

Научная статья

УДК 582.475+581.143

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-88-100

Стимуляторы роста для контейнерных семян *Pinus sylvestris* L. второй ротации

Е.А. Копосова, стажер-исследователь; ResearcherID: [ODM-1685-2025](https://orcid.org/0009-0005-1804-9042),
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1804-9042>

Н.П. Чернобровкина[✉], д-р биол. наук, доц.; ResearcherID: [K-6120-2018](https://orcid.org/0000-0002-9716-003X),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9716-003X>

К.Г. Нелаева, аспирант; ResearcherID: [GYJ-7223-2022](https://orcid.org/0000-0002-3283-4451),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3283-4451>

Е.В. Робонен, науч. сотр.; ResearcherID: [AAD-1958-2019](https://orcid.org/0000-0001-7926-8672),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7926-8672>

А.В. Егорова, канд. с.-х. наук, мл. науч. сотр.; ResearcherID: [K-6095-2018](https://orcid.org/0000-0002-1691-1269),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1691-1269>

Институт леса КарНЦ РАН, ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск, Россия, 185910;
elena-kpv@yandex.ru, chernobrovkina50@bk.ru[✉], nelaevakg@krc.karelia.ru, er51@bk.ru,
egorova.anast@mail.ru

Поступила в редакцию 07.02.25 / Одобрена после рецензирования 03.05.25 / Принята к печати 05.05.25

Аннотация. Совершенствуется технология производства посадочного материала с закрытой корневой системой основных лесообразующих пород с использованием многоротационного режима выращивания. В лесных питомниках подзоны среднетаежных лесов России с коротким вегетационным периодом внедрение такого режима затруднено из-за риска неподготовленности семян второй ротации к пересадке на лесокультурную площадь, их низкой стрессоустойчивости. Для выращивания семян хвойных пород в лесных питомниках предлагается использование стимуляторов роста, которые не только увеличивают морфометрические показатели семян, но и улучшают их адаптивные реакции. В данной статье показано влияние внекорневой обработки стимуляторами роста Экорост, Циркон и Эпин-экстра в различных концентрациях на морфометрические показатели, морозоустойчивость, приживаемость и рост при посадке на модельной площади контейнерных семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) второй ротации, выращенных в условиях высоких широт. Исследовали индекс повреждения мембран клеток хвои при воздействии низких температур (–5...–32 °С) в весенний период при переходе растений от состояния покоя к вегетации. Показано, что Экорост и Эпин-экстра повышали морозоустойчивость семян при –15 °С. Все испытанные стимуляторы роста положительно повлияли на высоту семян – до 23 % прироста по сравнению с контролем. Они повышали массу семян (до 68 %), особенно корней (до 97 %). Также увеличился прирост саженцев при выращивании в условиях модельной площади, что значимо для их развития при создании лесных культур. Таким образом, препараты можно рекомендовать к применению для совершенствования агроприемов при двухротационном выращивании в условиях высоких широт посадочного материала хвойных пород.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris*, контейнерные семена, двухротационное выращивание, стимуляторы роста, морфометрия, морозоустойчивость, высокие широты

© Копосова Е.А., Чернобровкина Н.П., Нелаева К.Г., Робонен Е.В., Егорова А.В., 2026



Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 23-26-00192, <https://rscf.ru/project/23-26-00192/>, а также за счет финансирования по теме госзадания Института леса КарНЦ РАН на научном оборудовании Центра коллективного пользования КарНЦ РАН.

Для цитирования: Копосова Е.А., Чернобровкина Н.П., Нелаева К.Г., Робонен Е.В., Егорова А.В. Стимуляторы роста для контейнерных сеянцев *Pinus sylvestris* L. второй ротации // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 88–100.
<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-88-100>

Original article

Growth Stimulators for Container Seedlings of *Pinus sylvestris* L. in the Second Rotation

Elena A. Kuposova, Intern-researcher; ResearcherID: [ODM-1685-2025](https://orcid.org/0009-0005-1804-9042),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1804-9042>

Nadezhda P. Chernobrovkina[✉], Doctor of Biology, Assoc. Prof.; ResearcherID: [K-6120-2018](https://orcid.org/0000-0002-9716-003X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9716-003X>

Karina G. Nelaeva, Postgraduate Student; ResearcherID: [GYJ-7223-2022](https://orcid.org/0000-0002-3283-4451),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3283-4451>

Elena V. Robonen, Research Scientist; ResearcherID: [AAD-1958-2019](https://orcid.org/0000-0001-7926-8672),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7926-8672>

Anastasiya V. Egorova, Candidate of Agriculture, Junior Researcher Scientist;

ResearcherID: [K-6095-2018](https://orcid.org/0000-0002-1691-1269), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1691-1269>

Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, ul. Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, Russian Federation, 185910; elena-kpv@yandex.ru, chernobrovkina50@bk.ru[✉], nelaevakg@krc.karelia.ru, er51@bk.ru, egorova.anast@mail.ru

Received on February 7, 2025 / Approved after reviewing on May 3, 2025 / Accepted on May 5, 2025

Abstract. The technology for the production of planting stock with a closed root system of the main forest-forming species using a multi-cropping growing regime is being improved. The introduction of such a regime in the forest nurseries of the subzone of the middle taiga forests of Russia with a short growing season is difficult due to the risk of unpreparedness of the second rotation seedlings for transplanting them to a forested area and their low stress resistance. Growth stimulants that have a positive effect on seedlings of forest species, improving their morphometric parameters and increasing their adaptive responses are proposed to be used in growing coniferous seedlings in forest nurseries as agrotechnical techniques. This article shows the effect of foliar treatment with growth stimulants – Ecorost, Zircon and Epin-extra in various concentrations on morphometric parameters, frost resistance, survival rate and growth when planting in a model plot, container seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) of the second rotation grown in high-latitude conditions. The damage index of pine needle cell membranes exposed to low temperatures (from –50 to –320 °C) in the spring during the transition of plants from dormancy to vegetation was studied. Studies have shown that Ecorost and Epin-extra increased the frost resistance of seedlings at –15 °C. The tested growth stimulants had a positive effect on the height of seedlings – up to 23 % compared with the control. They increased the mass of seedlings (up to 68 %), especially roots (up to 97 %), which indicates the potential for their use to improve key indicators of seedling quality –

survival and growth in a forest cultivation area. The tested growth stimulators increased the height gain of seedlings when growing in a model plot, which is important for their further development when creating forest crops. The preparations are of practical importance for improving agricultural practices in the cultivation of coniferous planting material during double-cropping cultivation at high latitudes.

Keywords: *Pinus sylvestris*, container seedlings, double-cropping cultivation, growth stimulators, morphometry, frost resistance, high latitudes

Acknowledgements: The study was funded by the Russian Science Foundation grant No. 23-26-00192, <https://rscf.ru/project/23-26-00192/>, as well as by funding from the state assignment of the Institute of Forest of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences (IL KRC RAS).

For citation: Kопosova E.A., Chernobrovkina N.P., Nelaeva K.G., Robonen E.V., Egorova A.V. Growth Stimulators for Container Seedlings of *Pinus sylvestris* L. in the Second Rotation. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 88–100. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-88-100>

Введение

Совершенствуется технология выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой основных лесообразующих пород при использовании многоротационного режима. В лесных питомниках подзоны среднетаежных лесов России с коротким вегетационным периодом затруднено внедрение такого режима из-за риска неподготовленности семян второй ротации к пересадке на лесокультурную площадь, их низкой стрессоустойчивости. При выращивании семян хвойных пород в лесных питомниках перспективно применение стимуляторов роста, которые улучшают морфометрические показатели семян и повышают их адаптивные реакции.

Стимуляторы роста, оказывая положительное влияние на всхожесть семян, рост семян хвойных пород, включая рост корневой системы, увеличивают выход качественного посадочного материала [1, 6, 7, 10–13, 15, 17, 21, 22]. В литературе отмечается, что регуляторы роста могут не только повышать посевные качества семян, ростовую активность семян, но и обеспечивать их устойчивость к неблагоприятным факторам [8, 16, 26, 29, 30]. Применение абсцизовой кислоты, естественного регулятора роста растений, а также ее синтетических аналогов повышало морозоустойчивость растений [29, 30]. Обработка 1-летних семян ели (*Picea glauca*, *P. mariana*) непосредственно перед заложением почек синтетическим соединением со свойствами замедления роста – паклобутразолом – увеличивала холодоустойчивость через 4 мес. после его применения, однако рост после посадки у обработанных семян замедлялся [25]. Сформирован перечень эффективных препаратов различной природы для обработки семян сосны: Агат-25К ($1 \cdot 10^{-2}$, $1 \cdot 10^{-3}$ %), Вэрва-ель (0,025 мл препарата на 10 мл воды), Крезацин (1 мл/3 л – 1 мл/5 л), Новосил (2 кап./л), Оберег (7 кап./500 мл), Рибав-Экстра (1 мл/4 л – 1 мл/5 л), Циркон (1 мл/5 л – 1 мл/6 л), Экогель (20 мл/л), Экопин (1 мл/3 л – 1 мл/5 л), Эмистим-С (2 мл/л), Эпин-Экстра ($1 \cdot 10^{-2}$ %); для ели: Гетероауксин (4 г/л), Гумат (0,01 %), Экогель (30 мл/л) [11, 23–25].

К наиболее перспективным регуляторам роста для улучшения качества семян хвойных пород исследователи относят Циркон, Эпин-Экстра, Биостим, Рибав-экстра, Экорост и другие гуминовые препараты [5]. В нашем эксперименте

были использованы стимуляторы, оказывающие значительное влияние на рост растений и их устойчивость к неблагоприятным воздействиям – Экорост (универсальное жидкое гуминовое удобрение из торфа, действующее вещество – гуматы), Циркон (гидроксикоричные кислоты), Эпин-Экстра (24-эпинбрасинолид).

Препарат Экорост состоит из веществ природного происхождения, которые образуются при распаде растительных остатков в почве [20]. Гуматы относятся к стимуляторам роста, но не к удобрениям и характеризуются наиболее «чистым» составом. Гуминовые стимуляторы не только положительно влияют на обменные процессы растений, но и улучшают почву, повышают адаптивность растений и усвоение питательных веществ [3].

Стимулятор роста Циркон производится на основе цветка эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) и содержит сложные эфиры на основе растворенных в спирте гидроксикоричных кислот. Соединение экологически чистое, используется как регулятор роста комплексного характера. Циркон влияет на ростовые процессы, формирование корней, способствует адаптации растений к неблагоприятным условиям путем стимуляции метаболизма [17]. Препарат повышает активность фитогормонов и усиливает защитные функции растений ингибированием активности ауксиноксидазы, оказанием антибактериального и фунгипротекторного действий, активацией иммунных функций растений. Циркон улучшает устойчивость растений к действию ионизирующего излучения, неблагоприятных температурного, водного, светового режимов и других видов стресса [9].

Эпин-Экстра является синтетическим аналогом естественных фитогормонов [14]. Механизм его действия заключается в регулировании синтеза растением собственных фитогормонов, которые значимы на каждом этапе его развития – ауксинов, гиббереллинов, цитокининов, абсцизовой кислоты и этилена. Эпин-Экстра принимает участие в синтезе белков холодового шока, тем самым повышая устойчивость к заморозкам [18]. Препарат активизирует защитные функции, способствующие адаптации растений к стрессовым факторам (перепады температур, засуха, засоление и т. д.), ускоряет прорастание семян, повышает их всхожесть, стимулирует рост, запускает синтез хлорофилла [14].

Цель исследования – выявление влияния внекорневой обработки контейнерных семян *Pinus sylvestris* L. второй ротации стимуляторами роста при двухротационном режиме выращивания в условиях короткого вегетационного периода в высоких широтах.

Объекты и методы исследования

Исследование проводили в тепличном комплексе «Вилга» (61°49' с. ш. 34°04' в. д.) на Северо-Западе Европейской части России в Республике Карелия. Регион характеризуется коротким вегетационным периодом.

Объект исследования – 1-летние контейнерные семена сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) второй ротации, выращиваемые в условиях закрытого грунта. Посев проводили 27 июня 2023 г. В качестве контроля использовали семена второй ротации без обработки. В эксперименте применяли стимуляторы роста: Экорост, Циркон, Эпин-Экстра. Препараты разводили до концентраций, приведенных в табл. 1, по вариантам эксперимента. Внекорневую обработку семян растворами осуществляли путем опрыскивания до полного увлажнения

ния хвои 2 раза за вегетационный период 2023 г. – через 3 недели (18.07.2023) и через 5 недель (01.08.2023) после посева.

Таблица 1

Концентрации применяемых стимуляторов роста при внекорневой обработке контейнерных сеянцев *Pinus sylvestris* L. второй ротации
Concentrations of growth stimulators used in the experiment during foliar treatment of container seedlings of *Pinus sylvestris* L. in the second rotation

Препарат	Концентрация, мл/л		
Экорост	1,0	1,5	2,0
Циркон	0,01	0,05	0,10
Эпин-экстра	0,1	0,2	0,3

В апреле 2024 г. определяли морфометрические показатели сеянцев контрольного и опытных вариантов. В каждом варианте обработки случайным образом отбирали по 30 сеянцев и измеряли высоту надземной части от корневой шейки до основания терминальной почки и диаметр стволика у корневой шейки. Каждый сеянец разделяли на органы, определяли гравиметрическим методом сырую массу сеянца, надземной части и корней, устанавливали их влажность и рассчитывали сухую массу.

Определение морозоустойчивости сеянцев второй ротации проводили в 3-й декаде апреля 2024 г. на растениях контрольных вариантов и вариантов с применением регуляторов роста в дозах, максимально стимулирующих увеличение высоты: Экорост – 1,5 мл/л, Циркон – 0,1 мл/л и Эпин-экстра – 0,2 мл/л. Использовали кондуктометрический метод по утечке электролитов (кондуктометр «КП-150МИ», Россия) через клеточные мембраны хвои после низкотемпературного воздействия (от –5 до –32 °С) посредством выдерживания в морозильной камере (Позис ММ-180/20/35, Россия). Степень повреждения клеточных мембран в различных вариантах оценивали по индексу повреждения [28]:

$$It = 100 \left(\frac{ECf}{ECk} - \frac{ECc}{ECk} \right) / \left(1 - \frac{ECc}{ECk} \right),$$

где ECf , ECc – электропроводность опытных и контрольных растворов соответственно после экстрагирования навески, $мСм \cdot см^{-1}$; ECk – электропроводность соответствующих растворов после автоклавирования с последующим экстрагированием (общая электропроводность), $мСм \cdot см^{-1}$.

В мае 2024 г. создана площадка на территории тепличного комплекса «Вилга» для выявления приживаемости и роста саженцев опытных и контрольного вариантов. Перед высадкой у всех сеянцев проводили замеры высоты и диаметра стволика. Высаживали по 30 сеянцев контрольного варианта и каждого варианта с применением регуляторов роста в тех же концентрациях, которые испытывали на морозоустойчивость – Экорост – 1,5 мл/л; Циркон – 0,1 мл/л; Эпин-экстра – 0,2 мл/л. В сентябре 2024 г. проводили учет приживаемости саженцев и измеряли приросты по высоте и диаметру стволика у корневой шейки.

Результаты исследования и их обсуждение

Под воздействием внекорневой обработки стимуляторами роста контейнерных сеянцев сосны второй ротации высота стволиков увеличивалась во всех

вариантах за исключением варианта с Цирконом в концентрации 0,01 мл/л, где высота стволика достоверно не отличалась от контроля (табл. 2). Циркон в концентрации 0,1 мл/л и Эпин-экстра в концентрации 0,2 мл/л оказывали наибольшее влияние на высоту стволиков, повышая ее на 23 и 22 % соответственно. По мере увеличения концентрации Циркона росло и его положительное воздействие. Рост стволиков в высоту после использования Экороста и Эпина-экстра практически не зависел от концентрации препаратов. На диаметр стволиков испытанные препараты во всех концентрациях не оказали стимулирующего влияния.

Таблица 2

Средние с ошибкой, максимальные и минимальные линейные размеры контейнерных сеянцев *Pinus sylvestris* L. второй ротации, обработанных стимуляторами роста

The average (\pm SU), maximum and minimum values of linear dimensions container seedlings of *Pinus sylvestris* L. in the second rotation, treated with growth stimulants

Показатель	Значение показателя	Контроль	Экорост			Циркон			Эпин-экстра		
			Концентрация препарата, мл/л								
			1,00	1,50	2,00	0,01	0,05	0,10	0,10	0,20	0,30
Высота, см	Mean	5,39 с	6,02 а	6,36 ab	6,14 а	5,18 с	5,88 а	6,65 ab	6,32 а	6,55 b	6,34 ab
	\pm SU	0,53	0,82	0,82	0,71	0,72	0,93	0,80	0,99	1,29	1,22
	Min	4,50	4,00	4,80	4,50	4,00	4,00	5,00	4,50	4,40	3,50
	Max	6,20	7,70	7,80	7,50	7,00	7,90	9,00	8,00	9,20	8,80
Диаметр стволика у корневой шейки, мм	Mean	2,01 ab	2,13 а	2,13 а	2,21 а	1,72 b	2,07 ab	2,07 ab	2,12 ab	1,96 ab	2,06 а
	\pm SU	0,56	0,55	0,44	0,39	0,25	0,35	0,33	0,40	0,37	0,33
	Min	1,26	1,23	1,35	1,44	1,08	1,58	1,44	1,4	1,23	1,36
	Max	2,97	3,27	3,31	2,87	2,17	2,99	2,92	3,33	2,68	2,74

Примечание: F-value – 3,75; p-level – 0; df – 207 и 227 для высоты и диаметра соответственно. Замеры проводили 23.04.2024 г. Значения с разными буквами статистически различались в соответствии с тестом Тьюки при $\alpha = 0,05$ – здесь и далее.

Экорост в концентрациях 1,0 и 1,5 мл/л, Циркон в концентрации 0,1 мл/л и Эпин-экстра во всех концентрациях значительно повышали массу надземной части сеянцев (табл. 3). Особенное влияние оказал Циркон в концентрации 0,1 мл/л – увеличивал массу надземной части на 65 % по сравнению с контролем. Ощутимое положительное воздействие (до 97 %) на массу корней отмечено для всех стимуляторов, особенно для Экороста в концентрации 2 мл/л, что отразилось на понижении отношения надземной части к подземной (до 1,9).

Таблица 3

Средние с ошибкой, максимальные и минимальные сухие массы (г) контейнерных сеянцев *Pinus sylvestris* L. второй ротации, обработанных стимуляторами роста

The average (\pm SU), maximum and minimum values of mass of the second rotation *Pinus sylvestris* L. container seedlings, treated with growth stimulants

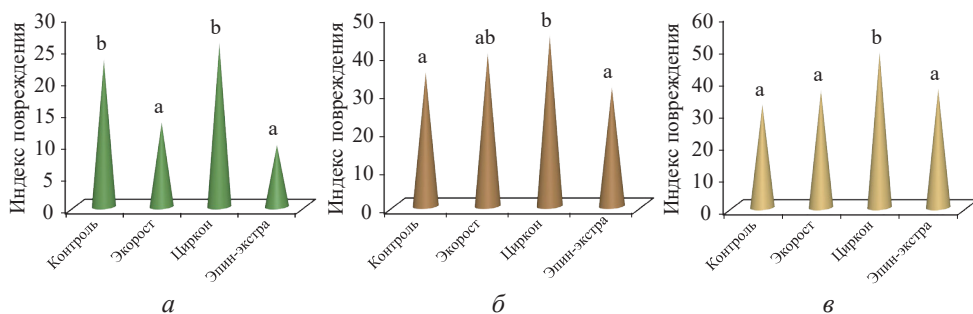
Часть растения	Значение показателя	Контроль	Экорост			Циркон			Эпин-экстра		
			Концентрация препарата, мл/л								
			1,00	1,50	2,00	0,01	0,05	0,10	0,10	0,20	0,30
Надземная	Mean	0,78 b	1,03 ac	0,87 а	0,89 bd	0,73 b	0,53 b	0,87 а	1,03 ac	0,88 cd	0,91 ac
	\pm SU	0,17	0,38	0,21	0,21	0,16	0,19	0,20	0,22	0,24	0,17
	Min	0,36	0,27	0,43	0,39	0,45	0,18	0,43	0,44	0,41	0,60
	Max	1,19	1,96	1,32	1,17	1,06	0,88	1,20	1,41	1,35	1,28

Окончание табл. 3

Часть растения	Значение показателя	Контроль	Экорост				Циркон			Эпин-экстра		
			Концентрация препарата, мл/л									
			1,00	1,50	2,00	0,01	0,05	0,10	0,10	0,20	0,30	
Корни	Mean	0,35 b	0,46 b	0,18 b	0,98 c	0,23 a	0,20 a	0,26 a	0,46 a	0,44 a	0,29 a	
	±SU	0,16	0,23	0,06	0,33	0,08	0,17	0,10	0,17	0,12	0,06	
	Min	0,07	0,05	0,08	0,17	0,04	0,05	0,08	0,13	0,21	0,21	
	Max	0,61	1,11	0,29	1,67	0,39	1,00	0,58	0,93	0,73	0,41	
Сеянец	Mean	2,01 ab	2,13 a	2,13 a	2,21 a	1,72 b	2,07 ab	2,07 ab	2,12 ab	1,96 ab	2,06 a	
	±SU	0,56	0,55	0,44	0,39	0,25	0,35	0,33	0,40	0,37	0,33	
	Min	1,26	1,23	1,35	1,44	1,08	1,58	1,44	1,40	1,23	1,36	
	Max	2,97	3,27	3,31	2,87	2,17	2,99	2,92	3,33	2,68	2,74	

Примечание: F-value – 12,10; 58,66; 26,28 для надземной части, корней и сеянца соответственно; p-level – 0; df – 288; 296; 213 для надземной части, корней и сеянца соответственно. Замеры проводили 23.04.2024.

Результаты анализа морозостойчивости обработанных стимуляторами сеянцев показали, что при -5°C индекс повреждения мембран клеток хвои сеянцев всех вариантов, включая контроль, был низкий ($It_{-5} \leq 2$). При -15°C индекс повреждения повышался во всех вариантах, при этом был ниже, чем в контроле, в вариантах с Экоростом (1,5 мл/л) и особенно с Эпином-экстра (0,2 мл/л) (см. рисунок). При -25 и -32°C индекс повреждения оказался высоким во всех вариантах и положительного эффекта на морозостойчивость от воздействия препаратами не отмечалось ($It_{-32} \leq 48$).



Индекс повреждения клеточных мембран хвои контейнерных сеянцев *Pinus sylvestris* L. второй ротации выращенных и обработанных стимуляторами роста в 2023 г. (измерения 23.04.2024 г.). Температуры воздействия: -15°C (а); -25°C (б); -32°C (в). Концентрации: Экорост – 1,5 мл/л; Циркон – 0,1 мл/л; Эпин-экстра – 0,2 мл/л. Значения с разными буквами статистически различались в соответствии с тестом Тьюки при $\alpha = 0,05$

Cell membrane damage index of needles in second-rotation container-grown *Pinus sylvestris* L. container seedlings, cultivated and treated with growth stimulators in 2023 (measurements taken on 23.04.2024). Exposure temperatures: -15°C (a); -25°C (b); -32°C (c). Concentrations: Ecorost – 1.5 ml/l; Zircon – 0.1 ml/l; Epin-extra – 0.2 ml/l. Values with different letters are statistically different according to Tukey's test at $\alpha = 0.05$

Учет приживаемости контейнерных сеянцев сосны, обработанных стимуляторами роста, после высадки на площадку в тепличном комплексе показал, что она составила 100 % во всех вариантах, включая контрольный. Прирост высоты стволика у сеянцев второй ротации опытных вариантов был больше по сравнению с контрольными растениями – до 55 % (табл. 4). Так, прирост в высоту в варианте с использованием препарата Экорост в концентрации

1,5 мл/л составил 4,4 см, в контроле – 1,7 см. Достоверных отличий между опытными вариантами не отмечалось. Исследуемые препараты не оказали стимулирующего влияния на прирост по диаметру стволика за вегетационный период во всех вариантах.

Таблица 4

Средние с ошибкой, максимальные и минимальные морфометрические параметры саженцев *Pinus sylvestris* L., выращенных из контейнерных семян второй ротации, обработанных стимуляторами роста
The average (\pm SE), maximum and minimum values of morphometric parameters of *Pinus sylvestris* L. seedlings, grown from second rotation container seedlings, treated with growth stimulants

Вариант	Значение статистического показателя	Высота сеянца, см		Δ SH	Диаметр стволика у корневой шейки, мм		Δ RCD
		16.05.2024	18.09.2024		16.05.2024	18.09.2024	
Контроль	Mean	7,17 ab	8,88 b	1,71 b	2,28 a	3,34 b	1,07 b
	\pm SU	1,06	1,80	1,52	0,33	0,75	0,72
	Min	4,60	4,90	0	1,50	1,90	0
	Max	8,70	14,50	7,20	2,90	5,60	3,20
Экорост	Mean	7,36 ab	11,69 a	4,36 a	1,95 b	2,90 a	0,97 ab
	\pm SU	1,18	2,75	2,52	0,42	0,56	0,49
	Min	5,70	6,40	0,30	1,10	1,50	0
	Max	10,50	16,80	9,50	2,60	3,90	1,80
Циркон	Mean	6,46 a	10,75 a	4,29 a	2,12 ab	2,81 a	0,69 a
	\pm SU	0,94	1,58	1,56	0,37	0,44	0,46
	Min	5,00	7,60	1,20	1,30	2,00	0
	Max	8,40	13,50	6,80	2,80	3,60	1,80
Эпин-экстра	Mean	7,60 b	11,91 a	4,31 a	2,22 a	3,20 ab	0,97 ab
	\pm SU	0,84	2,18	2,33	0,45	0,64	0,69
	Min	5,90	8,90	0,80	1,20	1,60	0
	Max	9,90	17,50	10,50	2,90	4,30	2,50
F-value*		5,11	11,59	25,17	4,93	5,07	3,86
p-level		0	0	0	0	0	0,01

Примечание: Δ SH, Δ RCD – разница между высотой сеянца и диаметром стволика у корневой шейки соответственно, измеренными 18.09 и 16.05.2024. Концентрации стимуляторов – см. рисунок; df = 118.

Результаты исследования показали, что испытанные стимуляторы роста растений в определенных концентрациях эффективны при выращивании контейнерных сеянцев сосны обыкновенной второй ротации в условиях короткого вегетационного периода. Для увеличения высоты сеянцев наилучшими оказались Циркон в концентрации 0,1 мл/л, Экорост в концентрациях 1,5 и 2,0 мл/л и Эпин-экстра в концентрации 0,2 мл/л. Циркон и Эпин-экстра максимально воздействовали на высоту сеянцев второй ротации – до 23 %, что имеет практическое значение для совершенствования технологии двухротационного выращивания контейнерных сеянцев сосны в условиях высоких широт. Ранее нами было показано, что контейнерные сеянцы сосны второй ротации отставали по морфометрическим показателям от сеянцев безротационного выращивания в условиях высоких широт [33].

Масса сеянцев хвойных пород относится к особенно значимым показателям их качества [19]. Препараты в определенных дозах значительно

повышали массу надземной части сеянцев. Особенно сильное влияние оказал Циркон в концентрации 0,1 мл/л, увеличивая массу надземной части на 65 % по сравнению с контролем. Значительное положительное влияние (до 97 %) всех стимуляторов на массу корней отразилось на понижении отношения надземной части к подземной. Снижение этого показателя до определенного уровня (до 2,5) у сеянцев хвойных указывает на рост их приживаемости и потенциал к дальнейшему улучшенному развитию на лесокультурной площади [19]. Одной из причин возможной низкой приживаемости сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой при посадке на лесокультурную площадь является задержка выхода корней в окружающий грунт из торфяного брикета, что при пересыхании верхних горизонтов почвы может приводить к гибели растений [2, 4].

Одним из значимых показателей качества посадочного материала хвойных пород в условиях высоких широт является морозоустойчивость, которая определяет выживаемость сеянцев в осенне-зимне-весенний период на открытой площадке, а также при их хранении в морозильной камере. В апреле в условиях северных широт возможны заморозки, поэтому в этот период существует риск повреждения низкими температурами тронувшихся в рост сеянцев. Так, при воздействии низких температур ($-6,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) после посадки сеянцев сосны алеппской (*Pinus halepensis* Mill.) на лесокультурную площадь в марте (при $It_{25} \leq 70\%$) погибло 80 % сеянцев [32].

Анализ морозоустойчивости контейнерных сеянцев сосны второй ротации показал, что в третьей декаде апреля хвоя сеянцев всех вариантов была устойчива к температуре $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. При $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ индекс повреждения мембран хвои во всех вариантах указывал на неустойчивость сеянцев к этой температуре. Экорост в концентрации 1,5 мл/л и Эпин-экстра в концентрации 0,2 мл/л понижали индекс повреждения мембран хвои при $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, однако ее морозоустойчивость оставалась низкой ($It_{15} \leq 13$ в опытных вариантах и $It_{15} = 23$ в контроле). При -25 и $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ хвоя имела высокие индексы повреждения (до 48) и препараты не снижали их. Под воздействием Циркона в концентрации 0,1 мл/л происходило уменьшение морозоустойчивости хвои сеянцев при очень низких температурах. Это можно объяснить снижением интенсивности адаптационных реакций у растений в результате их более активного роста в вегетационный период по сравнению с контролем.

В практике питомнических хозяйств для исключения рисков повреждения сеянцев в зимний период используется их хранение в морозильных камерах с температурой от -3 до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ [27]. Низкая морозоустойчивость у контейнерных сеянцев *Pinus sylvestris* L. и *Picea abies* (L.) Karst., выявленная при закладке на хранение в морозильные камеры, коррелировала с большой гибелью растений в тесте на выращивание после хранения [31]. По наблюдениям авторов, сеянцы сосны и ели можно считать подготовленными к зимнему хранению в морозильных камерах ($-3 \dots -5\text{ }^{\circ}\text{C}$), если у верхушечной части побега индекс повреждения при температуре воздействия $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (It_{25}) не превышает 4.

Рост морозоустойчивости хвои сеянцев под воздействием препаратов Экорост и Эпин-экстра в определенных концентрациях и при определенной температуре позволяет считать их перспективными для стимуляции адаптационных способностей сеянцев к низким температурам. Особую значимость приемов повышения

морозоустойчивости сеянцев хвойных следует отметить в связи с внедрением в условиях высоких широт с коротким вегетационным периодом двухротационного режима выращивания, при котором сеянцы второй ротации имеют риск быть недостаточно устойчивыми к низким температурам.

Заключение

Испытанные стимуляторы роста растений – Экорост, Циркон, Эпин-экстра – в определенных концентрациях эффективны при выращивании контейнерных сеянцев сосны обыкновенной второй ротации в условиях короткого вегетационного периода в высоких широтах. Экорост и Эпин-экстра повышали морозоустойчивость сеянцев при $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Стимуляторы роста положительно влияли на высоту сеянцев – до 23 % по сравнению с контролем. Препараты увеличивали массу сеянцев (до 68 %) и особенно корней (до 97 %). Стимуляторы роста повышали прирост саженцев в высоту при выращивании в условиях школьного отделения. Положительное влияние изученных стимуляторов роста на сеянцы и саженцы сосны указывает на их значимость для успешного создания лесных культур. Препараты рекомендуются к применению для совершенствования агроприемов при получении посадочного материала хвойных пород при двухротационном выращивании в условиях высоких широт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Ageev A.A., Saltsevich Yu.V., Buryak L.V. Комплексное применение биостимуляторов при выращивании сеянцев ели (*Picea obovata* L.) // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 2. С. 73–87.

Ageev A.A., Saltsevich Yu.V., Buryak L.V. Complex Application of Biostimulators in the Cultivation of Spruce Seedlings. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 2, pp. 73–87. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-2-73-87>

2. Ананьев Е.М. Причины низкой приживаемости лесных культур, создаваемых сеянцами с закрытой корневой системой // Актуальн. проблемы лесн. комплекса. 2017. № 49. С. 58–62.

Ananyev E.M. The Reasons for the Low Survival Rate of Forest Crops Created by Seedlings With a Closed Root System. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* = Current Problems of the Forest Complex, 2017, no. 49, pp. 58–62. (In Russ.).

3. Бобушкина С.В. Приемы повышения эффективности производства посадочного материала хвойных пород с закрытой корневой системой в Архангельской области // Лесн. вестн. / Forestry Bulletin. 2021. Т. 25, № 6. С. 45–54.

Bobushkina S.V. Efficiency Production Methods of Conifers Ball-Rooted Planting Stock in Arkhangelsk Region. *Lesnoy vestnik* = Forestry Bulletin, 2021, vol. 25, no. 6, pp. 45–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-6-45-54>

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

Gough A.A., Zhigulin E.V., Zalesov S.V. The Reasons for the Low Survival Rate of Seedlings of Scots Pine With a Closed Root System in The Ribbon Forests of Altai. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* = Advances in Current Natural Sciences, 2019, no. 12, pp. 9–13. (In Russ.).

5. Демина Н.А., Васильева Н.Н., Дуркина Т.М., Файзулин Д.Х. Влияние стимуляторов на рост и развитие сеянцев ели с закрытой корневой системой // Journal of Agriculture and Environment. 2024. № 11(51). С. 1–6.

Demina N.A., Vasiljeva N.N., Durkina T.M., Faizulin D.K. Influence of Stimulants on Growth and Development of Spruce Seedlings With Root-Balled Tree System. *Journal of Agriculture and Environment*, 2024, no. 11(51), pp. 1–6 (In Russ.).

<https://doi.org/10.60797/JAE.2024.51.19>

6. Егорова А.В., Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В. Влияние хвойного препарата на рост и элементный состав семян *Pinus sylvestris* L. в условиях лесного питомника // Химия раст. сырья. 2017. № 2. С. 171–180.

Egorova A.V., Chernobrovkina N.P., Robonen E.V. Effects of Application of a Conifer-derived Chemical on the Growth and Elemental Composition of *Pinus sylvestris* L. Seedlings in a Forest Nursery. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of Plant Materials, 2017, no. 2, pp. 171–180. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017021720>

7. Егорова А.В., Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В., Зайцева М.И. Способ получения водных экстрактов из листьев ивы козьей с учетом суточной динамики их биологической активности для повышения всхожести семян сосны обыкновенной // Физиология растений. 2019. Т. 66, № 5. С. 394–400.

Egorova A.V., Chernobrovkina N.P., Robonen E.V., Zaytseva M.I. The Technique of Water Extract RepARATION From Goat Willow Leaves With Allowance for Circadian Rhythm of Their Biological Activity to Stimulate Scots Pine Seed Germination. *Fiziologiya rastenij* = Russian Journal of Plant Physiology, 2019, vol. 66, no. 5, pp. 394–400. (In Russ.).

<https://doi.org/10.1134/S0015330319040031>

8. Кириенко М.А., Гончарова И.А. Влияние концентрации стимуляторов роста на грунтовую всхожесть семян и сохранность семян главных лесобразующих видов Средней Сибири // Сиб. лесн. журн. 2016. № 1. С. 39–45.

Kirienko M.A., Goncharova I.A. The Influence of Growth Stimulants at Different Concentrations on Ground Seed Germination and Survival of Seedlings of the Main Forest Forming Species of Central Siberia. *Sibirskij lesnoj zhurnal* = Siberian Journal of Forest Science, 2016, no. 1, pp. 39–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/SJFS20160104>

9. Малеванная Н.Н. Циркон – иммуномодулятор нового типа // Циркон – природный регулятор роста, применение в сельском хозяйстве. М., 2010. С. 3–9.

Malevannaya N.N. Zircon is a New Type of Immunomodulator. In the Collection *Zircon – Natural Growth Regulator; Application in Agriculture*. Moscow, 2010, pp. 3–9. (In Russ.).

10. Немков П.С., Грехова И.В. Влияние гуминового препарата на семена хвойных пород // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 1. С. 96–99.

Nemkov P.S., Grekhova I.V. The Effect of a Humic Preparation on Coniferous Seedlings. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology, 2015, no. 1, pp. 96–99. (In Russ.).

11. Никитенко Л.А., Гуль Л.П., Король Л.А. Изучение стимуляторов роста при выращивании посадочного материала дальневосточных древесных пород // Проблемы охраны лесов и многоцелевого лесопользования. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2005. Вып. 38. С. 171–175.

Nikitenko L.A., Gul L.P., Korol L.A. The Study of Growth Stimulants in the Cultivation of Planting Material of Far Eastern Tree Species. *Problemy ohrany lesov i mnogocелеvogo lesopol'zovaniya* = Problems of Forest Protection and Multipurpose Forest Management. Khabarovsk, DalnIILKH Publ., 2005, iss. 38, pp. 171–175. (In Russ.).

12. Острошенко В.В., Акимов Р.Ю., Гаман А.В. Эффективность применения стимуляторов роста при выращивании однолетних семян сосны корейской (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) // Вестн. ИрГСХА. 2013. № 54. С. 87–93.

Ostroshenko V.V., Akimov R.Yu., Gaman A.V. The Effectiveness of Growth Stimulants in the Cultivation of Annual Seedlings of Korean Pine (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.). *Vestnik IrGSHA* = Bulletin of the IrGSHA, 2013, no. 54, pp. 87–93. (In Russ.).

13. Острошенко В.В., Зборовский А.В. Влияние внекорневой подкормки цирконом на рост саженцев лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi* Mayr.) // Актуал. проблемы лесн. комплекса. 2009. № 23. С. 1–4.

Ostroshenko V.V., Zborovsky A.V. The Influence of Foliar Fertilizing With Zircon on the Growth of Seedlings of Cajander Larch (*Larix cajanderi* Mayr.). *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* = Current Problems of the Forestry Complex, 2009, no. 23, pp. 1–4. (In Russ.).

14. *Острошенко В.Ю.* Влияние стимулятора роста «Эпин-Экстра» на энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Вестн. КрасГАУ. 2017. № 11. С. 208–218.

Ostroshenko V.Yu. The Effect of the Growth Stimulator "Epin-Extra" on the Germination Energy and Laboratory Germination of Seeds of the Common Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Vestnik KrasGAU* = Bulletin of KrasGAU, 2017, no. 11, pp. 208–218. (In Russ.).

15. *Острошенко В.Ю., Чекушкина Т.Н.* Эффективность применения стимулятора роста Циркон при проращивании семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Изв. СамНЦ РАН. 2017. Т. 19, № 2–3. С. 491–495.

Ostroshenko V.Yu., Chekushkina T.N. The Effectiveness of the Growth Stimulator Zircon in the Germination of Pine Seeds (*Pinus sylvestris* L.). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* = Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2017, vol. 19, no. 2–3, pp. 491–495. (In Russ.).

16. *Пентелькина Н.В.* Влияние новых стимуляторов на качество сеянцев хвойных пород // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития: сб. науч. тр. БГИТА. Брянск: БГИТА, 2003. Вып. 5. С. 122–125.

Pentelkina N.V. The Influence of New Stimulants on the Quality of Coniferous Seedlings. *Forest Complex: State and Prospects of Development. Sb. Nauch. Tr. BGITA*. Bryansk, BGITA Publ., 2003, iss. 5, pp. 122–125. (In Russ.).

17. *Пентелькина Н.В., Пентелькина Ю.С.* Стимулирующее действие циркона на рост сеянцев хвойных интродуцентов // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2002. № 2. С. 24–29.

Pentelkina N.V., Pentelkina Yu.S. Stimulating Effect of Zircon on the Growth of Seedlings of Introduced Conifers. *Lesnoy vestnik* = Forestry Bulletin, 2002, no. 2, pp. 24–29. (In Russ.).

18. Полифункциональность действия brassinosterоидов: сб. науч. тр. М.: НЭСТ М, 2007. 357 с.

The Multifunctional Effect of Brassinosteroids. Collection of Scientific Papers. Moscow, NEST M Publ., 2007. 357 p. (In Russ.).

19. *Робонен Е.В., Чернобровкина Н.П., Егорова А.В., Зайцева М.И., Нелаева К.Г.* Морфометрические критерии оценки качества контейнерных сеянцев хвойных пород // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 5. С. 42–57.

Robonen E.V., Chernobrovkina N.P., Egorova A.V., Zaitseva M.I., Nelaeva K.G. Morphometric Criteria for Assessing the Containerized Conifers Seedlings Quality. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 5, pp. 42–57. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-5-42-57>

20. *Савина О.В., Афиногенова С.Н.* Влияние некорневых подкормок комплексными микроудобрениями и гуматом на биометрические параметры роста и развития растений картофеля // Вестн. РГАТУ. 2021. № 1. С. 59–66.

Savina O.V., Afinogenova S.N. The Effect of Foliar Top Dressing With Complex Micro Fertilizers and Humate on Biometric Parameters of Potato Plant Growth and Development. *Vestnik RGATU* = Bulletin of RGATU, 2021, no. 1, pp. 59–66. (In Russ.).

<https://doi.org/10.36508/RSATU.2021.49.1.009>

21. *Скозарева И.А., Чернодубов А.И.* Эффективность применения стимуляторов роста при выращивании сеянцев сосны обыкновенной // Лесотехн. журн. 2019. Т. 9, № 3. С. 87–95.

Skozareva I.A., Chernodubov A.I. Efficiency of Using Growth Stimulants When Growing Scots Pine Seedlings. *Lesotekhnicheskij zhurnal* = Forestry Engineering Journal, 2019, vol. 9, no. 3, pp. 87–95. (In Russ.). <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2019.3/8>

22. *Сунгурова Н.Р., Дрочкова А.А., Гаевский Н.П., Вольхина Н.В., Бабич Н.А.* Конденсат сушки древесины как активатор энергии прорастания и всхожести семян сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. // Лесн. Вестн. / Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 4. С. 39–45.

Sungurova N.R., Drochkova A.A., Gaevsky N.V., Volykhina N.V., Babich N.A. Pine Wood *Pinus sylvestris* L. The Seed Germination Activator Uses Two Years of Energy to Dry Ordinary Condensate. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 39–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-4-39-45>

23. Тюкавина О.Н., Демина Н.А. Практика повышения посевных качеств семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели европейской (*Picea abies* L.) // Лесн. вестн. / *Forestry Bulletin*. 2022. Т. 26, № 6. С. 75–91.

Tyukavina O.N., Demina N.A. The Practice of Improving the Sowing Qualities of Seeds of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) and European Spruce (*Picea abies* L.). *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 75–91. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-6-75-91>

24. Устинова Т.С., Зуров Р.Н. Влияние препарата Гумат+7 на ростовые процессы хвойных пород // Актуал. проблемы лесн. комплекса. 2010. № 26. С. 115–118.

Ustinova T.S., Zurov R.N. The Effect of the Drug Humate+7 on the Growth Processes of Coniferous Species. *Aktualnie problemy lesnogo kompleksa = Current Problems of the Forest Complex*, 2010, no. 26, pp. 115–118. (In Russ.).

25. Хуришкяйнен Т.В., Андреева Е.М., Стеценко С.К., Терехов Г.Г., Кучин А.В. Влияние биопрепаратов Вэрва и Вэрва-ель на рост сеянцев сосны обыкновенной // Химия растит. сырья. 2019. № 1. С. 295–300.

Khurshkaynen T.V., Andreyeva Ye.M., Stetsenko S.K., Terekhov G.G., Kuchin A.V. Influence of Biopreparation Verva and Verva-spruce on the Scots Pine Seedlings Growth. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of Plant Materials*, 2019, no. 1, pp. 295–300. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019014248>

26. Calvo P.L., Nelson L., Kloepper J.W. Agricultural Uses of Plant Biostimulants. *Plant Soil*, 2014, vol. 383, pp. 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>

27. Colombo S.J. Second-year Shoot Development in Black Spruce *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. Seedlings. *Canadian Journal of Forest Research*, 1986, vol. 16, pp. 68–73. <https://doi.org/10.1139/x86-011>

28. Flint H.L., Boyce B.R., Beattie D.J. Index of Injury – A Useful Expression of Freezing Injury to Plant Tissues as Determined by the Electrolytic Method. *Canadian Journal of Plant Science*, 1967, vol. 47, pp. 229–230. <https://doi.org/10.4141/cjps67-043>

29. Grossnickle S.C., Folk R.S. Abscisic Acid Analogs Reduce Planting Stress in Newly Planted Seedlings. *Forest Ecology and Management*, 1994, vol. 64, no. 1, pp. 214–222.

30. Ishikawa M., Robertson A.J., Gusta L.V. Comparison of Viability Tests for Assessing Cross-adaptation to Freezing, Heat, and Salt Stresses Induced by Abscisic Acid in Bromegrass (*Bromus inermis* Leyss) Suspension Cultured Cells. *Plant Science*, 1995, vol. 107, pp. 83–93. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(95\)04100-9](https://doi.org/10.1016/0168-9452(95)04100-9)

31. Lindström A., Stättin E., Daniel Gräns D., Wallin E. Storability Measures of Norway Spruce and Scots Pine Seedlings and Assessment of Post-storage Vitality by Measuring Shoot Electrolyte Leakage. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2014, vol. 29, no. 8, pp. 717–724. <https://doi.org/10.1080/02827581.2014.977340>

32. Pardos M., Royo A., Gil L., Pardos J.A. Effect of Nursery Location and Outplanting Date on Field Performance of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* Seedlings. *Forestry*, 2003, vol. 76, no. 1, pp. 67–81. <https://doi.org/10.1093/forestry/76.1.67>

33. Robonen E.V., Chernobrovkina N.P., Raevsky B.V., Zaitseva M.I., Nelaeva K.G. Double-Cropping of *Pinus sylvestris* L. Containerized Seedlings under Short Growing Season Conditions at High Latitudes. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2024, no. 6, pp. 50–65. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-6-50-65>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the manuscript