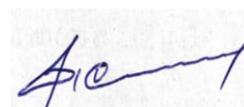


На правах рукописи



Жигулин Евгений Валерьевич

**Совершенствование агротехники выращивания посадочного
материала с закрытой корневой системой в теплицах
с регулируемым микроклиматом**

06.03.01 – Лесные культуры, селекция и семеноводство

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Екатеринбург, 2022

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Уральский государственный
лесотехнический университет»

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук,
профессор Залесов Сергей Вениаминович

Официальные оппоненты: Трещевская Элла Игоревна, доктор сель-
скохозяйственных наук, ФГБОУ ВО «Во-
ронезский государственный лесотехниче-
ский университет имени Г. Ф. Морозова»;
кафедра лесных культур, селекции и лесо-
мелиорации, профессор;
Пастухова Альбина Михайловна,
кандидат сельскохозяйственных наук,
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный
университет науки и технологий им. акаде-
мика М. Ф. Решетнева», кафедра селекции
и озеленения, доцент

Ведущая организация: «Всероссийский научно-исследователь-
ский институт лесоводства и механизации
лесного хозяйства» (ФБУ ВНИИЛМ)

Защита состоится 15 сентября 2022 г. в 10⁰⁰ на заседании диссертаци-
онного совета Д 212.249.06 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный
университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» по ад-
ресу: 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 82, зал заседаний диссертационного
совета, ауд. Гл-316

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Си-
бирский государственный университет науки и технологии имени акаде-
мика М.Ф. Решетнева» и на сайте:

Автореферат разослан «3» июня 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,

канд. с.-х. наук, доцент



Репах Марина Вадимовна

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Действующими нормативно-правовыми документами по лесовосстановлению, в том числе компенсационному, предусмотрен переход к созданию лесных культур хвойных пород посадочным материалом с закрытой корневой системой (ЗКС). Однако до настоящего времени в Уральском Федеральном округе отсутствуют лесные селекционно-семеноводческие центры и опыт создания лесных культур сеянцами с ЗКС. Широко применяемая, так называемая «скандинавская» технология выращивания посадочного материала с ЗКС не в полной мере соответствует климатическим условиям Урала. Кроме того, при выращивании 1–2 ротаций сеянцев для удовлетворения потребностей в посадочном материале с ЗКС потребуются значительные площади. Таким образом, актуальной проблемой является совершенствование агротехники выращивания посадочного материала с ЗКС на основе теплиц с регулируемым микроклиматом с целью увеличения его количества.

Степень разработанности темы исследований. В мировой и отечественной практике накоплен значительный опыт выращивания посадочного материала с ЗКС (Жиганов, 1969; Heiskanen, 1994; 1995; Жигунов, 1998; 2000; Tervo, 1999; Rikalo, 2010; 2012; Жигунов и др., 2016 и др.). Однако данный опыт базируется на использовании так называемой «скандинавской» технологии, обеспечивающей выращивание 1–2 ротаций сеянцев с ЗКС при естественном освещении. Вопросы выращивания сеянцев в теплицах с регулируемым микроклиматом в условиях Уральского региона ранее не изучались. Автором предпринята попытка научного и экономического обоснования усовершенствования агротехники выращивания сеянцев хвойных пород с ЗКС в условиях Свердловской области.

Диссертация является законченным научным исследованием.

Цель исследования. Разработка предложений по совершенствованию агротехники выращивания сеянцев с закрытой корневой системой (ЗКС) в промышленных тепличных комплексах с регулируемым микроклиматом для искусственного лесовосстановления и лесоразведения на Урале.

В соответствии с заявленной целью исследований были сформулированы следующие задачи:

- выполнить анализ текущего состояния производства посадочного материала для лесовосстановления на территории Свердловской области;
- изучить возможности автоматизации сортировки семян и ускорения их прорастания;
- изучить влияние продолжительности светового дня и освещенности на рост сеянцев с ЗКС;
- изучить влияние контейнеров различной конструкции на температурный режим и влажность субстрата;

- изучить возможность применения нижнего полива подтоплением для рационального использования воды и питательных растворов без сброса в дренаж;

- разработать предложения по совершенствованию агротехники выращивания сеянцев с ЗКС в промышленных тепличных комплексах с регулируемым микроклиматом.

Научная новизна результатов исследований. Впервые проанализированы возможности автоматизированной сортировки семян и ускорения их прорастания при выращивании сеянцев с ЗКС в теплицах с регулируемым микроклиматом; установлена продолжительность фотопериода и уровень освещенности при выращивании сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii* Djil.) и ели сибирской (*Picea obovate* Ledeb.) с ЗКС; установлено влияние нижнего полива на рост и фитомассу сеянцев; проанализировано состояние производства посадочного материала для лесовосстановления и лесоразведения в Свердловской области.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в получении новых данных, расширяющих возможности выращивания посадочного материала с ЗКС в промышленных теплицах с регулируемым микроклиматом и искусственной досветкой. Практическая значимость работы заключается в увеличении эффективности «работы» тепличных комплексов по выращиванию сеянцев хвойных пород для лесовосстановления за счет ускорения прорастания семян и их автоматизированной сортировки, подбора размера кассет, регулирования уровня освещенности и продолжительности фотопериода, совершенствования полива, а также возможности выращивания сеянцев вне зависимости от естественной продолжительности вегетационного периода.

Разработанные в ходе проведения исследований предложения по совершенствованию агротехники выращивания посадочного материала с ЗКС используются при проектировании строительства лесосеменного селекционного центра на территории Свердловской области, а после проведения опытно-производственной проверки могут быть использованы в других регионах со сходными лесорастительными условиями.

Основные результаты исследований используются в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению 35.03.01 и 35.04.01 «Лесное дело» (имеется справка о внедрении).

Методология и методы исследования. В основу исследований положены 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, Statistica, MapInfo. Полученные в ходе работы данные под-

вергались статистической обработке с получением результатов на 95% уровне значимости.

Положения, выносимые на защиту:

- минимально необходимая интенсивность искусственного освещения в условиях промышленного выращивания контейнерного посадочного материала для сосны обыкновенной и лиственницы Сукачева – 200 мкмол $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$, ели сибирской 150 мкмоль $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$, а критичная длина дня в диапазоне 12-13 ч;

- применение нижнего полива подтоплением позволяет получить сеянцы с ЗКС стандартных размеров и сократить периодичность поливов;

- использование контейнеров среднего и крупного размера уменьшает риск перегрева торфяного субстрата с повреждением белковых структур семян и корней, обеспечивая оптимальный режим увлажнения и в 2–3 раза снижает количество поливов, по сравнению с ячейками мелкого объема.

- масса семян и их геометрические размеры не являются постоянными показателями, поэтому необходимо точно определять размеры фракций для каждой партии в отдельности при предпосевной обработке семян, что позволяет обеспечить всхожесть на уровне 90-95%.

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, а также использованием прикладных компьютерных программ для обработки данных.

Основные результаты диссертационного исследования докладывались на междунар. науч.-практ. конф. «Лесной комплекс: состояние и перспективы развития (Брянск, 2019; 2020); XIII междунар. науч.-техн. конф. «Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса» (Екатеринбург, 2021); XVII всерос. (национальный) науч.-техн. конф. «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» (Екатеринбург, 2021), второй межд. школке-конф. молодых ученых «Лесная наука, молодежь, будущее» (Гомель, 2021); IV межд. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса» (Кострома, 2021); III межд. биотехнологическом симпозиуме «Bio-Asia- 2021» (Барнаул, 2021).

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

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 16 печатных работах, в том числе 6 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 146 страницах машинописного текста, состоит из введения, 6 глав, заключения и предложений производству. Библиографический список включает 248 наименований, в том числе 49 иностранных. Текст проиллюстрирован 33 таблицами и 35 рисунками.

1. Природные условия района исследований

Основной объем исследований был выполнен на базе тепличного комплекса, расположенного в пос. Садовый в 14 км на северо-восток от г. Екатеринбурга (N 56.9510; E 60.6880). Исследования проводились в теплицах четвертого поколения типа VENLO. Территория проведения исследований расположена в пограничной зоне между умеренно-континентальным и континентальным климатом. Последнее объясняет резкую изменчивость погоды и наблюдающиеся природные аномалии, такие как чередование зимних морозов ниже -40°C и оттепелей с дождями, а также жары с температурами $+35^{\circ}\text{C}$ и заморозками в летний период. В последние 40 лет зафиксирован тренд ускорения поступления весенних и раннелетних климатических явлений, что проявляется в сдвиге фенологических сроков начала сокодвижения, зацветания и созревания семян у древесных растений (Шкляев, Шкляева, 2003; Ваганов, Шиятов, 2005; Янцер, Терентьева, 2013; Янцер, 2019).

Сумма температур воздуха выше 10°C : 1600–1700 $^{\circ}\text{C}$, что является достаточным для нормальной вегетации основных таежных лесообразующих пород. Увлажнение можно охарактеризовать как умеренно избыточное, но в отдельные годы может наблюдаться недостаток влаги в летний период.

Насаждения района исследований характеризуются высокой относительной полнотой (0,7–0,9) и продуктивностью (классы бонитета II–III), а также наличием подлеска и развитого живого напочвенного покрова. Последнее объясняет тот факт, что наряду с подзолистым получает развитие дерновый почвообразовательный процесс и нередко формируются дерново-подзолистые почвы.

Согласно действующих нормативных документов, Свердловская область, где проводились исследования, входит в Северо-Уральский и Средне-Уральский таежные лесные районы, шесть лесосеменных районов по сосне обыкновенной (2, 8, 9, 10, 11 и 12), четыре по ели сибирской (6, 7, 9, 10) и по два по лиственнице Сукачева (4, 7) и сосне сибирской (1, 3).

2. Состояние проблемы

Доминирование в практике заготовки древесины сплошнолесосечных рубок вызвало необходимость искусственного лесовосстановления и, как следствие этого, потребность в посадочном материале. Длительный период последний выращивался на лесных питомниках в открытом грунте и использовался с открытой корневой системой (ОКС). Однако использование посадочного материала с ОКС имеет ряд недостатков. В частности, длительный срок выращивания, потребность в значительной площади питомников, большой расход семян и ограниченный срок посадки лесных культур.

В настоящее время, с целью минимизации указанных недостатков, в лесокультурную практику все активнее входит использование сеянцев с закрытой корневой системой (ЗКС). Многочисленными исследованиями доказано, что посадочный материал с ЗКС характеризуется высокой приживаемостью, а лесные культуры, созданные с его использованием – хорошей сохранностью (Жигунов, 1998; 2000; Мочалов, 2005; 2010; 2011; Соколов, 2006; Денисов, 2006; Vikola, 2012; Багаев, 2012; Zhigunov et al., 2014; Жигунов и др., 2016).

В то же время многие вопросы выращивания сеянцев с ЗКС остаются не решенными. В большинстве своем сеянцы с ЗКС выращиваются при естественном освещении, что ограничивает возможности выращивания 1-2 ротациями. Сеянцы поздних сроков посева как правило не успевают достичь нормативных параметров в первый год вегетации и требуют доращивания на следующий. При увеличении количества ротаций возникает необходимость в разработке рекомендации по регулированию освещенности. Кроме того, необходимо совершенствование технологии полива и регулирования температурного режима в теплицах.

Выращивание качественного посадочного материала с ЗКС возможно только при тщательной сортировке и предпосевной обработке семян. Кроме того, приживаемость сеянцев с ЗКС не во всех районах характеризуется высокими показателями (Проказин и др., 2015; Ананьев и др., 2018; Гоф и др., 2019; Гоф, 2000 и др.). Указанное требует правильного выбора кассет для выращивания посадочного материала с ЗКС и совершенствования скандинавской технологии выращивания с учетом региональных особенностей.

В Уральском регионе отсутствует опыт выращивания посадочного материала с ЗКС при высокой его востребованности прежде всего для компенсационного лесовосстановления и лесоразведения. Последнее определило направление наших исследований.

3. Методика, программа и объем выполненных работ

В соответствии с целью и задачами, программа исследований включала в себя следующие вопросы, требующие изучения:

1. Литературный обзор отраслевых рекомендаций и научных исследований в области выращивания посадочного материала с ЗКС.

2. Анализ природно-климатических условий района исследований.

3. Анализ современного состояния инфраструктуры для выращивания посадочного материала и генетико-селекционного комплекса на территории Свердловской области.

4. Изучение возможности усовершенствования агротехники выращивания сеянцев сосны, лиственницы и ели с ЗКС в условиях промышленных теплиц 4 поколения с регулируемым микроклиматом в условиях Среднего Урала.

5. Изучение влияния объема ячейки контейнеров различной конструкции на расход воды при выращивании однолетних сеянцев хвойных пород с ЗКС в закрытом грунте.

6. Совершенствование методов точного определения размеров семян с целью разделения их на фракции для бесперебойного высева на автоматических линиях.

7. Разработку технологии нижнего полива подтоплением для обеспечения снижения потребления и потерь воды.

8. Разработку экономического обоснования создания лесосеменного селекционного центра на Среднем Урале.

9. Разработку предложений по совершенствованию агротехники выращивания сеянцев с ЗКС в промышленных теплицах.

В качестве объектов исследований были выбраны сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.) и лиственница Сукачева (*Larix sukaczewii* Djl.). Для выращивания сеянцев использовались районированные семена указанных пород.

Исследования проводились с использованием контейнеров различного объема и конструкции (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика изучаемых контейнеров

| Тип кассеты | Количество ячеек, шт. | Размеры, (ДхШхВ), мм | Количество сеянцев на 1 м ² , шт. | Объем ячейки, мл | Размер кома с корнями |
|---------------------|-----------------------|----------------------|--|------------------|-----------------------|
| Контейнер P9 | 1 | 90*90*90 | 122 | 730 | Очень крупный |
| Plantek 35F | 35 | 400x300x130 | 291 | 275 | Крупный |
| Plantek 64FD | 64 | 385x385x110 | 434 | 128 | Крупный |
| Plantek 64F | 64 | 385x385x73 | 434 | 115 | Средний |
| Plantek 81F | 81 | 385x385x73 | 549 | 85 | Мелкий |
| Plantek Air-Blok100 | 100 | 385x385x90 | 676 | 81 | Мелкий |

Отбор проб и основные параметры качества семян определялись в соответствии с требованиями ГОСТ 13056.4-67. Сортировка и разделение

семян на фракции производились с учетом рекомендаций Л.Т. Свиридова (2002), а определение размера семян с точностью 0,1 мм при помощи ГИС MapInfo. При этом отбирались пробы из не менее 250 семян из среднего образца. Семена помещались на сканер или фотографировались в высоком разрешении не менее 1200 dpi, а для фотографий использовалось качество не менее 6 мегапикселей.

При выращивании сеянцев полив производился при влажности субстрата в кассетах ниже 60%. Норма полива устанавливалась весовым методом (Жигунов и др., 2016).

Срок выращивания сеянцев в теплице составлял 60 и 90 дней. Из теплицы сеянцы поступали на открытый полигон для доращивания и адаптации.

Контроль за состоянием субстрата осуществлялся с использованием измерительных приборов Milwaukee MW 803 PH/EC/TDS/°C. Освещенность измерялась с помощью люксметра (Laserliner LuxTest-Master 082.130 A).

Полученные в ходе работы данные подвергались статистической обработке с получением результатов на 95% уровне значимости (Митропольский, 1971; Зайцев, 1984; Бондаренко, Жигунов, 2016).

В ходе исследований проанализирована инфраструктура для выращивания посадочного материала и состояние генетико-селекционного комплекса на территории Свердловской области. Кроме того, проведены следующие исследования:

- эксперимент по выращиванию сеянцев сосны, лиственницы и ели с ЗКС в условиях промышленных теплиц 4 поколения с регулируемым микроклиматом;
- эксперимент по установлению влияния объема ячейки контейнера различной конструкции на расход воды при выращивании однолетних сеянцев с ЗКС;
- эксперимент по выращиванию сеянцев сосны, лиственницы и ели с ЗКС в условиях искусственного освещения теплиц;
- эксперимент по использованию геоинформационных технологий для определения геометрических размеров семян из разных лесосеменных районов с точностью до 0,1 мм для дальнейшей сортировки и деления на фракции при посеве на автоматической линии посева;
- эксперимент по установлению влияния способов полива на рост и развитие сеянцев в теплице.

4. Анализ фонда лесовосстановления и инфраструктуры для выращивания посадочного материала

Фонд лесовосстановления в Свердловской области составляет 204,1 тыс. га, при этом 33,9% приходится на Северо-Уральский, а 66,1% на Средне-Уральский таежные лесные районы. Он представлен вырубками –

77,0, горями – 16,2, прогалинами – 5,2 и погибшими насаждениями – 1,6%. Основным способом лесовосстановления является содействие естественному лесовосстановлению, на которое приходится 54,9% площади фонда лесовосстановления. Искусственный и комбинированный способы лесовосстановления планируются лишь на 2,9 и 0,3% фонда лесовосстановления, соответственно. Логично, что доля искусственного и комбинированного способов лесовосстановления должна быть увеличена. Последний вывод соответствует требованиям нормативно-правовых документов, в том числе и по компенсационному лесовосстановлению.

В настоящее время лесные культуры создаются с использованием семян с ОКС. Однако уже в 2024 г. потребность в сеянцах с ЗКС по Уральскому Федеральному округу составит 55,9 млн. шт. Выполненный анализ инфраструктуры по выращиванию посадочного материала на территории Свердловской области показал, что в области имеется 23 лесных питомника общей площадью 354,8 га. При этом реально используется лишь 117,4 га площади питомников.

Из 13 каркасов сезонных пленочных теплиц площадью 1,3 га функционирует лишь 2 площадью 0,19 га.

При вовлечении всей площади лесных питомников и теплиц возможно ежегодно выращивать 130,1 млн шт. сеянцев с ОКС и 5,87 млн шт. с ЗКС в закрытом грунте. Другими словами, даже в случае восстановления теплиц сохранится дефицит в посадочном материале с ЗКС.

Особо следует отметить, что в Свердловской области были созданы объекты единого генетико-селекционного комплекса (ЕГСК) для получения качественных лесных семян. Для массовой заготовки семян создавались лесосеменные плантации. В целом на территории Свердловской области ЕГСК включал 10 видов лесосеменных объектов.

Наличие объектов ЕГСК позволяет заготавливать высококачественные семена. Однако большинство объектов находится в заброшенном состоянии, нуждается в проведении лесоводственных мероприятий и омоложении. Особое внимание следует уделить межеванию границ и поставке на кадастровый учет всех объектов ЕГСК, а также разработке рекомендаций, позволяющих проводить лесоводственные мероприятия на научной основе.

5. Обоснование режимов выращивания сеянцев с закрытой корневой системой

Специфика выращивания сеянцев с ЗКС в теплицах четвертого поколения типа VENLO заключается в том, что в отличие от пленочных теплиц микроклимат в них можно поддерживать стабильным в течение всего года. Последнее позволяет повысить выход выращиваемого посадочного материала с единицы площади. Однако для этого необходимо совершенствование агротехники выращивания с учетом региональных условий.

Выращивание качественного посадочного материала неразрывно связано с сортировкой и предпосевной обработкой семян. Известно, что только близкие по размеру семена могут дать дружные всходы.

При выращивании сеянцев с ЗКС очень важно разделять семена на фракции, поскольку высев семян в кассеты производится на автоматических линиях. Нами разработана новая методика определения размера семян при помощи ГИС MapInfo с точностью до 0,1 мм. Последнее позволяет определять границы размеров для разделения семян на фракции для более точной настройки автоматических сеялок вакуумного типа (табл. 2). Установлено, что семена крупной фракции характеризуются более высокой энергией прорастания (93,2%) и всхожестью (91,8%) по сравнению с несортированными семенами, у которых вышеуказанные величины составляют 81,6 и 80,2%, соответственно.

Таблица 2 – Основные статистические показатели измерений размеров семян сосны

| Статистические показатели | Характеристика фракций семян | | | | | |
|----------------------------|------------------------------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | Несортированные | | Крупные | | Средние | |
| | Длина | Ширина | Длина | Ширина | Длина | Ширина |
| Среднее, мм | 4,2 | 2,3 | 4,6 | 2,6 | 4,1 | 2,3 |
| Минимум, мм | 3,8 | 1,9 | 4,1 | 2,5 | 3,7 | 2,0 |
| Максимум, мм | 5,2 | 2,8 | 5,2 | 2,8 | 4,8 | 2,4 |
| Стандартная ошибка | 0,07 | 0,04 | 0,06 | 0,02 | 0,06 | 0,02 |
| Медиана | 4,1 | 2,3 | 4,5 | 2,6 | 4 | 2,3 |
| Мода | 4,1 | 2,3 | 4,5 | 2,5 | 4 | 2,3 |
| Стандартное отклонение | 0,35 | 0,19 | 0,31 | 0,12 | 0,29 | 0,12 |
| Дисперсия выборки | 0,12 | 0,03 | 0,10 | 0,01 | 0,08 | 0,01 |
| Экссесс | 1,91 | 1,32 | -0,83 | -1,27 | 2,05 | 0,17 |
| Асимметричность | 1,38 | 0,15 | 0,22 | 0,49 | 1,50 | -0,77 |
| Интервал | 1,4 | 0,9 | 1,1 | 0,3 | 1,1 | 0,4 |
| Уровень надежности (95,0%) | 0,15 | 0,08 | 0,13 | 0,05 | 0,12 | 0,05 |

Для ускорения прорастания семян кассеты после посева на 5 дней помещаются в камеру проращивания с температурой +22⁰С и влажностью 85–90%, а затем выносятся в теплицу. Всходы при этом появляются на 7-й день, а все жизнеспособные семена прорастают за 15 суток. Без камер проращивания всходы появляются через 14-21 сутки. Этот прием позволяет ускорить появление всходов и сократить общий период тепличного выращивания на 7-10 дней (табл. 3).

Таблица 3 – Сроки появления всходов

| Вариант опыта | Доля проросших семян по срокам учета, % | | |
|--------------------|---|----------|----------|
| | 7 суток | 15 суток | 21 сутки |
| Сосна обыкновенная | | | |

| | | | |
|---------------------|----|----|----|
| Камера проращивания | 44 | 78 | 92 |
| Теплица | 8 | 40 | 90 |
| Ель сибирская | | | |
| Камера проращивания | 0 | 34 | 80 |
| Теплица | 0 | 20 | 70 |

Регулируя режим микроклимата (табл. 4), можно обеспечить выращивание стандартных сеянцев с ЗКС лиственницы Сукачева, сосны обыкновенной и ели сибирской даже в зимних условиях.

Таблица 4 – Режим микроклимата в теплице при проведении исследований

| Срок после посева, недель | Физиологическое состояние | Температура воздуха, °С | Влажность воздуха, % | Тип помещения |
|---------------------------|--|-------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| | Набухание и прораствание семян | +22...+25 | 90 | Камера проращивания |
| | Появление и рост всходов | +22...+25 | 75 | Теплица |
| | Интенсивный рост | +20...+22 | 65 | Теплица |
| | Закладка верхушечной почки | +16...+20 | 65 | Теплица или открытый полигон |
| | Закладка верхушечной почки, одревеснение | +10...+16 | 65-85 | Открытый полигон или холодная теплица |
| | Одревеснение и закладка | +4...+10 | 65-85 | Открытый полигон или хранилище |
| Более 17 | Состояние покоя | 0...-4 | | Хранилище |

Помимо температуры и влажности выращивание сеянцев хвойных пород с ЗКС требует в осенне-зимний период искусственного освещения. Зависимость высоты посадочного материала от интенсивности освещения приведена в таблице 5.

Таблица 5 – Средняя высота сеянцев с ЗКС в зависимости от интенсивности освещения, см

| Порода | Естественное освещение без досветки | Суммарная дневная освещенность при досветке, мкмоль м ⁻² с ⁻¹ | | | |
|-------------|-------------------------------------|---|------------|------------|------------|
| | | 80 | 150 | 200 | 300 |
| Сосна | 4,70±0,37 | 6,05±0,37 | 7,60±0,45 | 8,23±0,41 | 8,65±0,36 |
| Лиственница | 6,08±0,30 | 7,05±0,38 | 10,45±0,40 | 16,35±0,30 | 17,00±0,33 |
| Ель | 2,91±0,34 | 4,02±0,35 | 5,67±0,45 | 5,75±0,39 | 5,85±0,30 |

Экспериментально установлено, что для роста сеянцев лиственницы Сукачева и сосны обыкновенной требуется суммарная дневная освещенность 200, а ели сибирской 150–200 мкмоль м⁻²С⁻¹. При этом продолжительность освещения должна составлять 12–13 часов. Меньшая продолжительность светового дня служит основанием для закладывания верхушечной почки и прекращения роста.

Успешность выращивания сеянцев с ЗКС во многом зависит от правильного выбора типа кассет. Нами согласно методики изучался температурный режим субстрата в кассетах пяти типоразмеров. Установлено, что влага из субстрата в ячейках кассет испаряется с разной скоростью. Наиболее быстро пересыхают угловые ячейки с мелким комом. Если при оптимальной для выращивания сеянцев температуре воздуха в теплице различия температуры субстрата не превышают 1⁰С, то при высоких температурах воздуха повышается и температура субстрата. При этом, чем больше ячейки, тем ниже температура субстрата (табл. 6).

Таблица 6 – Температурный режим субстрата при оптимальных температурах воздуха

| Вариант опыта | Температура субстрата, °С | | | |
|----------------------------|---------------------------|----------------|----------------|--------------------------|
| | Угловая ячейка | Крайние ячейки | Смежные ячейки | Центральная часть кассет |
| Plantek 35F | 27,5 | 25,4 | 22,6 | 22,0 |
| Plantek 64FD | 32,4 | 33,4 | 30,3 | 29,4 |
| Plantek 64F | 31,3 | 31,5 | 32,0 | 30,1 |
| Plantek 81F | 33,2 | 33,9 | 33,6 | 32,9 |
| Plantek AirBlok100 | 33,2 | 31,8 | 31,0 | 30,0 |
| Контейнер Р-9 (контроль) | - | - | - | 25,5 |
| Грунт в теплице (контроль) | - | - | - | 20,0 |
| Открытый грунт (контроль) | - | - | - | 16,0 |

Примечание: температура воздуха +27⁰С, температура воздуха в теплице без вентиляции +45⁰С.

Наибольшие колебания температуры субстрата зафиксированы у кассет Plantek 64FD (интервал 5⁰С) и Plantek 81F (интервал 4⁰С). Указанное позволяет рекомендовать при выращивании сеянцев с ЗКС в условиях подзон северной и средней тайги, где минимален риск перегрева субстрата, кассет, формирующих мелкий и средний ком (Plantek AirBlok 100, Plantek 81F, Plantek 64F), а в условиях подзоны южной тайги кассет с увеличенным размером ячеек (Plantek 35F, Plantek 64 FD).

Влажность субстрата определяет необходимость поливов, а, следовательно, и влияет на расход воды. Более наглядную картину о расходе воды на полив среднего сеянца позволяют получить материалы, приведенные на рисунке 1.

Выполнена оценка возможности применения нижнего полива (подтопления) при выращивании сеянцев с ЗКС в теплице. Нижний полив позволяет увеличить периодичность полива с 3 до 4 дней и снизить расход воды и питательных растворов на 25% без ущерба для растений. При верхнем поливе, применяемом по «скандинавской» технологии выращивания сеянцев с ЗКС, значительная часть воды и питательных растворов не используется сеянцами и сбрасывается в дренаж. Последнее приводит к увеличению себестоимости сеянцев и ухудшению экологии. Проведенные эксперименты показали, что верхний полив можно успешно заменить на нижний (подтоплением), что обеспечит замкнутый цикл использования воды и питательных растворов при достижении сеянцами стандартных размеров (табл. 7).

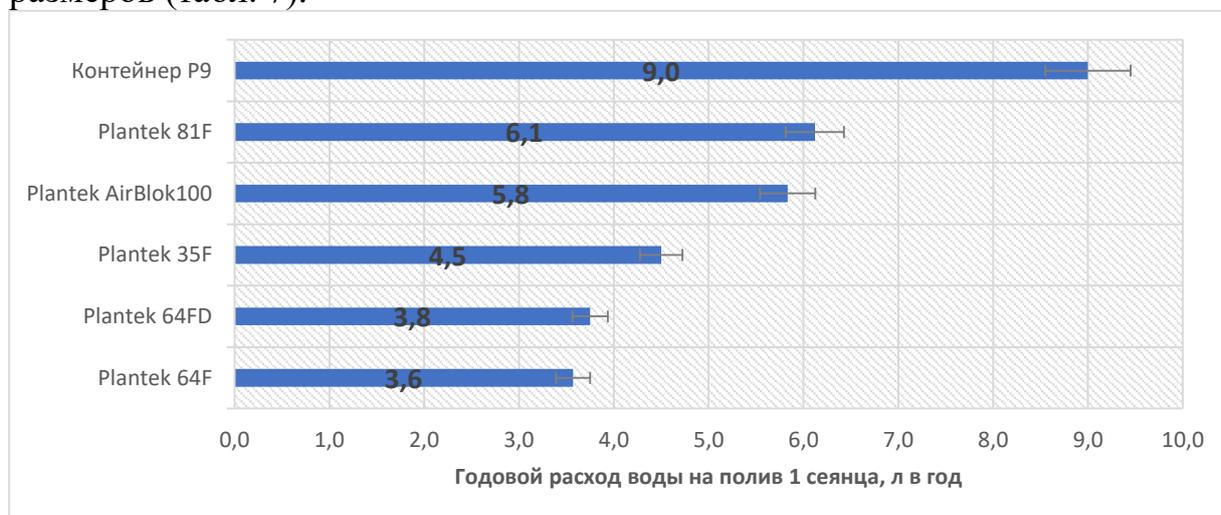


Рисунок 1 – Расход воды для полива 1 сеянца в год

Таблица 7 – Размеры сеянцев хвойных пород с ЗКС при разных способах полива

| Вид | Верхний полив | | Нижний полив | |
|----------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|
| | высота стволика, см | диаметр у шейки корня, мм | высота стволика, см | диаметр у шейки корня, мм |
| Сосна обыкновенная | 11,2 ± 0,3 | 2,3 ± 0,1 | 10,7 ± 0,4 | 2,1 ± 0,1 |
| Ель сибирская | 5,2 ± 0,2 | 1,2 ± 0,1 | 4,5 ± 0,2 | 1,2 ± 0,1 |
| Лиственница Сукачева | 13,7 ± 0,6 | 2,5 ± 0,2 | 12,8 ± 0,5 | 2,3 ± 0,2 |

Материалы таблицы 7 свидетельствуют, что сеянцы сосны обыкновенной и лиственницы Сукачева при указанных способах полива достигают стандартных размеров, а сеянцы ели сибирской нуждаются в доращивании.

6. Экономическое обоснование

Разработано экономическое обоснование для создания на Урале лесосеменного селекционного центра на базе теплицы четвертого поколения

типа VENLO (табл. 8). Инициатором и координатором являлось АО «Тепличное» (г. Екатеринбург), предоставившее тепличные площади и технологическое оборудование для проведения исследовательских работ. Проект выполнен в 2020 году проектным институтом ООО НПФ «ФИТО». При разработке обоснования проанализирована инновационная составляющая, выполнены анализ рынка, анализ проекта, сильных и слабых его сторон, рыночные возможности, а также рыночные риски и угрозы, риски по реализации проекта и маркетинговый план.

Таблица 8. – Основные экономические цели и показатели проекта

| № п/п | Технико-экономические показатели | Ед. изм. | Значение показателя |
|-------|--|----------|---------------------|
| 1 | Объем инвестиций в производственную инфраструктуру | руб. | 1 100 000 000 |
| 2 | Объем производства | шт./год | 28 000 000 |
| 3 | Общий объем производственных затрат | руб./год | 43 000 000 |
| 4 | Численность постоянного персонала | чел. | 19 |
| 5 | Численность временного персонала | чел. | 58 |
| 6 | Фонд заработной платы постоянного персонала | руб./год | 15 000 000 |
| 7 | Фонд заработной платы временного персонала | руб./год | 4 800 000 |
| 8 | Цена реализации единицы продукции | руб. | 8,5 |
| 9 | Годовой объем реализации продукции в стоимостном выражении | руб. | 238 000 000 |
| 10 | Себестоимость единицы продукции с учетом амортизации за 10 лет | руб. | 5,9 |
| 11 | Период окупаемости проекта | год | 6,5 |

Заключение

Интенсификация лесокультурного производства и требования нормативных документов по компенсационному лесовосстановлению и лесоразведению требуют увеличения доли используемых при создании лесных культур семян с ЗКС. Однако до настоящего времени в Уральском Федеральном округе отсутствуют лесные селекционно-семеноводческие центры по выращиванию посадочного материала с ЗКС. Указанное обстоятельство обусловило необходимость создания подобного центра в пос. Садовый Свердловской области в 14 км на северо-восток от г. Екатеринбурга.

Исследования проводились на базе теплиц четвертого поколения типа VENLO в период с 2019 по 2021 гг.

Район исследований характеризуется расположением в пограничной зоне между умеренно-континентальным и континентальным климатом. Увлажнение можно охарактеризовать как умеренно избыточное, но в отдельные годы может наблюдаться недостаток влаги в летний период.

Фонд лесовосстановления в Свердловской области составляет 204072 га и представлен вырубками – 77,0, гарями – 16,2, пустырями и прогалинами – 5,2 и погибшими насаждениями 1,6%. Основным способом лесовосстановления является содействие естественному лесовозобновлению, на которое приходится 54,9% площади фонда лесовосстановления. На искусственный и комбинированный способы приходится лишь 2,9 и 0,3% фонда лесовосстановления, соответственно.

На территории Свердловской области имеется 23 лесных питомника площадью 354,8 га и 13 каркасов сезонных пленочных теплиц площадью 1,3 га. Однако используется по назначению лишь 117 га площади лесных питомников и 0,19 га теплиц. При вовлечении всей площади лесных питомников и теплиц возможно ежегодно выращивать 130,1 млн шт. семян с ОКС и 5,87 млн шт. с ЗКС в закрытом грунте, что сохранит дефицит семян с ЗКС.

В области имеются 10 категорий объектов единого генетико-селекционного комплекса. Однако большинство из них нуждается в межгосударственной границе, постановке на кадастровый учет и проведении на научной основе лесоводственных мероприятий, включая омоложение древостоев.

Выращивание семян хвойных пород с ЗКС в теплицах четвертого поколения типа «VENLO» отличается от такового в теплицах с пленочным покрытием, поскольку позволяет создать микроклимат, обеспечивающий их выращивание в течение круглого года.

Семена крупных фракций характеризуются более высокой энергией прорастания (93,2%) и всхожестью (91,8%), по сравнению с несортированными семенами, где вышеуказанные показатели составляют 81,6 и 80,2%, соответственно. Для разделения семян на фракции предложен метод, основанный на современных информационных технологиях. Определение размеров семян производится с точностью до 0,1 мм при помощи ГИС MapInfo, что обеспечивает разделение на фракции с учетом требований автоматических линий высева.

Ускорить всхожесть семян основных хвойных пород можно поместив кассеты после посева в камеры проращивания с температурой воздуха +22°C и влажностью 85–90% на 5 суток.

Определяющими факторами при выращивании семян с ЗКС, помимо температуры и влажности воздуха и субстрата, являются уровень освещенности и продолжительность фотопериода (светового дня). При выращивании семян интенсивность освещения лиственницы Сукачева и сосны обыкновенной должна составлять 200, а ели сибирской 150 мкмоль м⁻²с⁻¹. Критическая продолжительность фотопериода при выращивании семян в осенне-зимний период 12–13 ч. При оптимизации указанных показателей семена лиственницы Сукачева и сосны обыкновенной даже в зимний период способны достигнуть стандартных размеров. При этом семена ели с ЗКС требуют доращивания на открытых площадках.

При выращивании посадочного материала с ЗКС в условиях подзон северной и средней тайги оптимальными являются кассеты с мелким и средним комом (Plantek AirBloK 100, Plantek 81F, Plantek 64F), а в подзоне южной тайги с увеличенным размером ячеек (кома) - (Plantek 35F, Plantek 64 FD). Подбор кассеты обеспечивает оптимальные значения температурного режима субстрата даже при высокой температуре воздуха в теплице.

По мере увеличения размера ячеек расход воды на выращивание 1 сеянца с ЗКС уменьшается в 2,5 раза. Минимальный расход воды при выращивании сеянцев лиственницы Сукачева обеспечивается использованием кассет типа Plantek 64F и Plantek 64FD.

Перспективным направлением является применение нижнего полива (подтопление), обеспечивающее замкнутость цикла использования воды и питательных растворов. Последнее не только позволяет экономить воду, но и исключает необходимость ее сброса в дренаж.

В целях реализации рекомендаций по выращиванию посадочного материала основных хвойных древесных пород с ЗКС был разработан проект создания ЛССЦ «Лесхозинвест». Данный ЛССЦ позволяет выращивать ежегодно до 20 млн шт. сеянцев в 3–4 ротации при планируемой стоимости одного сеянца 20,0 руб. с НДС.

Создание ЛССЦ «Лесхозинвест» обеспечит дисконтированный индекс доходности 1,13, срок окупаемости – 3,6 лет, внутреннюю норму доходности – 22%.

Предложения производству

При выращивании сеянцев суммарная дневная освещенность лиственницы Сукачева и сосны обыкновенной должна составлять 200, а ели сибирской 100–200 мкмоль м⁻²с⁻¹. Критическая длина дня при выращивании сеянцев в осенне-зимний период 12–13 ч.

Для разделения семян на фракции возможно определять геометрические параметры семян отдельных партий с точностью до 0,1 мм при помощи ГИС MapInfo, что обеспечивает разделение на фракции с учетом требований автоматических линий посева вакуумного типа. Данная операция позволяет отобрать семена с более высокой энергией прорастания (93,2%) и всхожестью (91,8%), по сравнению с несортированными семенами, где вышеуказанные показатели составляют 81,6 и 80,2%, соответственно.

Ускорить прорастание семян и появление всходов основных хвойных пород можно поместив кассеты после посева в камеры проращивания с температурой воздуха +22⁰С и влажностью 85–90% на 5 суток. Этот прием позволяет ускорить появление всходов и сократить общий период тепличного выращивания на 7-10 дней для каждой ротации.

При выращивании посадочного материала с ЗКС в условиях Среднего Урала необходимы контейнеры с увеличенным размером ячеек (кома) -

(Plantek 35F и Plantek 64 FD). Подбор кассет обеспечивает оптимальные значения температурного режима субстрата даже при достижении экстремально высоких высокой температуре воздуха в теплице.

По мере увеличения размера ячеек частота полива и расход воды на выращивание 1 сеянца с ЗКС снижается, а разница может достигать 2,5 раз. Минимальный расход воды в условиях Среднего Урала обеспечивается использованием кассет типа Plantek 64F и Plantek 64FD.

Перспективным направлением является применение нижнего полива (подтопление), обеспечивающее замкнутость цикла использования воды и питательных растворов в тепличном комплексе. Последнее не только позволяет экономить воду, но и исключает необходимость ее сброса в дренаж. Нижний полив сокращает периодичность полива с 3 до 4 дней и снижает расход воды на 25 % без ущерба для растений.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

В журналах и изданиях, рекомендованных ВАК

Гоф А.А. Опыт создания лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой на горяч Алтайского края / А.А. Гоф, Е.В. Жигулин, С.В. Залесов, А.С. Оплетаев // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 12-2 (90). С. 125-130.

Гоф А.А. Причины низкой приживаемости сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой в ленточных борах Алтая / А.А. Гоф, Е.В. Жигулин, С.В. Залесов // Успехи современного естествознания. 2019. № 12. С. 9-13.

Оплетаев А.С. Состояние лесных питомников на территории Свердловской области / А.С. Оплетаев, С.В. Залесов, Е.В. Жигулин // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 3-1 (93). С. 77-84.

Воробьева М.В. Использование сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) в озеленении г. Екатеринбурга / М.В. Воробьева, Е.В. Жигулин, С.В. Залесов, М.В. Коростелева // Международный научно-исследовательский журнал, 2021. № 7 (109). Ч. 1. С. 132-136.

Жигулин Е.В. Влияние освещенности на рост сеянцев с закрытой корневой системой / Е.В. Жигулин, А.С. Оплетаев // Международный научно-исследовательский журнал, 2021. Ч. 1. № 11 (113). С. 124-128.

Оплетаев А.С. Влияние способа полива на рост и фитомассу сеянцев лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.) / А.С. Оплетаев, С.В. Залесов, К.А. Башегуров, А.Е. Осипенко, Е.В. Жигулин // Международный научно-исследовательский журнал, 2021. Ч. 1. № 11 (113). С. 160-165.

В прочих изданиях:

Жигулин Е.В. Роль генетико-селекционного комплекса в интенсификации лесопользования / Е.В. Жигулин // Вестник биотехнологий: научный журнал. 2019. № 2 (19). С. 11-15. Адрес URL: <http://bio.beonrails.ru/ru/issues/2019/2/233>.

Оплетаев А.С. Использование вегетационного индекса NDVI для оценки состояния лесных насаждений на нарушенных землях / А.С. Оплетаев, Е.В. Жигулин, В.А. Косов // Леса России и хозяйство в них. 2019. № 3 (70). С. 15-23.

Оплетаев А.С. Сравнительный анализ информационных программных продуктов для лесной отрасли / А.С. Оплетаев, А.И. Чермных, Е.В. Жигулин, К.А. Воронцова // Леса России и хозяйство в них. 2020. № 1 (72). С. 32-38.

Башегуров К.А. Совершенствование лесовосстановления сосновых лесов подзоны Северной тайги / К.А. Башегуров, Е.В. Жигулин, С.М. Жижин, А.Г. Магасумова // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2020. № 58. С. 3-6.

Жигулин Е.В. Использование саженцев с закрытой корневой системой в озеленении / Е.В. Жигулин, М.В. Коростелева, С.В. Залесов, Н.П. Бунькова // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: мат. XVIII Всерос. (национальной) науч.-техн. конф. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2021. С. 262-264.

Жигулин Е.В. Рост сеянцев при их выращивании с закрытой корневой системой / Е.В. Жигулин, А.С. Оплетаев, А.А. Гоф // Актуальные проблемы лесного комплекса. Сборник научных трудов. Вып. 55- Брянск: БГИТУ, 2019. С. 93-96.

Косов В.А. Характеристика молодняков лесопарковой зоны Екатеринбурга / В.А. Косов, Е.В. Жигулин, К.А. Воронцова // Молодежь и наука. 2020. № 7. С. 14.

Башегуров К.А. Закрепление песка в целях содействия естественному лесоразведению / К.А. Башегуров, Е.В. Жигулин, А.С. Оплетаев // Лесная наука, молодежь, будущее: Мат. II междунар. школы-конф. молодых ученых. Гомель: ООО «Типография» «Белдрук», 2021. С. 25-28.

Жигулин Е.В. Причины отпада лесных культур, созданных сеянцами с закрытой корневой системой / Е.В. Жигулин, А.А. Гоф, А.Г. Магасумова, А.С. Оплетаев // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: мат. XIII Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГЛТУ, 2021. С. 111-114.

Башегуров К.А. Роль оптимизации лесовосстановления и лесоразведения в совершенствовании лесопользования / К.А. Башегуров, Е.В. Жигулин, С.М. Жижин, С.В. Залесов, Р.А. Осипенко // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: мат. IV межд. науч.-практ. конф. Кострома: Костромской государственной университет, 2021. С. 163-166.

Отзыв на автореферат просим направлять в 3 экземплярах по адресу: 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 82, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.249.06 Ренях Марине Вадимовне