

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.3/5>


УДК 630 : 582.632.2



Генеративное размножение *Picea pungens* Engelm. в урбосреде Воронежа: анализ лабораторной всхожести от стратификации семян

Светлана И. Дегтярева¹ ✉ degtjarewa-lana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3825-1158>

Валентина Д. Дорофеева¹, ekzo40@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3624-6304>

Валентина Ф. Шипилова², lesopark.vrn@yandex.ru  <https://orcid.org/0009-0004-2069-1638>

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

²ФГБУ «ВНИИЛГИСБиотех», ул. Ломоносова, 105, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация

Ель колючая (*Picea pungens* Engelm.) имеет широкие перспективы и высокий экологический потенциал для разработки концептуальных основ градостроительства Воронежа. В своей экспериментальной работе мы исследовали показатели всхожести семян в зависимости от предпосевной обработки. Приняли решение апробировать стратификацию шишек с семенами в двух вариантах: классическая методика «снегования» и естественной стратификация (сбор шишек с деревьев в конце марта). Количество экземпляров *Picea pungens* Engelm., с которых осуществлялся сбор шишек, – 15, возраст деревьев – 60 лет, количество шишек – 50, количество вышелущенных семян – 4000 штук, на проращивание использовали 600 (по 300 штук весеннего и осеннего сбора). Очень весомый коэффициент вариации ($r=0,99$) проявился в определенные и ожидаемые дни эксперимента. Коэффициент детерминации незначительно варьирует от $R^2=0,94$ (светлоокрашенные семена) и $R^2=0,97$ (темноокрашенные семена) в партии семян осеннего сбора до $R^2=0,98$ (темноокрашенные семена) и $R^2=0,99$ (светлоокрашенные) в партии семян весеннего сбора, при значении $p \leq 0,05$. Стандартное отклонение у семян осеннего сбора уменьшается до 18,7 % с увеличением дня проращивания. У семян из осенних шишек зафиксирован низкий процентный показатель изменчивости всхожести ($V=39,6$ %). Изменчивость всхожести между темноокрашенными и светлоокрашенными партиями семян разного по времени сбора незначительна $V=54,4$ % и $V=56,5$ % соответственно.

Ключевые слова: ель колючая, *Picea pungens* Engelm., интродуцент, генеративное размножение, всхожесть семян, энергия прорастания

Финансирование: данное исследование не получало внешнего финансирования.

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

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дегтярева, С. И. Генеративное размножение *Picea pungens* Engelm. в урбосреде Воронежа: анализ лабораторной всхожести от стратификации семян / С. И. Дегтярева, В. Д. Дорофеева, В. Ф. Шипилова // Лесотехнический журнал. – 2024 – Т. 14. – № 3 (55). – С. 75–88. – Библиогр.: с. 85–88 (20 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.3/5>.

Поступила: 17.06.2024. **Пересмотрена** 02.07.2024 **Принята:** 03.07.2024. **Опубликована онлайн:** 11.11.2024

Article

Generative reproduction of *Picea pungens* Engelm. in the Voronezh urban environment: laboratory germination analysis from seed stratification

Svetlana I. Degtyareva¹✉, degtjarewa-lana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3825-1158>

Valentina D. Dorofeeva¹, ekzo40@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3624-6304>

Valentina F. Shipilova², lesopark.vrn@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0004-2069-1638>

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

²All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, Lomonosova street, 105, Voronezh, 394087, Russian Federation

Abstract

The prickly spruce (*Picea pungens* Engelm.) has broad prospects and high environmental potential for developing the conceptual foundations of Voronezh urban planning. In our experimental work, we investigated the germination rates of seeds depending on the pre-sowing treatment. We decided to test the stratification of cones with seeds in two versions: the classic method of "snowing" and natural stratification (collecting cones from trees at the end of March). The number of specimens of *Picea pungens* Engelm. from which cones were collected was 15, the age of the trees was 60 years, the number of cones was 50, the number of exfoliated seeds was 4000 pieces, 600 were used for germination (300 pieces each of spring and autumn harvest). A very significant coefficient of variation ($r=0.99$) appeared on certain and expected days of the experiments. The coefficient of determination varies slightly from $R^2=0.94$ (light-colored seeds) and $R^2=0.97$ (dark-colored seeds) in the batch of autumn seeds to $R^2=0.98$ (dark-colored seeds) and $R^2=0.99$ (light-colored) in the batch of spring seeds, with a value of $p \leq 0.05$. The standard deviation of autumn harvest seeds decreases to 18.7% with increasing germination day. Seeds from autumn cones have a low percentage of germination variability ($V=39.6\%$). The variability of germination between dark-colored and light-colored batches of seeds of different harvest times is insignificant $V=54.4\%$ and $V=56.5\%$, respectively.

Keywords: prickly spruce, *Picea pungens* Engelm., introducer, generative reproduction, seed germination, germination energy

Funding: this research received no external funding. Acknowledgments: author thank the reviewers for their contribution to the peer review.

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

For citation: Degtyareva S. I., Dorofeeva V. D., Shipilova V. F. (2024). Generative reproduction of *Picea pungens* Engelm. in the Voronezh urban environment: laboratory germination analysis from seed stratification // Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry Engineering journal]. Vol. 14, No. 3 (55), pp. 75-88 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.3/5>.

Received: 17.06.2024 **Revised:** 02.07.2024 **Accepted:** 03.07.2024. **Published online:** 11.11.2024

Введение

Вопросы биоразнообразия, роста и развития, размножения, эколого-биологических характери-

стик, устойчивости древесно-кустарниковых растений в крупных городах всегда актуален как в России, так и зарубежных странах, как отмечают О.С. Залывская и Н.А. Бабич (2020) [1], также Taher

Abdulai и др. (2023) [2]. Эколого-биологическая устойчивость и высокие эстетические качества являются показателями адаптации и способности полноценно выполнять свои функции.

Сочетанная посадка деревьев и кустарников видов местной флоры и видов различных природных зон (инорайонные виды) в мегаполисах обеспечивает широкий спектр экологических, экономических, социальных преимуществ, а также пополняет и сохраняет биоразнообразие в большинстве высокоурбанизированных регионах, это как раз и фиксируют Е. В. Авдеева, А. А. Извеков (2021, 2021) [3, 4], Marko Spasic и др. (2023) [5].

На основе сравнительного изучения показателей роста, развития, физиологического состояния, устойчивости как к высокому уровню загрязняющих веществ, так и к большим колебаниям температуры, особенностей размножения составляются списки растений. Особое положение в таких списках занимают хвойные растения, которые помимо вышеописанных требований и характеристик ещё и долговечны по потенциам развития, улучшают микроклимат, повышают декоративность особенно в зимний период. Но, эколого-биологическая стратегия видов развивается разными сценариями.

Zdeněk Vacek и др. (2021, 2023) [6, 7], Fangqun Ouyang и др. (2023) [8] видят преимущества наиболее «подходящих» интродуцированных пород деревьев к примеру, *Pinus nigra* Arnold., *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. в высоком адаптационном потенциале к изменению климата и смягчению его последствий. И, наоборот, Л. А. Семкина (2021) [9] фиксирует, что *Pinus rotundata* Link., *P. strobus* L., *P. ponderosa* Douglas ex Lawson & C. Lawson, *Picea pungens* Engelm. и *P. abies* (L.) N. Karst очень чувствительны к резко изменяющимся климатическим факторам (микроклимата региона, и мирового климата в целом), особенно к недостатку осадков в вегетационный период при синергизме высокой температуры. В данный момент времени накоплен большой багаж знаний о научном обосновании и эффективности использования вечнозеленых растений в качестве тест-систем для оценки безопасности окружающей среды от приоритетных загрязнителей города, что и прослеживается в исследованиях С.В. Скупневского и др. [10].

Г.А. Демиденко (2019) [11], Е.Р. Федорчак и др. (2023) [12], С.З. Бабина и др. (2023) [13] в своих работах свидетельствуют о хорологической последовательности вовлечения *Picea pungens* Engelm. в ландшафтный дизайн городов и областей РФ для разработки концептуальных основ градостроительства от Центральной Сибири (тип природной зоны – лесотундра, тайга) через Урал (лесотундра, тайга, лесостепь), далее Воронежской области (лесостепь, степь). И. Коршиков (2021) отметил ареал расширения ареала далее на юг до Днепропетровской области [14].

Мы уже ранее обосновывали перспективность использования ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) в г. Воронеже (Дегтярева и др., 2023 г) [15]. Открытым остаётся вопрос о репродуктивном потенциале *P. pungens* Engelm., ведь когда вид приспособился к новым условиям и начал активно «плодоносить», только в данном случае интродукция считается успешной. В дальнейшем качество семян определяет жизнеспособность получаемого посадочного материала.

Хвойные растения, в том числе и ель колючую размножают всевозможными способами: семенами, черенками, клонированием, при этом используют фитогормоны, стимуляторы и регуляторы роста, как отмечают Д. Сапронова и др. (2020) [16]. Если рассматривать зарубежную научную информацию о возможных способах размножения *Picea pungens* Engelm. с целью получения «местных» семян и саженцев, то мы их можно аккумулировать в два основных, и оба они являются разновидностью вегетативного.

В работах Xi Cao и др. (2022) [17], Tao Jing и др. (2021) [18] соматический эмбриогенез предлагают использовать как один из оптимальных способов размножения, который в сочетании с технологиями криоконсервирования может стать вполне приемлемой альтернативой. Да, конечно, данный способ для *Picea pungens* Engelm. не является новаторским, но его практическое применение всегда, как предупреждают В.В. Красноперова, И.Л. Бухарина (2020) [19], будет ограничено из-за низкой эффективности инициации и созревания зрелых соматических эмбрионов, а также отсутствия эффективной технологии криоконсервирования. И, конечно, мало

убедительны эксперименты по преодолению ограничений путем модификации питательных сред.

Целью использования ещё одного способа – *in vitro* является совершенствование технологии вегетативного размножения путём подбора оптимальных сред для стерилизации эксплантатов вегетативных частей растений и использования регуляторов роста для получения каллуса и стимуляции корнеобразования растений из пробирки. Но, данный способ является достаточно экономически затратным и имеются явные претензии к качеству семян, впоследствии к морфометрическим параметрам саженцев (эстетическое восприятие для горожан всегда будет на первом месте) и их последующей устойчивости к факторам среды.

Но самым распространенным способом в России остаётся – размножение семенами, как наиболее экономически выгодный.

Дело в том, что при семенном размножении часто используют метод прямого посева интродуцентов. считают, что семена, полученные таким образом, имеют тенденцию демонстрировать высокую степень адаптации к условиям среды и имеют хорошо развитую корневую систему.

Отсутствие «местных» региональных семян, конкретных и гарантированных методов семенного размножения *P. pungens* Engelm., которые могут поддерживать генетическую точность и способствовать распространению семян и саженцев в больших масштабах, препятствует дальнейшему распространению вида в Центрально-Чернозёмном регионе (ЦЧР) и Средней полосе России в целом.

Получение семян с деревьев в парках, скверах, ботанических садах, дендрарии, лесопарковом участке, располагающих непосредственно на территории г.Воронежа, мы полагаем возможным.

В данном аспекте, вышеперечисленные территории представляют собой ключевой компонент городских экосистем в зелёном градостроительстве. Также являются и платформой для более детального и всестороннего изучения природных и антропогенных факторов, так как они все действуют перманентно и одновременно.

Самыми значимыми по систематической, географической и биогеоценотической представленно-

сти древесно-кустарниковой флоры г. Воронежа являются дендрарий ФГБОУ ВО ВГЛТУ Г.Ф. Морозова (далее дендрарий) и питомник ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии» (питомник). Научная ценность насаждений обозначенных территорий заключается в использовании уникального сочетания хвойных и лиственных пород.

Видовой состав дендрария представлен 224 видами: 57 видов и форм хвойных от общего количества, из которых 35 растений относятся к семейству Pinaceae, где одна треть (12 видов) заключена в роде *Picea*.

Древесно-кустарниковая флора питомника также обширна. Пропорции систематических единиц практически идентичны дендрарию: всего 219 видов. Хвойных видов и форм примерно столько же – 60, из этого количества 25 видов относятся к сем. *Pinaceae*, р. *Picea* насчитывает 11 видов.

Комплексных исследований по семенному размножению ели колючей немного, по ЦЧР вовсе отсутствуют. Данные об использовании методов подготовки семян к посеву разрозненны, сведения о динамике всхожести семян в исследованиях фрагментарны.

Нами было принято решение о проведении исследования по выявлению генеративных характеристик особей ели колючей, произрастающих на вышеуказанных территориях.

Цель работы – анализ изменения всхожести семян *Picea pungens* Engelm. в зависимости от предпосевной обработки.

Материалы и методы

Предмет и объект исследований

Предмет исследования – экземпляры ели колючей (*Picea pungens* Engelm.), семейства Сосновые (*Pinaceae*) в стадии семеношения и произрастающих в дендрарии и питомнике на территории г. Воронежа.

Объект исследования – показатели всхожести семян *Picea pungens* Engelm.

Дизайн исследования

Во временных промежутках с 2023 г. по 2024 г. исследовали особенности проращивания семян с целью выявления особенностей генеративного размножения *Picea pungens* Engelm.

В процессе подготовки к проведению эксперимента по семенному размножению ели мы углубились в вопросы: сроки и особенности режима хранения, различные способы предпосевной обработки семян; оптимальных сроков посева, подбор грунта. С учётом некоторых модификаций мы предлагаем свою методику исследования.

По первому вопросу (сроки и особенности режима хранения) мы опирались на узкоспециализированную экспериментальную информацию. Е.Г. Худоногова и М.А. Тяпаева (2020) [20] прямо указывают, что семена сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour), с. корейской (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.) и кедрового стланника (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) до предпосевной подготовки хранят при влажности 12-16 % в сухих складах в ящиках, закромах или мешках не более 1 года; семена сосны корейской могут храниться до 3 лет; семена *Picea obovata* Ledeb., *Picea pungens* Engelm., *Pinus sylvestris* L. сохраняют всхожесть в течение 4-5 лет. В тоже время имеются совершенно противоположные сведения о том, что срок хранения семян не сильно влияет на количественный процент всхожести.

Важным аспектом при семенном размножении являются знания о предпосевной обработке семян. Все древесные породы по потребности в подготовке семян можно разделить на две группы: первая – семена имеют длительный семенной покой разной продолжительности и при весеннем посеве не дают всходов без специальной подготовки; вторая – семена имеют вынужденный семенной покой и при посеве весной дают всходы.

Семена видов р. ель относят ко второй группе, но изучив всестороннюю информацию о подготовке семян к посеву, мы уяснили, что работа ведётся в трёх направлениях, из которых первое – семена растений выдерживают при пониженных температурах (метод «снегования»). Второе направление диаметрально противоположное – семена подвергают солнечному обогреву, и даже световым импульсам и др. и, наконец, третье – семена зама-

чивают в растворах микроэлементов, удобрений, ростовых веществ и гербицидов¹ (Новосельцева А.И., Смирнов Н.А., 1983).

Самые популярные из трёх вышеперечисленных – это стратификация и, как частный метод – замачивание. Указанные приёмы подготовки семян в первую очередь ориентированы на уменьшение периода покоя в результате создания особых условий, и на выходе получаем – ускоренное созревание зародышей и повышение биохимической и физиологической активности семян.

Действительно, замачивание семян заметно повышает их всхожесть, это мы знаем и используем на своих приусадебных участках. Семена помещаем в воду (+30 °C) и выдерживаем от 1-2 до 3-4 суток до их полного насыщения и «наклёвывания».

В научных кругах существует две группы диаметрально противоположных точек зрения на предпосевную обработку семян, особенно в виде стратификации.

Первая незначительная группа мнений – стратификация не является обязательной и вообще её применяют для нарушения мелкого покоя семян и предлагают лишь кратковременное охлаждение в течение нескольких часов.

Согласно второй точки – для ускорения прорастания и увеличения процента всхожести должна быть в обязательном порядке проведена стратификация семян и, причём, разными способами для разных видов растений.

Также, при семенном способе воспроизводства хвойников настоятельно рекомендуют использовать разные способы дезинфекции семян, а для последующего ускорения вегетации рекомендуют различные фитогормоны, стимуляторы и регуляторы роста.

В своей экспериментальной работе мы решили апробировать стратификацию шишек с семенами в двух вариантах.

Первый вариант заключается в сборе шишек осенью 2023 г. и помещением их в снеговую яму (классическая методика «снегования»), затем высеивали семена, которые мы условно назвали семенами (партиями семян) осеннего сбора.

¹Новосельцева А.И., Смирнов Н.А. Справочник по лесным питомникам. – Москва: Лесная промышленность, 1983. - С.280.

Суть второго варианта – оставили шишки висеть до весны и осуществили сбор шишек в конце марта 2024 г., тем самым подвергая семена так называемой естественной стратификации, в итоге данные семена именовали семена (партиями семян) весеннего сбора. Под естественной стратификацией мы понимаем воздействие на семена всего комплекса зимних погодных условий – морозы, перепад положительных и отрицательных температур, наличие снега, изменение влажности воздуха.

С целью облегчения набухания и облегчения прорастания семян использовали только замачивание в чистой воде.

Осенью 2023 г. мы собрали 50 шишек со взрослых деревьев возрастом 60 лет. Количество экземпляров *Picea pungens* Engelm., с которых осуществлялся сбор шишек – 15. Шишки сложили в снеговую яму, затем весной переместили на хранение в тёплое сухое место до полного их раскрытия, затем высыпали и посчитали семена – 2745.

«Ноу-хау» нашего эксперимента заключается в следующем – ещё 50 шишек мы собирали в питомнике и дендрарии с этих же деревьев весной 2024 г., как только начал таять снеговой покров, т.е. тем самым подвергая семена естественной природной стратификации. Количество семян составило гораздо ниже – 1246. Конечно же, семена во время резкой смены температуры и резкого превышения количества осадков в виде снега зимы 2023-2024 г.г. высыпались, допускаем склёвывания семян птицами.

Таким образом, всего при постановке эксперимента количество шишек насчитывает 100, количество вышелушенных семян – 4000 штук, на проращивание использовали 600 (по 300 штук весеннего и осеннего сбора). В конечном итоге в опыте было 6 повторностей (проб). Извлечение семян из шишек проводилось вручную.

Обратили внимание, что и в весеннем и осеннем сборах одни семена имели более тёмную, другие более светлую окраску (мы их также условно назвали тёмноокрашенные и светлоокрашенные сменами или партиями семян).

Хранение семян производилось в лаборатории кафедры ботаники и физиологии растений ФГБОУ ВО ВГЛТУ при температуре в пределах

+22-25⁰С при низкой влажности в бумажных конвертах.

Определяли массу полученных семян после обескрыливания и средний выход семян по ГОСТ-13056.6.

Масса 1 тысячи семян примерно от 4,5±0,05 до 5,8±0,05 грамм вне зависимости времени сбора, в естественном ареале произрастания масса семян особей составляет 4-5 грамм.

С целью исследования посевных качеств полученных семян мы использовали метод определения всхожести семян по ГОСТ-13056.6. Учёт энергии прорастания осуществляли на 3 (начало прорастания, но, обычно исследователи пропускают этот день), 7, 10 дни. Учёт всхожести семян проводили на 15 день проращивания (таблица 1), а не 20 день, как это предусматривает ГОСТ-13056.7, т.к. в сроки 16-20 дни увеличение количества проращенных семян не фиксировалось вообще.

Для изучения энергии прорастания и учёта всхожести семян мы отобрали визуально по 300 штук семян так называемого весеннего и осеннего сбора, т.е. на проращивание закладывали по 100 штук семян в трёх повторностях.

Далее, все семена мы подвергли замачиванию на 3 суток, температура воды +20⁰ С. Стимуляторов для прорастания семян не использовали. Семян, зараженных грибком, выявлено не было, в связи с этим фунгициды также не применялись. Загнившие семена не зафиксированы.

Семена размещали в чашках Петри на фильтровальной бумаге при комнатной температуре (дата начала эксперимента 04.04.2024 г.). Время наблюдения за проращиванием семян составило 15 дней. Увлажнение опытных образцов производился своевременно.

В лесном хозяйстве к деревьям, с которых получают семена, предъявляют ГОСТ 14161 (первый класс семян – всхожесть 85 % и выше, ко второму в пределах от 75 до 85 %, третий – от 60 до 75 %, некондиционные – 60 % и менее). Класс качества проросших семян мы посчитали нецелесообразным определять. Объясняем почему. В вопросах, решающих задачи озеленения городов требования к характеристике маточников, приобретают в основном описательный характер, ведь главные задачи – это

декоративность и эстетическое восприятие посадочного материала. И второе: сбор семян мы осуществляли с единичных экземпляров, а не в лесном массиве.

Что касается вопроса состава грунта, то здесь для исследователей как правило всё предельно ясно. Часто используемый состав: перегной или торф (10 л), песок и опилки (по 0,5), в редких случаях вместо опилок используется хвоя лиственницы.

Мы предлагаем неоднократно апробированный нами состав грунта: 1 часть сосновых старых опилок (чтобы не допустить запредельного понижения кислотности), 3 части торфа, 1 часть песка.

Восемнадцатого апреля 2024 г. выбрали участок открытого грунта под посев, защищенный от прямых попаданий солнечных лучей. Почву тщательно рыхлили, и сверху засыпали описанным выше составом грунта. Проросшие семена равномерно разложили по поверхности подготовленного участка и присыпали землёй. Первые всходы стали появляться через 2 недели. Полив осуществляли регулярно по мере подсыхания почвы, появляющиеся сорняки удаляли принципиально. Имеются публикации согласно которым, сорняки не удаляют, а подрезают секатором чуть выше уровня сеянцев опасаясь случайного удаления проростков.

Анализ данных

Математическую обработку данных производили с применением стандартных статистических характеристик, используя программу Microsoft Excel, версия 13. По результатам проверки показателей прорастания применили метод парных корреляций (r), регрессионный анализ (коэффициент детерминации R^2), изменчивость всхожести (V), стандартное отклонение (sd) между партиями семян.

Результаты

Как правило, морфологической характеристике шишек и семян многие исследователи в своих работах уделяют значительное внимание. Мы, наоборот – всхожести семян.

Размеры шишек и семян ели колючей, произрастающих на территории дендрария и лесопаркового участка елей не имеют статистически достоверных различий и соответствуют характеристикам особей из природного ареала: шишки – 8,0 (8,5) × 2,5 (3,0) ± 0,04 см; семена длиной 0,3 ± 0,05 см.

Все свежезаготовленные семена разных сборов, как и следовало ожидать, по-разному проявили свои посевные качества.

Семена (партия семян) осеннего сбора наиболее ярко продемонстрировали потенции прорастания семян вообще и по партиям окраски конкретно. Из 300 семян (198 темноокрашенные, что составляет 66 % от общего количества и 102 светлоокрашенные – 34 %), к концу эксперимента проросло чуть больше половины – 169 семян (табл. 1, рис. 1).

На третий день (06.04.2024 г.) эксперимента мы наблюдали уже первые «наклёвывания» семян от 21 (тёмноокрашенные) до 27 штук (светлоокрашенные), энергия прорастания варьирует от 10,6 % до 26,5 % соответственно (табл. 2, рис. 2).

Наиболее интенсивная энергия прорастания выявлена на седьмой (дата 10 апреля) и десятый день (13 апреля).

На седьмой день: энергия прорастания светлоокрашенных семян почти в два раза выше – 34,3 %.

Десятый день эксперимента (13.04.2024 г.) также продемонстрировал в два раза выше энергию прорастания светлоокрашенных семян – 45,1 %.

Всхожесть семян согласно стандарту определяли на 15 день опыта. Разница между 2 партиями различно окрашенных семян коллосальна: практически все семена со светлой окраской проросли – 89,2 %, у темноокрашенных семян процент от исходного количества всего лишь – 39,4 %.

Количественные показатели прорастания семян

Table 1

Quantitative indicators of seed germination

Дата раскладки (день) семян в чашки Петри Date of placement (day) of seeds in Petri dishes	Количество проросших семян (среднее), штук Number of germinated seeds (average), pieces			
	Время сбора шишек и семян, осень 2023 г. The time of collecting cones and seeds, autumn 2023		Время сбора шишек и семян, весна 2024 г. The time of collection of cones and seeds, spring 2024	
	тёмно-окрашенные семена dark colored seeds	светлоокрашенные семена light colored seeds	тёмноокрашенные семена dark colored seeds	светлоокрашенные семена light colored seeds
4 апреля (1 день) April 4 (1 day)	-	-	-	-
5 апреля (2 день) April 5 (2 day)	-	-	-	-
6 апреля (3 день) April 6 (3 day)	21	27	11	14
7 апреля (4 день) April 7 (4 day)	25	29	12	16
8 апреля (5 день) April 8 (5 day)	27	32	18	19
9 апреля (6 день) April 9 (6 day)	32	34	22	23
10 апреля (7 день) April 10 (7 day)	36	35	26	27
11 апреля (8 день) April 11 (8 day)	36	37	29	30
12 апреля (9 день) April 12 (9 day)	40	44	32	34
13 апреля (10 день) April 13 (10 day)	44	46	36	38
14 апреля (11 день) April 14 (11 day)	49	57	38	40
15 апреля (12 день) April 15 (12 day)	69	79	43	42
16 апреля (13 день) April 16 (13 day)	74	87	45	45
17 апреля (14 день) April 17 (14 day)	78	91	48	52
18 апреля (15 день) April 18 (15 day)	78	91	48	52

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

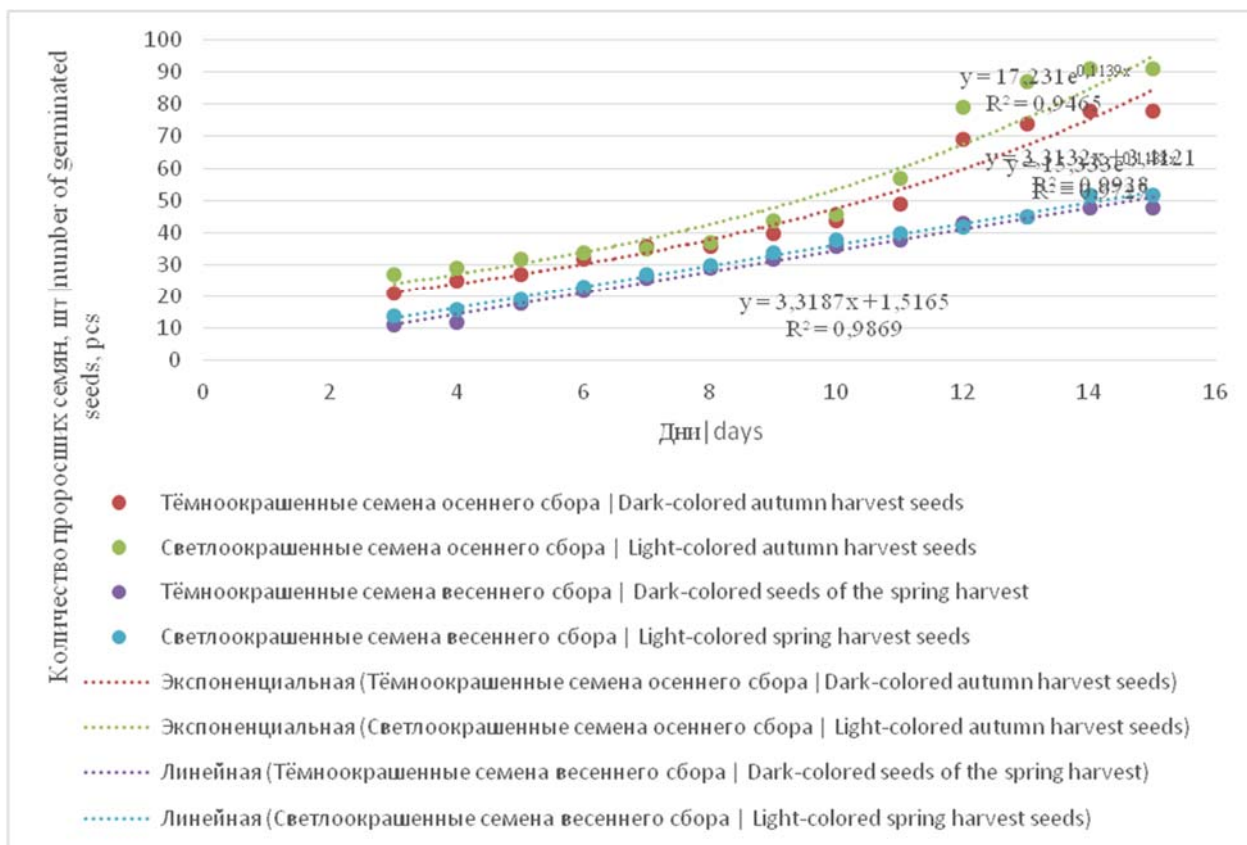


Рисунок 1. Абсолютная всхожесть семян

Figure 1. Absolute seed germination

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

Таблица 2

Взаимосвязь относительной всхожести семян от сроков проращивания

Table 2

The relationship between the relative germination of seeds and the timing of germination

День эксперимента The day of the experiment	Относительная всхожесть семян, % (время сбора шишек и семян, осень 2023 г.) Relative germination of seeds, % (the time of collecting cones and seeds, autumn 2023)		Относительная всхожесть семян, % (время сбора шишек и семян, весна 2024 г.) Relative germination of seeds, % (the time of collecting cones and seeds, spring 2024)	
	тёмноокрашенные семена dark colored seeds	светлоокрашенные семена light colored seeds	тёмноокрашенные семена dark colored seeds	светлоокрашенные семена light colored seeds
3	10,6	26,5	5,6	13,8
7	18,2	34,3	13,1	26,5
10	22,0	45,1	18,2	35,3
15	39,4	89,2	47,1	51,0

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

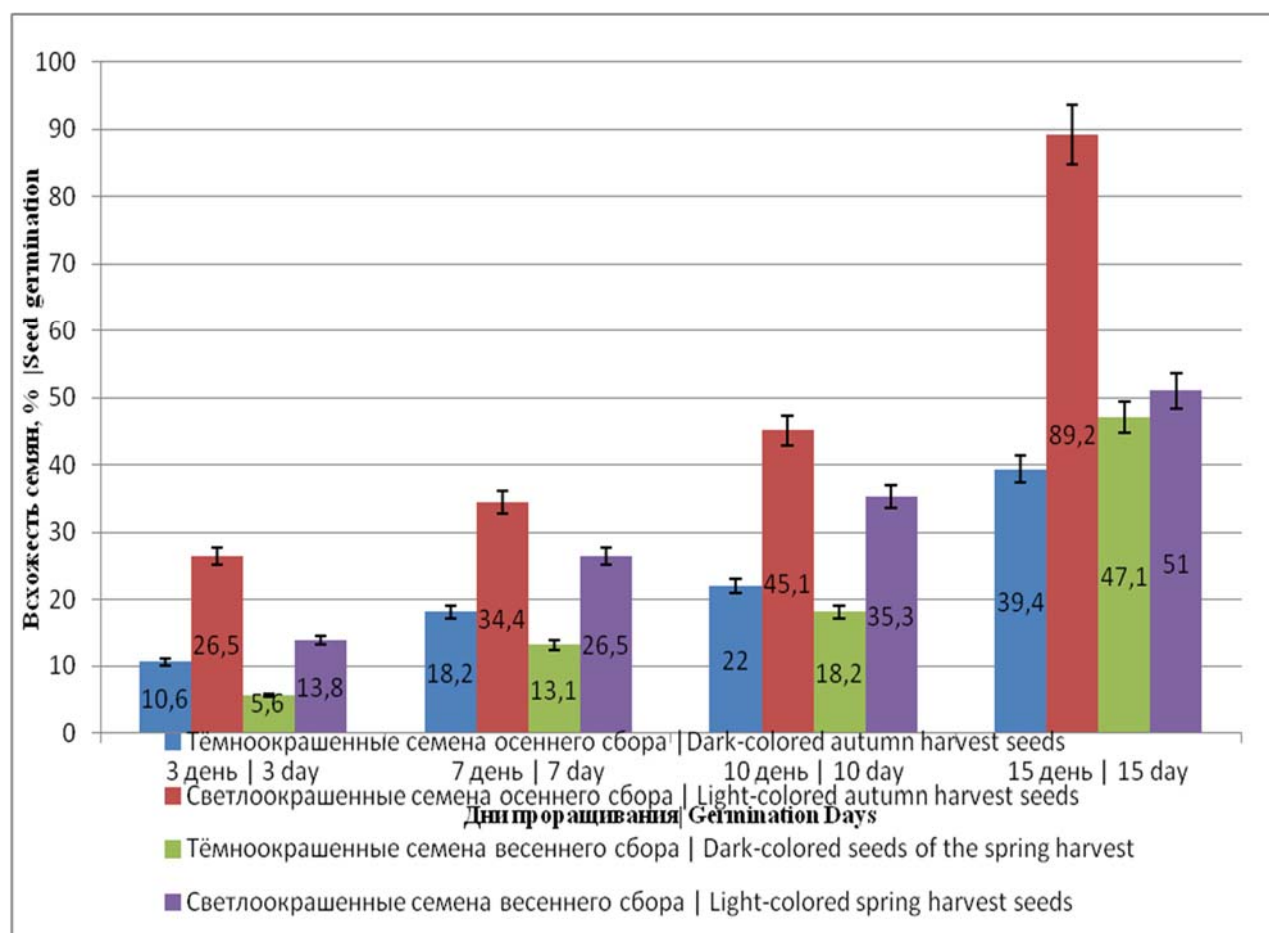


Рисунок 2. Средняя всхожесть семян по партиям сбора и окраски

Figure 1. Germination of seeds according to the batch of collection and coloring

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

Обсуждение

Выявлены высокие значения корреляции (r) между всхожестью семян и определенными днями проращивания: между 7 и 10, 10 и 15, 3 и 15 днями эксперимента (r=0,99), несколько ниже, но также значительная связь отмечена на 3 и 7 дни проращивания (r=0,96).

По семенам (партия семян) весеннего сбора (естественная природная стратификация) зафиксировали следующие показатели. Мы также отобрали 300 семян, с точно таким же количественным соотношением по окраске. Количественный выход проращивания – ровно треть от исходного – 100 семян.

Энергия прорастания тёмноокрашенной партии семян находится в диапазоне от 5,6 % (3 день) до 13,1 % (7 день) и 18,2 % (10 день). Энергия прорастания светлоокрашенной партии семян чётко в

два раза выше от тёмноокрашенной партии по каждому из трёх дней: от 3 дня (13,8 %) и 7 – 26,5 % до 10 дня – 35,3 %. Но, в итоге всхожесть семян (15 день опыта) оказалась практически такой же – 51 %.

Также выявлена высокая корреляционная связь у семян весеннего сбора по определенным дням: между 10 и 15, 7 и 10 (в обоих случаях r=0,99), и 3 и 10 (r=0,97).

Заслуживает внимание данные корреляционного анализа между светлоокрашенными и тёмноокрашенными вне зависимости от времени сбора. Коэффициент корреляции в партии светлоокрашенных семян очень высокий и находится в диапазоне от r=0,95 (3 и 10 день проращивания) до r=0,99 (7 и 10 дни; 3 и 15 дни). Диапазон коэффициента корреляции в партии тёмноокрашенных семян меняется

значительно от $r=0,59$ (3 и 15 дни) и $r=0,76$ (7 и 15 дни) до $r=0,98$ (7 и 10 дни).

По результатам опыта мы видим, что абсолютное количество проросших семян вне зависимости от времени сбора и окраски повышается с увеличением дней проращивания. Однако стандартное отклонение у семян осеннего сбора падает до 18,7 % с увеличением дня проращивания, логично будет предположить различие по всхожести. Данный показатель у семян весеннего сбора составляет 24,1 %.

И, наоборот, стандартное отклонение между партиями одинаково окрашенных семян, но разного сбора мало изменяется от 20,4 % (тёмноокрашенные партии) до 23,3 % (светлоокрашенные партии).

Изменчивость всхожести мы проанализировали за весь промежуток времени эксперимента. У семян осеннего сбора показатель почти в два раза ниже ($V=39,6$ %), это в перспективе будет давать успешное прорастание сеянцев, выросших от данных семян. И, ожидаемо, что изменчивость очень высокая у семян весеннего сбора ($V=76$ %). Изменчивость всхожести между тёмноокрашенными и светлоокрашенными партиями семян разного по времени сбора незначительна $V=54,4$ % и $V=56,5$ % соответственно.

Абсолютная всхожесть семян описывается эмпирической зависимостью (рис. 2.). Коэффициент детерминации незначительно варьирует от $R^2=0,94$ (светлоокрашенные семена) и $R^2=0,97$ (тёмноокрашенные семена) в партии семян осеннего сбора до $R^2=0,98$ (тёмноокрашенные семена) и $R^2=0,99$ (светлоокрашенные) в партии семян весеннего сбора, при значении $p \leq 0,05$.

Заключение

Наш научный эксперимент был направлен на решение методических вопросов получения поса-

дочного материала из семян успешно интродуцированных особей *Picea pungens* Engelm. на основе изучения их репродуктивной способности. Рассмотрены особенности семенного размножения представителей ели колючей на основе применения метода стратификации (два варианта: классическая методика «снегования» и естественная) и замачивания семян. Была апробирована методика анализа всхожести семян, которая в дальнейшем послужит для выращивания стандартного посадочного материала за один вегетационный период.

Выявлены качественные и количественные параметры семян по энергии прорастания и показателям всхожести. Количество проросших семян вне зависимости от времени сбора (осень, весна) и окраски (тёмно- и светлоокрашенные) повышается с увеличением дней проращивания. Наиболее интенсивная энергия прорастания выявлена на седьмой (дата 10 апреля) и десятый день (13 апреля). Энергия прорастания светлоокрашенной партии семян чётко в два раза выше от тёмноокрашенной партии по каждому из трёх дней.

Однако, всхожесть семян у разных партий проявилась по-разному. К концу эксперимента семена ели осеннего сбора проявили высокие показатели абсолютной всхожести (из 300 семян проросло чуть больше половины – 169). Разница между двумя партиями различно окрашенных семян также колоссальна: практически все семена со светлой окраской проросли – 89,2 %, у тёмноокрашенных семян процент от исходного количества всего лишь – 39,4 %.

Энергия прорастания светлоокрашенной партии семян весеннего сбора чётко в два раза выше от тёмноокрашенной партии по каждому из трёх дней: от 3 дня (13,8 %) до 10 дня – 35,3 %. Но, в итоге всхожесть семян (15 день опыта) оказалась практически одинаковой – 51 %.

Список литературы

1. Zalivskaya O.S., Babich N.A. Assessment of decorative plantings. *Lesnoy Zhurnal (Forestry Journal)*. 2020; 6: 98-110. DOI: // <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-6-98-110>.
2. Taher Abdulai Alttaher Ateya, Oguzhan Yavuz Bayraktar, Ismail Koc. Do *Picea pungens* engelm. organs be a suitable biomonitor of urban atmosphere pollution? *Cerne*. 2023; 29. DOI: <https://doi.org/10.1590/01047760202329013228>.
3. Авдеева, Е.В., Извеков, А.А. Исследование степени поврежденности ели сибирской и колючей в зависимости от градорастительных условий произрастания / Е.В. Авдеева, А.А. Извеков //

Хвойные бореальной зоны. – 2020. – Т. 38. – № 5-6. – С. 215-224. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46188808>.

4. Авдеева, Е.В., Извеков, А.А. Рост ели сибирской и ели колючей в условиях города Красноярска / Е.В. Авдеева, А.А. Извеков // Хвойные бореальной зоны. – 2021. – Т. 39. – № 5. – С. 335–343. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48036139>.

5. Spasic M., Oldrich V., Vejvodova K. et al. Which trees form the best soil? Reclaimed mine soil properties under 22 tree species: 50 years later – assessment of physical and chemical properties. *European Journal of Forest Research*. 2023; 143 (2): 561-579. DOI: // <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01637-x>.

6. Zdenek Vacek, Ales Zeidler, Jan Cukor et al. Sustainable biomass production of introduced spruce species plantations under climate change. *Trees*. 2023; 37 (6): 1781-1799. DOI: // <https://doi.org/10.1007/s00468-023-02460-y>.

7. Zdenek Vacek, Jan Cukor, Stanislav Vacek et al. Production potential, biodiversity and soil properties of forest reclamations: Opportunities or risk of introduced coniferous tree species under climate change? *European Journal of Forest Research*. 2021; 140 (5): 1243-1266. DOI: // <https://doi.org/10.1007/s10342-021-01392-x>.

8. Fangqun Ouyang, Meng Sun, Xia Cui et al. *Picea pungens* exhibits greatest tolerance to short-time thermal stress compared to *Picea abies*, and *Picea omorika*. *New Forests*. 2023 DOI: // <https://dx.doi.org/10.1007/s11056-023-10002-0>.

9. Semkina L.A. Growth and Productivity of Non-Indigenous Woody Species in the Middle Urals. *Lesnoy Zhurnal (Forestry Journal)*. 2021; 6:100-109. DOI: // <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-6-100-109>.

10. Эффективность использования вечнозеленых растений в качестве тест-объектов гигиенического мониторинга в промышленном городе / С. В. Скупневский, В. Н. Ракицкий, Т. А. Синицкая, И. А. Николаев, В. В. Цагаева // Гигиена и санитария. – 2020. – Выпуск 99 (7). – С. 669-673. DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-7-669-673>.

11. Виды растений для экологического озеленения городской территории в Центральной Сибири // Г. А. Демиденко, В.В. Келер, Н.В. Кригер, И.А. Шадрин, С. В. Хижняк // Серия конференций ИОР: Наука о земле и окружающей среде. – 2019. – Т. 5. – Вып. 5. – С. 52076. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/5/052076>.

12. Экологическая адаптация видов ели вдоль экологического градиента в городских районах / Е. Р. Федорчак, В.М. Савосько, О.О. Красова, И.О. Комарова, Е.О. Евтушенко // Серия конференций ИОР: Наука о земле и окружающей среде. – 2023. – Т. 1254. – Вып. 1. – С. 12114-12114. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012114>.

13. Бабина, С. З. Перспективы использования декоративных сортов ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) на Среднем Урале / С. З. Бабина, Т.Б. Сродных, З.Я. Нагимов // Леса России и хозяйство в них. 2023. – Вып. 2 (85). – С. 57-66. – DOI: <https://doi.org/10.51318/fret.2023.75.12.007>.

14. Коршиков, И. Хронология использования древесных растений в ландшафтном дизайне Кривого Рога / И. Коршиков // Журнал изучения местных и пришлых растений. – 2021. – Вып. 17. – С. 101-111. – DOI: <https://doi.org/10.37555/2707-3114.17.2021.248343>.

15. Морфо- и фенотипическая изменчивость *Picea pungens* Engelm.: Анализ пластичности вида в урбосреде Воронежа / Дегтярева С.И., Дорофеева В.Д., Еськов В.А., Красникова М.О., Олейникова Е.М., Торчик В.И. // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – № 1 (49). – С. 268-280. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.1/18>.

16. Особенности размножения хвойных растений в питомниках федерального исследовательского центра агроэкологии Российской академии наук / Д. Сапронова, А. Долгих, М.В. Цой, В.В. Сапронов // Всемирная экология. – 2020. – Т. 10. – Вып. 2. – С. 18-55. – DOI: <https://doi.org/10.25726/worldjournals.pro/wej.2020.2.2>.

17. Xi Cao, Fang Gao, Caiyun Qin et al. Optimizing Somatic Embryogenesis Initiation, Maturation and Preculturing for Cryopreservation in *Picea pungens*. *Forests*. 2022; 13 (12): 2097-2097. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13122097>.

18. Tao Jing , Chen Shigang , Qin Caiyun et al. *Somatic embryogenesis in mature zygotic embryos of Picea pungens*. Scientific reports. 2021; 11 (1): 19072. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98511-w>.
19. Красноперова, В. В. Изучение метода культивирования *in vitro* как метода вегетативного размножения хвойных деревьев / В. В. Красноперова, И. Л. Бухарина // Российские сельскохозяйственные науки. – 2020. – Т. 46. – С. 19-22. – DOI: <https://doi.org/10.3103/s1068367420010061>.
20. Худоногова, Е. Г. Лабораторное проращивание и хранение семян интродуцированных видов деревьев и кустарников / Е. Г. Худоногова, М. А. Тяпаева // Биология растений и садоводство: теория, инновации. – 2020. – N 155. – С. 71-80. – DOI: <https://doi.org/10.36305/2712-7788-2020-2-155-71-80>.

References

1. Zalivskaya O.S., Babich N.A. Assessment of decorative plantings. *Lesnoy Zhurnal (Forestry Journal)*. 2020; 6: 98-110. DOI: // <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-6-98-110>.
2. Taher Abdulai Alttaher Ateya, Oguzhan Yavuz Bayraktar, Ismail Koc. Do *Picea pungens* engelm. organs be a suitable biomonitor of urban atmosphere pollution? *Cerne*. 2023; 29. DOI: // <https://doi.org/10.1590/01047760202329013228>
3. Avdeeva, E.V., Izvekov, A.A. Issledovanie stepeni povrezhdenosti eli sibirskoj i kolyuchej v zavisimosti ot gradorastitel'nyh uslovij proizrastaniya. *Hvojnye boreal'noj zony*. – 2020. – Т. 38. – № 5-6. – S. 215-224. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46188808>.
4. Avdeeva, E.V., Izvekov, A.A. Rost eli sibirskoj i eli kolyuchej v usloviyah goroda Krasnoyarska. *Hvojnye boreal'noj zony*. – 2021. – Т. 39. – № 5. – S. 335–343. Rezhim dostupa: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48036139>.
5. Spasic M., Oldrich V., Vejvodova K. et al. Which trees form the best soil? Reclaimed mine soil properties under 22 tree species: 50 years later – assessment of physical and chemical properties. *European Journal of Forest Research*. 2023; 143 (2): 561-579. DOI: // <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01637-x>.
6. Zdenek Vacek, Ales Zeidler, Jan Cukor et al. Sustainable biomass production of introduced spruce species plantations under climate change. *Trees*. 2023; 37 (6): 1781-1799. DOI: // <https://doi.org/10.1007/s00468-023-02460-y>
7. Zdenek Vacek, Jan Cukor, Stanislav Vacek et al. Production potential, biodiversity and soil properties of forest reclamations: Opportunities or risk of introduced coniferous tree species under climate change? *European Journal of Forest Research*. 2021; 140 (5): 1243-1266. DOI: // <https://doi.org/10.1007/s10342-021-01392-x>.
8. Fangqun Ouyang, Meng Sun, Xia Cui et al. *Picea pungens* exhibits greatest tolerance to short-time thermal stress compared to *Picea abies*, and *Picea omorika*. *New Forests*. 2023 DOI: // <https://dx.doi.org/10.1007/s11056-023-10002-0>.
9. Semkina L.A. Growth and Productivity of Non-Indigenous Woody Species in the Middle Urals. *Lesnoy Zhurnal (Forestry Journal)*. 2021; 6:100-109. DOI: // <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-6-100-109>.
10. Skupnevskij, S.V., Rakickij, V.N., Sinickaya T.A., Nikolaev I.A., Cagaeva V. V. Effektivnost' ispol'zovaniya vечнозеленых растений в качестве test-ob"ektov gigenicheskogo monitoringa v promyshlennom gorode. *Gigiena i sanitariya*. – 2020. – Vypusk 99 (7). – S. 669-673. DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-7-669-673>.
11. Demidenko G.A., Keler V.V., Kriger N.V., Shadrin I.A., Hizhnyak S.V. Vidy rastenij dlya ekologicheskogo ozeleneniya gorodskoj territorii v Central'noj Sibiri. *IOP Conference series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 5. – Iss. 5. – S. 52076. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/5/052076>.
12. Fedorchak E.R., Savos'ko V.M., Krasova O.O., Komarova I.O., Evtushenko E.O. Ekologicheskaya adaptaciya vidov eli vdol' ekologicheskogo gradienta v gorodskih rajonah. *IOP Conference series: Earth and Environmental Science*. – 2023. – Т. 1254. – Vypusk 1. – S. 12114-12114. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012114>.
13. Babina S.Z, Srodnyh T.B., Nagimov Z.Ya. Perspektivy ispol'zovaniya dekorativnyh sortov eli kolyuchej (*Picea pungens* Engelm.) na Srednem Urale. *Les Rossii i hozyajstvo v nih*. 2023. – Vypusk 2 (85). – S. 57-66. DOI: <https://doi.org/10.51318/fret.2023.75.12.007>.

14. Korshikov I. Hronologiya ispol'zovaniya drevesnyh rastenij v landshaftnom dizajne Krivogo Roga. Zhurnal izucheniya mestnyh i prishlyh rastenij. – 2021. – Vypusk 17. – S. 101-111. DOI: <https://doi.org/10.37555/2707-3114.17.2021.248343>.
15. Degtyareva S.I., Dorofeeva V.D., Es'kov V.A., Krasnikova M.O., Olejnikova E.M., Torchik V.I. Morfo- i fenoizmenchivost' *Picea pungens* Engelm.: Analiz plastichnosti vida v urbosrede Voronezha. Lesotekhnicheskij zhurnal. – 2023. – T. 13. – № 1 (49). – S. 268-280. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.1/18>.
16. Sapronova D., Dolgih A., Coj M.V., Sapronov V.V. Osobennosti razmnozheniya hvojnnyh rastenij v pitomnikah federal'nogo issledovatel'skogo centra agroekologii Rossijskoj akademii nauk. Vsemirnaya ekologiya. – 2020. – T. 10. – Vypusk 2. – S. 18-55. DOI: <https://doi.org/10.25726/worldjournals.pro/wej.2020.2.2>
17. Xi Cao, Fang Gao, Caiyun Qin et al. Optimizing Somatic Embryogenesis Initiation, Maturation and Preculturing for Cryopreservation in *Picea pungens*. Forests. 2022; 13 (12): 2097-2097. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13122097>.
18. Tao Jing, Chen Shigang, Qin Caiyun et al. Somatic embryogenesis in mature zygotic embryos of *Picea pungens*. Scientific reports. 2021; 11 (1): 19072. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98511-w>.
19. Krasnoperova V.V., Buharina I.L. Izuchenie metoda kul'tivirovaniya in vitro kak metoda vegetativnogo razmnozheniya hvojnnyh derev'ev. Rossijskie sel'skohozyajstvennye nauki. – 2020. – T. 46. – Vypusk. – S. 19-22. – DOI: <https://doi.org/10.3103/s1068367420010061>.
20. Hudonogova E.G., Tyapaeva M.A. Laboratornoe prorashchivanie i hranenie semyan introducirovannyh vidov derev'ev i kustarnikov. Biologiya rastenij i sadovodstvo: teoriya, in-novacii. – 2020. – N. 155. – S. 71-80. – DOI: <https://doi.org/10.36305/2712-7788-2020-2-155-71-80>.

Сведения об авторах

✉ *Дегтярева Светлана Ивановна* – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры ботаники и физиологии растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3825-1158>, e-mail: degtyarewa-lana@yandex.ru.

Дорофеева Валентина Дмитриевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3624-6304>, e-mail: ekzo40@mail.ru.

Шпилова Валентина Фёдоровна – заведующий отделом опытных испытаний (лесопарковый участок) ФГБУ «ВНИИЛГИСБиотех», ул. Ломоносова, 105, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0009-0004-2069-1638>.

Information about authors

✉ *Svetlana I. Degtyareva* – Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Botany and Plant Physiology, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3825-1158>, e-mail: degtyarewa-lana@yandex.ru.

Valentina D. Dorofeeva – Cand. Sci. (Agric), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Botany and Plant Physiology, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3624-6304>, e-mail: ekzo40@mail.ru.

Valentina F. Shipilova – Head of the Experimental Testing Department (forest park area) of the All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, 105, Lomonosova street, Voronezh, 394087; ORCID: <http://orcid.org/0009-0004-2069-1638> e-mail: lesopark.vrn@yandex.ru.

✉ – Для контактов | Corresponding author