУ №1	15	100	80	83
	Контроль	-	87	87	83
	ОМУ №2	5	97	80	80
	ОМУ №2	10	100	97	97
	ОМУ №2	15	100	97	97

Как показывают данные, приведенные в таблице 5.41 внесением доз 10

т/га ОМУ №1 и 10, 15 т/га ОМУ №2 можно существенно повысить выход стандартного посадочного материала уже на третий год выращивания сенцев ели сибирской. При этом выход стандартного посадочного материала выше, чем в контрольных опытах на 46% в случае применения ОМУ №1 и на 14% при применении ОМУ №2 в дозах 10 и 15 т/га.

Выводы

1. Из обследованных четырех питомников Свердловской области только декоративный питомник ООО «Калина Парк» характеризуется относительно высоким плодородием. На остальных питомниках содержание в почвах макро- и микроэлементов необходимых для растений значительно ниже оптимальных показателей.

2. Внесение органоминеральных удобрений в дозах 5, 10 и 15 т/га оказывает существенное положительное влияние на прирост центрального побега сеянцев сосны обыкновенной по высоте. На плодородных почвах (питомник ООО «Калина Парк») внесение ОМУ №2 позволяет обеспечить среднюю высоту сеянцев равную требуемому нормативным документом значению за один сезон в открытом грунте.

3. На песчаных почвах с низким потенциальным плодородием при выращивании сеянцев сосны обыкновенной целесообразно внесение ОМУ №2 и ОМУ №1 в дозах 10 и 15 т/га весной на второй год после посева семян.

4. Внесение органоминеральных удобрений на второй год после посева в дозах 10 и 15 т/га обеспечивает выращивание стандартного посадочного материала ели сибирской по высоте через три года после посева. При этом средняя высота сеянцев достоверно превышает таковую у сеянцев на контроле, что повышает их сохранность при посадке на лесокультурную площадь.

5. Влияние внесения ОМУ на средний диаметр сеянцев сосны обыкновенной достоверно проявляется при внесении их в дозе 10 и 15 т/га весной

спустя год после посева. При этом к осени сеянцы достигают диаметра корневой шейки, требуемого нормативным документом (Об утверждении Правил..., 2021).

6. Двукратное внесение органоминеральных удобрений приводит к их перерасходу и не оказывает существенного влияния по сравнению с однократным, выполненным весной через год после посева. Закономерность проявляется как для сеянцев сосны обыкновенной, так и ели сибирской. При этом внесение ОМУ №2 дает лучший эффект, чем ОМУ №1.

7. Внесение органоминеральных удобрений оказывает значительно меньшее влияние на длину хвои и фитомассу выращиваемых сеянцев, чем на их среднюю высоту. При этом максимальный положительный эффект достигается при внесении ОМУ №2 в дозах 10 и 15 т/га. Влияние ОМУ в дозе 5 т/га в абсолютном большинстве случаев оказывалось статистически недостоверным при сравнении с контролем.

8. На плодородных почвах (питомник ООО «Калина Парк») внесение ОМУ приводит к нарушениям соотношения надземной и подземной фитомассы сеянцев, что свидетельствует о нецелесообразности их использования в данных условиях.

9. Внесение органоминеральных удобрений оказывает статистически недостоверное влияние на фитомассу корней, однако данный факт требует проверки поскольку корневые системы нами при проведении исследований подрезались на глубине 20 см.

10. Низкое плодородие почв лесных питомников объясняет недостаточный выход стандартного посадочного материала. Внесение ОМУ в дозе 15 т/га статистически достоверно увеличивает выход стандартных сеянцев. При этом указанный показатель по высоте превышает таковой по диаметру корневой шейки.

Заключение

Большинство лесных питомников характеризуется низким потенциальным плодородием почвы, что связано с выносом питательных элементов с выращиваемым посадочным материалом, сложностью компенсации выноса внесением органических и минеральных удобрений из-за их дефицита и высокой стоимости. Проблема может быть решена внесением нетрадиционных органоминеральных удобрений созданных на основе побочных продуктов птицеводства, в частности бесподстилочного куриного помета, отходов деревообработки, угольной золы тепловых электростанций, дисперсных отходов древесного угля.

В ходе исследования методом аэробной твердофазной ферментации на основе вышеуказанных отходов получены образцы органоминеральных удобрений (ОМУ №1 и ОМУ №2). При этом разработана промышленная технология получения удобрения, позволяющая сократить срок его получения с 450 часов при действующих технологиях до 150 часов, то есть в три раза.

Разработан, сконструирован испытан опытно-промышленный биореактор барабанного типа производительностью 0,007 т/ч готового органоминерального удобрения. Полученные образцы удобрений прошли необходимые испытания в аккредитованных испытательных центрах, результаты испытаний позволяют считать его качественным и безопасным конечным продуктом с заданными потребительскими свойствами для использования в лесном хозяйстве.

Анализ эффективности внесения органоминеральных удобрений показал, что при высоком потенциальном плодородии почв, какое имеет место в питомнике ООО «Калина Парк» использование ОМУ №2 в дозе 15 т/га позволяет вырастить стандартный посадочный материал сосны обыкновенной за один сезон в открытом грунте. Однако внесение органоминеральных удобрений в данном питомнике не целесообразно в связи с нарушением у сеянцев соотношения надземной и подземной фитомассы.

В остальных трех лесных питомниках при выращивании сеянцев сосны обыкновенной оптимальными являются дозы 10 и 15 т/га при их внесении весной через год после посева семян. Максимальный эффект по показателям средней высоты и среднего диаметра у корневой шейки сеянцев достигается внесением 15 т/га ОМУ №2. Внесение органоминеральных удобрений вместе с посевом семян, а также внесение дважды при посеве и весной следующего года не оказывает существенного повышения биометрических параметров сеянцев по сравнению с однократным внесением ОМУ через год после посева.

Анализ влияния внесения органоминеральных удобрений на длину хвои и структуру фитомассы сеянцев в абсолютно сухом состоянии показал, что длина хвои увеличивается, однако в большинстве случаев различия с контролем статистически недостоверны. Внесение ОМУ снижает долю подземных частей в фитомассе сеянцев. Однако данный вывод требует проверки поскольку при проведении исследований корневые системы подрезались на глубине 20 см.

При выращивании сеянцев ели сибирской наиболее эффективным является двукратное внесение органоминеральных удобрений. При этом первое внесение в дозе 5-10 т/га производится при посеве семян, а второе в дозе 10-15 т/га весной следующего года. На низкоплодородных почвах целесообразно внесение органоминеральных удобрений в дозах 5-10 т/га весной третьего года.

Выход стандартных двухлетних сеянцев сосны обыкновенной при предлагаемой схеме внесения ОМУ увеличивается до 50-97% при 10-60% на контроле в зависимости от исходного плодородия почв.

Выход стандартных трехлетних сеянцев ели сибирской увеличивается при внесении органоминеральных удобрений до 83-97% при 37-83% на контроле.

Предложения производству

1) Повышение плодородия почв лесных питомников можно обеспечить внесением органоминеральных удобрений, производимых на основе бесподстилочного куриного помета, отходов переработки древесины (стружка, опил), угольной золы тепловых электростанций и мелкодисперсного древесного угля.

2) Для производства ОМУ можно использовать опытно-промышленный биореактор барабанного типа производительностью 0,007 т/час готового удобрения.

3) Внесение ОМУ рекомендуется на почвах с низким потенциальным плодородием. При показателях плодородия почв близких к оптимальным ОМУ для внесения не рекомендуется.

4) При выращивании сеянцев сосны обыкновенной на почвах с низким потенциальным плодородием оптимальным является внесение ОМУ №2 в дозах 10 или 15 т/га.

5) Удобрения целесообразно вносить междурядья посевных строк весной через год после посева.

6) При выращивании сеянцев ели сибирской органоминеральные удобрения целесообразно вносить двукратно весной при посеве в дозе 5-10 т/га и через год в дозе 10-15 т/га.

Список литературы

Аверьянов, Ю.И. Анализ существующих способов утилизации птичьего помета / Ю.И. Аверьянов, А.В. Старунов, И.А. Зонова // Вестник ЧГАА. – 2010. – Т. 56. – С. 11-14.

Агроклиматический справочник по Белоярскому и Камышловскому районам Свердловской области. – Свердловск, 1966. – 96 с.

Антонов, Г.И. Оптимизация лесовыращивания с использованием биоконверсии древесно-опилочной массы в условиях Красноярской лесостепи / Г.И. Антонов, Н.Д. Сорокин, А.П. Баргенков, О.Э. Кондакова // Лесоведение. – 2018. – № 1. – С. 56-64.

Антонов, Г.И. Влияние опилочно-почвенных субстратов на рост саженцев сосны и ели в лесопитомнике экспериментального хозяйства «Погорельский бор» / Г.И. Антонов, А.П. Барченков, Н.В. Пашенова, О.Э. Кондакова, И.Д. Гродницкая // Лесоведение. – 2021. – № 3. – С. 303-317.

Антонова, О.И. Эффективность органо-минеральных удобрений на основе помета под яровую пшеницу / О.И. Антонова, А.А. Чихарин, М.Е. Андреев // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей XI Междунар. науч.-практ. конф. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2016. – Кн. 2. – С. 3-4.

Антропова, Н.С. Проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды антибиотиками на примере тетрациклинов (обзор) / Н.С. Антропова, О.В. Ушакова, О.Н. Савостикова, Е.И. Филимонова // Здоровье населения и среда обитания. – 2024. – 32(3). – С. 33-43.

Барта, Я. Нетрадиционные корма в рационах сельскохозяйственных животных / Я. Барта, Г. Бергнер, Я. Бучко и др.; Пер. со словац. и предисл. Э.Г. Филипович. – М.: Колос, 1984. – 272 с.

Бернадинер, М.Н. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов / М.Н. Бернадинер, А.П. Шурыгин. – М.: Химия, 1990. – 302 с.

Бернадинер, И.М. Перспективная технология высокотемпературного обезвреживания осадков сточных вод / И.М. Бернадинер, П.В. Хорева // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. – 2013. – № 4. – С. 85-96.

Белов, Л.А. Опыт естественной рекультивации отходов лесопиления и деревообработки / Л.А. Белов, Е.С. Залесова, Ю.В. Зарипов, А.С. Оплетаев, Р.А. Осипенко // Леса России и хозяйство в них. – 2018. – Вып. 4 (67). – С. 20-29.

Биологические особенности роста сеянцев сосны и ели (2025). – URL: <https://pitomnik.ru/articles/biologicheskie-osobennosti-rosta-seyantsev.html?ysclid=nh0abdyhre44979139> (дата обращения 21.10.2025).

Брюханов, А.Ю. Стратегия управления отходами предприятий птицеводства на основе внедрения наилучших доступных технологий переработки помета / А.Ю. Брюханов, А.В. Гаас // Экология и промышленность России. – 2016. – № 2. – С. 60-63.

Брюханов, А.Ю. Повышение эффективности использования навоза путем автоматизированного проектирования вариантов технологий приготовления органических удобрений и их внесения в почву: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Брюханов Александр Юрьевич. – Санкт-Петербург, 2009. – 193 с.

Брюханов, А.Ю. Оценка косвенных выбросов закиси азота в результате сбора и хранения навоза и помета / А.Ю. Брюханов, Е.В. Шалавина, Э.В. Васильев, С.А. Егоров // АгроЭкоИнженерия. – 2024. – № 1(118). – С. 4-16.

Бондаренко, А.С. Статистическая обработка материалов лесоводственных исследований: учебное пособие / А.С. Бондаренко, А.В. Жигунов. – СПб: Из-во Политех. ун-та, 2016. – 125 с.

Борисевич, Д.В. Рельеф и геологическое строение / Д.В. Борисевич, К.В. Кувшинова, А.О. Кеммерих // Урал и Предуралье. Серия: Природные условия и естественные ресурсы СССР. – М.: Наука, 1968. – С. 19-81.

Бортник, Т.Ю. Эффективность золы органосодержащих отходов в полево-м севообороте на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве / Т.Ю. Бортник, Д.В. Яковлев // Агрохимикаты в XXI веке: теория и практика

применения: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Н. Новгород: Нижегородская ГСХА, 2017. – С. 164-168.

Бортник, Т.Ю. Утилизация золы органосодержащих отходов в сельскохозяйственном производстве / Т.Ю. Бортник, О.Г. Долговых, Е.В. Лекомцева, А.С. Башков // Агрохимический вестник. – 2018. – № 2. – С. 57-61.

Бортник, Т.Ю. Эффективность использования органического удобрения РосПочва под овощные культуры в условиях Удмуртской Республики / Т.Ю. Бортник, Е.В. Лекомцева, Т.Е. Иванова. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. – 199 с.

Брынцев, В.А. Оптимизация применения азотных удобрений при выращивании сеянцев сосны обыкновенной / В.А. Брынцев, А. Заре // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – №3. – С. 73-79.

Вайгис, М.В. Влияние отдельных древесных пород на почвообразование и лесорастительные свойства почвы / М.В. Вайгис // Труды ЛтНИИЛХ. – 1981. – № 21. – С. 3-31.

Вендров, С.Л. Роль водохранилищ в преобразовании природы / С.Л. Вендров // Известия АН СССР. Серия география. – 1961. – № 4. – С. 45-57.

Водохранилища и их воздействие на окружающую среду. – М.: Наука, 1986. – 270 с.

Гафуров, Ф.Г. Почвы Свердловской области / Ф.Г. Гафуров. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2008. – 396 с.

Годовалов, Г.А. Районирование лесов Свердловской области / Г.А. Годовалов, С.В. Залесов, Е.Н. Лежнина // Аграрный вестник Урала. – 2011. – № 8 (87). – С. 35-36.

Годовалов, Г.А. К вопросу о необходимости уточнения перечня лесных районов Свердловской области / Г.А. Годовалов, С.В. Залесов, Е.С. Залесова, А.И. Чермных // Леса России и хозяйство в них. – 2016. – Вып. 3 (58). – С. 12-19.

Горчаковский, П.Л. Влажные типы горных и сосновых лесов южной части Среднего Урала / П.Л. Горчаковский // Сборник трудов по лесному хозяй-

ству. – Свердловск: Свердловское кн. изд-во, 1956. – Вып. 3. – С. 7-50.

Гольдфарб, Л.Л. Опыт утилизации осадков городских сточных вод в качестве удобрений / Л.Л. Гольдфарб, И.С. Туровский, С.Д. Беляева. – М.: Стройиздат, 1983. – 60 с.

ГОСТ 8696-74 Трубы стальные электросварные со спиральным швом общего назначения. Технические условия. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001402?ysclid=miteok7lv3808080017> (дата обращения: 17.02.2025).

ГОСТ 427-75 Линейки измерительные металлические. Технические условия. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004030?ysclid=mitdd18gya794541518> (дата обращения: 17.02.2025).

ГОСТ 26713-85 Удобрения органические. Метод определения влаги и сухого остатка. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200019308?ysclid=mitdmkguiv781306454> (дата обращения: 17.02.2025).

ГОСТ 26714-85 Удобрения органические. Метод определения золы. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200019309?ysclid=mith673uq717081014> (дата обращения: 17.02.2025).

ГОСТ 26715-85 Удобрения органические. Метод определения общего азота. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200019311?ysclid=mirvvvrz44m139351025> (дата обращения: 17.02.2025).

ГОСТ 27979-88 Удобрения органические. Метод определения pH. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200019321?ysclid=mirvyx3j61560811983> (дата обращения: 17.02.2025).

ГОСТ 166-89 (ИСО 3599-76) Штангенциркули. Технические условия. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012675?ysclid=mitdg9vs3e938943591> (дата обращения: 17.02.2025).

ГОСТ 33830-2016 Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139181?ysclid=mitex36fbn391903296> (дата обращения: 17.02.2025).

ГОСТ Р 17.4.3-07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свой-

ствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017708?ysclid=mirx5n859u108374444> (дата обращения: 17.02.2025).

ГОСТ Р 53117-2008 Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200073606> (дата обращения: 17.02.2025).

ГОСТ Р ИСО 18763-2019. Качество почв. Определение токсичного воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений. – М. Стандартинформ, 2019. – 27 с.

ГОСТ Р 58595-2019 Почвы. Отбор проб. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200168814?ysclid=miteetkxl3532056096> (дата обращения: 17.02.2025).

ГОСТ Р 59748-2021 Технические принципы обработки осадков сточных вод. Общие требования. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200181170?ysclid=misqi9z4pt844398609> (дата обращения: 17.02.2025).

ГОСТ 31461-2012 Помет птицы. Сырье для производства органических удобрений. Технические условия. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200096492> (дата обращения: 17.02.2025).

ГОСТ 34102-2017 Удобрения органические на основе органогенных отходов растениеводства и предприятий, перерабатывающих растениеводческую продукцию. Технические условия. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200146519> (дата обращения: 17.02.2025).

ГОСТ 17559-82 Лесные культуры. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 11 с.

Государственный доклад «О состоянии окружающей среды в Российской Федерации в 2022 году». – Екатеринбург: Министерство природных ресурсов и экологии РФ, 2023. – 710 с.

Государственный доклад «О состоянии окружающей среды на территории Свердловской области в 2021 году». – Екатеринбург: Министерство природных ресурсов и экологии Свердловской области, 2022. – 240 с.

Государственный доклад «О состоянии окружающей среды на территории Свердловской области в 2023 году» / ред.: А.В. Сафронов [и др.]. – Екатеринбург: [б. и.], 2024. – 359 с.

Гулинова, Н.В. Методы агроклиматической обработки наблюдений / Н.В. Гулинова. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 152 с.

Дабахова, Е.В. Влияние высоких доз птичьего помёта на урожайность и качество кукурузы / Е.В. Дабахова, В.И. Титова, Г.Д. Гогмачадзе // Главный агроном. – 2005. – №7. – С. 39-41.

Дабахова, Е.В. Научное обоснование использования органических удобрений промышленного птицеводства в агроэкосистеме: автореф. дис... д-ра с.-х. наук: 06.01.04, 03.00.16 / Дабахова Елена Владимировна. – М.: ВНИИА, 2005. – 44 с.

Дитрих, В.И. Оценка объемов и возможные пути использования отходов лесозаготовок на примере Красноярского края / В.И. Дитрих, А.А. Андрияс, А.И. Пережилин, В.П. Корпачев // Хвойные бореальной зоны. – 2010. – Т. XXVII, № 3-4. – С. 346-351.

Демина, Н.А. Изучение влияния стимуляторов роста на биометрические показатели сеянцев сосны и ели / Н.А. Демина // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2024. – Vol. 7-3 (94). – С. 6-9.

Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Агропром. издат., 1985. – 351 с.

Ермакова, М.В. Комплексная оценка качества сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в лесных питомниках Уральского региона / М.В. Ермакова // Аграрный вестник Урала. – 2009а. – № 1. – С. 70-73.

Ермакова, М.В. Многофакторная оценка сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в лесной и лесостепной зоне Уральского региона / М.В. Ермакова // Аграрная Россия. – 2009б. – Специальный выпуск. – С. 152-154.

Ермакова, М.В. Структура посадочного материала и качество древесины сосны при использовании органических мелиорантов / М.В. Ермакова // Лесо-

технический журнал. – 2018. – Т. 8, № 4 (32). – С. 78-88.

Жигунов, А.В. Производство посадочного материала в лесных питомниках Северо-Запада России: практические рекомендации / А.В. Жигунов, И.А. Маркова. – СПб.: СПбНИИЛХ, 2005. – 114 с.

Зайцев, Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1984. – 242 с.

Залесов, С.В. Влияние внесения нетрадиционных удобрений на рост сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / С.В. Залесов, А.Г. Магасумова, Е.П. Платонов, Е.А. Фролова, Я.И. Вайсман // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – URL: www.science-education.ru/120-14823 (дата обращения 02.05.2024).

Залесов, С.В. Влияние внесения нетрадиционных удобрений на массу хвои сеянцев сосны в условиях южной подзоны тайги Урала / С.В. Залесов, А.Г. Магасумова, Е.И. Лисина, Е.А. Фролова // Фундаментальные и прикладные вопросы лесного почвоведения: материалы докладов VI Всерос. конф. по лесному почвоведению с междунар. участием. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2015а. – С. 251-253.

Залесов, С.В. Возможности использования нетрадиционных удобрений при выращивании посадочного материала в лесных питомниках / С.В. Залесов, Е.А. Фролова, Е.И. Лисина // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2015б. – № 2. – С. 104-107.

Залесов, С.В. Перспективы использования осадка сточных вод при выращивании посадочного материала сосны обыкновенной / С.В. Залесов, А.Г. Магасумова, Е.А. Фролова // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: материалы IV Междунар. науч. эколог. конф. – Краснодар: Кубанский госагроуниверситет, 2015в. – Ч. 1. – С. 151-155.

Залесов, С.В. Эффективность внесения нетрадиционных удобрений при выращивании посадочного материала сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / С.В. Залесов, А.Г. Магасумова, Е.А. Фролова // Аграрный вестник Урала. –

2015. – № 2(132). – С. 45-48.

Залесов, С.В. Полигон «Урал-Карбон» (Северка) / С.В. Залесов, В.В. Фомин, Е.П. Платонов, Г.А. Годовалов, К.А. Башегуров, П.Н. Сураев // Леса России и хоз-во в них. – 2021. – №3 (78). – С. 4-14.

Запевалов, М.В. Эффективность применения птичьего помета в качестве удобрения / М.В. Запевалов, Ю.М. Наумов // Вестник ЧГАУ. – 2002. – Т. 37. – С. 118-119.

Зарипов, Ю.В. Влияние внесения нетрадиционных удобрений на ассимиляционный аппарат подроста сосны обыкновенной / Ю.В. Зарипов, О.В. Зуева, С.В. Залесов, Е.А. Фролова // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики: материалы XI Междунар. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – С. 172-175.

Зарипов, Ю.В. Использование осадка сточных вод для биологической рекультивации отвалов хризотил-асбеста / Ю.В. Зарипов, Е.А. Фролова, С.В. Залесов // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XIV Всерос. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т., 2018. – С. 448-451.

Звездин, В.В. Ускоренная утилизация куриного помета и получение на его основе высококачественных удобрений методом биологической обработки / В.В. Звездин, П.Н. Гусельников, Ф.В. Чугулаев // Достижение ЭМ - технологии в России. – М.: ЭИ-корпорация, 2004. – С. 261-270.

Зола-уноса Рефтинской ГРЭС. Технические условия ТУ 08.12.13-001-00105638-2020: Утв. 30.11.2020 ОСП Рефтинская ГРЭС АО «Кузбассэнерго». – пгт. Рефтинский, 2020. – 13 с.

Зубарева, Р.С. Леса южной тайги равнинного Зауралья / Р.С. Зубарева // Лесообразовательные процессы на Урале. – Свердловск: УФ АН СССР, 1970. – С. 22-69.

Зубарева, Р.С. Почвенно-лесорастительные условия на топоэкологических профилях южной тайги предгорного Зауралья / Р.С. Зубарева, В.П. Фир-

сова, Н.И. Шадрина // Лесные почвы южной тайги Урала и Зауралья. – Свердловск: ИЭРиЖ, 1972. – Вып. 85. – С. 88-107.

ИТС 42-2017 «Интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы». – М.: Бюро НДТ, 2017. – 129 с.

ИТС 42-2023 «Интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы». – М.: Бюро НДТ. Росстандарт, 2023. – 188 с.

Кан, В.М. Повышение плодородия почв лесного питомника «Ак кайын» Республики Казахстан / В.М. Кан, А.Н. Рахимжанов, С.В. Залесов // Аграрный вестник Урала. – 2013. – № 8 (114). – С. 39–43.

Кан, В.М. Мелиоративные приемы борьбы с коркообразованием на лесном питомнике «Ак Кайын» в Республике Казахстан / В.М. Кан, С.В. Залесов, А.Н. Рахимжанов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – URL: <https://science-education.ru/article/view?id=17592&ysclid=mfjb9ek68p767029371> (дата обращения: 14.09.2025).

Камалов, М.Р. Реактор для аэробной твердофазной ферментации. / М.Р. Камалов, Л.А. Старыгин, И.Г. Первова, Б.Н. Дрикер // Вызовы современности и стратегии развития общества в условиях новой реальности (шифр – МКВСС): сборник материалов XXXIII Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2025. – С. 227-232.

Керн, Э.Э. Ива. Ее значение, разведение и употребление / Э.Э. Керн. – Л.: Мысль, 1926. – 152 с.

Керн, Э.Э. Ива / Э.Э. Керн. – Л.: Ин-т растениеводства, 1932. – 98 с.

Кокасва, М.Г. Биолого-продуктивный потенциал и потребительские свойства мяса цыплят-бройлеров при использовании в рационах биологически активных добавок: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.14 / Кокасва Марина Гурамовна. – Владикавказ, 2010. – 168 с.

Колесников, Б.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области / Б.П. Колесников, Р.С. Зубарева, Е.П. Смолоногов. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973 [вып. дан. 1974]. – 177 с.

Копытков, В.В. Руководство по исследованию и применению композиционных материалов при лесовыращивании / В.В. Копытков. – М.: Лесн. пром-ть, 1991. – 233 с.

Кувшинова, К.В. Климат / К.В. Кувшинова // Урал и Предуралье. – М.: Наука, 1968. – С. 82-117.

Лапушкин, В.М. Система удобрения в лесном хозяйстве : учебное пособие / В.М. Лапушкин. – М.: Проспект, 2021. – 144 с.

Ларченко, В.М. Перспективы и проблемы использования отходов лесопромышленного сектора и древесного сырья в биоэнергетике Красноярского края / В.М. Ларченко, Т.А. Джафаров // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 9. – С. 206-210.

Липунов, И.Н. Проблемы и решения утилизации отходов предприятий лесопромышленного комплекса / И.Н. Липунов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды V междунар. евразийского симпозиума. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2010. – С. 158-160.

Липунов, И.Н. Рециклинг промышленных отходов на основе приоритета межотраслевой кооперации / И.Н. Липунов, Л.А. Старыгин, И.Г. Первова, Д.И. Дубровенко // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2017. – С. 293-297

Левченко, В.Н. Опыт переработки золы-уноса Рефтинской ГРЭС / В.Н. Левченко // Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование: материалы V конф. – М.: Полиграфический центр МЭИ, 2014. – С. 91-94.

Лысенко, В.П. Птичий помет – источник дохода / В.П. Лысенко // Птицеводство. – 2009. – № 7. – С. 44-45.

Лысенко, В.П. Перспективная технология переработки помета путем ферментации под влиянием присутствующих в помете микроорганизмов / В.П. Лысенко // Птицеводство. – 2011а. – № 1. – С. 52-54.

Лысенко, В.П. Утилизация отходов: реальные технологии / В.П. Лысенко // Животноводство России. – 2011б. – № 6. – С. 9-11.

Лысенко, В.П. Органическое удобрение / В.П. Лысенко // Агротехника и агротехнологии. – 2012. – № 3. – С. 50-54.

Лысенко, В.П. Куриный помет – побочная продукция птицефабрик / В.П. Лысенко // Птица и птицепродукты. – 2013. – № 5. – С. 65-67.

Лысенко, В.П. Птичий помет – отход или побочная продукция / В.П. Лысенко // Птицеводство. – 2015. – № 6. – С. 55.

Лысенко, В.П. Биопрепараты для компостирования птичьего помета / В.П. Лысенко, Г.Е. Мерзлая, Р.А. Афанасьев // Птицеводство. – 2014. – № 3. – С. 39-44.

Лысенко, В.П. Утилизация птичьего помета на птицефабриках – пути решения (2010) / В.П. Лысенко, А.В. Горохов // Отраслевой портал. Отходы.ру. 2010. – URL: <https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=151> (дата обращения: 07.10.2025).

Марчик, Т.П. Почвоведение с основами растениеводства: учебное пособие / Т.П. Марчик, А.Л. Ефремов. – Гродно: ГрГУ, 2006. – 249 с.

Марченко, В.И. Безотходная технология переработки птицеводческих отходов / В.И. Марченко // Повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники: сборник науч. трудов. – Ставрополь, 2000. – С. 87-91.

Марченко, В.И. Энергосберегающая технология переработки отходов птицеводства с получением полезных продуктов / В.И. Марченко, Д.В. Гребенник, В.А. Алексеенко, Д.Н. Сляднев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2006. – № 4. – С. 169-171.

Малюта, О.В. Оценка нетрадиционных органических удобрений для лесных питомников с использованием биотестов / О.В. Малюта, Е.М. Романов // Лесохозяйственная информация. – 2000. – № 5-8. – С. 7-9.

Мерзлая, Г.Е. Ресурсы птицефабрик для производства органических удобрений / Г.Е. Мерзлая, В.П. Лысенко // Агрохимический вестник. – 2005 – № 3. – С. 12-13.

Мерзлая, Г.Е. Технологии утилизации помета / Г.Е. Мерзлая, Н.Е Корнева, В.Г. Тюрин, В.П. Лысенко // Птицеводство. – 2009. – № 1. – С. 48-50.

Методика полевого опыта по агротехнике выращивания сеянцев в лесном питомнике / Под ред. Н.А. Смирнова. – М.: ВНИИЛМ, 1969. – 36 с.

Миронов, В.В. Экология хвойных пород при искусственном лесовосстановлении / В.В. Миронов. – М.: Лесная пром-сть, 1977. – 232 с.

Митропольский, А.К. Техника статистических вычислений / А.К. Митропольский. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1971. – 576 с.

Мехренцев, А.В. Теплогенерация на основе древесного топлива как база для повышения энергоэффективности в лесопромышленном производстве / А.В. Мехренцев, М.А. Корж // Леса России и хозяйство в них. – 2019. – № 3(70). – С. 78-86.

Мочалов, Б.А. Научное обоснование и разработка интенсивной технологии выращивания посадочного материала хвойных пород для лесовосстановления на европейском севере России: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.01 / Мочалов Борис Александрович. – Архангельск, 2009. – 49 с.

Мошкин, А.М. География Свердловской области. / А.М. Мошкин, А.М. Оленев, Е.Л. Шувалов. – Свердловск: Ср.-Урал. кн. изд-во, 1970. – 110 с.

Мухортов, Д.И. Выращивание лесопосадочного материала с использованием гидролизного лигнина и иловых осадков на дерново-подзолистых почвах Марий Эл: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.01 / Мухортов Дмитрий Иванович. – Йошкар-Ола, 1999. – 244 с.

Мухортов, Д.И. Утилизация органических отходов при искусственном лесовосстановлении: автореферат дис. ... д-ра с.-х.: 06.03.01 / Мухортов Дмитрий Иванович. – Йошкар-Ола, 2013. – 44 с.

Мухортов, Д.И. Применение НОМУЛП при выращивании сеянцев ели на дерново-подзолистых суглинистых почвах / Д.И. Мухортов, Е.М. Романов // Лесохозяйственная информация. – 1997. – № 9. – С. 15-17.

Мухортов, Д.И. Приживаемость сортовых кустарниковых ив при внесении нетрадиционного органического удобрения / Д.И. Мухортов, Д.А. Трегубов // Пути рационального воспроизводства, использования и охраны лесных экосистем в зоне хвойно-широколиственных лесов: сборник науч. чтений, посвященный 70-летию Заслуженного лесовода России, д-ра с.-х. наук, проф. Аглиуллина Ф.В. – Чебоксары, 2005. С. 365-369.

Мухортов, Д.И. Утилизация органических отходов при искусственном лесовосстановлении / Д.И. Мухортов, Е.М. Романов // Вестник ПГТУ. – 2013. – № 3 (19). – С 20-35.

Наставление по системам применения удобрений в лесном хозяйстве на европейской территории СССР: утв. Госкомитетом СССР по лесу 25 сентября 1991 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9014009?ysclid=mirzpubic0255516781> (дата обращения 12.10.2025).

Неверова, О.П. Экосистемный подход к утилизации помета / О.П. Неверова, Г.В. Зуева, Т.В. Сарапулова // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 8 (126). – С. 38-41.

Наквасина, Е.Н. Влияние уровня дополнительного минерального питания на качество посадочного материала ели / Е.Н. Наквасина // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение. – Л.: ЛТА, 1983. – С. 90-93.

Новиков, М.Н. Птичий помет – ценное органическое удобрение / М.Н. Новиков, В.И. Хохлов, В.В. Рябков. – М.: РОСАГРОПРОМИЗДАТ, 1989. – 79 с.

Новосельцева, А.И. Справочник по лесным питомникам / А.И. Новосельцева, Н.А. Смирнов. – М.: Лесн. пром., 1983. – 312 с.

Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации: утв. Приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 367 от 18.08.2014 г. с изменениями.

– URL: <https://minjust.consultant.ru/files/11733?ysclid=mgntspfk2e344820301> (дата обращения 12.10.2025).

Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов: утв. приказом Росприроднадзора № 242 от 22.05.2017 с изменениями. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/542600531?ysclid=mirbbphavd238433928> (дата обращения 13.03.2024).

Об утверждении Лесного плана Свердловской области на 2019-2028 годы: утв. Указом Губернатора Свердловской области № 450-УГ от 18.09.2019 г. с изменениями. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/561550939?ysclid=mirb86lebi544420264> (дата обращения 12.10.2025).

Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления: утв. Приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 1024 от 29.12.2021 г. с изменениями. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/728111110?marker=8OQ0LQ> (дата обращения 12.10.2025).

Об утверждении проекта границ лесопарковой зоны и зеленой зоны в границах государственного учреждения Свердловской области «Березовское лесничество»: утв. Постановлением Правительства Свердловской области № 1330-ПП от 14.09.2010 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/553234054?ysclid=mirbdyt3ic921828239> (дата обращения 12.10.2025).

Овчаренко, М.М. Влияние известкования и кислотности почвы на поступление в растения тяжелых металлов / М.М. Овчаренко, И.А. Шильников, Д.К. Полякова и др. // Агрохимия. – 1996. – № 1. – С. 74-84.

Огиевский, Д.В. Рационализация применения удобрений в лесных питомниках / Д.В. Огиевский // Рациональное использование и восстановление природных ресурсов на Европейском Севере. – Архангельск, 1980. – С. 30.

Окультурирование и повышение плодородия почв лесных питомников Европейской части России (практические рекомендации): Утв. зам. руководителя Федеральной службы лесного хозяйства России 29.07.1994. – URL:

<https://docs.cntd.ru/document/9013020?ysclid=mixaad5yxy314394167> (дата обращения 12.10.2025).

Опилки на экспорт (2018). – URL: <https://proderevo.net/news/indst/opilki-na-eksport.html>. (дата обращения: 04.12.2024).

Оценочные показатели санитарного состояния почвы населённых мест: утв. зам. глав. гос. врача СССР № 1739-77 от 07.07.1977. – <https://docs.yandex.ru/docs/ukr196291.pdf> (дата обращения: 04.12.2024).

Павлоцкий, А.В. Влияние жидких органических удобрений различных групп животных и соломы на плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы и продуктивность звена севооборота: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Павлоцкий Александр Вячеславович. – Тверь, 2011. – 179 с.

Палеев, П.Л. Использование золошлаковых отходов в сельском хозяйстве / П.Л. Палеев, Л.И. Худякова // XXI век. Техносферная безопасность. – 2021. – Т. 6, № 4. – С. 348-356.

Патент на изобретение № 2681572. Опилично-почвенный субстрат для оптимизации плодородия почв: № 2017137294: заявл. 24.10.2017: опубл. 11.03.2019 / Антонов Г.И., Пашенова Н.В., Гродницкая И.Д.; заявитель, патентообладатель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук». – 9 с. (2019)

Патент на изобретение № 2806592. Способ получения органоминерального удобрения: № 2023102173: заявл. 01.02.2023: опубл. 01.11.2023 / Дрикер Б.Н., Старыгин Л.А., Марина Н.В., Панова Т.М., Фомин В.В., Платонов Е.П., Первова И.Г., Неуймин Р.С.; заявитель, патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уральский государственный лесотехнический университет". – 11 с. (2023)

Патент на изобретение № 2816192. Способ переработки птичьего помета с получением удобрения: № 2023102280: заявл. 02.02.2023: опубл. 26.03.2024 / Дрикер Б.Н., Старыгин Л.А., Марина Н.В., Панова Т.М., Фомин В.В., Плато-

нов Е.П., Первова И.Г.; заявитель, патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уральский государственный лесотехнический университет". – 12 с. (2024а)

Патент на изобретение № 2831228. Способ переработки птичьего помета с получением органоминерального удобрения: № 2023128713: заявл. 07.11.2023: опубл. 02.12.2024 / Дрикер Б.Н., Старыгин Л.А., Панова Т.М., Марина Н.В., Платонов Е.П., Фомин В.В., Залесов С.В., Тихонов А.В.; заявитель, патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уральский государственный лесотехнический университет". – 11 с. (2024б)

Пахненко, Е.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения / Е.П. Пахненко. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 311 с.

Переработка осадка сточных вод в компост // Экспресс-информация. Серия: Водоснабжение и канализация. – М.: ЦБНТИ Минжилкомхоза РСФСР, 1986. – № 19. – 4 с.

Пискаева, А.И. Анализ способов переработки сельскохозяйственных органических отходов на примере куриного помета / А.И. Пискаева // Экономика: экономика и сельское хозяйство. – 2016. – №4(12). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sposobov-pererabotki-selskohozyaystvennyh-organicheskikh-othodov-na-primere-kurinogo-pometa> (дата обращения: 04.12.2024).

Победов, В.С. Применение удобрений в лесном хозяйстве / В.С. Победов. – М.: Лесная промышленность, 1972. – 200 с.

Победов, С.В. Справочник по удобрениям в лесном хозяйстве/ С.В. Победов, И.М. Булавик, Е.А. Лебедев. – М.: Агропромиздат, 1986. – 172 с.

Победов, В.С. Экономическая эффективность использования минеральных удобрений в лесном хозяйстве / В.С. Победов. – М.: ЦБНТИ лесхоз, 1975. – 43 с.

Победов, В.С. Потери азота с инфильтрационными водами из обычных и медленнодействующих форм азотных удобрений в сосновых культурах / В.С. Победов // Агрохимия. – 1988. – № 4. – С. 11-15.

Победов В.С. Исследование и обоснование применения минеральных удобрений в интенсивном лесном хозяйстве (на примере Белорусской ССР): дис. д-ра с.-х. наук: 06.03.03 / Победов Виктор Степанович. – Гомель, 1981. – 450 с.

Поголовье скота и птицы (годовые данные). – URL: <http://www.gks.ru/dbscripts/cbsd/DBinet.cgi> (дата обращения 01.09.2016).

Попов, В.Н. Инновационные способы переработки биоотходов птицеводства / В.Н. Попов, О.С. Корнеева, О.Ю. Искусных, А.Ю. Искусных // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – №82(1). – С. 194-200.

Постановление Правительства РФ № 1940 от 31 октября 2022 г. «Об утверждении требований к обращению побочных продуктов животноводства». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/352185302?ysclid=mitchuxzx4765370726> (дата обращения: 17.02.2025).

Правдин, Л.Ф. Ива, ее культура и использование // Акад. наук СССР. Институт леса. – М.: Изд-во Акад. Наук СССР, 1952. – 168 с.

Применение обработанных химическими реагентами осадков городских сточных вод в качестве удобрений: рекомендации. – Владимир: ВПНО «Союзсельхозхимия». ВНИПТИОУ, 1987. – 75 с.

Распоряжение Правительства РФ № 84-р от 25.01.2018 (с изменениями) «Об утверждении Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/556353696?ysclid=mixadmrpez315186364> (дата обращения: 17.02.2025).

РД-АПК 1.10.15.02-17 Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза

и помета. – URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/947/9476bd749ba5f126523c309546fe7e44.pdf?ysclid=mfjces285c918365596> (дата обращения 17.02.2025 г.)

Редько, Г.И. Лесные питомники России / Г.И. Редько, Н.А. Бабич, П.Г. Редько. – Вологда, 1996. – 416 с.

Рекомендации по применению осадков городских сточных вод с иловых площадок в качестве удобрения. – Владимир, 1984. – 22 с.

Рекомендации по использованию осадков городских сточных вод в зеленом строительстве и сельском хозяйстве. – Л.: ВПНО «Союзсельхозхимия», 1987. – 27 с.

Рекомендации по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от объектов животноводства и птицеводства. – СПб: АО НИИ Атмосфера, 2015. – 28 с.

Родин, А.Р. Лесные культуры и мелиорация: учебник для вузов по специальности «Лесное хоз-во» / А.Р. Родин, В.В. Огиевский, В.В. Огиевский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесная пром-сть, 1974. – 376 с.

Родин, А.Р. Эффективность культур сосны и ели на вырубках зоны смешанных лесов / А.Р. Родин // Возобновление леса. – М.: Колос, 1975. – С. 175-196.

Романов, Е.М. Эколого-биологические аспекты утилизации осадков сточных вод в лесовыращивании / Е.М. Романов // Проблемы леса и охраны природы в Республике Марий Эл. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1992. – С. 45-46.

Романов, Е.М. Новое органоминеральное удобрение для лесных питомников / Е.М. Романов // Лесное хозяйство. – 1996. – № 1. – С. 42-43.

Романов, Е.М. Экологические аспекты утилизации осадков сточных вод в лесных питомниках / Е.М. Романов // Проблемы охраны окружающей среды от промышленных, бытовых, биологических и медицинских отходов, осадков сточных вод. – Пенза, 1997. – С. 147-150.

Романов, Е.М. Обоснование увеличения максимально допустимой дозы внесения удобрений на основе органических отходов в лесных питомниках /

Е.М. Романов, Т.В. Нуреева // Почвы, отходы производства и потребления: проблемы охраны и контроля. – Пенза, 1998. – С. 103-106.

Романов, Е.М. Биотехнологические аспекты производства новых органических удобрений для лесных питомников / Е.М. Романов, Д.И. Мухортов // ИВУЗ Лесной журнал. – 1997. – № 4. – С. 76-82.

Романов, Е.М. Влияние осадков сточных вод и низинного торфа на физико-химические свойства почвы и рост сеянцев спиреи рябинолистной / Е.М. Романов, В.И. Шабалова, З.В. Бирюкова, Т.С. Терехова и др. // Экология и защита леса: Межвуз. сборник науч. тр. – Л.: ЛТА, 1988. – С. 22-31.

Романов, Е.М. Производство и применение удобрений на основе гидролизного лигнина и иловых осадков в лесных питомниках / Е.М. Романов, Т.В. Нуреева, Д.И. Мухортов // Лесохозяйственная информация. – 2000. – № 5-8. – С. 31-51.

Романов, Е.М. Выращивание сеянцев древесных растений / Е.М. Романов. – Йошкар-Ола, 2000. – 499 с.

Рябинин, В.В. Побочные продукты животноводства: приняты новые документы // Актуальные вопросы бухгалтерского учета и налогообложения: учет в сельском хозяйстве. – 2023. – № 1. – С. 68.

Рябинин, Б.Н. Применение минеральных удобрений в лесных культурах / Б.Н. Рябинин. – М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1983. – 30 с.

СанПиН 2.1.7.573-96. 2.1.7. Почва. Очистка населённых мест. Бытовые и промышленные отходы. Санитарная охрана почвы. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения. Санитарные правила и нормы. – М.: Минздрав России, 1997. – 56 с.

Сафронов, О.А. Характеристика сухой золы сжигания углей Рефтинской ГРЭС в качестве техногенного сырья / О.А. Сафронов, И.В. Кунилова, П.А. Сыса, Я.М. Шимкунас, А.А. Лавриненко // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2023. – № 20. – С. 449-455.

Свердловская область: реестр предприятий обработки древесины и производства изделий из дерева (2025). – URL: <https://egrul-base.ru/rubric/region/65/code/16/> (дата обращения 11.10.2025).

Свердловская область: реестр предприятий разведения сельскохозяйственной птицы (2025). – URL: <https://egrul-base.ru/rubric/region/65/code/01.47/> (дата обращения 04.11.2025).

Семенченко, С.В. Утилизация и переработка помета в условиях птицефабрики/ С.В. Семенченко, В.В. Нефедова, А.А. Савинова // Вестник Донского гос. аграр. ун-та. – 2015. – № 4-1 (18). – С. 28-36.

Сидыганов, Ю.Н. Проблемы утилизации помёта при клеточном содержании в индустриальном птицеводстве / Ю.Н. Сидыганов, Е.М. Онучин, П.А. Рыбаков // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 6. – С. 216-220.

Смирнов, Н.А. Оптимальные соотношения корневой системы и надземной части у посадочного материала сосны и ели для приживаемости в культурах / Н.А. Смирнов // Выращивание сосны и ели в лесных культурах. – Пушкино, 1975. – С. 111-133.

Слухай, С.И. Питание и удобрение молодых древесных растений / С.И. Слухай. – Киев: Наукова думка, 1965. – 300 с.

Синькевич, М.С. Опыт выращивания сеянцев ели в подзоне средней тайги / М.С. Синькевич // Лесное хозяйство. – 1972. – № 3. – С. 40-42.

Справочник по климату СССР. Часть I.: Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. – Л.: Гидрометеиздат, 1966а. – 172 с.

Справочник по климату СССР. Часть III.: Ветер. – Л.: Гидрометеиздат, 1966б. – 196 с.

Справочник по климату СССР. Часть IV.: Влажность воздуха, атмосферные осадки и снежный покров. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 372 с.

Старыгин, Л.А. Получение органоминеральных удобрений для лесного хозяйства / Л.А. Старыгин, Б.Н. Дрикер, Ю.А. Горбатенко, Т.М. Панова, Н.В. Марина // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – №1 (88). – С. 181-192.

Старыгин, Л.А. Получение органоминерального удобрения из отходов птицепрома / Л.А. Старыгин, Б.Н. Дрикер, С.В. Залесов, Ю.А. Горбатенко // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2025. – № 1(167). – С. 46-53.

Старыгин, Л.А. Проблема повышения плодородия почв лесных питомников и пути ее решения / Л.А. Старыгин // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 2 (93). – С. 88-95.

Степанов, Н.Д. Погода Среднего Урала / Н.Д. Степанов. – Свердловск: Сред.-Уральское кн. изд-во, 1956. – 48 с.

Степанов, Н.Д. Меняется ли климат Урала? / Н.Д. Степанов. - Свердловск: Сред.-Уральское кн. изд-во, 1964. – 84 с.

Степанова, А.М. Кормовая добавка из помета — источник аминокислот и полезных бактерий / А.М. Степанова, Н.П. Тарабукина, М.П. Скрыбина, М.П. Неустроев, С.И. Парникова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2019. – Т. 14, № 4. – С. 466-480.

Субботина, М.Г. Эколого-агрохимическое обоснование применения золы биологических отходов в качестве фосфорного удобрения на дерново-мелкоподзолистой тяжелосуглинистой почве в Предуралье: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Субботина Мария Георгиевна. – Пермь: Перм. гос. с.-х. акад. им. Д.Н. Прянишникова, 2012. - 195 с.

Субботина, М.Г. Влияние золы биологических отходов на урожайность сельскохозяйственных культур и свойства дерново-мелкоподзолистой тяжело-суглинистой почвы / М.Г. Субботина, Л.А. Михайлова, М.А. Алешин // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: материалы V Междунар. эколог. конф. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – С. 473-476.

Сунгурова, Н.Р. Влияние удобрений на состояние и рост культур сосны / Н.Р. Сунгурова, Д.А. Гундерин // Экологические проблемы Севера: межвуз. сборник науч. трудов. – Архангельск: изд-во АГТУ, 2008. – Вып. 11. – С. 79.

Сунгурова, Н.Р. Влияние удобрений на состояние и рост культур ели / Н.Р. Сунгурова, К.С. Лагунов // Экологические проблемы Севера: межвуз. сборник науч. трудов. – Архангельск: изд-во АГТУ, 2008. – Вып. 11. – С. 80.

Сурков, В.В. Пышма / В.В. Сурков, Р.С. Галов // Научно-популярная энциклопедия «Вода России». – URL: https://water-rf.ru/Водные_объекты/556/Пышма?ysclid=mitglp0nve947706192 (дата обращения 15.02.2025).

Суховеркова, В.Е. Способы утилизации птичьего помета, представленные в современных патентах / В.Е. Суховеркова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 9(143). – С. 45-55.

Тарасов, С.И. Зарубежный опыт экологически безопасного использования бесподстилочного навоза / С.И. Тарасов // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 2. – С. 69-79.

Тарханов, О.В. Современные технологии переработки навоза и помета как тормоз экономики / О.В. Тарханов, Л.С. Тарханова. – Уфа: ИКЗ «Системы и технологии», 2009. – 160 с.

Тихонов, А.В. Анализ современных направлений по переработке и использованию птичьего помета / А.В. Тихонов, Л.А. Старыгин, И.Г. Первова // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: материалы XV Междунар. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2024. – С. 601-606.

Терин, А.А. Формирование лесных насаждений на рекультивированных землях в подзоне предлесостепных сосново-березовых лесов Свердловской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02 / Терин Алексей Александрович. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. – 19 с.

Теучеж, А.А. Применение птичьего помета в качестве органического удобрения / А.А. Теучеж // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 128. – С. 914-931.

Таскин, А.В. Комплексная переработка золошлаковых отходов углесжигающих электростанций и отходов углеобогащения / А.В. Таскин, Р.С. Федюк, Д.Р. Федотов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2025. – № 1 (167). – С. 28-36.

Требования к качеству сточных вод и их осадков, используемых для орошения и удобрения. – М.: Министерство сельского хозяйства и продовольствия РФ, 1995. – 40 с.

Ткаченко, М.Е. Общее лесоводство / М.Е. Ткаченко. – М.-Л.: Гослесбуиздат, 1955. – 600 с.

Тугов, А.Н. Перспективы использования твердых бытовых отходов в качестве вторичных энергетических ресурсов в России / А.Н. Тугов // Теплоэнергетика. – 2013. – № 9. – С. 56-61.

Уваров, Р.А. Методика исследования режимов работы барабанного биоферментатора / Р.А. Уваров // АгроЭкоИнженерия. – 2016. – №89. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-issledovaniya-rezhimov-raboty-barabannogo-biofermentatora> (дата обращения: 05.12.2024).

Уваров, Р.А. Обоснование типоразмерного ряда барабанных биоферментаторов / Р.А. Уваров // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2018. – № 1(94). – С. 143-149.

Удобрения на основе отходов гидролизно-дрожжевого производства. Технические условия (ТУ 9291-001-02069579-98). Разработали: Романов Е.М., Нуреева Т.В., Мухортов Д.И., Гордеева С.С. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1998. – 15 с.

Федеральный закон № 89-ФЗ от 24 июня 1998 года «Об отходах производства и потребления» с изменениями и дополнениями. – URL: <https://base.garant.ru/12112084/?ysclid=miu1clul5p706219669> (дата обращения 15.02.2025)

Федеральный закон № 248-ФЗ от 14 июля 2022 г. «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/>

prime/doc/404891791/?ysclid=mirsnwbf8b651294458 (дата обращения 15.02.2025)

Фисинин, В.И. Использование птичьего помета в земледелии: научно-методическое руководство / В.И. Фисинин, В.Г. Сычев, Г.Е. Мерзлая и др. – М.: НИПКЦ Восход-А, 2013. – 268 с.

Фирсова, В.П. Лесные почвы Свердловской области и их изменения под влиянием лесохозяйственных мероприятий / В.П. Фирсова // Труды института экологии растений и животных. – Свердловск: УФ АН СССР, 1969. – Вып. 63. – 152 с.

Фирсова, В.П. Почвы таежной зоны Урала и Зауралья / В.П. Фирсова. – М.: Наука, 1977. – 176 с.

Фредейкин, И.А. Агроэкологическая оценка эффективности применения нового органоминерального удобрения в условиях Северо-Запада РФ: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / Фредейкин Иван Алексеевич. – Санкт Петербург: Агрофизический научно-исследовательский институт, 2017. – 144 с.

Фрейберг, И.А. Влияние совместного применения удобрений и пестицидов на тератогенез семян сосны обыкновенной / И.А. Фрейберг, М.В. Ермакова, С.К. Стеценко // Леса Урала и хозяйство в них: сб. науч. тр. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2003. – Вып. 23. – С. 256-263.

Фрейберг, И.А. Модификации морфологии и фитомассы семян сосны обыкновенной под влиянием пестицидов / И.А. Фрейберг, М.В. Ермакова, С.К. Стеценко // Леса Урала и хозяйство в них: сборник науч. трудов. – Екатеринбург: УГЛТУ. 1998. – Вып. 20. – С. 166-170.

Фролова, Е.А. Применение нетрадиционных удобрений в лесном хозяйстве / Е.А. Фролова, С.В. Залесов // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики: материалы XI Междунар. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017а. – С. 245-246.

Фролова, Е.А. Влияние внесения нетрадиционных удобрений при выращивании посадочного материала сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) /

Е.А. Фролова, С.В. Залесов // Студенческий научный форум - 2017: материалы IX Междунар. студенческой науч. конф. (20176). – URL: <https://scienceforum.ru/2017/article/2017035679?ysclid=mirxvrnpriq38516810> (дата обращения 15.02.2025).

Фролова, Н.Л. Тура / Н.Л. Фролова, В.В. Сурков // Научно-популярная энциклопедия «Вода России». – URL: https://water-rf.ru/Водные_объекты/649/Тура?ysclid=miryoam0ss11689662 (дата обращения 15.02.2025).

Фомина, Н.В. Лесные культуры: учебное пособие / Н.В. Фомина. – Красноярск: КрасГАУ, 2022. – 275 с.

Хазан, М.Л. Экологическая необходимость и экологическая целесообразность переработки куриного помета / М.Л. Хазан, Б.М. Месхи, А.В. Павлов // Известия вузов. Сев. Кавказского региона естественных наук. – 2005. – № 9. – С. 76-78.

Худякова, Л.И. Использование золошлаковых отходов тепловых электростанций / Л.И. Худякова, А.В. Залуцкий, П.Л. Палеев // XXI век. Техносферная безопасность. – 2019. – Т.4., № 3(15). – С. 375–391.

Царева, М.В. Научное обоснование применения куриного помёта на дерново-подзолистой почве / М.В. Царева, Т.Ф. Персикова. – Горки: БГСХА, 2023. – 174 с.

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 Московского государственного университета леса - Лесной вестник. – 2016. –Т. 20, № 6. – С. 6-14.

Шалавина, Е.В. Методы экологически безопасного использования навоза и помета фермерскими хозяйствами в Ленинградской области / Е.В Шалавина, Э.В. Васильев, Р.А. Уваров // АгроЭкоИнженерия. – 2021. – № 3 (108). – С. 128-140.

Шевелина, И.В. Статистическая обработка лесоводственно-таксационной информации в среде Statistica: учебное пособие / И.В. Шевелина, Д.Н. Нуриев. – Екатеринбург: УГЛТУ. 2022. – 112 с.

Шмидт, А.Г. Химический состав птичьего помета в Омской области и эффективность удобрений на его основе / А.Г. Шмидт, Н.К. Трубина, В.П. Кормин // Эффективное животноводство – залог успешного развития АПК региона: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной году животноводства в Омской области. – Омск: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2018. – С. 435-438.

Шмидт, А.Г. Использование куриного помёта для оптимизации питания сельскохозяйственных культур в условиях южной лесостепи Западной Сибири: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Шмидт Александр Генрихович. – Омск, 2020. – 182 с.

Щерба, С.В. Методика полевого опыта с удобрениями / С.В. Щерба // Методика полевых и вегетационных опытов с удобрениями и гербицидами: сборник статей. – М.: Наука, 1967. – С. 3-69.

Щёткин, Б.Н. Методология экологически безопасной переработки птичьего помета в органоминеральные удобрения и создания устройств оценки качества их внесения в почву при возделывании сельскохозяйственных культур: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Щёткин Борис Николаевич. – Санкт-Петербург, 2004. – 350 с.

Экологические основы применения птичьего помета: рекомендации / В.М. Красницкий [и др.]. – Омск: ЛИТЕРА, 2014. – 44 с.

Эммануэль, Н.М. Курс химической кинетики / Н.М. Эммануэль, Д.Г. Кнорре. – М.: Высшая школа, 1996. - 463 с.

Яковлев, А.П. Система удобрения в севооборотах лесных питомников: практические рекомендации / А.П. Яковлев, Е.В. Костылева, В.К. Куликова, И.А. Маркова и др. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1980. – 48 с.

Яковлев, А.В. Технология подготовки и аэробной твердофазной ферментации помета на птицефабриках: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.02.04 / Яковлев Александр Владимирович. – Сергиев Посад, 2003. – 20 с.

Ashworth, A.J. Nutrient characteristics of poultry manure and litter / A.J Ashworth, J.P. Chastain, P.A. Moore // *Animal manure: production, characteristics, environmental concerns, and management*. – 2020. – Vol. 67. – P. 63-87.

Abouelenien, F. Improved methane fermentation of chicken manure via ammonia removal by biogas recycle / F. Abouelenien [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2010. – № 101. – P. 6368-6373.

Bean, C.L. Class B alkaline stabilization to achieve pathogen inactivation / C.L. Bean, J.J. Hansen, A.B. Margolin, H. Balkin, G. Batzer, G. Widmer // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. – 2007. – №4(1). – P. 53-60.

Blouin, V.M. Effect of compaction and water content on Lodgepole pine seedlings growth / V.M. Blouin, M.G. Schmidt, C.E. Bulmer, M. Krzic // *Forest Ecology and Management*. – 2008. – Vol. 255. – P. 2444-2452.

Chad Lincoln, M. Soil change and loblolly pine (*Pinus taeda*) seedlings growth following site preparation tillage in the Upper Coastal plain of the southeastern United States / M. Chad Lincoln [et al.] // *Forest Ecology and Management*. – 2007. – Vol. 242. – P. 558-568.

Chen, Z. Microbiological Safety of Chicken Litter or Chicken Litter-Based Organic Fertilizers: A Review / Z. Chen, X. Jiang // *Agric.* – 2014. – Vol. 4. – P. 1-29.

Choi, D.S. Effect of soil acidification on the growth of Korean pine (*Pinus koraiensis*) seedlings in a granite-derived forest soil / D.S. Choi [et al.] // *Environ Sci.* – 2005. – Vol. 12(1). – P. 34-47.

Crouch, N.M.A. A re-evaluation of the chemical composition of avian urinary excreta / N.M.A Crouch, V.M. Lynch, J.A. Clarke // *J Ornithol.* – 2020. – Vol. 161, – P. 17-24.

Derbina, M.A. Growing of seedlings in closed soil with addition of biohumus / M.A. Derbina // Journal of International of Scientific Publication Ecology Safety. – 2013. – Vol. 7., Part 4. – P. 61-73.

From, F. Residual long-term effects of forest fertilization on tree growth and nitrogen turnover in boreal forest / F. From, J. Strengbom, A. Nordin // Forests. – 2015. – Vol. 6, № 4. – P. 1145-1156.

Noller, H. Bases of composting: National Engineering Handbook / H. Noller // Environmental Engineering. Chapter 2. Composting. – 2010. – p. 637.

Lai, Jia Chi Optimal aeration management strategy for a small-scale food waste composting / Jia Chi Lai, Siaw San Hwang, Yi Lung Then, Chung Sien Lee // Carbon Resources Conversion. – 2023. – Vol. 7, Issue 1. – P. 100-190.

Lim, S.L. The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics / S.L. Lim, T.Y. Wu, P.N. Lim, K.P.Y. Shak // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2015. – Vol. 95 (6). – P. 1143-1156.

Mazur, R. Poultry manure as a substrate for methane fermentation: problems and solutions / R. Mazur [et al.] // Biogas World: Internationale Fachmesse für Biogastechnologien und dezentrale Energieversorgung. – Berlin, 2014. – 60 p.

Nahm, K.H. Evaluation of the nitrogen content in poultry manure / K.H. Nahm // World's Poultry Science Journal. – 2003. – Vol. 59, Issue 1. – P. 77-88.

Saarsalmi, A. Forest fertilization research in Finland: A Literature review / A. Saarsalmi, E. Mälikönen // Scand. J. For. Res. – 2001. – Vol. 16, № 6. – P. 514-535.

Seidavi, A.R. Present and potential impacts of waste from poultry production on the environment / A.R. Seidavi, H. Zaker-Esteghamati, C.G. Scanes // World's Poultry Science Journal. – 2019. – Vol. 75, Issue 1. – P. 29-42.

Smethurst, P.J. Forest fertilization: Trends in knowledge and practice compared to agriculture / P.J. Smethurst // Plant and Soil. – 2010. – Vol. 335. – P. 83-100.

Stewart, H.S.D. Reviewing the scientific use of fertilizers in forestry / H.S.D. Stewart // J. Forest. – 1965. – Vol. 63, № 7. – P. 501-508.

Turkington, R. The effects of fertilization and herbivory on the herbaceous vegetation of the boreal forest in north-western Canada: a 10-year study / R. Turkington, E. John, S. Watson, P. Seccombe-Hett // J. Ecol. – 2002. – Vol. 90, №2. – P. 325-337.

Vokkosov, Z.K. Analysis of physical-chemical and mineralogical indications of local agriculture (bentonite and phosphorite flour) in the production of organomineral fertilizers / Z.K. Vokkosov, X.M. Kanoatov // NamMTI ILMIY-TEXNIKA JURNALI. – 2022. – Vol. 7, Issue 2. – P. 109-113.

Wegst-Uhrich, S. Assessing antibiotic sorption in soil: A literature review and new case studies on sulfonamides and macrolides / S. Wegst-Uhrich, D.A. Navarro, L. Zimmerman, D.S. Aga // Chem Cent J. – 2014. – №8(5). – P. 1-12.

Wildbacher, N. Утилизация золы котельных, работающих на древесном топливе. – Минск, 2007. – 28 с.