РАЗДЕЛ. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

https://doi.org/10.5281/zenodo.20260415
УДК 630*232

ЗАКАЛИВАНИЕ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, ВЫРАЩЕННЫХ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ФЕРМЕ

В.А. Крюк,
мнс
Е.С. Михайлова,
к.х.н., дир. института НБИКСТ,
Кемеровский Государственный Университет,
г. Кемерово

Аннотация: Искусственное лесовосстановление требует высококачественного посадочного материала, способного быстро приживаться и устойчиво развиваться в естественных условиях. Одним из перспективных подходов к получению здоровых сеянцев является их выращивание на гидропонных системах в условиях вертикальных ферм, обеспечивающих точный контроль над питанием и водным режимом. Однако такие сеянцы нуждаются в специальной подготовке к абиотическим стрессам перед высадкой. В работе рассмотрены особенности процесса закаливания сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), выращенных в питомнике в полностью контролируемых условиях вертикальной фермы. Разработан четырехэтапный протокол закаливания, включающий коррекцию температурного режима, фотопериода и минерального питания. Показано, что исключение азота на финальной стадии онтогенеза и увеличение доз калия и кальция стимулирует одревеснение и накопление защитных соединений. Правильно организованное закаливание увеличивает выживаемость сеянцев после высадки в полевые условия с 58–64% до 90% и выше, обеспечивая формирование физиологически зрелого посадочного материала.

Ключевые слова: гидропоника, закаливание, морозоустойчивость, водный дефицит, осмопротекторы, лесовосстановление, вертикальная ферма, *Pinus sylvestris*

HARDENING OF SCOTS PINE SEEDLINGS GROWN IN A VERTICAL FARM

V.A. Kryuk,
Junior Researcher
E.S. Mikhailova,
PhD in Chemistry, Director of the Institute of NBIKST,
Kemerovo State University,
Kemerovo

Annotation: Artificial reforestation requires high-quality planting material capable of quickly establishing and sustainably developing under natural conditions. One promising approach to producing healthy seedlings is growing them in hydroponic systems in vertical farms, which provide precise control over nutrition and water management. However, such seedlings require special preparation for abiotic stress before planting. This paper examines the specifics of hardening off pine seedlings (Pinus sylvestris L.) grown in a nursery under fully controlled conditions in a vertical farm. A four-stage hardening protocol has been developed, including adjustments to temperature, photoperiod, and mineral nutrition. It has been shown that eliminating nitrogen during the final stages of ontogenesis and increasing potassium and calcium doses stimulates lignification and the accumulation of protective compounds. Properly implemented hardening increases seedling survival after planting in the field from 58–64% to 90% and higher, ensuring the formation of physiologically mature planting material.

Keywords: hydroponics, hardening, frost resistance, water deficit, osmoprotectants, reforestation, vertical farming, Pinus sylvestris

---

Введение. Современные технологии выращивания лесного посадочного материала стремятся к уменьшению времени получения

жизнеспособных сеянцев и максимизации их адаптационного потенциала. Традиционные методы часто зависят от погодных условий и имеют длительный цикл производства. Гидропонные системы и вертикальные фермы – метод выращивания растений с применением питательных растворов в полностью контролируемых условиях – позволяют точно регулировать состав среды, ускорять рост и исключать почвенные патогены [1, 2]. Тем не менее, сеянцы, выращенные в оптимальных («тепличных») условиях вертикальной фермы, обладают низкой устойчивостью к факторам внешней среды и требуют обязательной подготовки прежде, чем быть перенесенными в открытый грунт. Особую актуальность приобретает этап закаливания – постепенной подготовки растений к неблагоприятным условиям (низким температурам, засухе, высокой инсоляции). Для хвойных пород, в частности сосны обыкновенной, закаливание играет решающую роль в формировании зимостойкости и устойчивости к физиологической засухе [3, 4]. Нарушение агротехники на данном этапе приводит к формированию «физиологически незрелых» сеянцев с низкой зимостойкостью и высокой гибелью после зимовки, что подтверждается практикой лесовосстановления в ряде регионов России [3-8].

Методология и методы исследования Объектом исследования служили сеянцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), полученные из семян 1 класса качества (сертификат № 24/14040/1, 13 лесосеменной район, Красноярский край). Перед посевом семена прошли стратификацию при температуре +3…+5 °C в течение 30 суток во влажном песке. Выращивание проводилось в условиях вертикальной фермы со следующими параметрами микроклимата: температурный режим +22 °C днём / +18 °C ночью; фотопериод 16 ч света / 8 ч темноты; освещённость 200 мкмоль·м$^{-2}$·с$^{-1}$ (PAR); относительная влажность воздуха 65–75 %. Сеянцы выращивались в гидропонной системе периодического подтопления (Ebb and Flow) с использованием субстрата торф–перлит (фракция 1-3 мм), помещённого в кассеты на 40 ячеек (объем ячейки 110 мл, плотность посадки 250 шт./м²). Закаливание проводили в течение 35 суток по разработанной четырёхэтапной схеме с параллельной коррекцией микроклимата и ионного состава питательного раствора. Мониторинг включал оценку фенофаз развития, степени одревеснения побегов и

последующей приживаемости в полевых условиях Кемеровской области.

Результаты и обсуждение Онтогенез сеянцев хвойных пород проходит через ряд чётко выраженных фенофаз. Критической является седьмая фаза – переход в состояние покоя, когда растение переключается с режима активного роста на накопление защитных соединений. Наши наблюдения показывают, что управление этим процессом в условиях вертикальной фермы позволяет синхронизировать развитие сеянцев с климатическими окнами региона. Протокол закаливания включал постепенное снижение температуры: начиная с +15 °C днём / +10 °C ночью в течение 7-10 дней, затем снижение до +6…+4 °C днём и +2…0 °C ночью на 10-14 дней. Данный режим стимулировал изменения липидного состава мембран и накопление сахаров, играющих роль криопротекторов. Важнейшим аспектом стала коррекция минерального питания. В фазу закаливания внесение азотных удобрений было полностью исключено, так как избыток азота стимулирует поздний рост и снижает морозоустойчивость. Одновременно была увеличена доля калия и кальция (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание питательных веществ (%) в растворе на разных этапах

Элемент	**Фаза прорастания**	**Фаза быстрого роста**	**Фаза закаливания (одревеснения)**
Азот (N)	0,010	0,016	0,000
Фосфор (P)	0,012	0,007	0,006
Калий (K)	0,012	0,016	0,016
Кальций (Ca)	0,009	0,007	0,010
Магний (Mg)	0,004	0,005	0,006

Анализ практики лесовосстановления в Кемеровской области (2020-2023 гг.) выявил, что сеянцы, выращенные в теплицах без полноценного этапа закаливания, хотя и достигали стандартных параметров высоты (≥ 15 см) к сроку, имели приживаемость на

рекультивируемых участках лишь 58–64%. В отличие от них, сеянцы, прошедшие разработанный протокол закаливания в вертикальной ферме, продемонстрировали приживаемость на уровне 92–95%. Критически важным фактором оказалось управление фотопериодом. Сокращение светового дня до 10–12 ч при сохранении высокой интенсивности освещения (200 мкмоль·м$^{-2}$·с$^{-1}$) приводило к ускорению закладки почек на 4–6 суток. Снижение освещённости ниже 120 мкмоль·м$^{-2}$·с$^{-1}$ недопустимо, так как вызывает угнетение фотосинтеза. Согласно разработанному графику, сокращение фотопериода начинали с 25 июля, постепенно уменьшая до 10 ч к 10 августа, что обеспечило 98%-ную закладку зимующих почек к началу сентября.

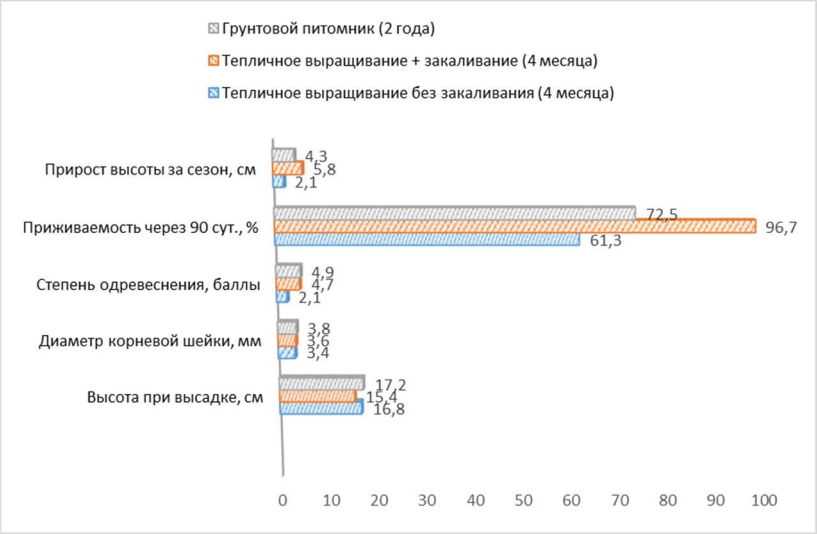

Рисунок 1 – Сравнение качества и приживаемости сеянцев сосны обыкновенной в зависимости от технологии выращивания

Рисунок 2 – Сеянец сосны обыкновенной подготовленный к закаливанию

Заключение. Вертикальное фермерство является эффективной инновационной альтернативой традиционному выращиванию посадочного материала, позволяющей сократить производственный цикл и получить стандартизированный продукт. Однако ключевым условием успеха является соблюдение технологии закаливания. Разработанный четырехэтапный протокол, включающий поэтапное снижение температуры, оптимизацию фотопериода и специфическую коррекцию минерального питания (отказ от азота, усиление калийно-кальциевого компонента), позволяет получать физиологически зрелые сеянцы сосны обыкновенной. Такой посадочный материал обладает высокой зимостойкостью и приживаемостью в открытом грунте, что подтверждено полевыми испытаниями в условиях Западной Сибири. Внедрение данной технологии в практику лесных питомников позволит повысить эффективность лесовосстановительных работ.

Список литературы

[1] Коровицкий Д.И. Системы вертикального земледелия, достоинства, недостатки, перспективы / Д.И. Коровицкий, Д.Ю.

Колодич, Е.В. Демчук // Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития: Материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. – Омск: Омский ГАУ, 2023. 243-247 с.

[2] Вертикальные фермы – технологический прорыв в агрономии [Электронный ресурс]. – URL: https://spark.ru/startup/agro-tech-farm/blog/45685/vertikalnie-fermi-tehnologicheskij-proriv-v-agronomii (дата обращения: 25.03.2024).

[3] Алеев В.М. О повышении энергоэффективности на вертикальных фермах / В.М. Алеев, Ю.З. Богданова // Обеспечение качества и безопасности молока: сб. материалов круглого стола. – Тюмень, 2022. 113-116 с.

[4] Augustaitis A. Scots pine (Pinus sylvestris L.) crown defoliation in relation to the acid deposition and meteorology in Lithuania / A. Augustaitis, I. Augustaitiene, R. Deltuvas // Water. Air. Soil Pollut. – 2007. 335-348 p.

[5] Федотов А.Н. Влияние длины дня на формирование верхушечных почек у однолетних контейнеризированных сеянцев сосны обыкновенной и ели европейской / А.Н. Федотов, А.В. Жигунов // Известия СПбГЛТА. – 2019. № 215. 80-91 с.

[6] Vangelisti R. Responses of Pinus pines and P. pinaster seedling root to substrata at different pH values / R. Vangelisti, L. Viegi, G. Renzoni // Ann. Bot. Fennici. – 1995. Vol. 32. 19-27 p.

[7] Мочалов Б.А. Использование разных видов посадочного материала для лесовосстановления в зоне европейской части России / Б.А. Мочалов // Вопросы таежного лесоводства на Европейском Севере: сб. науч. тр. – Архангельск, 2005. 123-136 с.

[8] Правила лесовосстановления: утверждены Постановлением Правительства РФ от 11.11.2020 № 1824.

Bibliography (Transliterated)

[1] Korovitsky, D.I. Vertical farming systems: advantages, disadvantages, and prospects / D.I. Korovitsky, D.Yu. Kolodich, E.V. Demchuk // Scientific and technical support for the agro-industrial complex, its status and development prospects: Proceedings of the IX Int. scientific-practical. conf. – Omsk: Omsk State Agrarian University, 2023. 243-247 p.

[2] Vertical farms – a technological breakthrough in agronomy [Electronic resource]. – URL: https://spark.ru/startup/agro-tech-farm/blog/45685/vertikalnie-fermi-tehnologicheskij-proriv-v-agronomii (accessed: 25.03.2024).

[3] Aleev, V.M. On improving energy efficiency on vertical farms / V.M. Aleev, Yu. Z. Bogdanova // Ensuring the Quality and Safety of Milk: Collection of Round Table Materials. – Tyumen, 2022. 113-116 p.

[4] Augustaitis A. Scots pine (Pinus sylvestris L.) crown defoliation in relation to the acid deposition and meteorology in Lithuania / A. Augustaitis, I. Augustaitiene, R. Deltuvas // Water. Air. Soil Pollut. – 2007. 335-348 p.

[5] Fedotov A. N. Effect of day length on the formation of apical buds in one-year-old containerized seedlings of Scots pine and Norway spruce / A. N. Fedotov, A. V. Zhigunov // Izvestiya SPbGLTA. – 2019. No. 215. 80-91 p.

[6] Vangelisti R. Responses of Pinus pines and P. pinaster seedling root to substrate at different pH values / R. Vangelisti, L. Viegi, G. Renzoni // Ann. Bot. Fennici. – 1995. Vol. 32. 19-27 p.

[7] Mochalov B.A. Use of different types of planting material for reforestation in the European part of Russia / B.A. Mochalov // Issues of taiga forestry in the European North: collection of scientific papers. – Arkhangelsk, 2005. 123-136 p.

[8] Reforestation rules: approved by RF Government Resolution No. 1824 of 11.11.2020.

© В.А. Крюк, Е.С. Михайлова, 2026

Поступила в редакцию 15.01.2026
Принята к публикации 26.02.2026

Для цитирования:

Крюк, В. А., Михайлова, Е. С. Закаливание сеянцев сосны обыкновенной, выращенных в вертикальной ферме [Текст] / В. А. Крюк, Е. С. Михайлова // Инновационные научные исследования. – 2026. – № 2-1(70). – С. 4-11. – DOI 10.5281/zenodo.20260415.