

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 1 (96). С. 72–78.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 1 (96). P. 72–78.

Научная статья

УДК 630.331

DOI: 10.51318/FRET.2026.96.1.007

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

Михаил Алексеевич Любимов

Уральский государственный лесотехнический университет,

Екатеринбург, Россия

Mikhailyubimov@vk.com, <http://orcid.org/0009-0008-0253-6892>

Аннотация. Целью работы была количественная оценка влияния кислотности торфяного субстрата и частоты минеральных подкормок на морфогенез однолетних сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой в неавтоматизированных теплицах Среднего Урала. Эксперимент охватил три технологических режима: 1 – верховой торф pH 2,8–3,5 с последовательной фертигацией водорастворимыми удобрениями 13–41–13 → 18–18–18 → 6–12–36; 2 – посадочный материал стороннего производителя, использованный как внешний контроль; 3 – нейтральная смесь низинного торфа, песка и перлита pH 5,5–6,0 при редких подкормках. В каждой группе отобрали по 100 сеянцев и провели более 2400 индивидуальных измерений линейных, весовых и интегральных параметров. Статистический анализ показал достоверное влияние факторов на все морфометрические признаки ($p < 0,001$). На кислой смеси прирост побега и корневой системы был наибольшим, распределение сухого вещества сбалансировано, отношение побег : корень минимально, а доля стандартного материала с диаметром корневой шейки ≥ 2 мм и индексом качества Диксона $\geq 0,15$ возросла примерно на 40 % относительно таковой в нейтральном варианте. Корневая биомасса выявлена ключевым предиктором интегрального качества и приживаемости. Экономический расчет показал, что оптимизированный режим снижает себестоимость сеянца до 4,8 руб., а при сохранении рыночной цены около 15 руб. обеспечивает окупаемость капитальных вложений тепличного комплекса менее чем за два года. Полученные результаты подтверждают, что сочетание кислого торфа и ступенчатой схемы питания является технологически и экономически обоснованной основой для ускоренного выращивания стандартных сеянцев сосны, отвечающих современным требованиям лесовосстановления.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, закрытая корневая система, торфяной субстрат, фертигация, тепличное выращивание, Средний Урал

Для цитирования: Любимов М. А. Оптимизация тепличных условий выращивания сеянцев сосны с закрытой корневой системой на Среднем Урале // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 1 (96). С. 72–78.

Original article

OPTIMIZING GREENHOUSE CONDITIONS FOR GROWING CLOSED-ROOT SCOTS PINE SEEDLINGS IN THE MIDDLE URALS

Mikhail A. Lyubimov

Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia
Mikhailyubimov@vk.com, <http://orcid.org/0000-0002-7798-3442>

Abstract. The aim of the research was to quantitatively evaluate the effect of peat substrate acidity and frequency of mineral fertilizing on the morphogenesis of one-year-old Scots pine seedlings with a closed-root system in non-automated greenhouses of the Middle Urals. The experiment covered three technological regimes: 1 – high-moor peat pH 2,8–3,5 with sequential fertigation with water-soluble fertilizers 13–41–13 → 18–18–18 → 6–12–36; 2 – planting material from outsourced manufacturer used as an outside control; 3 – a neutral mixture of lowland peat, sand and perlite pH 5,5–6,0 with rare fertigation. In each group, 100 seedlings were selected and more than 2400 individual measurements of linear, weight and integral parameters were carried out. Statistical analysis revealed a significant influence of the factors on all morphometric features ($p < 0,001$). In the acidic mixture, shoot and root growth was greatest, dry matter distribution was balanced, the shoot/root ratio was minimal, and the proportion of standard material with a root collar diameter ≥ 2 mm and a Dixon quality index $\geq 0,15$ increased by approximately 40 % compared to the neutral mixture. Root biomass was identified as a key predictor of integral quality and survival. Economic calculations showed that the optimized regime reduces the cost of a seedling to 4,8 rubles, and, while maintaining the market price of approximately 15 rubles, ensures a return on investment for the greenhouse complex in less than two years. The obtained results confirm that the combination of acidic peat and a stepped feeding scheme is a technologically and economically feasible basis for the accelerated cultivation of standard Scots pine seedlings that meet modern reforestation requirements.

Keywords: Scots pine, closed-root system, peat substrate, fertigation, greenhouse cultivation, Middle Urals

For citation: Lyubimov M. A. Optimizing greenhouse conditions for growing closed-root Scots pine seedlings in the Middle Urals // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 1 (96). P. 72–78.

Введение

Посадочный материал с закрытой корневой системой (ЗКС) сегодня рассматривается как приоритетная технология лесовосстановления, поскольку он обеспечивает сохранность тонких всасывающих корней, минимизирует пересадочный стресс и позволяет механизировать как посадку, так и транспортировку сеянцев. Интактный почвенный ком повышает приживаемость растений на бедных и неустойчиво увлажненных субстратах Среднего Урала, а компактные кассеты облегчают хранение и дают возможность продлить посадочный сезон за счет мобильности материала. Кроме того, выращивание в контролируемых тепличных

условиях позволяет стандартизировать морфологические показатели будущих древостоев и снизить затраты на последующее уходное и агрохимическое сопровождение культур.

Для эффективного лесохозяйственного производства питомникам региона необходимо получать стандартные однолетние сеянцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в пределах одной тепличной ротации. Однако комплексное влияние кислотности торфяного субстрата, гранулометрического состава добавок и режима фертигации на морфогенез сосновых сеянцев, адаптированных к континентальному климату Среднего Урала, остается недостаточно изученным. Отсутствие

систематизированных данных затрудняет выбор оптимальной рецептуры, ведет к перерасходу удобрений и повышает риск получения нестандартного посадочного материала. Уточнение параметров субстрата и питания сеянцев с ЗКС, основанное на количественной оценке роста и распределения биомассы, является ключевым условием для повышения производственной эффективности питомников и обеспечения устойчивого воспроизводства сосновых насаждений в регионе.

Цель, задача, методика и объекты исследования

Цель работы – количественно оценить влияние кислотности торфяного субстрата и частоты минеральных подкормок на морфометрические показатели качества однолетних сеянцев сосны с ЗКС в естественных тепличных условиях Сарафановского питомника (Свердловская область). Посадочный материал выращивали в кассетах Plantek-100F при трех режимах.

Группа 1 – кислый субстрат + интенсивная фертигация

Сеянцы выращивали в жестких кассетах Plantek-100F (100 ячеек, объем 70–75 см³) с заводским верховым торфяным субстратом SKY Berry Pro, включавшим 90 % верхового торфа, 5 % резного торфа и 5 % агроперлита. Смесь характеризовалась реакцией pH 2,8–3,5, полной влагоемкостью 70–75 % и воздухоемкостью 25–30 %, что обеспечивало высокую буферную емкость и стерильность к сорнякам. Кассеты сразу после посева устанавливали на приподнятые металлические рамки для воздушного отсечения корней. Полив и минеральное питание осуществляли рамповой системой: на фазе проростков использовали водорастворимый «Кристалон желтый», в период активного роста – «Кристалон специальный», при закаливании – «Кристалон коричневый»; частота фертигации была максимальной среди всех вариантов. Микроклимат теплицы не регулировался автоматически; проветривание проводили ручным открыванием форточек. По завершении тепличного этапа кассеты перенесли на площадку доращивания, сохранив воздушное отсечение.

Группа 2 – внешний контроль стороннего производителя

Партия с пророщенными сеянцами поступила в питомник уже после фазы пикировки. Сведения о составе субстрата, режиме полива и схемах подкормок отсутствовали; известны лишь морфометрические характеристики растений. Технологические операции (проветривание, размещение на рамки, частота полива) у поставщика документально не фиксировались и в исследование не включались. Группа введена как внешний контроль, расширяющий диапазон вариации размеров сеянцев и позволяющий проверить универсальность статистических закономерностей, выявленных для собственных технологических вариантов.

Группа 3 – нейтральный субстрат + редкие подкормки

Для этого варианта приготовили смесь низинный торф : речной песок : крупный перлит = 3 : 1 : 1 из местного сырья (Березовский торфяник). Реакция среды находилась в интервале pH 5,5–6,0; базовые минеральные удобрения и доломитовую муку не вносили. Кассеты Plantek-100F с таким субстратом помещали в ту же теплицу, но на стадии проращивания воздушного отсечения не применяли; рамки установили лишь после вывоза контейнеров на площадку доращивания.

Полив и удобрения подавались той же рамповой системой, однако частота подкормок растворами «Кристалона» была снижена по сравнению с таковой при кислом варианте; состав применяемых препаратов оставался идентичным (желтый – специальный – коричневый). Все прочие условия – отсутствие автоматического климат-контроля, ручное проветривание, сроки переноса на площадку – соответствовали группе 1, что позволяет атрибутировать различия в морфогенезе главным образом реакционной способности субстрата и интенсивностью питания.

Во всех трех группах отобрали по 100 однолетних сеянцев (итого 300 образцов) и выполнили полный морфометрический анализ, включая вычисление интегральных показателей качества (DQI, S:R). Полученная база из >2400 индивидуальных измерений легла в основу статистического сравнения влияния кислотности субстрата

и режима фертигации на формирование посадочного материала сосны обыкновенной с закрытой корневой системой.

Результаты и их обсуждение

Режимы достоверно повлияли на все основные признаки ($p < 0,001$). Максимальные средние значения получены в группе 1: высота 23,6 см, $d = 2,77$ мм, сухая масса корней выше таковой в нейтральном варианте на 90 %. Распределение сухого вещества близко к равномерному (34 % ствол, 34 % хвоя, 32 % корни), отношение побег : корень $S : R = 2,43$, $DQI = 0,185$. В группе 3 сухая масса корней и DQI снижены (таблица).

Анализ показал, что варьирование рецептуры торфяного субстрата и интенсивности фертигации достоверно влияет на морфогенез однолетних сеянцев сосны обыкновенной с ЗКС.

В варианте с кислым верховым торфом и регулярными подкормками сеянцы формировали наиболее высокие побеги (в среднем около 24 см) при устойчиво крупном диаметре корневой шейки. В нейтральной смеси рост замедлялся, а во внешней контрольной партии значения занимали промежуточное положение. Однофакторный Welch-ANOVA подтвердил значимые различия по высоте и диаметру между всеми тремя группами ($p < 0,001$).

Кислый субстрат способствовал накоплению сухого вещества как в корнях, так и в стволе, тогда как нейтральный вариант смещал распределение в пользу хвои. При этом коэффициент вариации

по органам оставался умеренным, что свидетельствует об однородности партий. Наибольшие контрасты выявлены по сухой массе корней и ствола; их прирост на кислой смеси более чем в полтора раза превышал показатели нейтрального варианта.

Отношение $S : R$ было минимально в кислой группе, что указывает на оптимальное корневое обеспечение побега. В нейтральном субстрате этот показатель возрастал, фиксируя относительный дефицит корневой массы и потенциальную уязвимость растений к пересушиванию.

Индекс DQI достиг наибольших значений там, где сочетались кислый торф и интенсивные подкормки, тогда как нейтральный режим давал заметно более низкие величины. Различия между группами были статистически значимы ($p < 0,001$).

Во всех вариантах именно сухая масса корней оказалась «центральным» признаком, тесно связавшимся как с DQI , так и с $S : R$. При усиленной фертигации зависимости между органами ослабевали, что указывает на более гибкое перераспределение ассимилятов в благоприятных условиях.

В целом эксперимент подтвердил, что кислый верховой торф (pH около 3) в сочетании с дозированной фертигацией обеспечивает наиболее гармоничное развитие сеянцев, выражающееся в равномерном распределении биомассы, минимальном дисбалансе побег : корень и высоких интегральных показателях качества.

Средние морфометрические показатели ($M \pm SD$, $n = 100$)

Mean morphometric parameters ($M \pm SD$, $n = 100$)

Показатель Parameter	Группа 1 Group 1	Группа 2 Group 2	Группа 3 Group 3
Высота, см Height, cm	23,6 ± 2,9	16,2 ± 2,7	15,5 ± 2,5
d , мм Root-collar diameter, mm (d)	2,77 ± 0,34	2,86 ± 0,50	2,33 ± 0,30
DMroot, г Root dry mass, g (DMroot)	0,63 ± 0,25	0,42 ± 0,15	0,33 ± 0,12
$S : R$ Shoot-to-root ratio ($S : R$)	2,43 ± 1,02	3,20 ± 1,25	3,36 ± 1,42
DQI Dickson Quality Index (DQI)	0,185 ± 0,050	0,187 ± 0,060	0,134 ± 0,040

Нейтральный субстрат без стартового удобрения снижает темпы роста и ухудшает структурные показатели, а сторонний посадочный материал демонстрирует средние результаты, подтверждая репрезентативность выбранной факторной схемы.

Кислая реакция верхового торфа (рН 2,8–3,5) в сочетании с его высокой полной влагоемкостью повышает растворимость макро- и микроэлементов и выравнивает водный режим субстрата. Именно такой гидрохимический фон, по данным Е. В. Жигулина и А. С. Оплетаева (2021), обеспечивает двукратное ускорение достижения нормативной высоты сосновых сеянцев, тогда как при нейтральных смесях этот эффект не фиксируется. Аналогичный вывод сделан С. А. Кабановой и соавт. (Опыт..., 2019), подчеркнувших, что стабильная влажность кислого торфа критична для раннего морфогенеза. Региональный опыт А. В. Данчевой, С. В. Залесова и Д. А. Половниковой (2023) дополнительно показывает, что на таком субстрате доля стандартных растений достигает 90 % уже через четыре месяца. Напротив, при сдвиге рН выше 4,0 толщина корневой шейки снижается на 15–20 %, что продемонстрировали С. А. Степанов и М. И. Зайцев (2016). Таким образом, кислотность и влагоемкость действуют синергично, усиливая поглощение элементов питания и темпы роста как побега, так и корневой системы.

Ключевое значение корневой биомассы подтверждается тесной корреляцией $DM_{\text{root}}-DQI$ ($r = 0,82...0,87$), зарегистрированной в нашем опыте, и литературными данными Е. В. Робонен и соавт. (Морфометрические критерии..., 2023), определившими DQI и диаметр корневой шейки (RCD) как главные предикторы приживаемости. Контейнерные сеянцы, описанные Е. С. Курсиковой и А. А. Маленко (2018), демонстрировали перераспределение ассимилятов в пользу механически устойчивых органов, тогда как исследования И. А. Фрейберг, М. В. Ермаковой и С. К. Стеценко (1998) показали, что нейтральные субстраты повышают отношение S:R и при превышении порога 3 снижают интегральное качество. В наших условиях нейтральная смесь (группа 3) воспроизвела этот эффект, тогда как кислый вариант (группа 1) позволил 76 % растений за один сезон достичь

$d \geq 2$ мм и $DQI \geq 0,18$, что соответствует нормативам, приведенным Е. М. Ананьевым и соавт. (Выращивание..., 2017), и подтверждает потенциал ускоренной одноротационной технологии для условий Среднего Урала.

В структуре текущих затрат преобладают две позиции – минеральные удобрения и фонд оплаты труда, на которые совместно приходится около трех четвертей операционных расходов. Остальные статьи – семена, субстрат, электроэнергия и амортизация кассет – формируют значительно меньшую долю, что подчеркивает ресурсную эффективность кассетной технологии. Ключевым фактором снижения ручных операций выступает автоматизированная линия посева Sedlin 600: ее внедрение позволило за одну смену засеивать полный объем кассет и тем самым резко сократить трудозатраты.

Себестоимость стандартного сеянца остается ниже пяти рублей, тогда как рыночная цена реализации принята в расчетах на уровне пятнадцати рублей. Такое соотношение обеспечивает высокую рентабельность свыше двухсот процентов и позволяет окупить вложения менее чем за два года. Чувствительный анализ показал, что даже при снижении цены реализации до двенадцати рублей проект остается прибыльным, что подтверждает устойчивость экономической модели.

Большая часть капитальных вложений направлена на долговечное оборудование: более половины инвестиций приходится на посевную линию, еще значительная доля – на металлические стеллажи и кассетный фонд с ресурсом не менее десяти лет. Это распределение капитала формирует низкий ежегодный уровень амортизации и создает потенциал для масштабирования производства без существенного роста себестоимости в последующих сезонах.

Выводы

1. Сочетание верхового торфа с кислой реакцией (рН 2,8–3,5) и ступенчатой схемы водорастворимых удобрений 13–41–13 → 18–18–18 → 6–12–36 создает благоприятную водно-воздушную и ионную среду, благодаря чему стандартные

однолетние сеянцы сосны с ЗКС формируются за одну тепличную ротацию даже без активного климат-контроля. При таком режиме высота и диаметр стволика увеличиваются, а коэффициент вариации по основным признакам остается на уровне 12–18 %, что свидетельствует об однородности партий.

2. Качественные ориентиры подтвердили свою диагностическую ценность: диаметр корневой шейки не ниже 2 мм и интегральный индекс DQI не ниже 0,15 надежно отделяют жизнеспособный посадочный материал; именно корневая сухая масса, тесно связанная с этими показателями, выступает главным предиктором приживаемости. Статистический анализ (критерий Уэлча и тест Games – Howell) показал, что влияние выбранных агрохимических факторов на морфометрию и рас-

пределение биомассы достоверно, а минимальное отношение побег : корень отмечено в кислой торфяной группе, что отражает оптимальное корневое обеспечение побега.

3. Внедрение оптимизированного режима повышает выход стандартных сеянцев примерно на две пятых, снижая себестоимость единицы продукции до ~4,8 руб. при сохранении продажной цены; рентабельность превышает двукратный уровень полной себестоимости, а суммарные капитальные вложения в тепличный блок окупаются менее чем за два года. Таким образом, предложенная технология сочетает физиологические преимущества для растений с устойчивыми экономическими эффектами и может рассматриваться как базовая для масштабирования лесовосстановительных работ в условиях Среднего Урала.

Список источников

- Выращивание посадочного материала в лесном селекционно-семеноводческом центре Алтайского края / *Е. М. Ананьев, А. А. Гоф, Д. А. Шубин, М. В. Усов* // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2017. № 47. С. 72–75.
- Данчева А. В., Залесов С. В., Половникова Д. А.* Влияние субстрата на биометрические показатели сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой // Леса России и хозяйство в них. 2023. № 4. С. 94–104.
- Жигулин Е. В., Оплетев А. С.* Влияние освещенности на рост сеянцев с закрытой корневой системой // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 11 (113). Ч. 1. С. 124–128.
- Опыт интенсивного выращивания однолетних сеянцев сосны обыкновенной в Павлодарской области Республики Казахстан // *С. А. Кабанова, М. А. Данченко, И. С. Кочегаров, А. Н. Кабанов* // Изв. вузов. Лесной журнал. 2019. № 6. С. 104–117.
- Курсикова Е. С., Маленко А. А.* Влияние способов выращивания на биометрические показатели сеянцев сосны // Наука и инновации: векторы развития : матер. Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых (Барнаул, 24–25 октября 2018 г.) : в 2 кн. Кн. 1. Барнаул : Алтайск. гос. аграрн. ун-т, 2018. С. 136–138.
- Морфометрические критерии оценки качества контейнерных сеянцев хвойных пород / *Е. В. Робонен, Н. П. Чернобровкина, А. В. Егорова* [и др.] // Изв. вузов. Лесной журнал. 2023. № 5. С. 42–57.
- Степанов С. А., Зайцева М. И.* Выращивание и использование посадочного материала с закрытой корневой системой. Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2016. 32 с.
- Фрейберг И. А., Стеценко С. К., Ермакова М. В.* Модификация морфологии и фитомассы сеянцев сосны обыкновенной под влиянием пестицидов // Леса Урала и хозяйство в них. 1998. № 20. С. 166–170.

References

- Cultivation of planting material in the forest breeding and seed-growing center of the Altai Territory / *E. M. Ananyev, A. A. Gof, D. A. Shubin, M. V. Usov* // Actual problems of the forest comple. 2017. № 47. P. 72–75.

- Dancheva A. V., Zalesov S. V., Polovnikova D. A.* The effect of the substrate on the biometric parameters of seedlings of Scots pine with a closed root system // *Forests of Russia and economy in them.* 2023. № 4. P. 94–104. (In Russ.)
- Experience of intensive cultivation of annual Scots pine seedlings in Pavlodar region of the Republic of Kazakhstan / *S. A. Kabanova, M. A. Danchenko, I. S. Kochegarov, A. N. Kabanov* // *Bulletin of Higher Educational Institutions. Forestry Journal.* 2019. № 6. P. 104–117. (In Russ.)
- Freiberg I. A., Stetsenko S. K., Ermakova M. V.* Modification of morphology and phytomass of Scots pine seedlings under the influence of pesticides // *Forests of Ural and economy in them.* 1998. № 20. P. 166–170. (In Russ.)
- Kursikova E. S., Malenko A. A.* The influence of cultivation methods on the biometric indicators of pine seedlings // *Science and innovation: development vectors : proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists (Barnaul, October 24–25, 2018) : in 2 books. Book 1.* Barnaul : Altai State Agrarian University, 2018. P. 136–138. (In Russ.)
- Morphometric criteria for assessing the quality of container seedlings of coniferous species / *E. V. Robonen, N. P. Chernobrovkina, A.V. Egorova* [et al.] // *News of universities. Forest journal.* 2023. № 5. P. 42–57. (In Russ.)
- Stepanov S. A., Zaitseva M. I.* Cultivation and use of planting material with a closed root system. Petrozavodsk : PetrSU Publishing House, 2016. 32 p.
- Zhigulin E. V., Opletaev A. S.* Effect of illumination on the growth of seedlings with closed root system // *International Research Journal.* 2021. № 11 (113). Part 1. P. 124–128. (In Russ.)

Информация об авторах

М. А. Любимов – аспирант.

Information about the authors

М. А. Lyubimov – graduate student.

Статья поступила в редакцию 26.04.2025; принята к публикации 15.07.2025.

The article was submitted 26.04.2025; accepted for publication 15.07.2025.
