

УДК 630*232.318 (047.31)

С. В. Ребко¹, А. И. Новиков², Т. П. Новикова², Е. П. Петрищев²¹Белорусский государственный технологический университет²Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова,
Российская Федерация**ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ И ГРАВИМЕТРИЧЕСКИМИ
ПАРАМЕТРАМИ СЕМЯН СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)
СОРТА «НЕГОРЕЛЬСКАЯ»**

Установленные корреляционные связи между геометрическими и гравиметрическими параметрами сортовых семян сосны обыкновенной характеризуются различной степенью зависимости. Тесная корреляционная связь выявлена между площадью поверхности и объемом семени (коэффициент корреляции $C.V. = 0,89$), длиной и площадью поверхности семени ($C.V. = 0,88$), шириной и площадью поверхности семени ($C.V. = 0,88$), шириной и объемом семени ($C.V. = 0,81$), массой и объемом семени ($C.V. = 0,80$), толщиной и объемом семени ($C.V. = 0,77$), длиной и объемом семени ($C.V. = 0,75$), массой и площадью поверхности семени ($C.V. = 0,72$). Умеренный характер корреляционной связи выявлен между параметрами массы и длины семени ($C.V. = 0,64$), массы и ширины семени ($C.V. = 0,62$), массы и толщины семени ($C.V. = 0,59$), длины и ширины семени ($C.V. = 0,55$). Низкий уровень корреляционной связи установлен для таких параметров как толщина и ширина семени ($C.V. = 0,41$), толщина и площадь поверхности семени ($C.V. = 0,40$). Для всей выборки сортовых семян корреляционная связь отсутствует только между параметрами длины и толщины семени ($C.V. = 0,29$).

Определены основные посевные качества семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская» (масса 1000 семян – 6,39 г, чистота семян – 96%, техническая всхожесть семян – 88%, энергия прорастания семян – 80%, средний семенной покой семян – 5,5 дня) и влажность семян – 5,8%.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, сорт, семена, посевные качества семян, длина семени, толщина семени, ширина семени, масса семени, влажность семян, корреляционный анализ.

Для цитирования: Ребко С. В., Новиков А. И., Новикова Т. П., Петрищев Е. П. Взаимосвязи между геометрическими и гравиметрическими параметрами семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) сорта «Негорельская» // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 1 (276). С. 66–76.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-8.

S. U. Rabko¹, A. I. Novikov², T. P. Novikova², E. P. Petrishchev²¹Belarusian State Technological University²Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov,
Russian Federation**THE RELATIONSHIP BETWEEN THE GEOMETRIC AND GRAVIMETRIC
PARAMETERS OF THE SEEDS OF THE SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.)
OF SORT NEGORELSKAYA**

The established correlations between geometric and gravimetric parameters of varietal seeds of Scots pine are characterized by varying degrees of dependence. A close correlation was found between the surface area and the volume of the seed (correlation coefficient $C.V. = 0.89$), the length and surface area of the seed ($C.V. = 0.88$), the width and surface area of the seed ($C.V. = 0.88$), the width and volume of the seed ($C.V. = 0.81$), the weight and volume of the seed ($C.V. = 0.80$), the thickness and volume of the seed ($C.V. = 0.77$), the length and volume of the seed ($C.V. = 0.75$), the weight and surface area of the seed ($C.V. = 0.72$). A moderate correlation was revealed between the parameters of seed mass and length ($C.V. = 0.64$), seed mass and width (correlation coefficient 0.62), seed mass and thickness ($C.V. = 0.59$), seed length and width ($C.V. = 0.55$). A low level of correlation was established for such parameters as the thickness and width of the seed ($C.V. = 0.41$) and the thickness and surface area of the seed ($C.V. = 0.40$). For the entire sample of varietal seeds, there is no correlation only between the parameters of the length and thickness of the seed ($C.V. = 0.29$).

The main sowing qualities of the seeds of the Pine ordinary of sort Negorelskaya were determined (weight of 1000 seeds – 6.39 g, seed purity – 96%, technical germination of seeds – 88%, seed germination energy – 80%, the average seed rest of the seeds is 5.5 days) and the moisture content of the seeds is 5.8%.

Keywords: Scots pine, variety, seeds, seeds sowing qualities, seed length, seed thickness, seed width, seed weight, seeds moisture, correlation analysis.

For citation: Rabko S. U., Novikov A. I., Novikova T. P., Petrishchev E. P. The relationship between the geometric and gravimetric parameters of the seeds of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) of sort Negorelskaya. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 1 (276), pp. 66–76 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-8.

Введение. В настоящее время в отрасли лесного хозяйства особое внимание уделяется вопросам получения и использования в лесокультурном производстве высококачественного посевного и посадочного материала основных лесобразующих древесных и кустарниковых видов, в том числе и сосны обыкновенной – самой распространенной в лесном фонде древесной породой. Использование при посеве качественного лесосеменного сырья в значительной степени предопределяет выход стандартного посадочного материала с единицы площади. Для целей искусственного лесовосстановления обязательным условием является использование при посадке стандартного посадочного материала [1].

Исследованиями ряда авторов установлено, что на рост и развитие всходов, сеянцев, саженцев и лесных культур, особенно в первые годы жизни растений, существенное влияние при прочих равных условиях оказывают параметры или размеры семян, а также их масса.

Произрастая и занимая значительные площади в пределах своего ареала, сосна обыкновенная характеризуется значительной изменчивостью и вариабельностью морфологических признаков семенного материала и лесосеменного сырья.

Так, Бабичем Н. А. с соавторами выявлена значительная вариативность характеристик массы семян сосны обыкновенной в таежной зоне [2].

Ивановым В. П., Марченко С. И., Глазуном И. Н., Нартовым Д. И. установлено влияние морфометрических параметров шишек на качество семенного материала сосны обыкновенной [3]. Хатнянским В. И., Волгиным В. В., Пивень Л. Е. также установлено влияние крупности семян на их посевные и урожайные качества [4]. В наших ранее проведенных исследованиях установлено влияние индивидуальной массы семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская» на их 30-дневное прорастание [5]. В работе Ребко С. В. и Поплавской Л. Ф. выявлена взаимосвязь между цветом семян и апофизом шишек сосны обыкновенной: чем более выражена окраска семян от светлой к темной, тем значительно сильнее выражен апофиз шишек от гладкого к крючковатому. Взаимосвязь подтверждается полихорическим показателем связи Чупрова [6].

В работе Молоткова П. И., Патлая И. Н., Давыдовой Н. И. приводятся сведения различных авторов, свидетельствующие о том, что рост

сосны обыкновенной находится в определенной связи с цветом семян. Например, Литвинов Д. И., Тольский А. П., Пихельгас Э. И. выделяли ряд форм сосны обыкновенной с черными, коричневыми, пестрыми и светлыми семенами. Соболев А. М. описал 72 модификации цвета семян, однако указал, что они не могут быть устойчивыми и надежными признаками формовых разновидностей сосны. Курдиани З. С., Кобранов Н. П., Пихельгас Э. И. отмечали преимущество в росте потомства черносеменных форм сосны обыкновенной. Мамаев С. А., Тольский А. П., напротив, приводят данные о лучшем росте светлосеменных форм по отношению к черносемным. Причем на севере преобладают семена с более светлой окраской, при продвижении к югу их цвет темнеет и у южной границы ареала преобладают деревья с черными семенами [7].

В ряде работ исследования посвящены вопросам изучения изменения показателя массы 1000 семян, свидетельствующие о том, насколько сильная существует зависимость данного показателя от климатических условий конкретного места произрастания сосны обыкновенной, особенно при продвижении в направлении с севера на юг [8–12].

Петрищевым Е. П. проведено исследование по оценке взаимосвязи биометрических параметров ювенильных сеянцев сосны обыкновенной, выращенных из кондиционных семян [13].

Исследования Бессчетнова В. П. и Бессчетновой Н. Н. показали значительные различия по морфометрическим параметрам и качеству семян, шишек и выходу нормально развитых и неразвитых семян под влиянием различных факторов среды [14, 15]. По сведениям авторов, изменчивость параметров семян обусловлена генотипически, а на проявление их разнообразия оказывают влияние факторы среды, что связано с установленными ими индексами генотипически обусловленной неидентичности плюсовых деревьев сосны. Существенные различия между плюсовыми деревьями сосны по морфометрическим характеристикам нормально развитых шишек зависят от факторов среды, влияние которых составляет 60–87%. Представляет интерес также работа по оценке степени наследственной обусловленности признаков сосны обыкновенной, имеющих хозяйственное, адаптивное и идентификационное значение [16].

Таким образом, многочисленными исследованиями установлены взаимосвязи между качественными и количественными характеристиками семян с морфометрическими параметрами шишек и семян сосны обыкновенной, однако практически не изучены или редко встречаются исследования, посвященные вопросам взаимосвязи между геометрическими (размерными) и гравиметрическими (весовыми) параметрами семян. Имеются лишь исследования, позволяющие установить степень влияния сортировки семян сосны обыкновенной по цвету и размерам на их грунтовую всхожесть в контейнерах [17].

Необходимость проведения исследования и установления взаимосвязей между геометрическими и гравиметрическими параметрами семян сосны обыкновенной обуславливается тем, что любое семя неправильной формы имеет длину, ширину и толщину. Также практически каждой древесной породе характерна своя, присущая только ей масса семени. Следует иметь в виду, что по своим размерам семена каждой древесной породы различаются между собой. На этих особенностях и основаны принципы сортирования лесных семян на фракции и их очистки от примесей. По толщине и ширине семена разделяют с помощью плоских или цилиндрических решёт, на них же отделяют крупные и мелкие примеси. Решето конструктивно представляет собой металлический лист с отверстиями одинакового размера (продолговатыми или круглыми). Сквозь продолговатое отверстие решета проходят семена, толщина которых меньше ширины щели отверстия. Длина семени не имеет значения, так как она всегда меньше длины продолговатого отверстия. Ширина семени всегда больше толщины. Сквозь круглое отверстие семя может пройти в том случае, если его ширина меньше диаметра отверстия. Длина и толщина семени не препятствуют его проходу сквозь круглое отверстие. Следовательно, разделение семян по ширине возможно только на решете с круглыми отверстиями.

Для разделения семян по длине служит цилиндрический триер – вращающийся стальной цилиндр с отштампованными ячейками. Мелкие и короткие зерна полностью погружаются в ячейки, а длинные – частично. При повороте цилиндра из ячеек сначала выпадают более длинные зерна, а затем, после подъема и поворота ячейки, на приемник падают короткие зерна.

В этой связи выявление взаимосвязей между размерными и весовыми параметрами семян позволят подойти к решению вопросов оптимизации использования посевного материала, а также интенсификации ресурсосберегающей технологии выращивания стандартного посадочного материала сортового уровня и его

использования при производстве лесных культур сосны обыкновенной сорта «Негорельская».

Таким образом, проведенные исследования позволят подойти к решению первоочередной задачи при искусственном лесовосстановлении и лесоразведении: использование в лесокультурном производстве исходного материала – семян с высокими наследственными свойствами и посевными качествами для создания качественных, высокопродуктивных и экологически устойчивых насаждений с учетом выявленных взаимосвязей между геометрическими и гравиметрическими характеристиками семян.

Основная часть. С целью определения посевных качеств семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская» произведена заготовка шишек, которые высушивались при температуре 53°C. Сушка шишек осуществлялась в электропечи СНОЛ-М1 в среднем на протяжении 4–5 дней. Обескряливание сортовых семян производили на специальной машине марки МОС-1.

Далее в соответствии с ГОСТ 13056.6–97 [18] способом крестообразного деления подготавливали навеску установленной массы для проведения анализов.

Посевные качества семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская» определяли в соответствии с ГОСТ 14161–86 [19], при этом для партии семян определяли такие показатели, как чистота семян, техническая всхожесть, энергия прорастания, масса 1000 семян (в том числе по международной методике ISTA), средний семенной покой [20].

Влажность семян определяли в соответствии с ГОСТ 13056.3–86 [21] методом высушивания навески при температуре 130°C в сушильном шкафу.

Проращивание семян проводили на специальном проращивателе немецкой фирмы Rumed с раскладкой семян на ложе вручную. При этом проращивание сортовых семян сосны обыкновенной осуществляли на протяжении 15 дней при постоянной температуре воды, равной 24°C. Температура ложа поддерживалась на уровне 22°C. Повторность опыта – трехкратная. Энергию прорастания семян определяли на 7-й день учета, средний семенной покой как средневзвешенное количество проросших семян – на 3-й, 5-й, 7-й, 10-й и 15-й дни учета.

Средняя температура и влажность воздуха в лаборатории за время проведения исследования составляли соответственно 25°C и 21%. Массу каждого семени регистрировали с помощью лабораторных аналитических весов с точностью до 0,0001 г. Перед измерением весы устанавливали с возможностью исключения воздействия вибрации, источников тепла, потоков воздуха и резких колебаний температуры, балансировали

с помощью встроенного пузырькового индикатора, выставляли на ноль. Далее пинцетом помещали измеряемое семя в центр круга, закрывали прозрачные створки для предотвращения влияния перемещения воздуха и записывали показания массы семени после стабилизации соответствующей стрелки. Показания фиксировали в специальном журнале и заносили в таблицы данных Excel.

Методикой исследования также было предусмотрено определение геометрических характеристик семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская», среди которых были выбраны такие параметры, как площадь поверхности семени (S_c , мм²) и объем семени (V_c , мм³). Площадь поверхности семени рассчитывали по формуле площади эллипса, наиболее полно напоминающего по форме семя сосны обыкновенной:

$$S_c = \pi LW,$$

где π – постоянная величина, равная 3,14; L – длина семени, мм; W – ширина семени, мм.

Объем семени рассчитывали по формуле объема эллипсоида, наиболее близко напоминающего по форме и объему семя сосны обыкновенной:

$$V_c = 4/3\pi \cdot 0,5L \cdot 0,5W \cdot 0,5T,$$

где T – толщина семени, мм.

Статистическая обработка полученных значений геометрических и гравиметрических параметров сортовых семян представлена в виде расчета следующих показателей: M – среднеарифметическая величина; D – дисперсия; δ – стандартное среднеквадратическое отклонение; $C.V.$ – коэффициент вариации, %; m_M – ошибка среднеарифметической величины; p – точность определения среднеарифметической величины, %; Min – минимальное значение признака; Max – максимальное значение признака; R – размах признака; Mo – мода; Me – медиана.

Корреляционный анализ взаимосвязей между геометрическими и гравиметрическими параметрами сортовых семян проводился с использованием электронных таблиц Excel.

В целях получения более точных и достоверных данных статистические показатели геометрических и гравиметрических параметров семян рассчитаны как для всей совокупности семян, взятых для анализа (1200 шт.), так и для трех выборок по 400 шт. в каждой.

Результаты анализа посевных качеств и влажности сортовых семян сосны обыкновенной представлены в табл. 1.

Чистоту семян (в процентах) определяли как отношение массы чистых семян к массе навески, взятой для анализа с округлением до 0,1%. Для этого навеску семян высыпали на гладкую поверхность разборочной доски, разравнивали и

выделяли чистые семена, отходы семян и приресь. Отдельно взвешивали каждую из выделенных групп. Всего для анализа было выделено 2 навески по 10 г.

Таблица 1

Посевные качества и влажность семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская»

Показатель	Значение
Чистота семян, %	96,0
Масса 1000 семян по ГОСТ, г	6,39
Масса 1000 семян по ISTA, г	6,45
Техническая всхожесть семян, %	88,0
Энергия прорастания семян, %	80,0
Средний семенной покой, дней	5,5
Влажность семян, %	5,8

В результате анализа установлено, что чистота семян первой навески составила 95,8% (9,58 г), второй навески 96,2% (9,62 г). Допускаемое расхождение составляет не более 1%, фактическое расхождение составило 0,4%, следовательно, чистота семян составила 96,0%.

Массу 1000 семян по ГОСТ 14161–86 [19] определяли путем взвешивания двух навесок семян (предварительно отобранных и отсчитанных) по 500 шт. в каждой. В результате установлено, что масса 1000 семян оказалась равной 6,39 г ($m_1 = 3,17$ г и $m_2 = 3,22$ г, разница составила менее 5%). С целью сравнения значений данного показателя дополнительно массу 1000 семян определяли по международной методике ISTA [20]. По данной методике необходимо было отсчитать восемь навесок семян по 100 шт. в каждой и отдельно их взвесить ($m_1 = 0,66$ г; $m_2 = 0,64$ г; $m_3 = 0,69$ г; $m_4 = 0,63$ г; $m_5 = 0,64$ г; $m_6 = 0,60$ г; $m_7 = 0,67$ г; $m_8 = 0,63$ г). Далее необходимо было найти массу средней навески из восьми ($m_{cp} = 0,645$ г). Полученный результат следовало перевести к количеству 1000 семян ($m_{1000} = 6,45$ г). В результате сравнения данных показателей, определенных по отечественной и международной методиках, установлено, что разница в показателях массы 1000 семян оказалась незначительной – 0,06 г, что составляет менее 1% от их общей массы. Техническая всхожесть семян, которую определяли на 15-й день учета, составила 88%, энергия прорастания на 7 день учета была равна 80%, средний семенной покой – 5,5 дня.

Влажность семян – содержание влаги в семенах, выраженное в процентах к массе исходной навески. Определяли данный показатель методом высушивания навески при температуре 130°C в сушильном шкафу. Конечная влажность партии сортовых семян сосны обыкновенной составила 5,8%.

Статистические параметры размера и массы семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская» трех выборок и всей совокупности семян представлены в табл. 2–5.

Результаты статистической обработки показали, что семена, случайным образом отобранные в 3 отдельные совокупности выборок, имеют следующие основные статистические показатели (соответственно выборка № 1, выборка № 2 и выборка № 3):

а) по длине семени: среднеарифметическая величина – 4,50, 4,42 и 4,27 мм; коэффициент вариации – 9,7, 9,9 и 11,0%; минимальное значение – 3,07, 3,19 и 2,81 мм; максимальное значение – 6,00, 5,82 и 5,70 мм; размах – 2,93, 2,63 и 2,89 мм; мода – 4,25, 4,41 и 4,10 мм; медиана – 4,48, 4,41 и 4,27 мм;

б) по ширине семени: среднеарифметическая величина – 2,56, 2,52 и 2,45 мм; коэффициент вариации – 9,9, 9,4 и 11,0%; минимальное значение – 1,76, 1,84 и 1,68 мм; максимальное значение – 3,28, 3,34 и 3,77 мм; размах – 1,50, 1,50 и 2,09 мм; мода – 2,43, 2,41 и 2,36 мм; медиана – 2,55, 2,52 и 2,43 мм;

в) по толщине семени: среднеарифметическая величина – 1,42, 1,45 и 1,36 мм; коэффициент вариации – 13,0, 14,0 и 13,0%; минимальное значение – 0,84, 0,92 и 0,73 мм; максимальное значение – 2,17, 2,81 и 1,88 мм; размах – 1,33, 1,89 и 1,15 мм; мода – 1,34, 1,34 и 1,42 мм; медиана – 1,41, 1,43 и 1,36 мм;

г) по массе семени: среднеарифметическая величина – 0,0062, 0,0059 и 0,0059 г; коэффициент вариации – 28,0, 31,0 и 29,0%; минимальное значение – 0,0015, 0,0010 и 0,0013 г; максимальное значение – 0,0130, 0,0133 и 0,0130 г; размах – 0,0115, 0,0123 и 0,0117 г; мода – 0,0060, 0,0060 и 0,0055 г; медиана – 0,0060, 0,0060 и 0,0055 г.

Таблица 2
Статистические параметры размера и массы семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская» первой выборки

Статистические параметры	Выборка семян № 1 (ДатаСет1)			
	длина, мм	ширина, мм	толщина, мм	масса, г
<i>M</i>	4,50	2,56	1,42	0,0062
<i>D</i>	0,19	0,065	0,031	$2,9 \cdot 10^{-6}$
δ	0,44	0,25	0,18	0,0017
<i>C.V.</i> , %	9,7	9,9	13,0	28,0
<i>m_M</i>	0,022	0,013	0,0089	$8,5 \cdot 10^{-5}$
<i>p</i> , %	0,48	0,50	0,63	1,40
<i>Min</i>	3,07	1,76	0,84	0,0015
<i>Max</i>	6,00	3,28	2,17	0,0130
<i>R</i>	2,93	1,52	1,33	0,0115
<i>Mo</i>	4,25	2,43	1,34	0,0060
<i>Me</i>	4,48	2,55	1,41	0,0060

Таблица 3
Статистические параметры размера и массы семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская» второй выборки

Статистические параметры	Выборка семян № 2 (ДатаСет2)			
	длина, мм	ширина, мм	толщина, мм	масса, г
<i>M</i>	4,42	2,52	1,45	0,0059
<i>D</i>	0,19	0,056	0,040	$3,3 \cdot 10^{-6}$
δ	0,44	0,24	0,20	0,0018
<i>C.V.</i> , %	9,9	9,4	14,0	31,0
<i>m_M</i>	0,022	0,012	0,010	$9,1 \cdot 10^{-5}$
<i>p</i> , %	0,49	0,47	0,69	1,50
<i>Min</i>	3,19	1,84	0,92	0,0010
<i>Max</i>	5,82	3,34	2,81	0,0133
<i>R</i>	2,63	1,50	1,89	0,0123
<i>Mo</i>	4,41	2,41	1,34	0,0060
<i>Me</i>	4,41	2,52	1,43	0,0060

Таблица 4
Статистические параметры размера и массы семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская» третьей выборки

Статистические параметры	Выборка семян № 3 (ДатаСет3)			
	длина, мм	ширина, мм	толщина, мм	масса, г
<i>M</i>	4,27	2,45	1,36	0,0059
<i>D</i>	0,23	0,072	0,034	$2,9 \cdot 10^{-6}$
δ	0,48	0,27	0,18	0,0017
<i>C.V.</i> , %	11,0	11,0	13,0	29,0
<i>m_M</i>	0,024	0,013	0,0092	$8,5 \cdot 10^{-5}$
<i>p</i> , %	0,56	0,55	0,67	1,40
<i>Min</i>	2,81	1,68	0,73	0,0013
<i>Max</i>	5,70	3,77	1,88	0,0130
<i>R</i>	2,89	2,09	1,15	0,0117
<i>Mo</i>	4,10	2,36	1,42	0,0055
<i>Me</i>	4,27	2,43	1,36	0,0055

Таблица 5
Статистические параметры размера и массы семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская» всей выборки

Статистические параметры	Вся выборка семян			
	длина, мм	ширина, мм	толщина, мм	масса, г
<i>M</i>	4,40	2,51	1,41	0,0060
<i>D</i>	0,213	0,066	0,036	$3,1 \cdot 10^{-6}$
δ	0,46	0,26	0,19	0,0018
<i>C.V.</i> , %	10,5	10,3	13,5	29,1
<i>m_M</i>	0,013	0,007	0,006	$5,0 \cdot 10^{-5}$
<i>p</i> , %	0,30	0,30	0,39	0,84
<i>Min</i>	2,81	1,68	0,73	0,0010
<i>Max</i>	6,00	3,77	2,81	0,0133
<i>R</i>	3,19	2,09	2,08	0,0123
<i>Mo</i>	4,25	2,43	1,42	0,0060
<i>Me</i>	4,40	2,50	1,40	0,0060

Проведенные расчеты позволяют заключить, что по длине и ширине семени коэффициент варьирования во всех выборках не превышает 11%, что соответствует низкому уровню изменчивости, по толщине семени данный показатель составляет 13–14%, что соответствует среднему уровню изменчивости, по массе семени изменчивость достигает 28–31%, что характеризует выборки с высоким уровнем изменчивости.

Результаты исследования геометрических характеристик – площади поверхности и объема сортовых семян сосны обыкновенной представлены в табл. 6–9.

Таблица 6

Статистические параметры площади поверхности и объема семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская» первой выборки

Статистические параметры	Выборка семян № 1 (ДатаСет1)	
	$S_c, \text{мм}^2$	$V_c, \text{мм}^3$
M	36,40	8,66
D	38,0	4,3
δ	6,2	2,1
$C.V., \%$	17,0	24,0
m_M	0,31	0,10
$p, \%$	0,85	1,2
Min	17,80	3,68
Max	58,64	15,72
R	40,84	12,04
Me	36,15	8,43

Таблица 7

Статистические параметры площади поверхности и объема семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская» второй выборки

Статистические параметры	Выборка семян № 2 (ДатаСет2)	
	$S_c, \text{мм}^2$	$V_c, \text{мм}^3$
M	35,15	8,57
D	35,0	4,8
δ	5,9	2,2
$C.V., \%$	17,0	26,0
m_M	0,30	0,11
$p, \%$	0,84	1,3
Min	19,70	3,55
Max	53,50	17,92
R	33,80	14,37
Me	35,17	8,44

Результаты статистической обработки геометрических параметров сортовых семян трех выборок показали, что семена, также случайным образом отобранные в 3 отдельные совокупности выборок, имеют следующие основные статистические показатели (соответственно выборка № 1, выборка № 2 и выборка № 3):

а) по площади поверхности семени: среднеарифметическая величина – 36,40, 35,15 и 32,99 мм²; коэффициент вариации – 17,0, 17,0 и 20,0%;

минимальное значение – 17,80, 19,70 и 16,67 мм²; максимальное значение – 58,64, 53,50 и 58,86 мм²; размах – 40,84, 33,80 и 42,19 мм²; медиана – 36,15, 35,17 и 32,31 мм²;

б) по объему семени: среднеарифметическая величина – 8,66, 8,57 и 7,57 мм³; коэффициент вариации – 24,0, 26,0 и 28,0%; минимальное значение – 3,68, 3,55 и 2,27 мм³; максимальное значение – 15,72, 17,92 и 17,00 мм³; размах – 12,04, 14,37 и 14,73 мм³; медиана – 8,43, 8,44 и 7,27 мм³.

Таблица 8

Статистические параметры площади поверхности и объема семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская» третьей выборки

Статистические параметры	Выборка семян № 3 (ДатаСет3)	
	$S_c, \text{мм}^2$	$V_c, \text{мм}^3$
M	32,99	7,57
D	42,0	4,6
δ	6,5	2,1
$C.V., \%$	20,0	28,0
m_M	0,32	0,11
$p, \%$	0,98	1,4
Min	16,67	2,27
Max	58,86	17,00
R	42,19	14,73
Me	32,31	7,27

Таблица 9

Статистические параметры площади поверхности и объема семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская» всей выборки

Статистические параметры	Вся выборка семян	
	$S_c, \text{мм}^2$	$V_c, \text{мм}^3$
M	34,85	8,27
D	40,29	4,83
δ	6,35	2,20
$C.V., \%$	18,2	26,6
m_M	0,18	0,06
$p, \%$	0,53	0,77
Min	16,67	2,28
Max	58,86	17,92
R	42,19	15,64
Me	34,51	8,04

Результаты исследований показывают, что при уменьшении показателей средней площади поверхности и объема семени коэффициент вариации при этом увеличивается, размах признака также увеличивается, а медианные значения данных показателей снижаются.

Корреляционные взаимосвязи между геометрическими и гравиметрическими параметрами сортовых семян в каждой отдельной из трех исследуемых выборок и всей совокупности приведены в табл. 10–13.

Таблица 10

Корреляционная матрица первой выборки семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская»

Параметры семени	Длина	Ширина	Толщина	Площадь	Объем
Масса	0,62	0,54	0,54	0,67	0,76
Длина		0,51	0,21	0,86	0,72
Ширина	0,04		0,28	0,87	0,77
Толщина	0,05	0,05		0,28	0,72
Площадь	0,01	0,01	0,05		0,87
Объем	0,02	0,02	0,02	0,01	

Примечание. В табл. 10–13 в верхнем треугольнике – значения коэффициентов корреляции, в нижнем – значения ошибок коэффициентов корреляции.

Таблица 11

Корреляционная матрица второй выборки семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская»

Параметры семени	Длина	Ширина	Толщина	Площадь	Объем
Масса	0,69	0,70	0,64	0,79	0,86
Длина		0,55	0,29	0,88	0,73
Ширина	0,04		0,46	0,87	0,81
Толщина	0,05	0,04		0,42	0,79
Площадь	0,01	0,01	0,04		0,88
Объем	0,02	0,02	0,02	0,01	

Таблица 12

Корреляционная матрица третьей выборки семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская»

Параметры семени	Длина	Ширина	Толщина	Площадь	Объем
Масса	0,62	0,63	0,60	0,72	0,80
Длина		0,53	0,32	0,87	0,76
Ширина	0,04		0,45	0,87	0,82
Толщина	0,05	0,04		0,43	0,76
Площадь	0,01	0,01	0,04		0,91
Объем	0,02	0,02	0,02	0,01	

Таблица 13

Корреляционная матрица всей выборки семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская»

Параметры семени	Длина	Ширина	Толщина	Площадь	Объем
Масса	0,64	0,62	0,59	0,72	0,80
Длина		0,55	0,29	0,88	0,75
Ширина	0,02		0,41	0,88	0,81
Толщина	0,03	0,02		0,40	0,77
Площадь	0,01	0,01	0,02		0,89
Объем	0,01	0,01	0,01	0,01	

Полученные результаты корреляционного анализа показывают, что взаимосвязи между геометрическими и гравиметрическими параметрами семян носят различный характер.

Так, для первой выборки практически отсутствует корреляционная связь между параметрами длины и толщины семени ($C.V. = 0,21$), ширины и толщины семени ($C.V. = 0,28$), толщины и площади семени ($C.V. = 0,28$). Умеренная корреляционная связь обнаружена между длиной и шириной семени ($C.V. = 0,51$), длиной и массой семени ($C.V. = 0,54$), толщиной и массой семени ($C.V. = 0,67$), массой и площадью семени ($C.V. = 0,67$). Тесная корреляционная связь выявлена между площадью поверхности и объемом семени ($C.V. = 0,87$), площадью поверхности и шириной семени ($C.V. = 0,87$), площадью и длиной семени ($C.V. = 0,86$), шириной и объемом семени ($C.V. = 0,77$), массой и объемом семени ($C.V. = 0,76$), длиной и объемом семени ($C.V. = 0,72$), толщиной и объемом семени ($C.V. = 0,72$).

Во второй выборке корреляционная связь отсутствует только между длиной и толщиной семени ($C.V. = 0,29$). Низкая корреляционная связь отмечается между шириной и толщиной семени ($C.V. = 0,46$) и толщиной и площадью семени ($C.V. = 0,42$). Умеренная корреляционная связь выявлена между массой и шириной семени ($C.V. = 0,70$), длиной и массой семени ($C.V. = 0,69$), толщиной и массой семени ($C.V. = 0,64$), длиной и шириной семени ($C.V. = 0,55$). Тесная корреляционная связь выявлена между длиной и площадью поверхности семени ($C.V. = 0,88$), длиной и площадью семени ($C.V. = 0,88$), шириной и площадью поверхности семени ($C.V. = 0,87$), массой и объемом семени ($C.V. = 0,86$), шириной и объемом семени ($C.V. = 0,81$), толщиной и объемом семени ($C.V. = 0,79$), массой и площадью поверхности семени ($C.V. = 0,79$), длиной и объемом семени ($C.V. = 0,73$).

В третьей выборке отсутствие корреляционной связи между любыми случайно взятыми для анализа параметрами отсутствует. Низкая корреляционная связь установлена между шириной и толщиной семени ($C.V. = 0,45$), толщиной и площадью семени ($C.V. = 0,43$), толщиной и длиной семени ($C.V. = 0,32$). Умеренная корреляционная связь выявлена между массой и шириной семени ($C.V. = 0,63$), массой и длиной семени ($C.V. = 0,62$), массой и толщиной семени ($C.V. = 0,60$), длиной и шириной семени ($C.V. = 0,53$).

Тесная корреляционная связь выявлена между площадью поверхности и объемом семени ($C.V. = 0,91$), длиной и площадью поверхности семени ($C.V. = 0,87$), шириной и площадью поверхности семени ($C.V. = 0,87$), шириной и объемом семени ($C.V. = 0,82$), массой и объемом семени ($C.V. = 0,80$), толщиной и объемом семени ($C.V. = 0,76$), длиной и объемом семени ($C.V. = 0,76$), массой и площадью поверхности семени ($C.V. = 0,72$).

Для всей выборки сортовых семян корреляционная связь отсутствует только между параметрами длины и толщины семени ($C.V. = 0,29$).

Низкая корреляционная связь установлена между шириной и толщиной семени ($C.V. = 0,41$) и толщиной и площадью поверхности семени ($C.V. = 0,40$).

Умеренная корреляционная связь выявлена между массой и длиной семени ($C.V. = 0,64$), массой и шириной семени ($C.V. = 0,62$), массой и толщиной семени ($C.V. = 0,59$), длиной и шириной семени ($C.V. = 0,55$).

Тесная корреляционная связь выявлена между площадью поверхности и объемом семени ($C.V. = 0,89$), длиной и площадью поверхности семени ($C.V. = 0,88$), шириной и площадью поверхности семени ($C.V. = 0,88$), шириной и объемом семени ($C.V. = 0,81$), массой и объемом семени ($C.V. = 0,80$), толщиной и объемом семени ($C.V. = 0,77$), длиной и объемом семени ($C.V. = 0,75$), массой и площадью поверхности семени ($C.V. = 0,72$).

Заключение. Определены посевные качества семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская» (масса 1000 семян, чистота семян, техническая всхожесть семян, энергия прорастания семян, средний семенной покой семян).

Установлены размерно-весовые и геометрические характеристики семян сосны обыкновенной сорта «Негорельская», такие как длина, ширина и толщина семени, площадь поверхности и объем семени, рассчитаны основные статистические показатели данных величин.

Результаты геометрических исследований сортовых семян показывают, что при уменьшении показателей средней площади поверхности и объема семени коэффициент вариации при этом увеличивается, размах признака также увеличивается, а медианные значения данных показателей снижаются.

Полученные расчеты размерно-весовых показателей сортовых семян позволяют заключить, что по длине и ширине семени коэффициент варьирования [22] во всех выборках не превышает 11% (соответствует низкому уровню изменчивости), по толщине семени данный показатель находится на уровне 13–14% (соответствует среднему уровню изменчивости), по массе семени уровень изменчивости достигает 28–31%, что характеризует выборки высоким уровнем изменчивости).

Установленная корреляционная связь между геометрическими и гравиметрическими параметрами сортовых семян сосны обыкновенной характеризуется различной степенью зависимости. Тесная корреляционная связь выявлена между площадью поверхности и объемом семени ($C.V. = 0,89$), длиной и площадью поверхности семени ($C.V. = 0,88$), шириной и площадью поверхности семени ($C.V. = 0,88$), шириной и объемом семени ($C.V. = 0,81$), массой и объемом семени ($C.V. = 0,80$), толщиной и объемом семени ($C.V. = 0,77$), длиной и объемом семени ($C.V. = 0,75$), массой и площадью поверхности семени ($C.V. = 0,72$).

Умеренный характер корреляционной связи выявлен между параметрами массы и длины семени ($C.V. = 0,64$), массы и ширины семени ($C.V. = 0,62$), массы и толщины семени ($C.V. = 0,59$), длины и ширины семени ($C.V. = 0,55$).

Низкий уровень корреляционной связи установлен для таких параметров, как толщина и ширина семени ($C.V. = 0,41$) и толщина и площадь поверхности семени ($C.V. = 0,40$).

Для всей выборки сортовых семян корреляционная связь отсутствует только между параметрами длины и толщины семени ($C.V. = 0,29$).

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 23-26-00228 «Исследование спектрометрических показателей семян как основа интенсификации процесса лесовыращивания культур сосны обыкновенной сорта «Негорельская»», <https://rscf.ru/project/23-26-00228/>.

Список литературы

1. Ребко С. В., Новиков А. И. Основные принципы и подходы начального этапа интенсификации процесса лесовыращивания лесных культур сосны обыкновенной сорта «Негорельская» // Лесное хозяйство: материалы 87-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 31 янв. – 17 февр. 2023 г. Минск, 2023. С. 322–325.

2. Вариативность массовых характеристик семян *Pinus sylvestris* L. в таежной зоне / Н. А. Бабич [и др.] // Лесной журнал. 2019. № 2. С. 141–147. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.141.
3. Оценка влияния морфометрических параметров шишек на качество семенного материала сосны обыкновенной / В. П. Иванов [и др.] // Лесной журнал. 2018. № 4. С. 19–30. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.19.
4. Хатнянский В. И., Волгин В. В., Пивень Л. Е. Влияние крупности семян на их посевные и урожайные качества // Науч.-техн. бюл. Всерос. науч.-исслед. ин-та масличных культур. 2005. Вып. 1 (132). С. 42–48.
5. Влияние индивидуальной массы семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) сорта «Негорельская» на 30-дневное прорастание в 40-ячеистых SideSlit-контейнерах / А. И. Новиков [и др.] // Лесотехнический журнал. 2023. Т. 13, № 2 (50). С. 59–86. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2023.2/4.
6. Ребко С. В., Поплавская Л. Ф. Посевные качества семян различных клонов и форм сосны обыкновенной на гибридно-семенной плантации // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2007. Вып. XV. С. 259–263.
7. Молотков П. И., Патлай И. Н., Давыдова Н. И. Селекция лесных пород. М.: Лесная пром-сть, 1982. 224 с.
8. Новикова Т. Н., Жамъянсурен С. Изменчивость качества семян сосны обыкновенной у южных пределов ее распространения в Сибири и Монголии // Вестн. Краснояр. гос. аграр. ун-та. 2012. № 4. С. 102–107.
9. Castro J., Hódar J. A., Gómez J. M. Seed Size. Ch. 14 // Handbook of Seed Science and Technology / ed. by A. S. Basra. New York: Haworth Press, 2006. P. 397–428.
10. Fober H. Relation between Climatic Factors and Scots Pine (*Pinus silvestris*) Cone Crops in Poland // Arboretum Kórnickie. 1976. Vol. 21. P. 367–374.
11. Sarvas R. Investigations of the Flowering and Seed Crop of *Pinus silvestris* // Metsatieteellisen tutkimuslaitoksen julkaisu. 1962. Vol. 53, no. 4. P. 198.
12. An Adaptive Epigenetic Memory in Conifers with Important Implications for Seed Production / I. Yakovlev [et al.] // Seed Science Research. 2012. Vol. 22, no. 2. P. 63–76. DOI: 10.1017/S0960258511000535.
13. Петрищев Е. П. Исследование взаимосвязи биометрических параметров ювенильных сеянцев сосны обыкновенной из кондиционных семян при оценке результатов лесовосстановления // Лесотехнический журнал. 2021. Т. 11, № 4 (44). С. 161–169. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.4/14.
14. Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н. Селекционная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной методами многомерного анализа // Лесной журнал. 2012. № 2. С. 58–74.
15. Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н. Многомерная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по морфологическим параметрам семян // Вестн. МГУЛ – Лесной вестник. 2013. № 3 (95). С. 11–17.
16. Бессчетнова Н. Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Репродуктивный потенциал плюсовых деревьев: монография. Н. Новгород: Нижегород. гос. с.-х. акад., 2015. 586 с.
17. Новиков А. И. Влияние сортирования семян сосны обыкновенной по цвету и размерам на их грунтовую всхожесть в контейнерах // Хвойные бореальной зоны. 2019. Т. 37, № 5. С. 313–319.
18. Семена деревьев и кустарников. Правила отбора образцов и методы определения посевных качеств семян: ГОСТ 13056.6–97. М.: Изд-во стандартов, 1998. 29 с.
19. Семена хвойных древесных пород. Посевные качества. Технические условия: ГОСТ 14161–86. М.: Гос. ком. СССР по стандартам: Изд-во стандартов, 1986. 9 с.
20. International rules for seed testing. Bassersdorf: The International Seed Testing Association (ISTA), 2003. 24 p.
21. Семена деревьев и кустарников. Методы определения влажности: ГОСТ 13056.3–86. М.: Изд-во стандартов, 1988. 15 с.
22. Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале). М.: Наука, 1972. 284 с.

References

1. Rebko S. V., Novikov A. I. Basic principles and approaches of the initial stage of intensification of the process of forest growing of Scots pine forest crops of the Negorelskaya variety. *Lesnoye khozyaystvo: materialy 87-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forestry: materials of the 87th scientific and technical. conference of faculty, researchers and graduate students (with international participation)], Minsk, 2023, pp. 322–325 (In Russian).

2. Babich N. A., Drochkova A. A., Komarova A. M., Lebedeva O. P., Andronova M. M. Variability of Weight Characteristics of *Pinus sylvestris* Seeds in the Taiga Zone. *Lesnoy zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 141–147. DOI: 10.17238/issn05361036.2019.2.141 (In Russian).
3. Ivanov V. P., Marchenko S. I., Glazun I. N., Nartov D. I. Impact Assessment of Morphometric Characteristics of Cones on the Quality of Scots Pine Seed Material. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 4, pp. 19–30. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.19 (In Russian).
4. Khatnyansky V. I., Volgin V. V., Piven L. E. The influence of seed size on their sowing and yield qualities. *Nauchno-tekhnicheskiiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* [Scientific and Technical Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Oilseeds], 2005, issue 1 (132), pp. 42–48 (In Russian).
5. Novikov A. I., Rebko S. V., Novikova T. P., Petrishchev E. P. 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. *Lesotekhnicheskiiy zhurnal* [Forestry Engineering journal], 2023, vol. 13, no. 2 (50), pp. 59–86. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2023.2/4 (In Russian).
6. Rebko S. V., Poplavskaya L. F. Sowing qualities of seeds of various clones and forms of Scots pine on a hybrid seed plantation. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2007, issue XV, pp. 259–263 (In Russian).
7. Molotkov P. I., Patlai I. N., Davydova N. I. *Selektsiya lesnykh porod* [Selection of forest species]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 224 p. (In Russian).
8. Novikova T. N., Zhamyansuren S. Scotch Pine Seed Quality Variability near Southern Limits of its Spread in Siberia and Mongolia. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [The Bulletin of KrasGAU], 2012, no. 4, pp. 102–107 (In Russian).
9. Castro J., Hódar J. A., Gómez J. M. Seed Size. Ch. 14. *Handbook of Seed Science and Technology*. New York, Haworth Press, 2006, pp. 397–428.
10. Fober H. Relation between Climatic Factors and Scots Pine (*Pinus silvestris*) Cone Crops in Poland. *Arboretum Kórnickie*, 1976, vol. 21, pp. 367–374.
11. Sarvas R. Investigations of the Flowering and Seed Crop of *Pinus silvestris*. *Metsatieteellisen tutkimuslaitoksen julkaisuja*, 1962, vol. 53, no. 4, p. 198.
12. Yakovlev I., Fossdal C. G., Skrøppa T., Olsen J. E., Jahren A. H., Johnsen O. An Adaptive Epigenetic Memory in Conifers with Important Implications for Seed Production. *Seed Science Research*, 2012, vol. 22, no. 2, pp. 63–76. DOI: 10.1017/ S0960258511000535.
13. Petrishchev E. P. Relationship investigation of biometric parameters of juvenile Scots pine seedlings from conditioned seeds in assessing the reforestation results. *Lesotekhnicheskiiy zhurnal* [Forestry engineering journal], 2021, vol. 11, no. 4 (44), pp. 161–169. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.4/14 (In Russian).
14. Besschetnov V. P., Besschetnova N. N. Breeding assessment of plus trees of Scots pine using multivariate analysis methods. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2012, no. 2, pp. 58–74 (In Russian).
15. Besschetnov V. P., Besschetnova N. N. Multidimensional assessment of plus trees of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) based on morphological parameters of seeds. *Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik* [Bulletin of MSFU – Forestry Bulletin], 2013, no. 3 (95), pp. 11–17 (In Russian).
16. Besschetnova N. N. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Reproductivnyy potentsial plusovykh derev'yev* [Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Reproductive Potential of Plus Trees]. Nizhniy Novgorod, NSAA Publ., 2015. 586 p. (In Russian).
17. Novikov A. I. The influence of sorting Scots pine seeds by color and size on their soil germination in containers. *Khvoynnye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2019, vol. 37, no. 5, pp. 313–319 (In Russian).
18. GOST 13056.6–97. Seeds of trees and shrubs. Rules for sampling and methods for determining the sowing qualities of seeds. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1998. 29 p. (In Russian).
19. GOST 14161–86. Seeds of coniferous trees. Sowing qualities. Specifications. Moscow, Gosudarstvennyy Komitet po standartam Publ., Izdatel'stvo standartov Publ., 1986. 9 p. (In Russian).
20. International rules for seed testing. Bassersdorf, The International Seed Testing Association (ISTA), 2003. 24 p.
21. GOST 13056.3–86. Seeds of trees and shrubs. Methods for determining humidity. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1988. 15 p. (In Russian).
22. Mamaev S. A. *Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy (na primere semeystva Pinaceae na Urale)* [Forms of Intraspecific Variability of Woody Plants (On the Example of the Pinaceae Family in the Urals)]. Moscow, Nauka Publ., 1972. 284 p. (In Russian).

Информация об авторах

Рибко Сергей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: rebko@belstu.by

Новиков Артур Игоревич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры древесиноведения. Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова (394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8, Российская Федерация). E-mail: arthur.novikov@vglta.vrn.ru

Новикова Татьяна Петровна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерных технологий и микроэлектронной инженерии. Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова (394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8, Российская Федерация). E-mail: novikova_tp.vglta@mail.ru

Петрищев Евгений Петрович – аспирант кафедры древесиноведения. Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова (394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8, Российская Федерация). E-mail: petrishchev.vgltu@mail.ru

Information about the authors

Rabko Siarhei Uladzimiravich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rebko@belstu.by

Novikov Arthur Igorevich – DSc (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Wood Science. Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (8, Timiryazeva str., 394087, Voronezh, Russian Federation). E-mail: arthur.novikov@vglta.vrn.ru

Novikova Tatyana Petrovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Computer Technology and Microelectronic Engineering. Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (8, Timiryazeva str., 394087, Voronezh, Russian Federation). E-mail: novikova_tp.vglta@mail.ru

Petrishchev Evgeniy Petrovich – PhD Student of the Department of Wood Science. Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (8, Timiryazeva str., 394087, Voronezh, Russian Federation). E-mail: petrishchev.vgltu@mail.ru

Поступила 15.10.2023