


Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/4>


УДК 630*232.3





Влияние индивидуальной массы семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) сорта «Негорельская» на 30-дневное прорастание в 40-ячейстых SideSlit-контейнерах

Артур И. Новиков¹, arthur.novikov@vglta.vrn.ru  <https://orcid.org/0000-0003-1230-0433>

Сергей В. Ребко², rebko@belstu.by  <https://orcid.org/0000-0002-6892-2859>

Татьяна П. Новикова¹, novikova_tp.vglta@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0003-1279-3960>

Евгений П. Петрищев¹ , petrishchev.vgltu@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0002-1395-3631>

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация

²Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь

Прорастание семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) является важным этапом жизненного цикла дерева и определяет последующую продуктивность и выживаемость, в конечном счете влияя на состав растительного сообщества. Всхожесть семян связана с различными биологическими характеристиками семян, включая индивидуальную массу семени. Количество питательных веществ эндосперма, содержащихся в жизнеспособных семенах, может определять энергию, доступную для прорастания. Экспериментальных свидетельств влияния индивидуальной массы семян на прорастание все еще достаточно мало. Для апробации технологии производства посадочного материала с закрытой корневой системой с учетом индивидуальных для каждого сортового семени сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта «Негорельская» спектрометрических и морфометрических особенностей три случайных набора по 400 обескрыленных семян ($N = 1200$) высеяли вручную в 40-ячейстые SideSlit-контейнеры автоматизированного лесного питомника. Для проверки гипотезы о влиянии индивидуальной массы семени сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта «Негорельская» на показатели его прорастания в SideSlit-контейнерах на 30-й день использовали однофакторный дисперсионный анализ с проверкой однородности по критерию Ливиня и апостериорным LSD-тестом средних. Размах индивидуальной массы высеянных семян варьировал от 1,0 до 13,3 мг ($m \pm SD \mid 60.1 \pm 17.5$ мг). Средние значения показателя прорастания семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта «Негорельская» на 30 день в объеме 6, 8, 12, 16, 18, 26 SideSlit-контейнеров статистически (критерий однородности дисперсий Ливиня 6,35; $p = 1,98e-22$; ANOVA F-критерий 1,291; $p = 0,0139$; апостериорный критерий LSD $p < 0.05$) отличаются от показателя во 2, 7, 10, 11, 13, 19, 22, 24, 26, 27, 29 контейнерах. Средние значения индивидуальной массы проросших на 30-й день в ячейках SideSlit-контейнеров автоматизированного лесного питомника 942 семян статистически (статистика Ливиня 11,317; $p = 0,000792$; ANOVA F-критерий 12,098; $p = 0,000523$) отличаются от средних значений индивидуальной массы непроросших 258 семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта «Негорельская». В будущем будут изучены прорастание семян на 50-й день в SideSlit-контейнерах и комплексные показатели качества полученных сеянцев на 60-й день, включая DQI и RQI.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, сорт «Негорельская», *Pinus sylvestris* L., индивидуальная масса семени, прорастание семян, контейнерный лесной питомник, улучшение семян, качество сеянца, искусственное лесовосстановление

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00228, <https://rscf.ru/project/23-26-00228/>, <https://elibrary.ru/jtyxuh>.

Заявление о доступности данных: данные индивидуальной массы семян, представленные в этом исследовании, находятся в открытом доступе в научном репозитории – [набор данных] Petrishchev, Evgeniy P.; Rabko, Siarhei U.; Novikov, Arthur I.; Novikova, Tatyana P. 2023. Morphometric data of individual seeds (N = 1200) of the Negorelskaya variety *Pinus sylvestris* L. (empirical dataset); Mendeley Data, Version 1, doi: <https://doi.org/10.17632/8g258nbgmf.1>

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.


Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Влияние индивидуальной массы семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) сорта «Негорельская» на 30-дневное прорастание в 40-ячейковых SideSlit-контейнерах / А. И. Новиков, С. В. Ребко, Т. П. Новикова, Е. П. Петрищев // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – № 2 (50). – С. 59–86. – Библиогр.: с. 72–83 (76 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/4>.


Поступила 28.05.2023. *Пересмотрена* 22.06.2023. *Принята* 28.06.2023. *Опубликована онлайн* 18.09.2023.



Article

The effect of the individual seed mass of Negorelskaya variety Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on 30-day germination in 40-cell SideSlit growing containers

Arthur I. Novikov¹, arthur.novikov@vglta.vrn.ru  <https://orcid.org/0000-0003-1230-0433>

Siarhei U. Rabko², rebko@belstu.by  <https://orcid.org/0000-0002-6892-2859>

Tatyana P. Novikova¹, novikova_tp.vglta@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0003-1279-3960>

Evgeniy P. Petrishchev¹ , petrishchev.vgltu@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0002-1395-3631>

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh city, 394087, Russian Federation

²Belarusian State Technological University, Sverdlova str., 13a, Minsk, 220006, Republic of Belarus

Abstract

The seeds germination of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) is an important stage of the tree's life cycle and determines the subsequent productivity and survival, ultimately affecting the composition of the plant community. Germination is related to various biological characteristics of seeds, including individual seed mass. The amount of endosperm nutrients contained in sound seeds can determine the energy available for germination. Experimental evidence of the influence of individual seed mass on germination is still quite small. To test the technology of planting material production with a closed root system, taking into account the individual spectrometric and morphometric features of the Negorelskaya variety for each varietal seed of the Scots pine (*P. sylvestris* L.), three random sets of 400 de-winged seeds (N = 1200) were sown manually in 40-mesh SideSlit containers of an automated forest nursery. To test the hypothesis about the influence of the individual seed mass of the Scots pine (*P. sylvestris* L.) varieties "Negorelskaya" on the indicators of its germination in SideSlit containers on the 30th day, a single-factor analysis of variance was used with a check of uniformity according to the Levene's criterion and a posteriori LSD test of averages. The individual mass of the sown seeds varied from 1.0 to 13.3 mg (m ± SD | 60.1 ± 17.5 mg). The average values of the germination index of the seeds of Negorelskaya variety Scots pine (*P. sylvestris* L.) on day 30 in the volume of 6,8,12,16,18,26 SideSlit containers statistically (Levene's criterion 6.35, p = 1.98e-22; ANOVA F-criterion 1.291, p = 0.0139; a posteriori criterion LSD p < 0.05) differ from the indicator in 2,7,10,11,13,19,22,24,26,27,29 containers. The average values of

the individual mass of 942 seeds germinated on the 30th day in the cells of SideSlit containers of the automated forest nursery statistically (Levene's criterion 11.317; $p = 0.000792$; ANOVA F-criterion 12.098; $p = 0.000523$) differ from the average values of the individual weight of the ungerminated 258 seeds of the Negorelskaya variety Scots pine (*P. sylvestris* L.). In the future, this seed germination on day 50 in SideSlit containers and comprehensive quality indicators of the seedlings, including DQI and RQI, will be studied.

Keywords: Scots pine, *Pinus sylvestris* L., Negorelskaya variety, individual seed mass, seed spectrometric features, seed germination, container-grown forest nursery, seed enhancement, seedling quality, artificial reforestation

Funding: this study has been supported by the grants the Russian Science Foundation, RSF 23-26-00228, <https://rscf.ru/project/23-26-00228/>, <https://elibrary.ru/jtyxux>.

Data Availability Statement: the individual seed mass data presented in this study are openly available in [dataset] Petrishchev, Evgeniy P.; Rabko, Siarhei U.; Novikov, Arthur; Novikova, Tatyana P. 2023. Morphometric data of individual seeds (N = 1200) of the Negorelskaya variety *Pinus sylvestris* L. (empirical dataset); Mendeley Data, Version 1, doi: <https://doi.org/10.17632/8g258nbgmf.1>

Acknowledgments: authors thank the reviewers for their contribution to the peer review.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Novikov A. I., Rebko S. V., Novikova T. P., Petrishchev E. P. (2023). The effect of the individual seed mass of "Negorelskaya" variety Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on 30-day germination in 40-cell SideSlit growing containers. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 13, No. 2 (50), pp. 59-86 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/4>.

Received 28.05.2023. *Revised* 22.06.2023. *Accepted* 28.06.2023. *Published online* 18.09.2023.

Введение

При производстве высококачественного посадочного материала, в том числе и для адаптивного восстановления лесных ландшафтов [24; 46; 72], необходимо учитывать селекционные способы создания новых перспективных гибридов [13] одного из основных лесобразующих видов – сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), используемого в технологии лесовосстановления [17; 25; 26].

Целесообразность проведения данного исследования в рамках научного гранта [8] обусловлена стремлением проследить прорастание и ранний рост каждой индивидуальной культуры ($N = 1\ 200$) сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта «Негорельская», начиная непосредственно от семени и учитывая его количественные и качественные показатели, набирая банк данных, начиная от результатов изучения спектрометрических и морфометрических свойств индивидуального семени до оценки биометрических параметров онтогенетического развития из

него семени в природно-производственных условиях произрастания.

Основные международные научные группы, длительное время плодотворно исследующие качественные (спектрометрические) показатели лесных и сельскохозяйственных семян, возглавляют:

– профессор Мулялем Тигабу (Sveriges Lantbruks Universitet, SLU, Swedish University of Agricultural Sciences, Southern Swedish Forest Research Centre) [73];

– профессор Кюю-Сак Кэнг (Forest Genetics & Tree Breeding Lab., Department of Forest Sciences, College of Agriculture and Life Sciences (CALS), Seoul National University) [43; 62];

– профессор Клиссия Магранджело (University of São Paulo (USP) Center for Nuclear Energy in Agriculture (CENA) [18; 32; 63].

Интерес к неразрушающей оценке качества и детектированию семян биофизическими методами [1; 6; 55] неуклонно возрастает, увеличивая географию и число участников. Все группы ученых имеют

профессиональную приборную базу, необходимый и достаточный опыт исследования спектрометрических показателей семян в видимой, инфракрасной и R-областях. Используются методики с применением классических VIS, инфракрасных спектрометров, обратных Фурье-спектрометров, TDS-спектрометров, R-детекторов, а также перспективные методики с применением конволюционных нейросетей [21].

Однако все методики, используемые в этих исследованиях, отличаются друг от друга и не в полной мере учитывают биофизические особенности лесных семян. При этом во многих методиках жизнеспособность семян определяется инвазивным методом. Также зачастую у всех групп исследователей используются стационарные спектрометры с длительной экспозицией, что существенно повышает стоимость проведения исследований. В большинстве случаев исследования спектрометрических показателей лесных семян проводятся отдельно [39], без логического продолжения в виде определения всхожести и наблюдений за ростом и развитием сеянцев. И наоборот, исследование роста и развития сеянцев из семян разного цвета проводится без привязки к тем или иным спектрометрическим показателям индивидуального семени.

В связи с этим возникает задача разработки нового универсального подхода [12] применения инноваций в лесном хозяйстве [4], обеспечивающего возможность решения проблемы получения высококачественных семян для выращивания улучшенного репродуктивного материала сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта «Негорельская» и обладающего следующими преимуществами:

а) использованием неинвазивных воздействий [16; 65] на семена;

б) использованием нежестких (без применения UV, X-ray [42; 56; 75]) источников света [35; 37; 53], в основном видимого (VIS) или ближнего инфракрасного [29; 75; 76] (NIR) диапазонов [9];

в) учетом бимодальных, биофизических и биохимических особенностей лесных семян и полученных из них сеянцев в полевых условиях и условиях контейнерного питомника;

г) исследованием корреляционной связи «спектрометрические параметры семени – биометрические особенности сеянца»;

д) накоплением набора данных (датасета) о свойствах каждого единичного семени с последующей привязкой данных о биометрических параметрах полученного из него сеянца;

е) принципиальной возможностью априорного оптимального прогнозирования темпов роста сеянцев по спектрометрическим показателям семян исходя из установленного для конкретного вида сеянцев максимума индекса качества Диксона.

Несомненно, заслуживает акцента то обстоятельство, что ученые-лесоводы неуклонно находятся в поиске лучшей методики оценки качества контейнерных сеянцев семейства сосновых (*Pinaceae*) по распределению диаметра корневой шейки и высоты сеянцев [22], и в особенности на основании комплексных показателей [2].

Процессом, имеющим благодаря исследованиям достаточную статистическую значимость и корреляционную связь (от умеренной до тесной) с физиологическим качеством семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.), а равно и с последовательностью технологического воздействия для улучшения семян перед высевом, в процессе посева на автоматизированной линии и после посева в автоматическом режиме поддержания уровня температуры и влаги теплицы контейнерного питомника, является прорастание семян.

По мнению Дэвида Б. Саутха и С.А. Энебака (2006)⁴, «использование семян с высоким процентом всхожести является ключевым фактором». Время и деньги на производственную деятельность контейнерного питомника [3], вложенные в автоматизированную подготовку семенного ложа (почвы, субстрата) в каждой ячейке кассеты, автоматический посев семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.), будут потрачены впустую, если семя не прорастет или сеянец погибнет после прорастания.

Масса семени является одним из наиболее важных биологических признаков и влияет на различные уровни прорастания семян, поскольку, как определяют А. Аннивайер и соавторы (2020), «количество крахмала и питательных веществ эндосперма,

⁴ South, D. B. Integrated pest management practices in southern pine nurseries / D. B. South, S. A. Enebak // *New Forests*. – 2006. – Vol. 31. – № 2. – P. 253–271. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-005-6571-0>.

содержащихся в семенах, может определять энергию и питательные вещества, доступные для прорастания семян» [14]. Результаты исследований П. Пржибульского и соавторов (2020) семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) подтверждают ожидаемую корреляцию между массой семян и размером зародыша [66].

Англо-русский словарь Линнарда⁵ достаточно четко определяет разницу между терминами «seed weight» (натурой семян, определяемой величиной массы семян, занимающей объем в 1 литр, г л⁻¹) и «seed mass» (массой одного семени, мг).

Соответственно, систематический запрос современных научных статей по терму [Scholar Query = "seed weight" OR "seed mass" AND "Scots pine" | Filters: Published Date = (2018-01-01 - 2023-06-01)] (lens.org) возвращает 15 источников, согласно рис. 1, свидетельствующих об изучении параметра массы семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) относительно следующего:

- перераспределения массы 1000 семян относительно изменения климата у Е.И. Парфеновой и соавторов [61];

- оценки фенотипической пластичности насаждений сосны обыкновенной в Шотландии по морфометрии шишек и семян в долгосрочном многосайтовом эксперименте Д. Битон и соавторов [19];

- связи ризосферы с надземной биомассой, несмотря на высокую вариабельность признаков семян и сеянцев, у К. Кармоны и соавторов (2021) [28];

- влиянии эффекта снегования на прорастание семян с различной массой 100 семян у А. Аннивайер и соавторов (2020) [14];

- дифференциации массы 1000 семян (1000-seed weights) сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) от происхождения у П. Пржибульского и соавторов (2020) [66];

- исследований регуляторов роста-гибберелинов, у С. Бокштетте и соавторов [23];

- оценки влияния тяжелых металлов на всхожесть и относительную массу семян у Дж. Тао Фу и соавторов (2019) [34].

⁵ Linnard, W. Russian-English, English-Russian forestry and wood dictionary / W. Linnard, D. Darrah-Morgan. – New Work : CAB International Publishing, 1999. – 180 p.

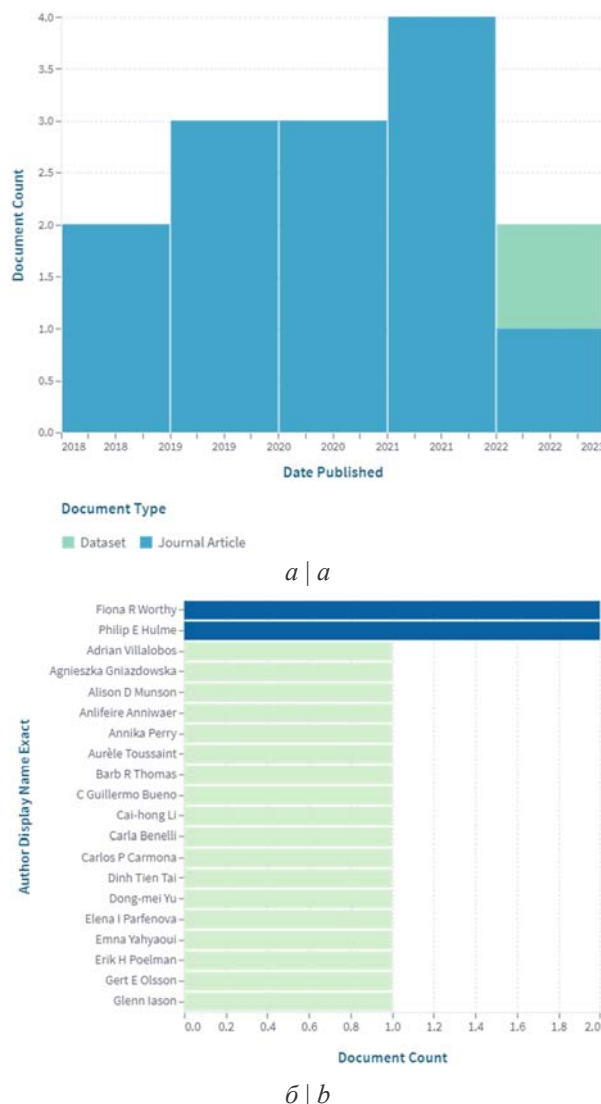


Рисунок 1. Пятилетнее распределение научных публикаций (N = 14) по видам (а) и авторам (б); терм [Scholar Query = "seed weight" OR "seed mass" AND "Scots pine" | Filters: Published Date = (2018-01-01 - 2023-06-01)]

Figure 1. Five-year distribution of scientific publications (N = 14) by type (a) and scientists (b); [Scholar Query = "seed weight" OR "seed mass" AND "Scots pine" | Filters: Published Date = (2018-01-01 - 2023-06-01)] term

Источник: <https://www.lens.org/>, компоновка по запросу авторов

Source: <https://www.lens.org/>, layout at the authors' request

Подготовка семян перед высевом может включать определенное технологическое воздействие [58] – механическую или термическую скарификацию [40; 47], капсулирование [40], дражирование [40], протравливание [71], сепарацию по

спектрометрическим свойствам [10]. В процессе прорастания семян на проростки и, в последующем, сеянцы, оказывается технологическое воздействие со стороны семенного ложа (seed bed), характеризующее конструктивными особенностями и объемом контейнера [38; 68; 69] и используемым субстратом и мульчей [27; 47; 49], степенью их уплотнения [44]. Более того, различное технологическое воздействие на будущий лесной посадочный материал при выращивании в автоматизированном питомнике может быть дифференцировано: по источникам света [31; 54; 67], уровню затенения [30; 67; 69] сеянцев, варьированию температуры [15; 45; 50], степени интенсивности полива [33; 41; 54], степени внесения удобрений [49; 52; 71].

Выполнение боковых вертикальных прорезей (Side Slit), расположенных в шахматном порядке на поверхности контейнера в области расположения и формирования ризосистемы сеянца в соответствии с рис. 2, может повысить волокнистость корневой системы и исключить риск образования корневых мостиков между ячейками. Выполнение ячеек в плане квадратного сечения обеспечивают высокую плотность роста и оптимальное использование площади теплицы и склада.

Спектрометрические показатели семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) в ряде случаев демонстрируют дифференциацию показателей прорастания [5] в контейнерах и дифференциацию показателей раннего роста сеянцев [57; 59]. Для проверки гипотезы об отсутствии влияния индивидуальной массы семени сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта «Негорельская» на показатели его прорастания на 30-й день в SideSlit-контейнерах автоматизированного лесного питомника поставили следующие задачи:

1. Оценить степень влияния средней массы семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта «Негорельская» на показатель прорастания на 30-й день в объеме единичного SideSlit-контейнера.

2. Оценить степень влияния индивидуальной массы семян ($N = 1200$) на прорастание (или его отсутствие) в ячейках SideSlit-контейнеров автоматизированного лесного питомника.



a | a



б | b

Рисунок 2. Конструктивно-технологические особенности SideSlit-контейнера НИКО V-120 (размер ДШГ 352*216*110 мм, объем ячейки 120 см³, 526 сеянцев на кв. м; ВСС АВ, Швеция), используемого в исследовании: виды сверху (а) и снизу (б) для апробации технологии производства посадочного материала с учетом спектрометрических и морфометрических особенностей семян

Figure 2. Design and technological features of the SideSlit-container НИКО V-120 (size DSHG 352*216*110 mm, cell volume 120 cm³, 526 cells per sq. m; BCC AB, Sweden) used in the study: top (a) and bottom (b) views for testing the technology of planting material production taking into account the spectrometric and morphometric features of seeds

Источник: собственная композиция автора Новиковой Т.П. (23.06.2023)

Source: author's own composition by Novikova T.P. (23.06.2023)

Материалы и методы

Предмет и объект исследований

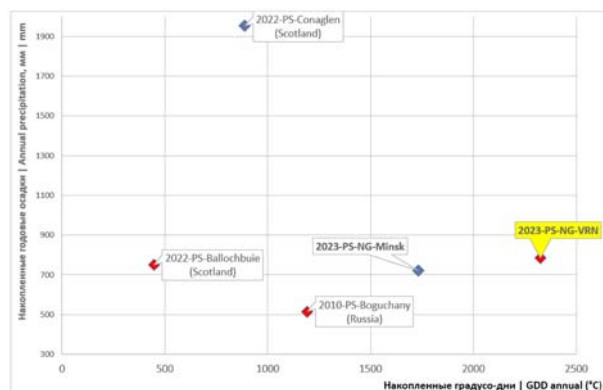
Объект исследований – обескрыленные семена ($N = 1200$) сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта «Негорельская» измеренной индивидуальной массы, высеянные в SideSlit-контейнеры автоматизированного лесного питомника.

Предмет исследований – процесс и показатели прорастания на 30-й день семян ($N = 1200$) сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта «Негорельская» в SideSlit-контейнерах, апробируемые для интенсификации получения посадочного материала, учитывающего спектрометрические и морфометрические параметры семян.

Дизайн эксперимента

Три набора ($n = 400$) семян отбирали методом квартования из партии обескрыленных семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта «Негорельская» урожая 2023 года, собранных в (широта, долгота, высота НУМ). У каждого семени из набора измерили размеры, массу, площадь, объем эллипсоида и спектрометрические параметры по разработанной на основе [21; 23; 48] методике и поместили в прозрачные кармашки под индивидуальным номером.

В настоящее время наблюдается тенденция перемещения [61] семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) для проведения ростовых экспериментов в градиенте функции накопленного годового количества осадков (мм) в зависимости от накопленных градусо-дней [19] региона проведения. П. Пржибульский и соавторы (2020) полагают, что «количество осадков в течение вегетационного периода создает селективное давление, влияющее на генетическую изменчивость сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.)» [66], а Дэвид Б. Саутх и соавторы (2023) в подробном обзорном докладе «Почему здоровые саженцы сосны погибают после того, как они покидают питомник» [70] объясняют «некоторое увеличение показателя выживаемости» [70] пересаженных в поле контейнерных сеянцев «увеличением среднего количества осадков» [70]. Текущий эксперимент не является исключением: 1200 сортовых (сорт «Негорельская») семян переместили из района сбора (1731 градусо-дней, 722 мм) в район эксперимента (2326 градусо-дней; 786 мм) согласно рис. 3, а, сориентированному по данным климатических наблюдений 2022 года.



а | а



б | б

Рисунок 3. Климатический градиент (зависимость накопленных осадков от накопленных градусо-дней) (а) перемещения семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.): синий маркер – место происхождения семян; красный маркер – место перемещения семян для исследований; из PS-Conaglen (Scotland) в PS-Ballochbuie (Scotland) у Д. Битон и соавторов (2022) [19], в PS-Boguchany (Russia) у Е.И. Парфеновой и соавторов (2021) [61]

б – перемещение семян из 2023-PS-NG-Minsk в 2023-PS-NG-Voronezh в файлах с прозрачными кармашками в текущем исследовании

Figure 3. Climatic gradient (dependence of annual precipitation on annual degree-days) of the movement (а) of Scots pine (*P. sylvestris* L.) seeds: blue marker – the seeds provenance; red marker – the place of seeds movement for research; from PS-Conaglen (Scotland) in PS-Ballochbuie (Scotland) by D. Beaton et al. (2022) [15], in PS-Boguchany (Russia) by E.I. Parfenova et al. (2021) [47]; b – seed transfers from 2023-PS-NG-Minsk to 2023-PS-NG-Voronezh in files with transparent pockets in the current study

Источник: собственная композиция авторов

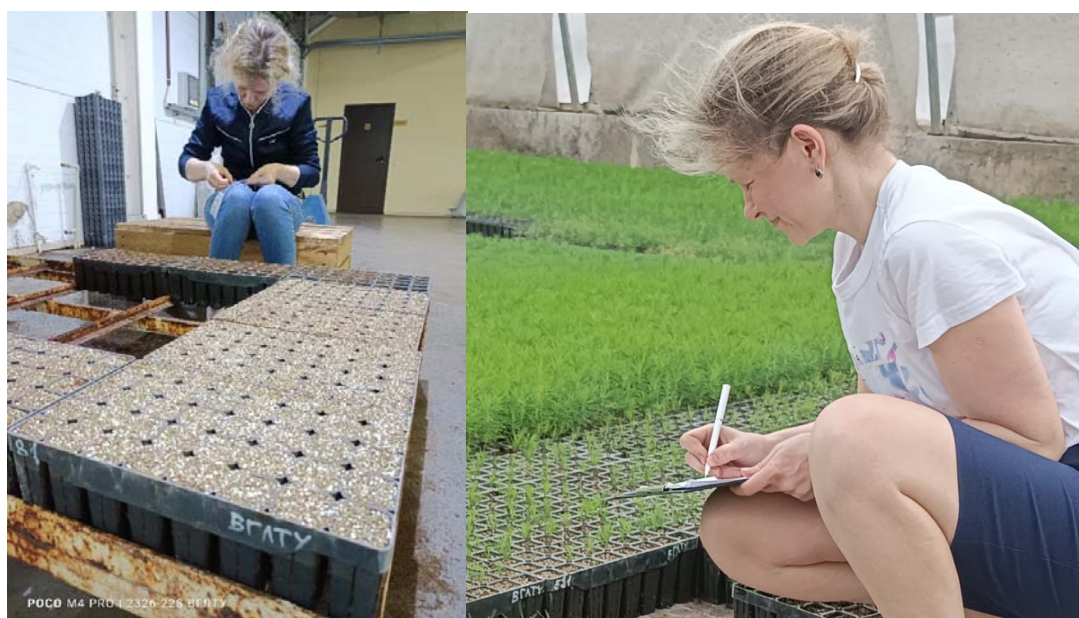
Source: author's own composition

Высев семян осуществляли вручную в каждую из 40 предварительно заполненных торфяным субстратом кислой реакции ячеек объемом 120 см³ контейнеров НИКО V-120 SideSlit (размер ДШГ 352*216*110 мм, 526 сеянцев на кв. м; ВСС АВ, Швеция), помещая семя в центр ячейки на глубину 0,5 см. Расположение семян для последующей идентификации осуществляли в соответствии с рис. 4, а, обозначая начальную ячейку отсчета сна-

ружи специальным маркером как на рис. 4, б. После высева 40 семян контейнер присыпали мульчей в виде перлита и выставляли на поддон для транспортировки каром в теплицу. Каждый набор из 400 семян разместили в 10 контейнерах. Через 30 дней осуществили подсчет всхожести (в процентах) для каждого из 30 контейнеров (N = 1 200 семян) (рис. 4, в) и индивидуальной всхожести каждого семени (0 – не взошло; 1 – взошло).

5	5	6	15	16	25	26	35	36
4	4	7	14	17	24	27	34	37
3	3	8	13	18	23	28	33	38
2	2	9	12	19	22	29	32	39
1	1	10	11	20	21	30	31	40
1	1	2	3	4	5	6	7	8

а



б | б

в | с

Рисунок 4. Ручной высев 1 200 индивидуальных семян (N = 400 * 3 образца) сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта «Негорельская» в SideSlit-контейнеры НИКО V-120 (размер ДШГ 352*216*110 мм, 526 сеянцев на кв. м; ВСС АВ, Швеция) для апробации технологии производства посадочного материала с учетом спектрометрических и морфометрических особенностей семян: схема размещения индивидуальных семян в контейнере (а); ручной высев и маркировка SideSlit-контейнеров (б); оценка прорастания семян в SideSlit-контейнерах на 30-й день (в)

Figure 4. Manual sowing of 1,200 individual seeds (N = 400 seeds * 3 samples) of Scots pine (*P. sylvestris* L.) sort "Negorelskaya" in SideSlit-containers НИКО V-120 (size LWH 352*216*110 mm, 526 seedlings per sq. m; BCC AB, Sweden) for testing the production technology planting material, taking into account the spectrometric and morphometric characteristics of seeds: scheme of placement of individual seeds in a container (a); manual seeding and labeling of SideSlit containers (b); evaluation of seed germination in SideSlit-containers on the 30th day (c)

Источник: собственная композиция автора Новиковой Т.П. (22.07.2023)

Source: author's own composition by Novikova T.P. (22.07.2023)

Моментом учета прорастания семян сорта «Негорельская» в SideSlit-контейнерах автоматизированного лесного питомника установили 30-дневный период от ручного высева в каждую из 40 ячеек контейнера, как это реализовано у Mañas et al.⁶ (2009), А.В. Пименова (2015) [11], А.И. Новикова (2019) [5].

Анализ данных

Программный комплекс визуализации статистических данных Graph Pad Prism, версию 8, использовали для оценки всхожести индивидуального семени по массе и групповой всхожести семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта «Негорельская» в SideSlit-контейнерах автоматизированного лесного питомника/

Частотная диаграмма (рис. 5) распределения по индивидуальной массе отсутствия (0) и наличия (1) на 30-й день в SideSlit-контейнерах автоматизированного лесного питомника проростков семян (N = 1200) сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта Негорельская демонстрирует некоторое отклонение от распределения Гаусса.

Использовали однофакторный дисперсионный анализ из модуля «Сравнение средних» программного комплекса для обработки статистических данных SPSS Statistics, версия 25, для оценки степени прорастания на 30-й день в SideSlit-контейнерах автоматизированного лесного питомника в следующих группах семян (N = 1200) сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта Негорельская:

– по индивидуальной массе согласно табл. А1 прил. А (число групп $m = 89$, визуализация графиком средних на рис. 6);

– в объеме каждого SideSlit-контейнера ($n = 40$) согласно табл. А1 прил. А (число групп $m = 30$, визуализация графиком средних на рис. 7);

– по наборам ($n = 400$) отобранных для исследования семян согласно табл. А1 прил. А (число групп $m = 3$, визуализация графиком средних на рис. 8).

Однофакторный дисперсионный анализ достаточно робастен к отклонениям от нормальности, тем не менее группы (см. прил. А) проверяли на основании критерия Ливиня однородности дисперсий. Межгрупповое сравнение средних осуществляли на основании аспостериорного критерия (LSD) с определением уровня значимости p [67].

Результаты и обсуждение

Распределение массы семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта Негорельская в объеме SideSlit-контейнеров автоматизированного лесного питомника представлено на рис. 5.

График средних прорастания на 30-й день групп (по индивидуальной массе, табл. А1) семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта Негорельская в SideSlit-контейнерах автоматизированного лесного питомника представлен на рис. 6.

График средних прорастания на 30-й день групп (по наборам ($n = 400$), отобранным для исследования, табл. А1) семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта Негорельская в SideSlit-контейнерах автоматизированного лесного питомника представлен на рис. 7.

⁶ Mañas, P. Quality of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) seedlings using waste materials as nursery growing media / P. Mañas, E. Castro, J. De Las Heras // New Forests. – 2009. – Vol. 37. – № 3. – P. 295-311. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-008-9125-4>.

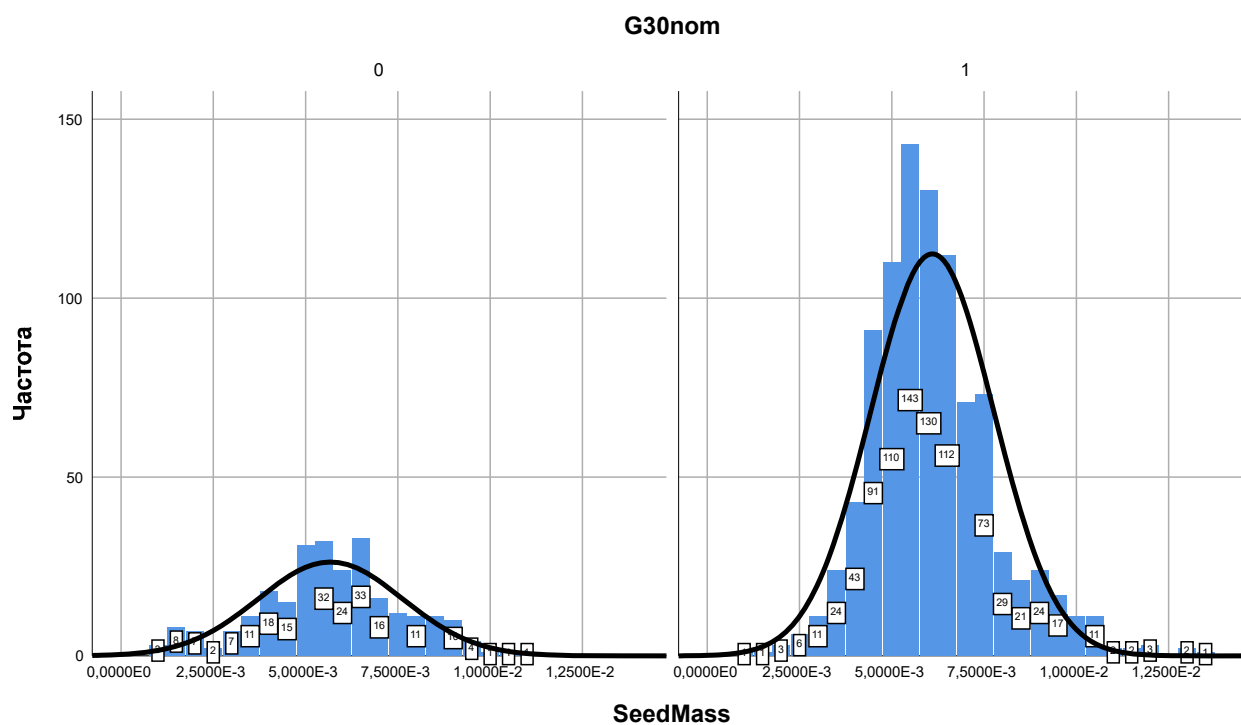


Рисунок 4. Частотная диаграмма распределения по индивидуальной массе отсутствия (0) и наличия (1) на 30-й день в SideSlit-контейнерах автоматизированного лесного питомника проростков семян (N = 1200) сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта Негорельская. Сплошной черной линией представлена линия нормального распределения

Figure 4. Frequency distribution diagram by individual weight of absence (0) and presence (1) on the 30th day in the SideSlit containers of the automated forest nursery of seed seedlings (N = 1200) of the common pine (*P. sylvestris* L.) of the Negorelskaya variety. A solid black line represents the normal distribution line

Источник: собственная композиция авторов

Source: own composition

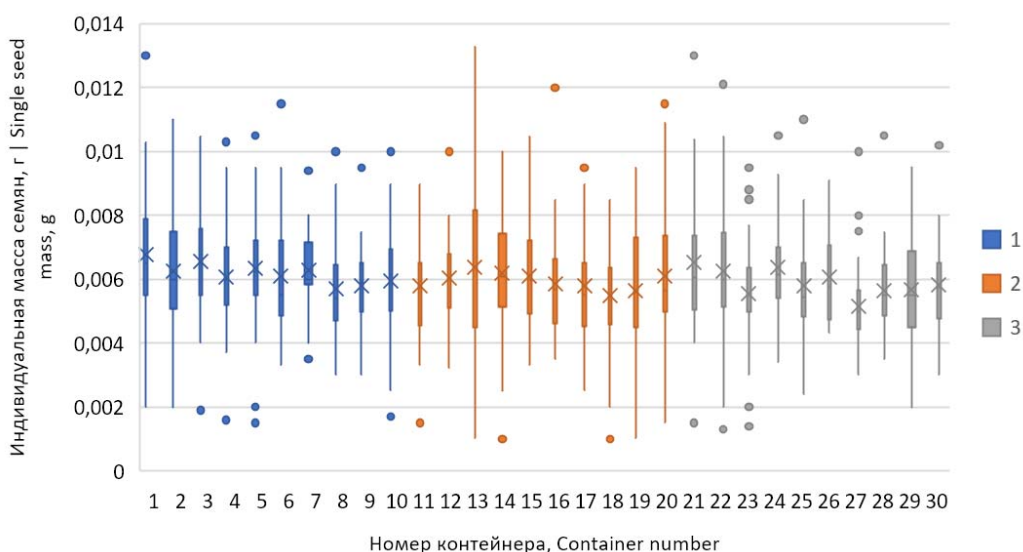


Рисунок 5. Боксплот распределения массы семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта Негорельская в объеме SideSlit-контейнеров (Container number) автоматизированного лесного питомника. Разным цветом обозначены три набора семян, случайным образом отобранных для исследования

Figure 5. Boxplot of the distribution of the seed mass of Negorelskaya variety Scots pine (*P. sylvestris* L.) in the volume of SideSlit-containers (Container number) of an automated forest nursery. Three sets of seeds randomly selected for research are indicated in different colors

Источник: собственная композиция авторов

Source: own composition

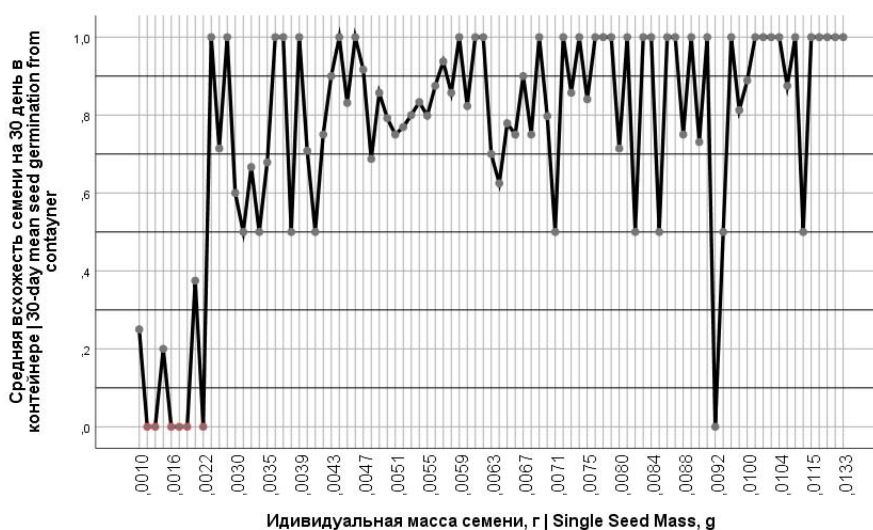
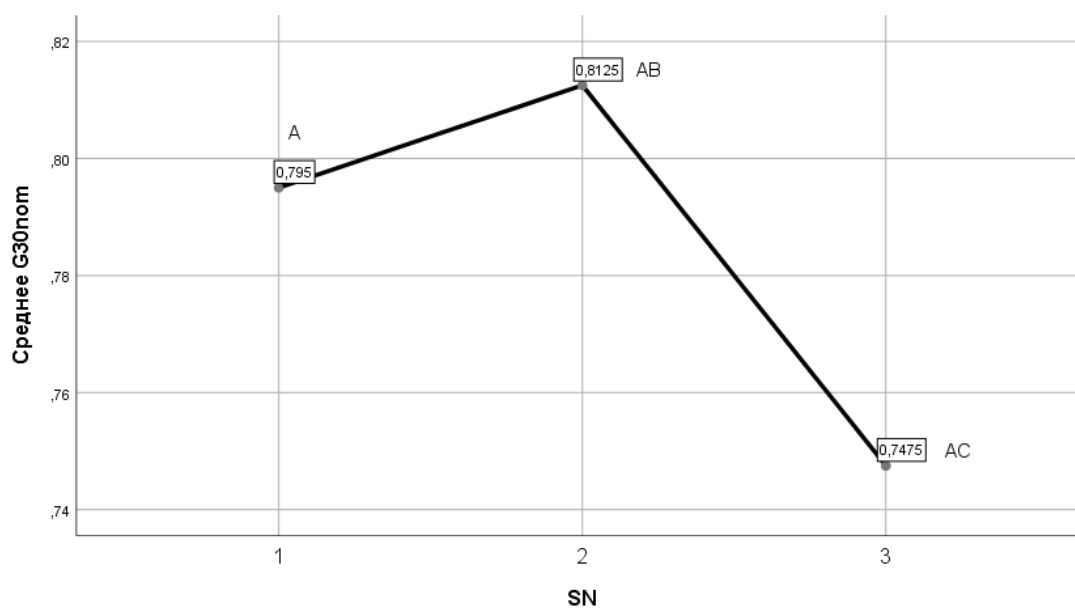


Рисунок 6. График средних прорастания на 30-й день групп (по индивидуальной массе) семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта Негорельская в SideSlit-контейнерах автоматизированного лесного питомника. Статистика Ливиния 3,925 ($p = 5,24e-22$); F-критерий однофакторного дисперсионного анализа 1.390 ($p = 0,012$)

Figure 6. Average graph of 30-day germination of groups (by single seed mass) seeds of Negorelskaya variety Scots pine (*P. sylvestris* L.) in SideSlit-containers of an automated forest nursery. Levene's statistics 3,925 ($p = 5,24e-22$); ANOVA F-criterion 1.390 ($p = 0,012$)

Источник: собственная композиция авторов

Source: own composition



Значения, обозначенные разными прописными буквами, статистически различаются на основании ($p < 0.05$) апостериорного критерия T2-Даннета | Values denoted by unequal capital letters differ statistically based on ($p < 0.05$) a posteriori criterion

Рисунок 7. График средних прорастания на 30-й день групп (по наборам ($n = 400$) отобраным для исследования) семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта Негорельская в SideSlit-контейнерах автоматизированного лесного питомника. Статистика Ливиня 10,323 ($p = 0.000036$); F-критерий однофакторного дисперсионного анализа 2.686 ($p = 0,069$)

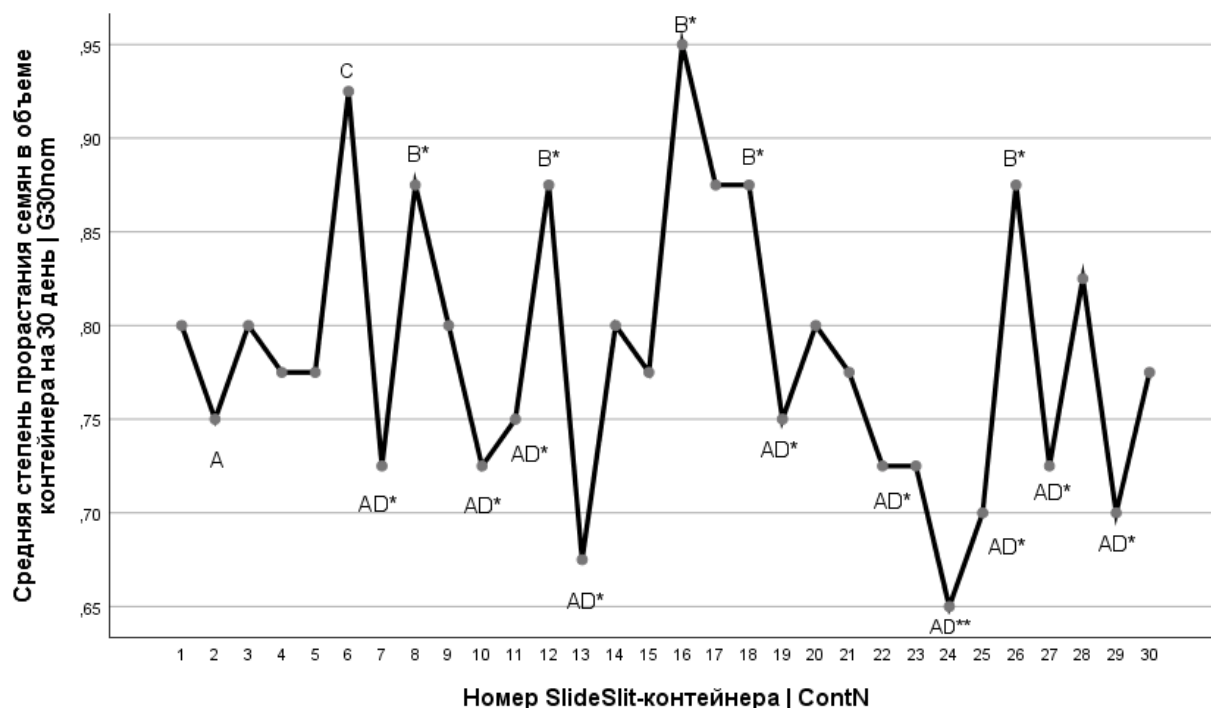
Figure 7. Average graph of 30-day germination of groups (by single seed mass) seeds of Negorelskaya variety Scots pine (*P. sylvestris* L.) in SideSlit-containers of an automated forest nursery. Leven's statistics 10.323 ($p = 0.000036$); ANOVA F-criterion 2.686 ($p = 0.069$)

Источник: собственная композиция авторов

Source: own composition

График средних прорастания на 30-й день групп (в объеме одного контейнера ($n = 40$), табл. А1) семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта Него-

рельская в SideSlit-контейнерах автоматизированного лесного питомника представлен на рис. 8.



Переменные, подписанные разными прописными буквами статистически значимо различаются на уровнях * $p = 0.05$; ** $p = 0.01$ по апостериорному тесту НЗР | Variables signed with different capital letters statistically significantly differ at the levels * $p = 0.05$; ** $p = 0.01$ according to the a posteriori test of the of the least significant difference (LSD)

Рисунок 8. График средних прорастания на 30-й день групп (по 40 семян в объеме одного контейнера) семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта Негорельская в SideSlit-контейнерах автоматизированного лесного питомника. Статистика Левина 6,35 ($p = 1,98e-22$); F-критерий однофакторного дисперсионного анализа 1,291 ($p = 0,0139$)

Figure 8. Average graph of 30-day germination of groups (in the volume of one container ($n = 40$)) seeds of Negorelskaya variety Scots pine (*P. sylvestris* L.) in SideSlit-containers of an automated forest nursery. Leven's statistics 6,35 ($p = 1,98e-22$); ANOVA F-criterion 1,291 ($p = 0,0139$)

Источник: собственная композиция авторов
Source: own composition

Поскольку индивидуальная масса семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) является как генетическим, так и фенотипическим признаком, выбор вида дерева для исследования произведен не случайно. Во первых, “хвойные породы демонстрируют более высокие показатели адаптации к росту деревьев [36]”. Во-вторых, сосна обыкновенная (*P. sylvestris* L.) распространена в “широкой климатической нише [20]”, в которой, согласно данным Джоан Битон и др. (2022), можно обнаружить широкие изменения среднегодовых температур (от 0 °C до +15 °C [19]) и годового объема осадков (от 200 до 3 500 мм [19]). В-третьих, способность деревьев сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) в качестве главной породы в смешан-

ных древостоях с березой [51] (*Betula pendula* Roth), буком европейским (*Fagus sylvatica* L.) [64] в условиях изменения климата давать больший прирост, чем в монокультурах, делает эту породу хозяйственно привлекательной для комплексного подхода к восстановлению труднокультивируемых площадей.

В настоящий момент мощность научных исследований по данным Scopus, использующих *Pinus sylvestris* в качестве объекта, составляет более 9 500 опубликованных работ (от минимума в 11 до максимума 1736 в Норвегии) в странах с покрытой лесом площадью и медианой изменения температуры за 10 лет 2,233 °C. Таким образом, сосна обыкновенная изучается в странах с изменением темпе-

ратуры за последние 10 лет от минимального 0,730 °С до максимального значения 3,699 °С [7] (Россия).

Прорастание семян является критическим этапом жизненного цикла дерева и определяет последующую продуктивность и выживаемость, в конечном счете влияя на состав растительного сообщества. Всхожесть семян связана с различными биологическими характеристиками семян, включая размер, массу и форму семян [14].

А. Аннвайер и соавторы (2020) наблюдали достоверное положительное влияние массы семян на всхожесть семян ($p < 0,01$). Всхожесть семян, преобразованная в арксинус, линейно увеличивалась с увеличением массы семян, преобразованной логарифмически [14].

Тем не менее, экспериментальных свидетельств влияния массы семян на всхожесть все еще достаточно мало, и, в основном, они касаются положительного воздействия на всхожесть семян (Catoni et al., 2015; Wang et al., 2016) и выживаемость проростков (Wang, 2009).

В данном конкретном исследовании статистическая гипотеза об отсутствии влияния индивидуальной массы семени сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта «Негорельская» на показатели его прорастания на 30-й день в SideSlit-контейнерах отклоняется.

Какой показатель, представленный в пилотном обзоре [58], адекватнее опишет изменение качества сеянцев сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта «Негорельская» в автоматизированном питомнике, покажут будущие запланированные исследования.

Исследования по научному проекту [8] позволят дополнить информационно-аналитическую библиотеку лесного репродуктивного материала FLR-Library [60] принципиально новыми данными, обеспечивающими решение задачи синхронизации показателей качества FRM с модулями принятия решения при выполнении технологического процесса лесовосстановления (патент на изобретение РФ 2714705), а также с программными комплексами автоматизированных оптоэлектронных устройств (патент на изобретение РФ 2675056, 2682854, 2687509, 2700759) для экспресс-анализа, сепарирования, капсулирования, высева семян и мониторинга за результатами лесовосстановления.

Выводы

1. Средние значения показателя прорастания семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта «Негорельская» на 30 день в объеме 6, 8, 12, 16, 18, 26 SideSlit-контейнеров статистически (критерий однородности дисперсий Ливиня 6,35; $p = 1,98e-22$; F-критерий однофакторного дисперсионного анализа 1,291; $p = 0,0139$) отличаются от 2, 7, 10, 11, 13, 19, 22, 24, 26, 27, 29 контейнеров.

2. Средние значения индивидуальной массы проросших на 30-й день в ячейках SideSlit-контейнеров автоматизированного лесного питомника 942 семян статистически значимо (статистика Ливиня 11,317; $p = 0,000792$; ANOVA F-criterion 12,098; $p = 0,000523$) отличаются от средних значений индивидуальной массы непроросших 258 семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта «Негорельская».

Список литературы

1. Драпалюк, М. В. Анализ операционных механизированных технологий сепарации семян при искусственном лесовосстановлении / М. В. Драпалюк, А. И. Новиков // Лесотехнический журнал. – 2018. – Т. 8. – № 4. – С. 207–220. – DOI: https://doi.org/10.12737/article_5c1a3237290288.22345283. – URL: <https://elibrary.ru/akvbnm>.
2. Ермакова, М. В. Комплексная оценка качества сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в лесных питомниках Уральского региона / М. В. Ермакова // Аграрный вестник Урала. – 2009. – № 1 (55). – С. 70–73. – DOI: <https://doi.org/10.15421/412117>. – URL: <https://elibrary.ru/kkpmvb>.
3. Морковина, С. С. Инновационная инфраструктура системы лесного хозяйства: лесные селекционно-семеноводческие центры / С. С. Морковина, О. И. Васильев, А. В. Иванова // Лесотехнический журнал. – 2014. – Т. 4. – № 4. – С. 221–230. – DOI: <https://doi.org/10.12737/8480>. – URL: <https://elibrary.ru/tondcn>.

4. Морковина, С. С. Инновации в лесном хозяйстве: особенности создания и перспективы / С. С. Морковина, О. М. Корчагин, А. В. Иванова // Лесотехнический журнал. – 2013. – Т. 3. – № 3 (11). – С. 189–199. – URL: <https://elibrary.ru/rqqpjb>.
5. Новиков, А. И. Влияние сортирования семян сосны обыкновенной по цвету и размерам на их грунтовую всхожесть в контейнерах / А. И. Новиков // Хвойные бореальной зоны. – 2019. – Т. 37. – № 5. – С. 313–319. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42337219>.
6. Новиков, А. И. Экспресс-анализ лесных семян биофизическими методами / А. И. Новиков. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2018. – 128 с. – URL: <https://elibrary.ru/yzuzgx>.
7. Экспресс-анализ семян в лесохозяйственном производстве: теоретические и технологические аспекты / А. И. Новиков, М. В. Драпалюк, С. В. Соколов, Т. П. Новикова. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – 176 с. – URL: <https://elibrary.ru/hmrfvd>.
8. Исследование спектрометрических показателей семян как основа интенсификации процесса лесовыращивания культур сосны обыкновенной сорта «Негорельская»: грант РФФИ 23-26-00228 / А. И. Новиков, С. В. Ребко, Т. П. Новикова, Е. П. Петрищев. – Москва : Российский научный фонд, 2023. – URL: <https://elibrary.ru/jtyxuh>.
9. Новиков, А. И. Исследование спектрометрических параметров семенной кожуры сосны обыкновенной в ИК-диапазоне / А. И. Новиков, В. В. Саушкин // Лесотехнический журнал. – 2018. – Т. 8. – № 3. – С. 30–37. – DOI: https://doi.org/10.12737/article_5b97a164e41782.20107217. – URL: <https://elibrary.ru/votakr>.
10. Петрищев, Е. П. Исследование взаимосвязи биометрических параметров ювенильных сеянцев сосны обыкновенной из кондиционных семян при оценке результатов лесовосстановления / Е. П. Петрищев // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 11. – № 4. – С. 161–169. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/14>. – URL: <https://elibrary.ru/bsbcms>.
11. Пименов, А. В. Биоразнообразие сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в контрастных экотопах Юга Сибири : дисс. ... д-ра биол. наук / А. В. Пименов. – Красноярск : Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук, 2015. – 406 с. – URL: <https://elibrary.ru/umuqih>.
12. Ребко, С. В. Основные принципы и подходы начального этапа интенсификации процесса лесовыращивания лесных культур сосны обыкновенной сорта «Негорельская» / С. В. Ребко, А. И. Новиков // Лесное хозяйство : матер. 87-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 31 января – 17 февраля 2023 года. – Минск : Белорусский государственный технологический университет, 2023. – С. 322–325. – URL: <https://elibrary.ru/jeasdl>.
13. Ребко, С. В. Сорт сосны обыкновенной «Негорельская» в Беларуси: первый, единственный, уникальный / С. В. Ребко, Л. Ф. Поплавская, В. Н. Балачук // Лесные ресурсы - Белорусское полесье : матер. междунар. конференции молодых ученых, посвященной 90-летию Национальной Академии Наук Беларуси и Году малой родины, Гомель, 24–27 сентября 2018 года. – Гомель : ООО «Типография «Белдрук», 2018. – С. 66–68. – URL: <https://elibrary.ru/suuwhw>.
14. Anniwaer, A. Impacts of snow on seed germination are independent of seed traits and plant ecological characteristics in a temperate desert of Central Asia / A. Anniwaer, Y. Su, X. Zhou, Y. Zhang // Journal of Arid Land. – 2020. – Vol. 12. – № 5. – P. 775–790. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s40333-020-0059-9>.
15. Organic Residues Improve the Quality and Field Initial Growth of *Senna multijuga* Seedlings / E. F. Araújo, L. B. Sousa, R. S. A. Nóbrega et al. // Journal of Sustainable Forestry. – 2021. – Vol. 40. – № 3. – P. 249–262. – DOI: <https://doi.org/10.1080/10549811.2020.1748060>.

16. Application of X-ray and gas discharge visualization methods for *Picea abies* empty and normal seeds evaluation / M. V. Arkhipov, L. P. Gusakova, N. S. Priyatkin, A. S. Bondarenko // *Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute*. – 2014. – № 3. – P. 29–35.
17. Coat Colour Grading of the Scots Pine Seeds Collected from Faraway Provenances Reveals a Different Germination Effect / I. V. Bacherikov, D. E. Raupova, A. S. Durova et al. // *Seeds*. – 2022. – Vol. 1. – № 1. – P. 49–73. – DOI: <https://doi.org/10.3390/seeds1010006>.
18. A Reliable Method to Recognize Soybean Seed Maturation Stages Based on Autofluorescence-Spectral Imaging Combined With Machine Learning Algorithms / T. B. Batista, C. B. Mastrangelo, A. D. de Medeiros et al. // *Frontiers in Plant Science*. – 2022. – Vol. 13. – № June. – P. 1–14. – DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.914287>.
19. Phenotypic trait variation in a long-term multisite common garden experiment of Scots pine in Scotland / J. Beaton, A. Perry, J. Cottrell et al. // *Scientific Data*. – 2022. – Vol. 9. – № 1. – P. 671. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01791-8>.
20. Benito Garzón, M. Biogeographical patterns of local adaptation and plasticity of mediterranean pines and their implications under climate change / M. Benito Garzón, N. Vizcaíno-Palomar // *Pines and Their Mixed Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*. – Springer Verlag, 2021. – P. 71–82. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-63625-8_4.
21. Deep-Learning Approach for Fusarium Head Blight Detection in Wheat Seeds Using Low-Cost Imaging Technology / R. C. Bernardes, A. De Medeiros, L. da Silva et al. // *Agriculture*. – 2022. – Vol. 12. – № 11. – P. 1801. – DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12111801>.
22. Bilir, N. Morphological variation and quality in Anatolian black pine seedlings / N. Bilir, D. Çetinkaya // *Theoretical and Applied Forestry*. – 2022. – Vol. 2. – № 1. – P. 19–21. – DOI: <https://doi.org/10.53463/tafor.2022vol2iss1pp19-21>.
23. Bockstette, S. W. Impact of genotype and parent origin on the efficacy and optimal timing of GA4/7 stem injections in a lodgepole pine seed orchard / S. W. Bockstette, B. R. Thomas // *New Forests*. – 2020. – Vol. 51. – № 3. – P. 421–434. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-019-09733-w>.
24. Are tree seed systems for forest landscape restoration fit for purpose? An analysis of four asian countries / E. Bosshard, R. Jalonen, T. Kanchanarak et al. // *Diversity*. – 2021. – Vol. 13. – № 11. – P. 575. – DOI: <https://doi.org/10.3390/d13110575>.
25. Bravo-Oviedo, A. Dynamics, Silviculture and Management of Mixed Forests / A. Bravo-Oviedo, H. Pretzsch, M. del Río // *Managing Forest Ecosystems*. – Cham : Springer International Publishing, 2018. – Vol. 31. – DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-91953-9>.
26. Importance and potential of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in 21 st century / J. Brichta, S. Vacek, Z. Vacek et al. // *Central European Forestry Journal*. – 2023. – Vol. 69. – № 1. – P. 3–20. – DOI: <https://doi.org/10.2478/forj-2022-0020>.
27. Seedling Growth and Quality of *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. under Growth Media Composition and Controlled Salinity in an Ex Situ Nursery / B. Budiadi, W. Widiyatno, H. H. Nurjanto et al. // *Forests*. – 2022. – Vol. 13. – № 5. – P. 684. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f13050684>.
28. Fine-root traits in the global spectrum of plant form and function / C. P. Carmona, C. G. Bueno, A. Toussaint et al. // *Nature*. – 2021. – Vol. 597. – № 7878. – P. 683–687. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03871-y>.
29. Çeliktaş, N. Near Infrared Reflectance Spectroscopy and Multivariate Analyses for Fast and Non-Destructive Prediction of Corn Seed Germination / N. Çeliktaş, Ö. Konuşkan // *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*. – 2020. – Vol. 8. – № 8. – P. 1636–1642. – DOI: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i8.1636-1642.3384>.

30. Effect of different irradiance levels on anatomy and growth of two Malvaceae species during two seasons / D. R. Contin, E. Habermann, V. M. Alves, C. A. Martinez // *Revista Brasileira de Botanica*. – 2020. – Vol. 43. – № 2. – P. 257–269. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s40415-020-00609-4>.
31. Effect of different led spectrum regimens on growth and development of *Betula pubescens* Ehrh. and *Rubus idaeus* L. in culture in vitro / P. Evlakov, T. Grodeckaya, O. Fedorova et al. // *Forestry Engineering Journal*. – 2023. – Vol. 12. – № 4. – P. 14–30. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/2>.
32. Detection of *Drechslera avenae* (Eidam) Sharif [*Helminthosporium avenae* (Eidam)] in Black Oat Seeds (*Avena strigosa* Schreb) Using Multispectral Imaging / F. França-Silva, C. H. Q. Rego, F. G. Gomes-Junior et al. // *Sensors*. – 2020. – Vol. 20. – № 12. – P. 3343. – DOI: <https://doi.org/10.3390/s20123343>.
33. Influence of exogenous application of abscisic acid in gas exchanges of *Hymenaea courbaril* L. (Fabaceae) seedlings subjected to water deficit / V. D. M. B. Freitas, S. D. P. Q. Scalon, D. M. Dresch et al. // *Floresta*. – 2018. – Vol. 48. – № 2. – P. 163. – DOI: <https://doi.org/10.5380/rf.v48i2.53076>.
34. Recent research progress in geochemical properties and restoration of heavy metals in contaminated soil by phytoremediation / J. tao Fu, D. mei Yu, X. Chen et al. // *Journal of Mountain Science*. – 2019. – Vol. 16. – № 9. – P. 2079–2095. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11629-017-4752-x>.
35. Hacisalihoglu, G. Crop Seed Phenomics: Focus on Non-Destructive Functional Trait Phenotyping Methods and Applications / G. Hacisalihoglu, P. Armstrong // *Plants*. – 2023. – Vol. 12. – № 5. – P. 1177. – DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12051177>.
36. Managing uncertainty in Scots pine range-wide adaptation under climate change / H. R. Hallingbäck, V. Burton, N. Vizcaino-Palomar et al. // *Frontiers in Ecology and Evolution*. – 2021. – Vol. 9. – P. 724051. – DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.724051>.
37. Applications of machine learning in pine nuts classification / B. Huang, J. Liu, J. Jiao et al. // *Scientific Reports*. – 2022. – Vol. 12. – № 1. – P. 1–11. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12754-9>.
38. Seedling Quality in Serbia – Results from a Three-Year Survey / V. Ivetić, Z. Maksimović, I. Kerkez, J. Devetaković // *Reforesta*. – 2017. – № 4. – P. 27–53. – DOI: <https://doi.org/10.21750/REFOR.4.04.43>.
39. Ivetić, V. The role of forest reproductive material quality in forest restoration / V. Ivetić, A. I. Novikov // *Forestry Engineering Journal*. – 2019. – Vol. 9. – № 2. – P. 56–65. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2019.2/7>.
40. Seed enhancement technologies for sustainable dryland restoration: Coating and scarification / H. Jarrar, A. El-Keblawy, C. Ghenai et al. // *Science of The Total Environment*. – 2023. – P. 166150. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166150>.
41. Effects of substrate and water availability on the initial growth of *Alibertia edulis* Rich. / T. S. Jeromini, L. H. de S. Mota, S. D. P. Q. Scalon et al. // *Floresta*. – 2018. – Vol. 49. – № 1. – P. 089. – DOI: <https://doi.org/10.5380/rf.v49i1.57122>.
42. Somatic embryogenesis in *Abies nebrodensis*, an endangered Sicilian fir / N. Jouini, E. Yahyaoui, W. Tarraf et al. // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. – 2023. – Vol. 152. – № 2. – P. 393–404. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-022-02415-0>.
43. Kang, K.-S. Seed orchards (Establishment, Management and Genetics) / K.-S. Kang, N. Bilir. – Ankara, Turkey : OGEM-VAK Press, 2021. – 189 p.
44. Seasonal changes of perlite–peat substrate properties in seedlings grown in different sized container trays / M. Kormanek, S. Małek, J. Banach et al. // *New Forests*. – 2021. – Vol. 52. – № 2. – P. 271–283. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-020-09793-3>.
45. Effect of biochar amendment on the properties of growing media and growth of containerized norway spruce, scots pine, and silver birch seedlings / E. Köster, J. Pumpanen, M. Palviainen et al. // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2021. – Vol. 51. – № 1. – P. 31–40. – DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0399>.

46. Tamm Review: Ecological principles to guide post-fire forest landscape management in the Inland Pacific and Northern Rocky Mountain regions / A. J. Larson, S. M. A. Jeronimo, P. F. Hessburg et al. // *Forest Ecology and Management*. – 2022. – Vol. 504. – P. 119680. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119680>.
47. Superação de Dormência e Produção de Mudanças de Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em Diferentes Substratos / R. de Q. Lemes, P. C. da Silva Filho, P. R. L. Souza, L. W. dos Santos // *Uniciências*. – 2023. – Vol. 26. – № 2. – P. 120–123. – DOI: <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2022v26n2p120-123>.
48. An effective and friendly tool for seed image analysis / A. Loddo, C. Di Ruberto, A. M. P. G. Vale et al. // *The Visual Computer*. – 2023. – Vol. 39. – № 1. – P. 335–352. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s00371-021-02333-w>.
49. Alternative substrates and fertilization doses in the production of *Pinus cembroides* Zucc. in nursery / R. E. Madrid-Aispuro, J. A. Prieto-Ruiz, A. Aldrete et al. // *Forests*. – 2020. – Vol. 11. – № 1. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f11010071>.
50. Heat Stress Affects the Physiological and Biochemical Quality of *Dalbergia nigra* Seeds in vitro / I. Medeiros Simões, J. Oliveira Baptista, T. Lins Monteiro Rosa et al. // *Forest Science*. – 2021. – Vol. 67. – № 6. – P. 731–739. – DOI: <https://doi.org/10.1093/forsci/xfab036>.
51. Scots pine's capacity to adapt to climate change in hemi-boreal forests in relation to dominating tree increment and site condition / M. Mikalajunas, H. Pretzsch, G. Mozgeris et al. // *iForest - Biogeosciences and Forestry*. – 2021. – Vol. 14. – № 5. – P. 473–482. – DOI: <https://doi.org/10.3832/ifer3703-014>.
52. Efficiency of the CL, DRIS and CND methods in assessing the nutritional status of *Eucalyptus* spp. rooted cuttings / T. C. B. de Moraes, R. M. Prado, E. I. F. Traspadini et al. // *Forests*. – 2019. – Vol. 10. – № 9. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f10090786>.
53. Pine nut species recognition using NIR spectroscopy and image analysis / R. Moschetti, D. H. Berhe, M. Agrimi et al. // *Journal of Food Engineering*. – 2021. – Vol. 292. – P. 110357. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110357>.
54. Use of physiological parameters to assess seedlings quality of *Eugenia dysenterica* DC. grown in different substrates / C. S. Mota, F. G. Silva, P. Dornelles et al. // *Australian Journal of Crop Science*. – 2016. – Vol. 10. – № 6. – P. 842–851. – DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.06.p7501>.
55. Assessment of Brassicaceae Seeds Quality by X-ray Analysis / F. Musaev, N. Priyatkin, N. Potrakhov et al. // *Horticulturae*. – 2021. – Vol. 8. – № 1. – P. 29. – DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8010029>.
56. X-ray analysis of seed quality of *Eucommia ulmoides* Oliv. of different geographical origin / Q. T. Nguyen, S. G. Sakharova, N. S. Priyatkin, A. V. Zhigunov // *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhniceskoj akademii*. – 2021. – № 234. – P. 134–151. – DOI: <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2021.234.134-151>.
57. Novikov, A. I. The effect of seed coat color grading on height of one-year-old container-grown Scots pine seedlings planted on post-fire site / A. I. Novikov, V. Ivetic // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 226. – P. 012043. – DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/226/1/012043>.
58. Dickson Quality Index: relation to technological impact on forest seeds / A. I. Novikov, S. Rabko, T. P. Novikova, E. P. Petrishchev // *Forestry Engineering Journal*. – 2023. – Vol. 13. – № 1. – P. 23–36. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.1/2>.
59. Performance of Scots pine seedlings from seeds graded by colour / A. I. Novikov, S. V. Sokolov, M. V. Drapalyuk et al. // *Forests*. – 2019. – Vol. 10. – № 12. – P. 1064. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f10121064>.
60. Novikova, T. P. The choice of a set of operations for forest landscape restoration technology / T. P. Novikova // *Inventions*. – 2022. – Vol. 7. – № 1. – P. 1. – DOI: <https://doi.org/10.3390/inventions7010001>.
61. Climate Warming Impacts on Distributions of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Seed Zones and Seed Mass across Russia in the 21st Century / E. I. Parfenova, N. A. Kuzmina, S. R. Kuzmin, N. M. Tchebakova // *Forests*. – 2021. – Vol. 12. – № 8. – P. 1097. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f12081097>.

62. Gender, reproductive output covariation and their role on gene diversity of *Pinus koraiensis* seed orchard crops / J.-M. Park, H.-I. Kang, D.-B. Yeom et al. // *BMC Plant Biology*. – 2020. – Vol. 20. – № 1. – P. 418. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02632-9>.
63. Application of multispectral imaging combined with machine learning models to discriminate special and traditional green coffee / W. Pinheiro Claro Gomes, L. Gonçalves, C. Barboza da Silva, W. R. Melchert // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2022. – Vol. 198. – P. 107097. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107097>.
64. Growth and yield of mixed versus pure stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) analysed along a productivity gradient through Europe / H. Pretzsch, M. del Río, C. Ammer et al. // *European Journal of Forest Research*. – 2015. – Vol. 134. – № 5. – P. 927–947. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0900-4>.
65. Examination of digital X-ray and gas discharge characteristics of English oak acorns (*Quercus robur* L.) for assessment of their sowing qualities / N. S. Priyatkin, O. Y. Butenko, D. A. Shabunin et al. // *Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute*. – 2018. – P. 4–17. – DOI: <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2018.2.4>.
66. Przybylski, P. Isozyme polymorphism and seed and cone variability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in relation to local environments in Poland / P. Przybylski, K. Masternak, S. Jastrzębowski // *Folia Forestalia Polonica*. – 2020. – Vol. 62. – № 2. – P. 88–99. – DOI: <https://doi.org/10.2478/ffp-2020-0010>.
67. Morphophysiology and quality of *Alibertia edulis* seedlings grown under light contrast and organic residue / C. C. Santos, A. Goelzer, O. B. da Silva et al. // *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. – 2023. – Vol. 27. – № 5. – P. 375–382. – DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n5p375-382>.
68. Effects of five growing media and two fertilizer levels on polybag-Raised camden whitegum (*Eucalyptus benthamii* maiden & cambage) seedling morphology and drought hardiness / M. N. Shalizi, B. Goldfarb, O. T. Burney, T. H. Shear // *Forests*. – 2019. – Vol. 10. – № 7. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f10070543>.
69. How Shading and Container Type Influence *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. Seedling Production / L. Siqueira Walter, M. Melo Moura, M. Moreno Gabira et al. // *Forest Science*. – 2022. – Vol. 68. – № 5–6. – P. 533–539. – DOI: <https://doi.org/10.1093/forsci/xfac036>.
70. South, D.B. Why Healthy Pine Seedlings Die after They Leave the Nursery / D. B. South, T. E. Starkey, A. Lyons // *Forests*. – 2023. – Vol. 14. – № 3. – P. 645. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f14030645>.
71. Controlled-Release Fertiliser and Substrates on Seedling Growth and Quality in *Agonandra brasiliensis* in Roraima / A. das G. Souza, O. J. Smiderle, R.A. Montenegro et al. // *Journal of Agricultural Studies*. – 2020. – Vol. 8. – № 3. – P. 70. – DOI: <https://doi.org/10.5296/jas.v8i3.16363>.
72. Adaptive measures: integrating adaptive forest management and forest landscape restoration / P. Spathelf, J. Stanturf, M. Kleine et al. // *Annals of Forest Science*. – 2018. – Vol. 75. – № 2. – P. 55. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0736-4>.
73. Multivariate discriminant analysis of single seed near infrared spectra for sorting dead-filled and viable seeds of three pine species: does one model fit all species? / M. Tigabu, A. Daneshvar, R. Jingjing et al. // *Forests*. – 2019. – Vol. 10. – № 6. – P. article id 469. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f10060469>.
74. Rapid and non-destructive evaluation of seed quality of Chinese fir by near infrared spectroscopy and multivariate discriminant analysis / M. Tigabu, A. Daneshvar, P. Wu et al. // *New Forests*. – 2020. – Vol. 51. – № 3. – P. 395–408. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-019-09735-8>.
75. Quantitative magnetic resonance imaging of Scots pine seeds and the assessment of germination potential / T. V. Tuomainen, K. Himanen, P. Helenius et al. // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2022. – Vol. 52. – № 5. – P. 685–695. – DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2021-0273>.
76. A review of the application of near-infrared spectroscopy (NIRS) in forestry / Y. Wang, J. Xiang, Y. Tang et al. // *Applied Spectroscopy Reviews*. – 2022. – Vol. 57. – № 4. – P. 300–317. – DOI: <https://doi.org/10.1080/05704928.2021.1875481>.

References

1. Drapalyuk M. V., Novikov A. I. Analysis of operational mechanized technologies of seed separation in artificial reforestation. *Forestry Engineering Journal*. 2018; 8;4: 207–220 (in Russian). DOI: https://doi.org/10.12737/article_5c1a3237290288.22345283. – URL: <https://elibrary.ru/akvbnm>.
2. Ermakova, M. V. Comprehensive assessment of the quality of seedlings of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in forest nurseries of the Ural region / M. V. Ermakova // *Agrarian Bulletin of the Urals*. – 2009. – № 1 (55). – P. 70–73 (in Russian). – DOI: <https://doi.org/10.15421/412117>. – URL: <https://elibrary.ru/kkpmvb>.
3. Morkovina S. S., Vasiliev O. I., Ivanova A. V. Innovative infrastructure of the forestry system: forest breeding and seed centers // *Forestry Engineering Journal*. 2014; 4;4: 221–230 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.12737/8480>. – URL: <https://elibrary.ru/tondcn>.
4. Morkovina, S. S. Innovations in forestry: features of creation and prospects / S. S. Morkovina, O. M. Korchagin, A. V. Ivanova // *Forestry Journal*. – 2013. – Vol. 3. – № 3(11). – Pp. 189–199 (in Russian). – URL: <https://elibrary.ru/rqqpjb>.
5. Novikov, A. I. The effect of sorting the seeds of scots pine by color and size on their soil germination in containers / A. I. Novikov // *Coniferous boreal zones*. – 2019. – Vol. 37. – No. 5. – pp. 313–319 (in Russian). – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42337219>.
6. Novikov, A. I. Express analysis of forest seeds by biophysical methods / A. I. Novikov. – Voronezh : VSUFT, 2018. – 128 p. (in Russian). – URL: <https://elibrary.ru/yzuzgx>.
7. Express analysis of seeds in forestry production: theoretical and technological aspects / A. I. Novikov, M. V. Drapalyuk, S. V. Sokolov, T. P. Novikova. – Voronezh : VSUFT, 2022. – 176 p. (in Russian). – URL: <https://elibrary.ru/hmrfvd>.
8. The study of spectrometric indicators of seeds as a basis for the intensification of the process of reforestation of ordinary pine cultivars of the "Negorelskaya" variety : grant RNF 23-26-00228 / A. I. Novikov, S. V. Rebko, T. P. Novikova, E. P. Petrishchev. – Moskva : Russian Scientific Foundation, 2023. – URL: <https://elibrary.ru/jtyxux> (in Russian).
9. Novikov A. I., Saushkin V. V. Investigation of spectrometric parameters of the seed coat of Scots pine in the IR range. *Forestry Engineering Journal*. 2018; 8;3: 30–37 (in Russian). DOI: https://doi.org/10.12737/article_5b97a164e41782.20107217. – URL: <https://elibrary.ru/votakr>.
10. Petrishchev, E. P. Investigation of the relationship of biometric parameters of juvenile seedlings of scots pine from conditioned seeds in assessing the results of reforestation / E. P. Petrishchev // *Forestry Journal*. – 2022. – Vol. 11. – No. 4. – P. 161–169 (in Russian). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/14>. – URL: <https://elibrary.ru/bsbcms>.
11. Pimenov, A. V. Biodiversity of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in contrasting ecotopes of Southern Siberia: diss. ... doctor of Biological Sciences / A. V. Pimenov. – Krasnoyarsk : V.N. Sukachev Forest Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2015. – 406 p. (in Russian). – URL: <https://elibrary.ru/umuqih>.
12. Rebko, S. V. Basic principles and approaches of the initial stage of intensification of the process of reforestation of forest crops of the common pine variety "Negorelskaya" / S. V. Rebko, A. I. Novikov // *Forestry : Materials of the 87th scientific and technical conference of the teaching staff, researchers and postgraduates (with international participation)*, Minsk, 31 January – February 17, 2023. – Minsk : Belarusian State Technological University, 2023. – P. 322–325 (in Russian). – URL: <https://elibrary.ru/jeasdl>.
13. Rebko, S. V. The variety of common pine "Negorelskaya" in Belarus: the first, the only, unique / S. V. Rebko, L. F. Poplavskaya, V. N. Balanchuk // *Forest resources - Belarusian Polesie : materials of the international conference of young scientists dedicated to the 90th anniversary of the National Academy of Sciences of Belarus and the Year of the Small Motherland*, Gomel, September 24-27, 2018. – Gomel : LLC "Printing House "Beldruk", 2018. – P. 66–68. – Available: <https://elibrary.ru/suuwhw>.

14. Anniwaer, A. Impacts of snow on seed germination are independent of seed traits and plant ecological characteristics in a temperate desert of Central Asia / A. Anniwaer, Y. Su, X. Zhou, Y. Zhang // *Journal of Arid Land*. – 2020. – Vol. 12. – № 5. – P. 775–790. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s40333-020-0059-9>.
15. Organic Residues Improve the Quality and Field Initial Growth of *Senna multijuga* Seedlings / E. F. Araújo, L. B. Sousa, R. S. A. Nóbrega et al. // *Journal of Sustainable Forestry*. – 2021. – Vol. 40. – № 3. – P. 249–262. – DOI: <https://doi.org/10.1080/10549811.2020.1748060>.
16. Application of X-ray and gas discharge visualization methods for *Picea abies* empty and normal seeds evaluation / M. V. Arkhipov, L. P. Gusakova, N. S. Priyatkin, A. S. Bondarenko // *Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute*. – 2014. – № 3. – P. 29–35.
17. Coat Colour Grading of the Scots Pine Seeds Collected from Faraway Provenances Reveals a Different Germination Effect / I. V. Bacherikov, D. E. Raupova, A. S. Durova et al. // *Seeds*. – 2022. – Vol. 1. – № 1. – P. 49–73. – DOI: <https://doi.org/10.3390/seeds1010006>.
18. A Reliable Method to Recognize Soybean Seed Maturation Stages Based on Autofluorescence-Spectral Imaging Combined With Machine Learning Algorithms / T. B. Batista, C. B. Mastrangelo, A. D. de Medeiros et al. // *Frontiers in Plant Science*. – 2022. – Vol. 13. – № June. – P. 1–14. – DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.914287>.
19. Phenotypic trait variation in a long-term multisite common garden experiment of Scots pine in Scotland / J. Beaton, A. Perry, J. Cottrell et al. // *Scientific Data*. – 2022. – Vol. 9. – № 1. – P. 671. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01791-8>.
20. Benito Garzón, M. Biogeographical patterns of local adaptation and plasticity of mediterranean pines and their implications under climate change / M. Benito Garzón, N. Vizcaíno-Palomar // *Pines and Their Mixed Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*. – Springer Verlag, 2021. – P. 71–82. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-63625-8_4.
21. Deep-Learning Approach for Fusarium Head Blight Detection in Wheat Seeds Using Low-Cost Imaging Technology / R. C. Bernardes, A. De Medeiros, L. da Silva et al. // *Agriculture*. – 2022. – Vol. 12. – № 11. – P. 1801. – DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12111801>.
22. Bilir, N. Morphological variation and quality in Anatolian black pine seedlings / N. Bilir, D. Çetinkaya // *Theoretical and Applied Forestry*. – 2022. – Vol. 2. – № 1. – P. 19–21. – DOI: <https://doi.org/10.53463/tafor.2022vol2iss1pp19-21>.
23. Bockstette, S. W. Impact of genotype and parent origin on the efficacy and optimal timing of GA4/7 stem injections in a lodgepole pine seed orchard / S. W. Bockstette, B. R. Thomas // *New Forests*. – 2020. – Vol. 51. – № 3. – P. 421–434. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-019-09733-w>.
24. Are tree seed systems for forest landscape restoration fit for purpose? An analysis of four asian countries / E. Bosshard, R. Jalonen, T. Kanchanarak et al. // *Diversity*. – 2021. – Vol. 13. – № 11. – P. 575. – DOI: <https://doi.org/10.3390/d13110575>.
25. Bravo-Oviedo, A. Dynamics, Silviculture and Management of Mixed Forests / A. Bravo-Oviedo, H. Pretzsch, M. del Río // *Managing Forest Ecosystems*. – Cham : Springer International Publishing, 2018. – Vol. 31. – DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-91953-9>.
26. Importance and potential of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in 21 st century / J. Brichta, S. Vacek, Z. Vacek et al. // *Central European Forestry Journal*. – 2023. – Vol. 69. – № 1. – P. 3–20. – DOI: <https://doi.org/10.2478/forj-2022-0020>.
27. Seedling Growth and Quality of *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. under Growth Media Composition and Controlled Salinity in an Ex Situ Nursery / B. Budiadi, W. Widiyatno, H. H. Nurjanto et al. // *Forests*. – 2022. – Vol. 13. – № 5. – P. 684. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f13050684>.

28. Fine-root traits in the global spectrum of plant form and function / C. P. Carmona, C. G. Bueno, A. Toussaint et al. // *Nature*. – 2021. – Vol. 597. – № 7878. – P. 683–687. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03871-y>.
29. Çelikleş, N. Near Infrared Reflectance Spectroscopy and Multivariate Analyses for Fast and Non-Destructive Prediction of Corn Seed Germination / N. Çelikleş, Ö. Konoşkan // *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*. – 2020. – Vol. 8. – № 8. – P. 1636–1642. – DOI: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i8.1636-1642.3384>.
30. Effect of different irradiance levels on anatomy and growth of two Malvaceae species during two seasons / D. R. Contin, E. Habermann, V. M. Alves, C. A. Martinez // *Revista Brasileira de Botanica*. – 2020. – Vol. 43. – № 2. – P. 257–269. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s40415-020-00609-4>.
31. Effect of different led spectrum regimens on growth and development of *Betula pubescens* Ehrh. and *Rubus idaeus* L. in culture in vitro / P. Evlakov, T. Grodeckaya, O. Fedorova et al. // *Forestry Engineering Journal*. – 2023. – Vol. 12. – № 4. – P. 14–30. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/2>.
32. Detection of *Drechslera avenae* (Eidam) Sharif [*Helminthosporium avenae* (Eidam)] in Black Oat Seeds (*Avena strigosa* Schreb) Using Multispectral Imaging / F. França-Silva, C. H. Q. Rego, F. G. Gomes-Junior et al. // *Sensors*. – 2020. – Vol. 20. – № 12. – P. 3343. – DOI: <https://doi.org/10.3390/s20123343>.
33. Influence of exogenous application of abscisic acid in gas exchanges of *Hymenaea courbaril* L. (Fabaceae) seedlings subjected to water deficit / V. D. M. B. Freitas, S. D. P. Q. Scalon, D. M. Dresch et al. // *Floresta*. – 2018. – Vol. 48. – № 2. – P. 163. – DOI: <https://doi.org/10.5380/ufv.v48i2.53076>.
34. Recent research progress in geochemical properties and restoration of heavy metals in contaminated soil by phytoremediation / J. tao Fu, D. mei Yu, X. Chen et al. // *Journal of Mountain Science*. – 2019. – Vol. 16. – № 9. – P. 2079–2095. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11629-017-4752-x>.
35. Hacisalihoglu, G. Crop Seed Phenomics: Focus on Non-Destructive Functional Trait Phenotyping Methods and Applications / G. Hacisalihoglu, P. Armstrong // *Plants*. – 2023. – Vol. 12. – № 5. – P. 1177. – DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12051177>.
36. Managing uncertainty in Scots pine range-wide adaptation under climate change / H. R. Hallingbäck, V. Burton, N. Vizcaíno-Palomar et al. // *Frontiers in Ecology and Evolution*. – 2021. – Vol. 9. – P. 724051. – DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.724051>.
37. Applications of machine learning in pine nuts classification / B. Huang, J. Liu, J. Jiao et al. // *Scientific Reports*. – 2022. – Vol. 12. – № 1. – P. 1–11. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12754-9>.
38. Seedling Quality in Serbia – Results from a Three-Year Survey / V. Ivetić, Z. Maksimović, I. Kerkez, J. Devetaković // *Reforest. – 2017. – № 4. – P. 27–53. – DOI: https://doi.org/10.21750/REFOR.4.04.43*.
39. Ivetić, V. The role of forest reproductive material quality in forest restoration / V. Ivetić, A. I. Novikov // *Forestry Engineering Journal*. – 2019. – Vol. 9. – № 2. – P. 56–65. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2019.2/7>.
40. Seed enhancement technologies for sustainable dryland restoration: Coating and scarification / H. Jarrar, A. El-Keblawy, C. Ghenai et al. // *Science of The Total Environment*. – 2023. – P. 166150. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166150>.
41. Effects of substrate and water availability on the initial growth of *Alibertia edulis* Rich. / T. S. Jeromini, L. H. de S. Mota, S. D. P. Q. Scalon et al. // *Floresta*. – 2018. – Vol. 49. – № 1. – P. 089. – DOI: <https://doi.org/10.5380/ufv.v49i1.57122>.
42. Somatic embryogenesis in *Abies nebrodensis*, an endangered Sicilian fir / N. Jouini, E. Yahyaoui, W. Tarraf et al. // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. – 2023. – Vol. 152. – № 2. – P. 393–404. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-022-02415-0>.
43. Kang, K.-S. Seed orchards (Establishment, Management and Genetics) / K.-S. Kang, N. Bilir. – Ankara, Turkey : OGEM-VAK Press, 2021. – 189 p.

44. Seasonal changes of perlite–peat substrate properties in seedlings grown in different sized container trays / M. Kormanek, S. Małek, J. Banach et al. // *New Forests*. – 2021. – Vol. 52. – № 2. – P. 271–283. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-020-09793-3>.
45. Effect of biochar amendment on the properties of growing media and growth of containerized norway spruce, scots pine, and silver birch seedlings / E. Köster, J. Pumpanen, M. Palviainen et al. // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2021. – Vol. 51. – № 1. – P. 31–40. – DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0399>.
46. Tamm Review: Ecological principles to guide post-fire forest landscape management in the Inland Pacific and Northern Rocky Mountain regions / A. J. Larson, S. M. A. Jeronimo, P. F. Hessburg et al. // *Forest Ecology and Management*. – 2022. – Vol. 504. – P. 119680. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119680>.
47. Superação de Dormência e Produção de Mudanças de Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em Diferentes Substratos / R. de Q. Lemes, P. C. da Silva Filho, P. R. L. Souza, L. W. dos Santos // *Uniciências*. – 2023. – Vol. 26. – № 2. – P. 120–123. – DOI: <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2022v26n2p120-123>.
48. An effective and friendly tool for seed image analysis / A. Loddo, C. Di Ruberto, A. M. P. G. Vale et al. // *The Visual Computer*. – 2023. – Vol. 39. – № 1. – P. 335–352. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s00371-021-02333-w>.
49. Alternative substrates and fertilization doses in the production of *Pinus cembroides* Zucc. in nursery / R. E. Madrid-Aispuro, J. A. Prieto-Ruiz, A. Aldrete et al. // *Forests*. – 2020. – Vol. 11. – № 1. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f11010071>.
50. Heat Stress Affects the Physiological and Biochemical Quality of *Dalbergia nigra* Seeds in vitro / I. Medeiros Simões, J. Oliveira Baptista, T. Lins Monteiro Rosa et al. // *Forest Science*. – 2021. – Vol. 67. – № 6. – P. 731–739. – DOI: <https://doi.org/10.1093/forsci/xfab036>.
51. Scots pine's capacity to adapt to climate change in hemi-boreal forests in relation to dominating tree increment and site condition / M. Mikalajunas, H. Pretzsch, G. Mozgeris et al. // *iForest - Biogeosciences and Forestry*. – 2021. – Vol. 14. – № 5. – P. 473–482. – DOI: <https://doi.org/10.3832/ifer3703-014>.
52. Efficiency of the CL, DRIS and CND methods in assessing the nutritional status of *Eucalyptus* spp. rooted cuttings / T. C. B. de Moraes, R. M. Prado, E. I. F. Traspadini et al. // *Forests*. – 2019. – Vol. 10. – № 9. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f10090786>.
53. Pine nut species recognition using NIR spectroscopy and image analysis / R. Moschetti, D. H. Berhe, M. Agrimi et al. // *Journal of Food Engineering*. – 2021. – Vol. 292. – P. 110357. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110357>.
54. Use of physiological parameters to assess seedlings quality of *Eugenia dysenterica* DC. grown in different substrates / C. S. Mota, F. G. Silva, P. Dornelles et al. // *Australian Journal of Crop Science*. – 2016. – Vol. 10. – № 6. – P. 842–851. – DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.06.p7501>.
55. Assessment of Brassicaceae Seeds Quality by X-ray Analysis / F. Musaeov, N. Priyatkin, N. Potrakhov et al. // *Horticulturae*. – 2021. – Vol. 8. – № 1. – P. 29. – DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8010029>.
56. X-ray analysis of seed quality of *Eucommia ulmoides* Oliv. of different geographical origin / Q. T. Nguyen, S. G. Sakharova, N. S. Priyatkin, A. V. Zhigunov // *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhniceskoj akademii*. – 2021. – № 234. – P. 134–151. – DOI: <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2021.234.134-151>.
57. Novikov, A. I. The effect of seed coat color grading on height of one-year-old container-grown Scots pine seedlings planted on post-fire site / A. I. Novikov, V. Ivetić // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 226. – P. 012043. – DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/226/1/012043>.
58. Dickson Quality Index: relation to technological impact on forest seeds / A. I. Novikov, S. Rabko, T. P. Novikova, E. P. Petrishchev // *Forestry Engineering Journal*. – 2023. – Vol. 13. – № 1. – P. 23–36. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.1/2>.
59. Performance of Scots pine seedlings from seeds graded by colour / A. I. Novikov, S. V. Sokolov, M. V. Drapalyuk et al. // *Forests*. – 2019. – Vol. 10. – № 12. – P. 1064. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f10121064>.

60. Novikova, T. P. The choice of a set of operations for forest landscape restoration technology / T. P. Novikova // *Inventions*. – 2022. – Vol. 7. – № 1. – P. 1. – DOI: <https://doi.org/10.3390/inventions7010001>.
61. Climate Warming Impacts on Distributions of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Seed Zones and Seed Mass across Russia in the 21st Century / E. I. Parfenova, N. A. Kuzmina, S. R. Kuzmin, N. M. Tchebakova // *Forests*. – 2021. – Vol. 12. – № 8. – P. 1097. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f12081097>.
62. Gender, reproductive output covariation and their role on gene diversity of *Pinus koraiensis* seed orchard crops / J.-M. Park, H.-I. Kang, D.-B. Yeom et al. // *BMC Plant Biology*. – 2020. – Vol. 20. – № 1. – P. 418. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02632-9>.
63. Application of multispectral imaging combined with machine learning models to discriminate special and traditional green coffee / W. Pinheiro Claro Gomes, L. Gonçalves, C. Barboza da Silva, W. R. Melchert // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2022. – Vol. 198. – P. 107097. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107097>.
64. Growth and yield of mixed versus pure stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) analysed along a productivity gradient through Europe / H. Pretzsch, M. del Río, C. Ammer et al. // *European Journal of Forest Research*. – 2015. – Vol. 134. – № 5. – P. 927–947. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0900-4>.
65. Examination of digital X-ray and gas discharge characteristics of English oak acorns (*Quercus robur* L.) for assessment of their sowing qualities / N. S. Priyatkin, O. Y. Butenko, D. A. Shabunin et al. // *Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute*. – 2018. – P. 4–17. – DOI: <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2018.2.4>.
66. Przybylski, P. Isozyme polymorphism and seed and cone variability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in relation to local environments in Poland / P. Przybylski, K. Masternak, S. Jastrzębowski // *Folia Forestalia Polonica*. – 2020. – Vol. 62. – № 2. – P. 88–99. – DOI: <https://doi.org/10.2478/ffp-2020-0010>.
67. Morphophysiology and quality of *Alibertia edulis* seedlings grown under light contrast and organic residue / C. C. Santos, A. Goelzer, O. B. da Silva et al. // *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. – 2023. – Vol. 27. – № 5. – P. 375–382. – DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n5p375-382>.
68. Effects of five growing media and two fertilizer levels on polybag-Raised camden whitegum (*Eucalyptus benthamii* maiden & cambage) seedling morphology and drought hardiness / M. N. Shalizi, B. Goldfarb, O. T. Burney, T. H. Shear // *Forests*. – 2019. – Vol. 10. – № 7. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f10070543>.
69. How Shading and Container Type Influence *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. Seedling Production / L. Siqueira Walter, M. Melo Moura, M. Moreno Gabira et al. // *Forest Science*. – 2022. – Vol. 68. – № 5-6. – P. 533–539. – DOI: <https://doi.org/10.1093/forsci/fxac036>.
70. South, D.B. Why Healthy Pine Seedlings Die after They Leave the Nursery / D. B. South, T. E. Starkey, A. Lyons // *Forests*. – 2023. – Vol. 14. – № 3. – P. 645. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f14030645>.
71. Controlled-Release Fertiliser and Substrates on Seedling Growth and Quality in *Agonandra brasiliensis* in Roraima / A. das G. Souza, O. J. Smiderle, R.A. Montenegro et al. // *Journal of Agricultural Studies*. – 2020. – Vol. 8. – № 3. – P. 70. – DOI: <https://doi.org/10.5296/jas.v8i3.16363>.
72. Adaptive measures: integrating adaptive forest management and forest landscape restoration / P. Spathelf, J. Stanturf, M. Kleine et al. // *Annals of Forest Science*. – 2018. – Vol. 75. – № 2. – P. 55. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0736-4>.
73. Multivariate discriminant analysis of single seed near infrared spectra for sorting dead-filled and viable seeds of three pine species: does one model fit all species? / M. Tigabu, A. Daneshvar, R. Jingjing et al. // *Forests*. – 2019. – Vol. 10. – № 6. – P. article id 469. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f10060469>.
74. Rapid and non-destructive evaluation of seed quality of Chinese fir by near infrared spectroscopy and multivariate discriminant analysis / M. Tigabu, A. Daneshvar, P. Wu et al. // *New Forests*. – 2020. – Vol. 51. – № 3. – P. 395–408. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-019-09735-8>.

75. Quantitative magnetic resonance imaging of Scots pine seeds and the assessment of germination potential / T. V. Tuomainen, K. Himanen, P. Helenius et al. // Canadian Journal of Forest Research. – 2022. – Vol. 52. – № 5. – P. 685–695. – DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2021-0273>.

76. A review of the application of near-infrared spectroscopy (NIRS) in forestry / Y. Wang, J. Xiang, Y. Tang et al. // Applied Spectroscopy Reviews. – 2022. – Vol. 57. – № 4. – P. 300–317. – DOI: <https://doi.org/10.1080/05704928.2021.1875481>.

Приложение А. Данные, полученные в данном исследовании, для построения статистических диаграмм

Таблица А1

Степень прорастания на 30-й день групп (по индивидуальной массе, семян (N = 1200) сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сорта Негорельская в SideSlit-контейнерах автоматизированного лесного питомника

Table A1

30-day germination degree of groups (by single seed mass, groups number $m = 89$) seeds (N = 1200) of Negorelskaya variety Scots pine (*P. sylvestris* L.) in SideSlit-containers of an automated forest nursery

Группы семян | Seed groups	Число семян в группе n | Number n of seeds in group	Степень прорастания семян на 30-й день, среднее значение в группе | 30-day germination degree for group, mean	Стандартное отклонение | Standard de- viation	Стандартная ошибка | Standard error	95 % доверительный интервал для среднего значения | 95 % confidence interval for the mean	
					Нижняя граница | Lower bound	Верхняя граница | Upper bound
по индивидуальной массе, г | by individual seed mass, g (число групп $m = 89$)						
,0010	4	,25	,500	,250	-,55	1,05
,0013	1	,00	.	.	.	.
,0014	1	,00	.	.	.	.
,0015	5	,20	,447	,200	-,36	,76
,0016	1	,00	.	.	.	.
,0017	1	,00	.	.	.	.
,0019	1	,00	.	.	.	.
,0020	8	,38	,518	,183	-,06	,81
,0022	1	,00	.	.	.	.
,0024	1	1,00	.	.	.	.
,0025	7	,71	,488	,184	,26	1,17
,0028	1	1,00	.	.	.	.
,0030	15	,60	,507	,131	,32	,88
,0032	2	,50	,707	,500	-5,85	6,85
,0033	3	,67	,577	,333	-,77	2,10
,0034	2	,50	,707	,500	-5,85	6,85
,0035	28	,68	,476	,090	,49	,86
,0036	1	1,00	.	.	.	.
,0037	1	1,00	.	.	.	.
,0038	4	,50	,577	,289	-,42	1,42
,0039	3	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0040	48	,71	,459	,066	,57	,84
,0041	2	,50	,707	,500	-5,85	6,85
,0042	4	,75	,500	,250	-,05	1,55
,0043	10	,90	,316	,100	,67	1,13
,0044	4	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0045	77	,83	,377	,043	,75	,92
,0046	3	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0047	12	,92	,289	,083	,73	1,10
,0048	16	,69	,479	,120	,43	,94
,0049	7	,86	,378	,143	,51	1,21
,0050	101	,79	,408	,041	,71	,87
,0051	4	,75	,500	,250	-,05	1,55
,0052	13	,77	,439	,122	,50	1,03
,0053	15	,80	,414	,107	,57	1,03
,0054	12	,83	,389	,112	,59	1,08
,0055	124	,80	,403	,036	,73	,87
,0056	8	,88	,354	,125	,58	1,17
,0057	16	,94	,250	,063	,80	1,07
,0058	7	,86	,378	,143	,51	1,21

Природопользование

Группы семян | Seed groups	Число семян в группе <i>n</i> | Number <i>n</i> of seeds in group	Степень прорастания семян на 30-й день, среднее значение в группе | 30-day germination degree for group, mean	Стандартное отклонение | Standard de- viation	Стандартная ошибка | Standard error	95 % доверительный интервал для среднего значения | 95 % confidence interval for the mean	
					Нижняя граница | Lower bound	Верхняя граница | Upper bound
,0059	3	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0060	130	,82	,383	,034	,76	,89
,0061	1	1,00	.	.	.	.
,0062	13	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0063	10	,70	,483	,153	,35	1,05
,0064	8	,63	,518	,183	,19	1,06
,0065	113	,78	,417	,039	,70	,86
,0066	4	,75	,500	,250	-,05	1,55
,0067	10	,90	,316	,100	,67	1,13
,0068	4	,75	,500	,250	-,05	1,55
,0069	6	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0070	69	,80	,405	,049	,70	,89
,0071	2	,50	,707	,500	-5,85	6,85
,0072	6	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0073	7	,86	,378	,143	,51	1,21
,0074	4	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0075	69	,84	,369	,044	,75	,93
,0076	3	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0077	2	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0078	1	1,00	.	.	.	.
,0080	35	,71	,458	,077	,56	,87
,0081	2	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0082	2	,50	,707	,500	-5,85	6,85
,0083	4	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0084	1	1,00	.	.	.	.
,0085	22	,50	,512	,109	,27	,73
,0086	4	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0087	1	1,00	.	.	.	.
,0088	4	,75	,500	,250	-,05	1,55
,0089	1	1,00	.	.	.	.
,0090	26	,73	,452	,089	,55	,91
,0091	1	1,00	.	.	.	.
,0092	2	,00	,000	,000	,00	,00
,0093	2	,50	,707	,500	-5,85	6,85
,0094	3	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0095	16	,81	,403	,101	,60	1,03
,0100	9	,89	,333	,111	,63	1,15
,0101	1	1,00	.	.	.	.
,0102	2	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0103	2	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0104	2	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0105	8	,88	,354	,125	,58	1,17
,0109	1	1,00	.	.	.	.
,0110	2	,50	,707	,500	-5,85	6,85
,0115	2	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0120	1	1,00	.	.	.	.
,0121	2	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0130	2	1,00	,000	,000	1,00	1,00
,0133	1	1,00	.	.	.	.
по наборам семян, отобранных для исследования (число групп <i>m</i> = 3)						
1	400	,80	,404	,020	,76	,83
2	400	,81*	,391	,020	,77	,85
3	400	,75*	,435	,022	,70	,79
в объеме каждого SideSlit-контейнера (число групп <i>m</i> = 30)						
1	40	,80	,405	,064	,67	,93
2	40	,75	,439	,069	,61	,89
3	40	,80	,405	,064	,67	,93
4	40	,78	,423	,067	,64	,91
5	40	,78	,423	,067	,64	,91
6	40	,93	,267	,042	,84	1,01
7	40	,73	,452	,071	,58	,87
8	40	,88	,335	,053	,77	,98

Группы семян | Seed groups	Число семян в группе <i>n</i> | Number <i>n</i> of seeds in group	Степень прорастания семян на 30-й день, среднее значение в группе | 30-day germination degree for group, mean	Стандартное отклонение | Standard de- viation	Стандартная ошибка | Standard error	95 % доверительный интервал для среднего значения | 95 % confidence interval for the mean	
					Нижняя граница | Lower bound	Верхняя граница | Upper bound
9	40	,80	,405	,064	,67	,93
10	40	,73	,452	,071	,58	,87
11	40	,75	,439	,069	,61	,89
12	40	,88	,335	,053	,77	,98
13	40	,68	,474	,075	,52	,83
14	40	,80	,405	,064	,67	,93
15	40	,78	,423	,067	,64	,91
16	40	,95	,221	,035	,88	1,02
17	40	,88	,335	,053	,77	,98
18	40	,88	,335	,053	,77	,98
19	40	,75	,439	,069	,61	,89
20	40	,80	,405	,064	,67	,93
21	40	,78	,423	,067	,64	,91
22	40	,73	,452	,071	,58	,87
23	40	,73	,452	,071	,58	,87
24	40	,65	,483	,076	,50	,80
25	40	,70	,464	,073	,55	,85
26	40	,88	,335	,053	,77	,98
27	40	,73	,452	,071	,58	,87
28	40	,83	,385	,061	,70	,95
29	40	,70	,464	,073	,55	,85
30	40	,78	,423	,067	,64	,91
Всего	1200	,79	,411	,012	,76	,81

Сведения об авторах

Новиков Артур Игоревич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры древесиноведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1230-0433>, e-mail: arthur.novikov@vglta.vrn.ru.

Рибко Сергей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесных культур и почвоведения, Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь; <https://orcid.org/0000-0002-6892-2859>, e-mail: rebko@belstu.by.

Новикова Татьяна Петровна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерных технологий и микроэлектронной инженерии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087; <http://orcid.org/0000-0003-1279-3960>, e-mail: novikova_tp.vglta@mail.ru.

✉ *Петрищев Евгений Петрович* – аспирант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1395-3631>, e-mail: petrishchev.vgltu@mail.ru.

Information about the authors

Arthur I. Novikov – Dr Sci. (Tech.), professor, Chair of Wood Science, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8, Timiryazeva str., Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1230-0433>, e-mail: arthur.novikov@vglta.vrn.ru.

Siarhei U. Rabko – Cand. Sci. (Forestry), Docent, Head of the Department of Forest Crops and Soil Science, Educational Institution "Belarusian State Technological University", Sverdlova str., 13a, Minsk, 220006, Republic of Belarus, <https://orcid.org/0000-0002-6892-2859>, e-mail: rebko@belstu.by.

Природопользование

Tatyana P. Novikova – Cand. Sci. (Technical), Docent, Chair of Computer Technology and Microelectronic Engineering, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0003-1279-3960>, e-mail: novikova_tp.vglta@mail.ru.

✉ *Evgeniy P. Petrishchev* – Postgraduate Student (Tech.), Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8, Timiryazeva str., Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1395-3631>, e-mail: petrishchev.vgltu@mail.ru.

✉ – Для контактов | Corresponding author