

К ВОПРОСУ МЕХАНИЗАЦИИ ВЫСЕВА ДРАЖИРОВАННЫХ ЛЕСНЫХ СЕМЯН

доктор технических наук, профессор **И.М. Бартнев**

доктор технических наук, профессор **М.В. Драпалюк**

аспирант **Н.О. Ушаков**

кандидат технических наук, доцент **А.И. Новиков**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

Производство лесного посадочного материала включает множество технологических процессов, обеспечивающих впоследствии выход конечного продукта. Одним из основных процессов является механизированный высев. Выбор технологии и технических средств для высева лесных семян формируется на основании аналитической информации о типе участка, структуре почв, способах подготовки и высева семян в науке и практике искусственного лесовосстановления. Основанием для проведения исследований является необходимость нахождения оптимальной конструкции прототипа сеялки для механизированного высева дражированных семян, удовлетворяющих требованиям пониженной энергоемкости и повышенной экологической безопасности. В качестве метода исследования использовался систематический и патентный поиск, обеспечивающий качественный и сбалансированный отбор релевантных документов. Установлено, что использование того или иного технологического процесса механизированного высева дражированных семян в структуре затрат на искусственное лесовосстановление должно складываться в зависимости от геоморфологии восстанавливаемой площади, структуры, каменистости и влажности почв, способов подготовки почв и способов высева семян. Установлено, что наиболее эффективным размещением при высеве будет широкострочное, строго параллельное на дне канавок, при котором дражированные семена входят в плотный контакт с уплотненной почвой, находящейся постоянно во влажном состоянии за счет капиллярного поступления воды, а возвращенный верхний слой играет роль мульчи, предотвращающей испарение влаги и, следовательно, создаются оптимальные условия для всхожести семян и развития сеянцев. Тем не менее, в дальнейшем необходимо ответить на следующие вопросы: насколько согласованы мнения ученых о целесообразности использования наземного механизированного высева? Каковы априори основные критерии, влияющие на эффективность параметров точного высева дражированных семян?

Ключевые слова: механизированный высев, сеялка, сошник, лесовосстановление, лесные дражированные семена, высевающий аппарат

SOWING MECHANIZATION OF DRESSED FOREST SEEDS

DSc (Engineering), Professor **I.M. Bartenev**

DSc (Engineering), Professor **M.V. Drapalyuk**

post-graduate student **N.O. Ushakov**

PhD (Engineering), Associate Professor **A.I. Novikov**

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov",
Voronezh, Russian Federation

Abstract

Production of forest planting material includes many technological processes that subsequently provide the output of the final product. One of the main processes is mechanized sowing. The choice of technology and technical tools for sowing forest seeds is formed on the basis of analytical information about the type of plot, soil structure, methods of preparing and sowing seeds in science and practice of artificial reforestation. The basis for research is the need to find the optimal design of the prototype seeder for the mechanized sowing of dressed seeds that meet the requirements of low energy consumption and increased environmental safety. Systematic and patent search has been used as a research method, providing high-quality and balanced selection of relevant papers. It has been established that the use of one or another technological process of mechanized sowing of dressed seeds in the cost structure for artificial reforestation should be developed depending on the geomorphology of the recovered area, structure, stoniness, soil moisture, soil preparation methods and seed sowing methods. It has been established that the most effective placement during sowing will be a wide-line, strictly parallel at the bottom of the grooves, in which dressed seeds come into tight contact with compacted soil, which is constantly wet due to capillary water, and the returned upper layer plays the role of mulch preventing evaporation moisture. Therefore, optimal conditions are created for seed germination and seedling development. Nevertheless, in the future it is necessary to answer the following questions: how agreed are the opinions of scientists on the feasibility of using ground mechanized seeding? What are a priori the main criteria affecting the effectiveness of the parameters for the precise sowing of dressed seeds?

Keywords: mechanized sowing, seeder, furrow opener, reforestation, dressed forest seeds, sowing machine

Введение

Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года, утвержденная 20 сентября 2018 г. Распоряжением Правительства РФ № 1989-р, предусматривает «реализацию комплекса мер по развитию питомнических хозяйств и развитие материально-технической базы путем обеспечения модернизации парка лесохозяйственных машин и оборудования [1]» в современном лесовосстановлении, что «предполагает сосредоточение усилий научного, производственного и административного контингента в установлении взаимосвязи «посадочный материал – питомник – арендаторы лесных земель [2]» и разработку «*quality management techniques for forest regeneration in privately-owned forests*¹ [3]».

¹ (англ.) методов управления качеством лесовосстановления в арендованных лесах.

Опыт стран с развитым лесным хозяйством показывает, что баланс между выбором технологического процесса посадки семян [3–13] и прямого высева [3, 14–20] для технологии восстановления лесов постепенно, но неуклонно смещается в сторону высева. Так, в Финляндии при искусственном лесовосстановлении «*the proportion of planting decreased from 82 to 74 %, and the proportion of direct seeding increased from 18 to 26 %*² [3]». Сравнение основных факторов, влияющих на результаты искусственного лесовосстановления при использовании механизированного наземного высева (в среднем более 80 % от всего объема засеянных площадей в мире [3]), показало, что наибольшее влияние на эффективность технологического процесса ока-

² (англ.) доля создания лесных культур посадкой уменьшилась с 82 до 74 %, а доля прямого высева увеличилась с 18 до 26 %.

зывают тип почв и способы её подготовки. В этой связи интересен опыт Финляндии в начале XXI века: инвентаризация восстановленных за 7 лет участков посевом семян сосны обыкновенной общей площадью 4948 га (выход семян составил 3075 ± 1644 шт./га) показала, что наиболее распространенным способом обработки почвы было дискование (*disc trenching*) (77 %) [21–23], а механизация высева составила 58 % [3]. Для мелких лесных семян хвойных пород (сосны, лиственницы, ели) прямой посев статистически значим. Значимыми факторами являются тип участка, подготовка и структура почвы, способ посева, каменистость и влажность почвы. Каменистая почва уменьшила количество семян на 30–32 % [3, 18, 24–26]. Переувлажненная почва, со своей стороны, сократила количество всходов на 31–33 % [3, 15, 18]. Дискование [23, 27–31] было наиболее распространенным методом подготовки почвы и использовалось в качестве эталонного. Отсутствие подготовки почвы уменьшило количество семян на 44 % [3, 15, 18]. Частичная обработка почвы площадками, напротив, увеличила количество саженцев на 9 % [3, 24, 25]. Почти 90 % курганных участков были засеяны вручную, а остальные участки засеивались сеялкой, которая крепилась к экскаватору [23]. Другие способы подготовки почвы не давали статистически значимых отличий от дискования.

Немаловажным фактором для качественного механизированного высева семян является подготовка семенного материала [32–35]. С точки зрения рабочих органов сеялки, взаимодействующих с семенами, последние должны обладать выровненными геометрическими размерами, определенной влажностью и сыпучестью. От правильного планирования проектов [36, 37] разработки технологического процесса предпосевной обработки, связанного с использованием оптоэлектронных технологий, зависит степень выхода посадочного материала с единицы площади. Несмотря на широко используемое разделение семян по размерам на решетных установках (ВСС АВ, Швеция), весьма перспективным представляется дражирование семян [38], которое хотя и увеличивает затраты на предпосевную подготовку, но одновременно снижает риски повреждения семян, заражения вредителями и болезнями, а также

риски низкой энергии прорастания и всхожести.

Цель исследования – на основании существующих способов наземного механизированного высева лесных семян рассмотреть варианты развития технологического процесса высева дражированных лесных семян и предложить новые способы и устройства как для лесных питомников, так и для лесокультурных площадей.

Методы исследования основаны на систематическом поиске, подробно представленном в работе [39], и унифицированной методике поиска патентной информации, изложенной в работе [40].

Результаты и обсуждение

Предпосылками детального изучения процессов механизированного высева, особенно в отношении дражированных лесных семян, служат как спрос на более высокое качество исполнения технологических операций предпосевной подготовки [41, 42], характеризующееся ростом энергосбережения, и, соответственно, высокое качество посадочного материала [43], так и переход к применению специализированного оборудования в лесном хозяйстве [33, 44].

Технологический процесс наземного высева лесных семян традиционно включает операции сдвига верхнего слоя почвы с образованием базовой поверхности, нарезки борозды на заданную глубину от базовой поверхности, высева и заделки лесных семян. Для получения качественного посадочного материала в обоснованно короткие сроки необходимо снижать энергоемкость выполнения этих операций за счет проектирования и разработки новых конструкций входящих в них элементов.

Операция сдвига верхнего слоя – самая энергоемкая технологическая операция, зависящая от типа почвы и состояния её поверхности. Обычно после сдвига на базовой поверхности образуются почвенные валки из влажного слоя почвы с обеих сторон борозды, которые после высева возвращаются в борозду (Авторское свидетельство СССР № 820695, А01С7/00, опублик. 25.01.1981, бюл. № 14). Технически операция осуществляется с помощью планировщика для сдвига верхнего подсушенного слоя почвы и образования базовой поверхности [45, 46].

Операция нарезки борозды (борозд) фокусирует на себе все последующие операции по уходу за

сеянцами, способность рационального движения агрегатов. Операция определяет как оптимальное количество строк и расстояние между ними, так и глубину нарезки и степень уплотненности борозды. Так, при широкострочном высеве в сравнении с узкорядным увеличивается энергия прорастания мелких семян, всходы появляются дружнее и раньше на 2-9 дней, грунтовая всхожесть повышается на 20 %, выход посадочного материала увеличивается в 1,5-2 раза [47]. По другим исследованиям установлено, что «уплотнение dna борозды способствует быстрому прорастанию семян, так как в этом случае вода поднимается к семенам из нижних слоев почвы [48]».

Операции высевы напрямую связаны с качеством предпосевной обработки семян, их морфологическими и динамическими параметрами. Их вклад в энергоемкость технологического процесса минимален, однако от уровня точности (шага и глубины заделки, расстояния между строками при многострочном высеве) зависит рациональное выполнение последующих технологических процессов ухода и выкопки сеянцев, а также их рост и развитие на ювенильной стадии онтогенеза [49].

Операция заделки семян, как правило, осуществляется с помощью загортачей или катков. Зачастую операцию заделки семян производят путем обрушения стенок борозды, в результате чего происходит перемешивание подсушенных верхних и влажных нижних почвенных частиц, приводящее к изреженным всходам и неравномерному развитию растений (Авторское свидетельство СССР № 371883, кл. А01С7/00, 1970), что противоречит агротехническим требованиям.

Существующий технологический процесс содержит достаточно большое число операций по взаимодействию рабочих органов сеялки с почвой, технологически и экономически не оправданных:

- сдвиг верхнего подсушенного слоя в обе стороны относительно линии прохода;
- образование борозды;
- образование боковых валков из влажной почвы;
- возврат ранее сдвинутого верхнего подсушенного слоя и выравнивание его до уровня дневной поверхности почвы, выполняемые отдельными рабочими органами, усложняющими конструкцию и увеличивающими габариты сеялки.

Совмещение технологических операций, согласно собственной разработке авторов, в технологическом процессе высевы дражированных семян осуществляется следующим образом (рис. 1, а и б). При поступательном движении в почве на глубине “а” вырезается слой U-образной формы и поднимается на высоту “h”, образуя пустоту 3, то есть борозду. При этом подсушенный 1 и влажный нижний 2 слои не меняют своего положения относительно друг друга и не перемешиваются между собой. В образовавшуюся пустоту 3 со стороны ее боковых стенок под поднятый слой почвы подаются семена, которые укладываются на дно. Затем поднятый слой почвы под действием собственной силы тяжести возвращается в борозду, т. е. на прежнее место, заделывая семена влажным слоем. Техническая реализация универсальной технологической операции достигается применением устройства в виде U-образной скобы (рис. 2), установленной под острым углом вхождения в почву α, имеющей в стойках 1 полые каналы 2 в виде трубок, оканчивающихся в нижней части отверстиями 3 для выхода семян, которые укладываются на дно борозды и заделываются почвой, поступающей с наклонного ножа 4. В результате необходимость и целесообразность челночного перемещения верхнего подсушенного слоя «туда и обратно» в горизонтальной плоскости, образование почвенных валков при образовании борозды и обратное перемещение их в борозду заменяется на выполнение всего лишь одной операции – вырезание слоя почвы на заданной глубине посева семян и его подъем над дном борозды, а заделка борозды с размещенными на дне семенами производится в результате свободного опускания его под действием собственной силы тяжести без перемешивания почвенных слоев, то есть заделка семян осуществляется влажным слоем почвы, что обеспечивает их всхожесть и развитие в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Комплекс требований к выполнению всех операций технологического процесса высевы дражированных семян мог быть реализован с помощью сеялки для широкострочного посева семян, которая включает раму, навеску, бункер для семян,

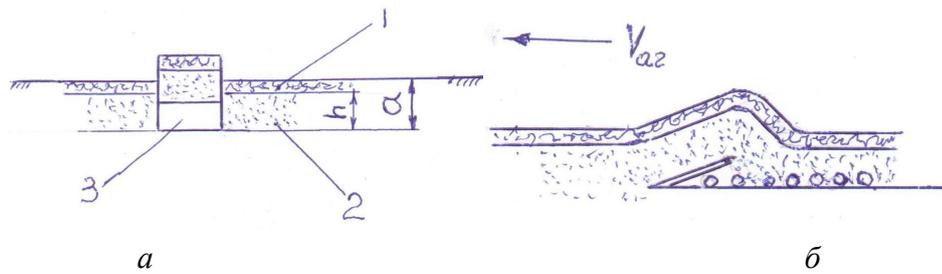


Рис. 1. Схема образования борозды в поперечной (а) и продольной (б) плоскостях (собственная разработка авторов): 1 – подсушенный слой; 2 – влажный нижний слой; 3 – борозда

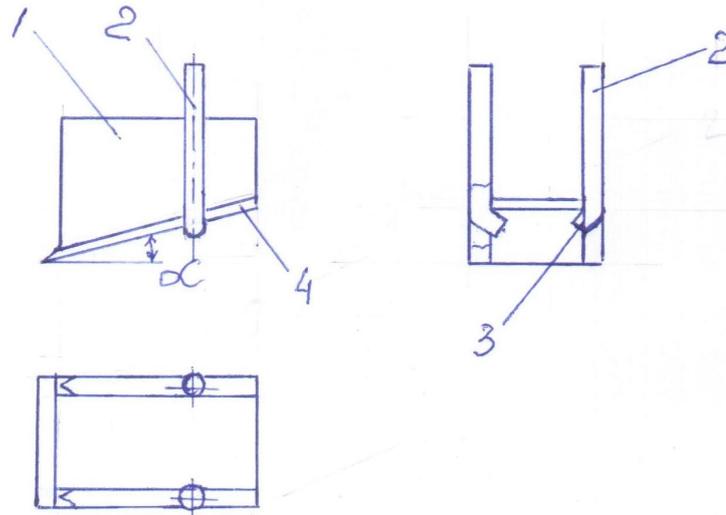


Рис. 2. Универсальная скоба для одновременного высева и заделки дражированных лесных семян (собственная разработка авторов): 1 – стойки; 2 – семяпровод в виде полый трубки; 3 – отверстие для выхода семян; 4 – наклонный нож

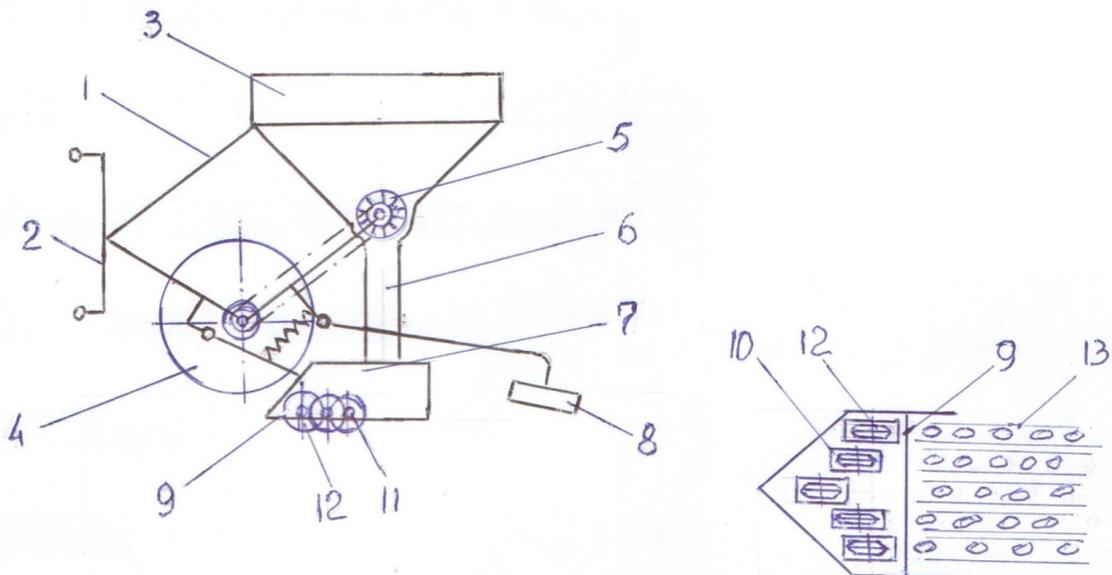


Рис. 3. Функциональная схема прототипа сеялки для высева дражированных лесных семян (а) и сошник (б) с дополнительным устройством для образования канавок на дне борозды и уплотнения почвы в них (собственная разработка авторов): 1 – рама; 2 – механизм навески; 3 – посевной бункер; 4 – опорное колесо; 5 – высевающий аппарат; 6 – семяпровод; 7 – коробчатый сошник; 8 – заделывающий рабочий орган (загортач или каток); 9 – днище; 10 – прорези; 11 – ось; 12 – катки с коническим ободком; 13 – канавки

сошник, планировщик, высевающий аппарат, распределитель, семяпровод, заделывающие рабочие органы [50]. Однако семена укладываются на рыхлое дно борозды неравномерно и хаотично и заделываются рыхлой почвой, поверхностный слой которой уплотняется заравнивающим устройством. Отсутствие уплотнения дна борозды исключает хорошую подачу по почвенным капиллярам воды из нижних влажных слоев. Уплотнение поверхностного слоя ведет к потере влаги, уходящей при испарении в атмосферу. Все это ведет к большой разнородности выращиваемых сеянцев с разной степенью развития по размерам, а также разной жизнеспособностью в культурах.

Поэтому для дражированных лесных семян необходимо спроектировать прототип и обосновать его параметры и режимы работы, учитывающие вышеприведенные особенности. Прототип сеялки должен содержать раму 1, механизм навески 2, посевной бункер 3, опорное колесо 4, высевающий аппарат 5, семяпровод 6, коробчатый сошник 7 и заделывающий рабочий орган 8. В нижней передней части коробчатого сошника (рис. 3) должно быть выполнено днище 9 с прорезями 10, в которых на горизонтальных осях вращения размещены в шахматном порядке катки 12 с коническим ободком, образующие канавки 13 с уплотненными наклонными стенками и дном. При этом угол наклона боковых стенок канавок должен быть больше угла трения семян о поверхность почвы (угол трения подбирается для схожих по морфологическим параметрам семян). При этом предполагаемый процесс высева дражированных семян будет осуществляться следующим образом. При поступательном движении посевного агрегата сошник заглубляется в почву на заданную глубину, образует борозду путем сдвига верхнего подсушенного слоя почвы в обе стороны, катки в процессе своего вращения образуют уплотненные клинообразные в поперечном сечении канавки, создавая этим самым рифленую поверхность дна борозды. Семена, подаваемые

высевающим аппаратом, поступают по семяпроводу на рифленую поверхность дна борозды. Те семена, которые поступают на вершину или боковую поверхность канавки, скатываются в канавки. Таким образом, семена укладываются строго параллельными рядами на дно канавок, т. е. их размещение в широкой строчке упорядочивается, и входят в плотный контакт с уплотненной почвой, находящейся постоянно во влажном состоянии за счет капиллярного поступления воды, а возвращенный верхний слой играет роль мульчи, предотвращающей испарение влаги, и, следовательно, создаются оптимальные условия для всхожести семян и развития ростков.

Заключение

1. С учетом современного уровня развития технологии наземного высева необходимо разработать комплекс технических средств для высева лесных семян, в том числе и дражированных. В настоящее время данное направление интенсивно разрабатывается авторами совместно с российскими коллегами. Поданы две заявки на патент РФ. Предварительный анализ конструкции показывает, что себестоимость лабораторного образца сеялки может составить не более 200-220 тыс. руб., мелкосерийного – не более 150-170 тыс. руб.

2. Необходимо разработать конструкцию высевающего аппарата сеялки и провести исследование априорных моделей данного устройства с учетом морфологических особенностей семян.

Благодарности

Отдельную благодарность авторы выражают кафедре механизации лесного хозяйства и проектирования машин ВГЛТУ за предоставленную возможность проводить исследования в лабораториях кафедры и ценные замечания в методических аспектах.

Библиографический список

1. Правительство РФ. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года : распоряжение № 1989-р от 20.09.2018. URL: <http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MOBgNpm5hSavTdIxID77KCTL.pdf> (accessed: 30.01.2020).
2. 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.
3. Kankaanhuhta, V. Variation in the results of Norway Spruce planting and Scots pine direct seeding in privately-owned forests in Southern Finland / V. Kankaanhuhta, T. Saksa, H. Smolander // *Silva Fenn.* – 2009. – Vol. 43. – № 1. – P. 51–70.
4. Amounts of logging residues affect planting microsites: A manipulative study across northern forest ecosystems / A. Trottier-Picard [et al.] // *For. Ecol. Manage.* – 2014. – Vol. 312. – P. 203–215.
5. Post-fire ponderosa pine regeneration with and without planting in Arizona and New Mexico / J. Ouzts [et al.] // *For. Ecol. Manage.* Elsevier. – 2015. – Vol. 354. – P. 281–290.
6. Early performance of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* – a comparison between seedling size, species and geographic location of the planting site / K. Johansson [et al.] // *Scand. J. For. Res.* Taylor and Francis AS. – 2014. – Vol. 30. – № 5. – P. 1–39.
7. Сохранность и рост культур сосны, созданных посадочным материалом с закрытой корневой системой в условиях Карелии / А. И. Соколов, В. А. Харитонов, А. Н. Пеккоев, Т. И. Кривенко // *Известия вузов – Лесной журнал.* – 2015. – № 6 (348). – С. 46–56.
8. Height-Diameter Relationships for Different Genetic Planting Stock of Loblolly Pine at Age 6 / S. Egbäck [et al.] // *For. Sci.* Society of American Foresters. – 2015. – Vol. 61. – № 3. – P. 424–428.
9. Ward, J. S. Effects of planting stock quality and browse protection-type on height growth of northern red oak and eastern white pine / J. S. Ward, M. P. Gent, G. R. Stephens // *For. Ecol. Manage.* – 2000. – Vol. 127. – № 1–3. – P. 205–216.
10. Оводов, А. В. Качество древесины сосны в насаждениях, созданных посевом и посадкой : специальность 06.03.01 «Лесные культуры, селекция, семеноводство» : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Оводов Александр Владимирович. – Архангельск, 2010. – 17 с.
11. Luoranen, J. Autumn versus spring planting: the initiation of root growth and subsequent field performance of Scots pine and Norway spruce seedlings / J. Luoranen // *Silva Fenn.* – 2018. – Vol. 52. – № 2.
12. Jäärats, A. Growth parameters of coniferous planting stock influenced by principal growing technologies in Estonia / A. Jäärats, A. Sims, H. Seemen // *Scand. J. For. Res.* – 2010. – Vol. 25. – № sup8. – P. 92–100.
13. Luoranen, J. Field performance of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings planted in disc trenched or mounded sites over an extended planting season / J. Luoranen, R. Rikala // *New For.* – 2013. – Vol. 44. – № 2. – P. 147–162.
14. Winsa, H. Effects of seed invigoration and microsite preparation on seedling emergence and establishment after direct sowing of *Pinus sylvestris* L. at different dates / H. Winsa, K. Sahlén // *Scand. J. For. Res.* – 2001. – Vol. 16. – № 5. – P. 422–428.
15. Derr, H. J. Direct-seeding pines in the South / H. J. Derr, W. F. J. Mann // *Agriculture Handbook.* Washington: Forest Service, USDA. – 1971. – Vol. 391. – 73 p.
16. Wennström, U. Seedling establishment and growth after direct seeding with *Pinus sylvestris*: effects of seed type, seed origin, and seeding year / U. Wennström, U. Bergsten, J.-E. Nilsson // *Silva Fenn.* – 2007. – Vol. 41. – № 2. – P. 299–314.

17. Erefur, C. Establishment of direct seeded seedlings of Norway spruce and Scots pine: Effects of stand conditions, orientation and distance with respect to shelter tree, and fertilisation / C. Erefur, U. Bergsten, M. de Chantal // *For. Ecol. Manage.* – 2008. – Vol. 255. – № 3–4. – P. 1186–1195.
18. Direct Seeding Black Spruce and Jack Pine: A Field Guide for Northern Ontario / M. J. Adams [et al.]. – 2005. – 528 p.
19. Reque, J. A. Designing acorn protection for direct seeding of quercus species in high predation areas / J. A. Reque, E. Martin // *For. Syst. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentacion.* – 2015. – Vol. 24. – № 1. – P. 018.
20. Выращивание посадочного материала сосны обыкновенной с использованием безрешетной технологии сортирования семян / Л. Т. Свиридов, А. Д. Голев, А. И. Новиков [и др.] // *Интеграция фундаментальной науки и высшего лесотехнического образования по проблемам ускоренного воспроизводства, использования и модификации древесины : матер. междунар. науч.-практ. конференции : в 2 т.* – Воронеж : Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2000. – Т. 2. – С. 284–289.
21. The impact of disc settings and slash characteristics on the Bracke three-row disc trencher's performance / B. T. Ersson [et al.] // *Int. J. For. Eng.* – 2017. – Vol. 28. – № 1. – P. 1–9.
22. Soil organic matter and nitrogen cycling in response to harvesting, mechanical site preparation, and fertilization in a wetland with a mineral substrate / J. W. McLaughlin [et al.] // *For. Ecol. Manage.* – 2000. – Vol. 129. – № 1–3. – P. 7–23.
23. Mechanical site preparation for forest restoration / M. Löf [et al.] // *New For.* – 2012. – Vol. 43. – № 5–6. – P. 825–848.
24. Mexal, J. G. Bareroot Seedling Culture / J. G. Mexal, D. B. South. – 1991. – P. 89–115.
25. Pyke, D. A. Does Seeding After Wildfires in Rangelands Reduce Erosion or Invasive Species? / D. A. Pyke, T. A. Wirth, J. L. Beyers // *Restor. Ecol.* – 2013. – Vol. 21. – № 4. – P. 415–421.
26. Forest Regeneration Manual / eds. M. L. Duryea, P. M. Dougherty. – Dordrecht : Springer Netherlands, 1991. – Vol. 36.
27. Dumins, K. Forest regeneration quality – factors affecting first year survival of planted trees / K. Dumins, D. Lazdina. – 2018. – P. 53–58.
28. Influence of mechanical site preparation on regeneration success of planted conifers in clearcuts in Fennoscandia – a review / U. Sikström [et al.] // *Silva Fenn.* – 2020. – Vol. 54. – № 2.
29. Hjelm, K. The demand of hybrid aspen (*Populus tremula* × *P. tremuloides*) on site conditions for a successful establishment on forest land / K. Hjelm, L. Rytter // *Silva Fenn.* – 2018. – Vol. 52. – № 5, id 10036.
30. Effects of site preparation treatments on early growth and survival of planted longleaf pine (*Pinus palustris* Mill.) seedlings in North Carolina / B. O. Knapp [et al.] // *For. Ecol. Manage.* – 2006. – Vol. 226. – № 1–3. – P. 122–128.
31. Site Preparation Techniques for Forest Restoration / M. Löf [et al.] // *Restoration of Boreal and Temperate Forests, Second Edition.* – 2016. – P. 85–102.
32. 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.
33. Бартенев, И. М. Совершенствование технологий и средств механизации лесовосстановления / И. М. Бартенев, М. В. Драпалюк, В. И. Казаков. – Москва : Флинта, 2013. – 208 с.
34. Guideline to Collecting Cones of B.C. Conifers (interim) / R. C. Dobbs [et al.]. – Victoria, Canada : Pacific Forest Research Centre, 1974. – 96 p.
35. Edwards, D. G. W. Collection, processing, testing, and storage of true fir seeds – a review / D. G. W. Edwards // *Proceedings of the biology and management of true fir in the Pacific Northwest Symposium.* – Washington, USA : USDA Forest Service, 1982. – P. 113–137.
36. Planning the implementation of special projects / T. P. Belyaeva [et al.] // *Radiation resistance of electronic systems “Resistance-2011.”* – Moscow, 2011. – P. 239–241.

37. Соколов, С. В. Новые оптоэлектронные системы экспресс-анализа семян в лесохозяйственном производстве / С. В. Соколов, А. И. Новиков // Лесотехнический журнал. – 2019. – Т. 9. – № 2. – С. 5–13.
38. Способы предпосевной подготовки семян и методика их моделирования / И. И. Бартев, О. А. Подвигина, Д. С. Гаврин, И. В. Подосинников // Лесотехнический журнал. – 2018. – Т. 8. – № 4. – С. 199–207.
39. Pullin, A. S. Guidelines for Systematic Review in Conservation and Environmental Management / A. S. Pullin, G. B. Stewart // *Conserv. Biol.* – 2006. – Vol. 20. – № 6. – P. 1647–1656.
40. Иванов, В. К. Унифицированная методика поиска патентной информации и обработки его результатов / В. К. Иванов, Н. В. Виноградова // *Изобретательство*. – 2014. – Т. 14. – № 12. – С. 23–32.
41. Новиков, А. И. Дисковые сепараторы семян в лесохозяйственном производстве : моногр. / А. И. Новиков. – Воронеж : ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», 2017. – 159 с.
42. Новиков, А. И. Экспресс-анализ лесных семян биофизическими методами / А. И. Новиков. – Воронеж : ВГЛТУ, 2018. – 128 с.
43. Ivetić, V. The role of forest reproductive material quality in forest restoration / V. Ivetić, A. I. Novikov // *For. Eng. J.* – 2019. – Vol. 9. – № 2. – P. 56–65.
44. Драпалюк, М. В. Перспективные технологии выращивания посадочного материала в лесных питомниках : моногр. / М. В. Драпалюк. – Воронеж, 2006. – 247 с.
45. Пошарников, Ф. В. Перспективы применения точного посева лесных семян в питомниках / Ф. В. Пошарников // *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*. – 2000. – № 3. – С. 112–116.
46. Пошарников, Ф. В. Новые технологии и машины для посева лесных семян в питомниках : специальность 05.21.01 «Технология и машины лесного хозяйства и лесозаготовок» : дис. ... д-ра техн. наук : защищена 21.05.1993 / Пошарников Феликс Владимирович. – Воронеж, 1993. – 530 с.
47. Пошарников, Ф. В. Лесные сеялки: теория и расчет / Ф. В. Пошарников. – Воронеж : ВГЛТА, 2007. – 267 с.
48. Эдельштейн, В. И. Овощеводство / В. И. Эдельштейн. – Москва : Сельхозгиз, 1953. – 324 с.
49. 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 Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* – 2019. – Vol. 226. – P. 012043.
50. Пошарников, Ф. В. Новые способы и технологические средства для высокоэффективного посева лесных семян в питомнике / Ф. В. Пошарников // *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*. – 2000. – № 3. – С. 105–112.

References

1. *Strategiya razvitiya lesnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda* [Strategy of development of the forest complex of the Russian Federation till 2030]. URL: <http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MObgNpm5hSavTdIxID77KCTL.pdf> (Accessed 28 March 2020).
2. Drapalyuk M.V., Novikov A.I. (2018) *Analiz operacionnyh mehanizirovannyh tehnologij separacii semjan pri iskusstvennom lesovosstanovlenii* [Analysis of operational mechanized technologies of seed separation under artificial forest restoration]. *Lesotekhnicheskij zhurnal*, Vol. 8, no. 4, pp. 207-220 (in Russian).
3. Kankaanhuhta V., Saksa T., Smolander H. (2009) Variation in the results of Norway Spruce planting and Scots pine direct seeding in privately-owned forests in Southern Finland. *Silva Fenn.*, Vol. 43, no. 1, pp. 51-70.
4. Trottier-Picard A. (et al.) (2014) Amounts of logging residues affect planting microsites: A manipulative study across northern forest ecosystems. *For. Ecol. Manage.*, Vol. 312, pp. 203-215.

5. Ouzts J. (et al.) (2015) Post-fire ponderosa pine regeneration with and without planting in Arizona and New Mexico. *For. Ecol. Manage. Elsevier*, Vol. 354, pp. 281-290.
6. Johansson K. (et al.) (2014) Early performance of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* – a comparison between seedling size, species and geographic location of the planting site. *Scand. J. For. Res. Taylor and Francis AS*, Vol. 30, no. 5, pp. 1-39.
7. Sokolov A.I. (et al.) (2015) *Sohrannost' i rost kul'tur sosny, sozdannyh posadochnym materialom s zakrytoj kornevoj sistemoj v uslovijah Karelii* [Preservation and Growth of Pine Cultivated by Ball-Rooted Planting Stock in Karelia]. *Lesnoy zhurnal*, no. 6 (348), pp. 46-56 (in Russian).
8. Egbäck S. (et al.) (2015) Height-Diameter Relationships for Different Genetic Planting Stock of Loblolly Pine at Age 6. *For. Sci. Society of American Foresters*, Vol. 61, no. 3, pp. 424-428.
9. Ward J.S., Gent M.P., Stephens G.R. (2000) Effects of planting stock quality and browse protection-type on height growth of northern red oak and eastern white pine. *For. Ecol. Manage.*, Vol. 127, no. 1-3, pp. 205-216.
10. Ovodov A.V. *Kachestvo drevesiny sosny v nasazhdeniyakh, sozdannykh posevom i posadkoy: avtoreferat dis. kand. s.-h. nauk* [The quality of pine wood in the plantations created by sowing and planting. PhD thesis]. Arkhangelsk, 2010, 17 p. (in Russian).
11. Luoranen J. (2018) Autumn versus spring planting: the initiation of root growth and subsequent field performance of Scots pine and Norway spruce seedlings. *Silva Fenn.*, Vol. 52, no. 2.
12. Jäärats A., Sims A., Seemen H. (2010) Growth parameters of coniferous planting stock influenced by principal growing technologies in Estonia. *Scand. J. For. Res.*, Vol. 25, no. sup8, pp. 92-100.
13. Luoranen J., Rikala R. (2013) Field performance of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings planted in disc trenched or mounded sites over an extended planting season. *New For.*, Vol. 44, no. 2, pp. 147-162.
14. Winsa H., Sahlén K. (2001) Effects of seed invigoration and microsite preparation on seedling emergence and establishment after direct sowing of *Pinus sylvestris* L. at different dates. *Scand. J. For. Res.*, Vol. 16, no. 5, pp. 422-428.
15. Derr H.J., Mann W.F.J. *Direct-seeding pines in the South. Agriculture Handbook*. Washington: Forest Service, USDA, 1971, Vol. 391, 73 p.
16. Wennström U., Bergsten U., Nilsson J.-E. (2007) Seedling establishment and growth after direct seeding with *Pinus sylvestris*: effects of seed type, seed origin, and seeding year. *Silva Fenn.*, Vol. 41, no. 2, pp. 299-314.
17. Erefur C., Bergsten U., de Chantal M. (2008) Establishment of direct seeded seedlings of Norway spruce and Scots pine: Effects of stand conditions, orientation and distance with respect to shelter tree, and fertilization. *For. Ecol. Manage.*, Vol. 255, no. 3-4, pp. 1186-1195.
18. Adams M.J. (et al.) *Direct Seeding Black Spruce and Jack Pine: A Field Guide for Northern Ontario*, 2005, 528 p.
19. Reque J.A., Martin E. (2015) Designing acorn protection for direct seeding of quercus species in high predation areas. *For. Syst. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentacion*, Vol. 24, no. 1, p. 018.
20. Sviridov L.T. (et al.) *Vyrashchivanie posadochnogo materiala s ispol'zovaniem bezreshetnoy tekhnologii sortirovaniya semyan* [The cultivation of seedlings of Scots pine using a sieveless technology sorting of seeds]. *Integracija fundament. nauki i vysshego lesotekhnicheskogo obrazovanija po problemam uskoren. vosproizvodstva, ispol'zovanija i modifikacii drevesiny* [Integration of basic science and higher forestry education on the problems of accelerated reproduction, use and modification of wood]. Voronezh, 2000, Vol. 2, pp. 284-289 (in Russian).
21. Ersson B.T. (et al.) (2017) The impact of disc settings and slash characteristics on the Bracke three-row disc trencher's performance. *Int. J. For. Eng.*, Vol. 28, no. 1, pp. 1-9.
22. McLaughlin J.W. (et al.) (2000) Soil organic matter and nitrogen cycling in response to harvesting, mechanical site preparation, and fertilization in a wetland with a mineral substrate. *For. Ecol. Manage.*, Vol. 129, no. 1-3, pp. 7-23.
23. Löf M. (et al.) (2012) Mechanical site preparation for forest restoration. *New For.*, Vol. 43, no. 5-6, pp. 825-848.

24. Mexal J.G., South D.B. Bareroot Seedling Culture, 1991, pp. 89-115.
25. Pyke D.A., Wirth T.A., Beyers J.L. (2013) Does Seeding After Wildfires in Rangelands Reduce Erosion or Invasive Species? *Restor. Ecol.*, Vol. 21, no. 4, pp. 415-421.
26. Forest Regeneration Manual / eds. M.L. Duryea, P.M. Dougherty. Dordrecht: Springer Netherlands, 1991, Vol. 36.
27. Dumins K., Lazdina D. Forest regeneration quality – factors affecting first year survival of planted trees, 2018, pp. 53-58.
28. Sikström U. (et al.) (2020) Influence of mechanical site preparation on regeneration success of planted conifers in clearcuts in Fennoscandia – a review. *Silva Fenn.*, Vol. 54, no. 2.
29. Hjelm K., Rytter L. (2018) The demand of hybrid aspen (*Populus tremula* × *P. tremuloides*) on site conditions for a successful establishment on forest land. *Silva Fenn.*, Vol. 52, no. 5, id 10036.
30. Knapp B.O. (et al.) (2006) Effects of site preparation treatments on early growth and survival of planted longleaf pine (*Pinus palustris* Mill.) seedlings in North Carolina. *For. Ecol. Manage.*, Vol. 226, no. 1–3, pp. 122-128.
31. Löf M. (et al.) Site Preparation Techniques for Forest Restoration. Restoration of Boreal and Temperate Forests, Second Edition, 2016, pp. 85-102.
32. Novikov A.I., Saushkin V.V. (2018) *Issledovanie spektrometricheskikh parametrov semennoj kozhury sosny obyknovЕННОj v IK-diapazone* [Infrared range spectroscopy: the study of the pine seed coat parameters]. *Lesotekhnicheskij zhurnal*, Vol. 8, no. 3, pp. 30-37 (in Russian).
33. Bartenev I.M., Drapalyuk M.V., Kazakov V.I. *Sovershenstvovanie tekhnologii i sredstv mekhanizatsii lesovosstanovleniya* [Improvement of technologies and means of mechanization of reforestation]. Moscow, 2013, 208 p. (in Russian).
34. Dobbs R.C. (et al.) Guideline to Collecting Cones of B.C. Conifers (interim). Victoria, Canada: Pacific Forest Research Centre, 1974, 96 p.
35. Edwards D.G.W. Collection, processing, testing, and storage of true fir seeds—a review. Proceedings of the biology and management of true fir in the Pacific Northwest Symposium. Washington, USA: USDA Forest Service, 1982, pp. 113-137.
36. Belyaeva T.P. (et al.) Planning the implementation of special projects. Radiation resistance of electronic systems “Resistance-2011”. Moscow, 2011, pp. 239-241.
37. Sokolov S.V., Novikov A.I. (2019) *Novye optoelektronnye sistemy ekspress-analiza semyan v lesohozyajstvennom proizvodstve* [New optoelectronic systems for express analysis of seeds in forestry production]. *Lesotekhnicheskij zhurnal*, Vol. 9, no. 2, pp. 5-13 (in Russian).
38. Bartenev I. (et al.) (2018) *Sposoby predposevnoy podgotovki semyan i metodika ikh modelirovaniya* [Methods of pre-seeding preparation of seeds and method of their simulation]. *Lesotekhnicheskij zhurnal*, Vol. 8, no. 4, pp. 199-207 (in Russian).
39. Pullin A.S., Stewart G.B. (2006) Guidelines for Systematic Review in Conservation and Environmental Management. *Conserv. Biol.*, Vol. 20, no. 6, pp. 1647-1656.
40. Ivanov V.K., Vinogradova N.V. (2014) *Unificirovannaja metodika poiska patentnoj informacii i obrabotki ego rezul'tatov* [Unified method of searching for patent information and processing its results]. *Izobretatel'stvo* [Inventiveness], Vol. 14, no. 12, pp. 23-32 (in Russian).
41. Novikov A.I. *Diskovye separatory semjan v lesohozjajstvennom proizvodstve: monografiya* [Disc separators in forest seed production: a monograph]. Voronezh, 2017, 159 p. (in Russian).
42. Novikov A.I. *Ekspress-analiz lesnykh semyan biofizicheskimi metodami* [Rapid analysis of forest seeds: biophysical methods]. Voronezh, 2018, 128 p. (in Russian).
43. Ivetić V., Novikov A.I. (2019) The role of forest reproductive material quality in forest restoration. *For. Eng. J. [Lesotekhnicheskij zhurnal – Russ.]*, Vol. 9, no. 2, pp. 56-65.

44. Drapalyuk M.V. *Perspektivnye tekhnologii vyrashchivaniya posadochnogo materiala v lesnykh pitomnikakh* [Perspective technologies of cultivation of planting material in forest nurseries]. Voronezh, 2006, 247 p. (In Russian).
45. Posharnikov F.V. (2000) *Perspektivy primeneniya tochnogo poseva lesnykh semyan v pitomnikakh* [Prospects of application of the accurate sowing of forest seed in nurseries]. *Lesnoy Vestnik* [Forest Bulletin], no. 3, pp. 112-116 (in Russian).
46. Posharnikov F.V. *Novye tekhnologii i mashiny dlja poseva lesnyh semjan v pitomnikah* : dis. doktora tehniceskikh nauk [New technologies and machines for sowing forest seeds in nurseries: DSc thesis]. Voronezh, 1993, 530 p. (in Russian).
47. Posharnikov F.V. *Lesnye sejalki: teoriya i raschet* [Forest seeders: theory and calculation]. Voronezh, 2007, 267 p. (in Russian).
48. Edelshtein V.I. *Ovoshchevodstvo* [Vegetable Growing]. Moscow, 1953, 324 p. (in Russian).
49. Novikov A.I., Ivetic V. The effect of seed coat color grading on height of one-year-old container-grown Scots pine seedlings planted on post-fire site. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2019, Vol. 226, pp. 012043.
50. Posharnikov F.V. (2000) *Novye sposoby i tekhnologicheskie sredstva dlya vysokoeffektivnogo poseva lesnykh semyan v pitomnike* [New methods and technological means for high-efficiency sowing of forest seeds in the nursery]. *Lesnoy Vestnik* [Forest Bulletin], no. 3, pp. 105-112 (in Russian).

Сведения об авторах

Бартенев Иван Михайлович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: kafedramehaniza@mail.ru.

Драпалюк Михаил Валентинович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: md@vglta.vrn.ru.

Ушаков Никита Олегович – аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: ushakov-racing@mail.ru.

Новиков Артур Игоревич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобилей и сервиса ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: nvatdo@gmail.com.

Information about authors

Bartenev Ivan Mikhailovich – DSc (Engineering), Professor, Professor of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: kafedramehaniza@mail.ru.

Drapalyuk Mikhail Valentinovich – DSc (Engineering), Professor, Professor of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: md@vglta.vrn.ru.

Ushakov Nikita Olegovich – post-graduate student of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: ushakov-racing@mail.ru.

Novikov Artur Igorevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Cars and Service, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: nvatdo@gmail.com.