

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ АЭРОСЕВА СЕМЯН В ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

А.И. Новиков, Н.Е. Косиченко

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова» (ВГЛТУ), 39408, Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

arthur.novikov@vglta.vrn.ru

Аэросев семян древесных пород широко применяется в лесном хозяйстве Российской Федерации, США, Китайской Народной Республики, Новой Зеландии и других стран. Аэросев семян с улучшенными наследственными свойствами позволит диверсифицировать и оптимизировать стандартные методы традиционного лесовосстановления. Исследована операционная технология аэросева леса, выявлены тенденции развития технологии. При использовании самолетов лесокультурная площадь должна иметь правильную форму и размер не менее 25 га при норме высева около 6 кг/га. Применение вертолетов позволяет проводить аэросев на более мелких участках и на участках неправильной конфигурации при норме высева 1,5...2 кг/га. Для аэросева используют высевающие аппараты дискового, туннельного и центробежного типа. Исследуется возможность аэросева с помощью беспилотных летательных аппаратов. Аэросев применяют при содействии естественному возобновлению и при искусственном лесовосстановлении в районах, недоступных для наземных средств по климатическим и географическим причинам, а также при обработке площадей, освобожденных в результате вырубок и гарей, где операционные технологии наземного посева неэффективны. Операционная технология аэросева в лесохозяйственном производстве развивается в направлении сегмента AeroNet, интегрирующего исследования в области качества, безопасности, биоинженерии и энергосбережения, объединенные когнитивной составляющей.

Ключевые слова: лесное хозяйство, лесовосстановление, аэросев, операционная технология, лесные семена, летательный аппарат, высевающий аппарат, тенденции развития

Ссылка для цитирования: Новиков А.И., Косиченко Н.Е. Тенденции развития процессов аэросева семян в лесохозяйственном производстве // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 14–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-14-25

Леса образуют экологический каркас нашей планеты, выполняя защитные, водоохранные, климаторегулирующие, биосферные, воздухоочистительные и другие важные функции. Увеличение лесного покрова и расширение лесовосстановления способствуют продуцированию кислорода и депонированию углерода в лесных экосистемах, а также обеспечению экологической, продовольственной и социальной безопасности при устойчивом управлении с использованием информационных систем [1]. По данным Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), общая площадь лесов на Земле в 1946 г. составляла 4 млрд га, а в 2010 г. — 4,033 млрд га [2], из которых 795 млн га являются землями лесного фонда Российской Федерации [3].

Согласно концепции интенсивного использования и воспроизводства лесов, «применение методов ускоренного лесовыращивания с использованием посадочного материала и семенного фонда улучшенных качеств, полученных на основе достижений методов лесной генетики и селекции» [4], позволит диверсифицировать и улучшить стандартные методы традиционного лесовосстановления [5–8].

С искусственным лесовосстановлением тесно связаны предпосевная обработка [9, 10] и хра-

нение семян, а также их прямой посев в закрытый грунт (лесосеменные центры) и открытый грунт. Посев семян при создании лесных культур в зависимости от биологических особенностей и условий местопроизрастания подразделяют на рядовой, строчно-луночный, ленточный, биогруппами [11, 12], вразброс.

Андрей Андреевич Нартов (1737–1813) в своей статье «О посеве леса» (1765), наряду с делением лесных культур сосны и ели на лесотипологические группы по условиям местопроизрастания и качеству роста, предложил осуществлять посев леса: «У нас находятся три рода обыкновенных деревьев, а именно: ель, сосна и береза, кои легко на самой скудной и сухой земле в великом множестве вырастают. При посеянии сих деревьев должно примечать следующие три вещи, а именно: в какое время собирать семена, как и на какой земле их сеять надлежит» [13].

Андрей Тимофеевич Болотов (1738–1833) в своей работе «Некоторые дальнейшие замечания о посеве лесов, могущие служить руководством для желающих заводить оные» (1781) [14] дал ряд ценных практических рекомендаций по проведению посева и посадки леса, включая технику посева, ширину междурядий, густоту посева, смешение пород.

Дж. У. Тумей (James William Toumey), профессор лесной школы Йелльского университета (США), в классическом труде по лесоводству «Посев семян и лесопосадки» («Seeding and planting») (1916) отмечал целесообразность прямого посева и особую роль отводил «тестированию лесных семян на жизнеспособность по внешним признакам» [15].

Аэросев как разновидность прямого посева в открытый грунт применяют в основном для содействия естественному возобновлению леса, сокращая время, необходимое для восстановления биологического разнообразия экосистем.

Цель работы

Цель работы: 1) изучить процессы аэросева семян в лесохозяйственном производстве и степень их применимости при лесовосстановлении; 2) проверить предположение о том, что развитие аэросева зависит только от способов подготовки почвы и вида засеваемой площади («нулевая гипотеза»); 3) доказать, что перспективным направлением при аэросеве леса является использование беспилотных летательных аппаратов.

Материалы и методы

Объект исследования — операционная технология аэросева леса. Выявление тенденций развития технологии базировалось на методологии проведения систематического обзора [16]. Исследования проводили поэтапно: 1) формулировка вопроса; 2) формирование протокола и стратегии поиска; 3) поиск данных; 4) анализ данных. Вопросы формулировали с учетом мнения ведущих специалистов в данной области. Протокол обзора формировали на основании следующих критериев: поиск, включение результатов, исключение результатов, извлечение, сравнение фактических данных. Поиск проводили в базах данных систем индексирования, государственных коллекций, электронных библиотек ведущих университетов мира, используя комбинации ключевых условий: «высев AND воздушный» («seeding AND aerial»), «лес AND посев с воздуха» («forest AND sowing air»).

Результаты исследования

Вопросы применения аэросева в лесовосстановительном производстве изучали: Н. Захаров (1933) [17], Г.Г. Самойлович (1935) [18], В.Я. Олеринский (1939), Г.С. Батраков (1940), Ф.Б. Орлов (1947) [19], А.П. Шиманюк (1949) [20], А.П. Пестерев (1952) [21], И.С. Мелехов (1953, 1954) [22, 23], Р. Mikola (1953), В.Ф. Молчанов (1954) [24], Ф.И. Сулимов (1954) [25], О.Э. Шергольд (1954), А.А. Алексеев (1955), Н.Е. Декатов (1955) [26], I.S. Allen et al. (1955) [27], G. Siren (1955),

Н.Е. Декатов и Н.С. Зюзь (1956) [28], Е.П. Сысоев (1956), И.А. Чернышев (1956) [29], П.И. Войчалъ (1959) [30], И.А. Григорьев с соавт. (1959) [31], Л.А. Истомин (1959) [32], П.Н. Львов и А.И. Стальский (1959) [33], М.Н. Прокопьев (1959) [34], Г.С. Голутвин (1960) [35], Ю.В. Курепин (1960), А.И. Ирошников (1962) [36], J. Revel (1963), А.А. Марусов (1966) [37], В.Е. Кизенков (1968) [38], H.J. Derg и W.F. Mann (1971) [39], M.E. Faulkner et al. (1972) [40], H.H. Levack (1973) [41], П.А. Анишин (1977), J.D. Scott (1981) (1981) [42], X.D. Liu et al. (1983) [43], D.M. Morris et al. (1994) [44], C. Yang (1996), S. Greipsson и H. El-Mayas (1999) [45], W.S. Shen (1999) [46], A.D. Wood (2000) [47], H.H. Чернов (2002), L. Qi et al. (2003) [48], Beyers (2004), С.В. Грибов (2007), Д.Ю. Коновалов (2007), Н.Н. Неволин (2007), А.В. Устожанин (2008), А.Н. Groen и S.W. Woods (2008) [49], G. Li et al. (2009) [50], Ю.М. Авдеев (2010), А.В. Оводов (2010), D. Peppin et al. (2010) [16], И.В. Морозова (2011), В.А. Якимов (2013), S. Elliott et al. (2013),), D.A. Pyke et al. (2013), L. Rongao (2013) [51], K.W. Davies et al. (2014), J. Sturmer (2017) [52], X. Xiao et al. (2015) [53], В.В. Копытков (2017) [54] и другие ученые. Процесс аэросева вызывает стойкий интерес специалистов.

Предположим, что развитие процессов посева леса с воздуха не соответствует уровню развития применяемой техники, а зависит только от способа обработки почвы и вида засеваемой площади. Тогда необходимо установить, что являлось основой структурирования аэросева. Приведем наиболее значимые результаты исследований.

Иван Степанович Мелехов (1905–1994), академик ВАСХНИЛ, утверждал, что «...при правильном применении аэросев является эффективным способом возобновления хвойных пород в определенных типах гарей и вырубок. Быстрота высева семян с самолета не может быть превзойдена наземными способами. Но это – одна сторона. Поднимаясь в воздух, нельзя забывать о земле, на что мы указывали в печати уже давно и на что, к сожалению, длительное время не обращали внимания» [23].

Аэросев семян древесных пород широко применяли в лесном хозяйстве СССР — для хвойных деревьев в центральных районах, саксаула в полупустынных и пустынных районах. В 1932 г. аэросев провели на площади в 58 тыс. га [21], а в 1953 г. — в таежных районах на площади 22,6 тыс. га [23]. При создании лесных культур на территориях с радиоактивным загрязнением с учетом радиобиологических особенностей семян [55] эффективность аэросева гранул составила 43,8 % [54].

В 1960-х гг. аэросев семян сосны Монтеррея (*Pinus radiata*) при норме высева 2,24 кг/га использовали в сочетании с естественной регенерацией в лесах Каингароа (Kaingaroa) (Новая Зеландия), но впоследствии прекратили из-за повышенного расхода семян и трудности достижения равномерной всхожести [41].

В США аэросев успешно применяли на площадях, восстанавливаемых после бури или пожара, где нельзя было использовать наземную технику из-за обилия пней и других препятствий. Практически 75 % посевных площадей засеяно с воздуха с помощью пилотируемых самолетов и вертолетов. На площадях для лесовосстановления, превышающих 500 акров (около 202 га), аэросев обходится не дороже большинства наземных методов разбросного посева; с его помощью можно выполнить работу в короткие сроки [39].

В Китае аэросев леса применяют свыше 50 лет. Только в 2012 г. Этим способом были обработаны площади 136 400 га. Хотя основным приемом лесоразведения остается посадка сеянцев, в отдаленных горных провинциях (например Гуанси, Юньнань, Сычуань и др.) успешно используют аэросев таких пород, как *Pinus massoniana*, *Pinus yunnanensis* и *Pinus armandi* [56].

В табл. 1 приведены литературные данные о факторах, влияющих на эффективность аэросева леса, с указанием авторов работ и времени исследования. За основу классификации факторов взята возможность подготовки почвы, поскольку, как справедливо заметил И.С. Мелехов, «...одновременно с обработкой почвы можно эффективно сочетать и наземный посев» [23]. Учтены возможные площади для проведения лесовосстановительных работ и базовый уровень

Т а б л и ц а 1

**Структура факторов, влияющих на эффективность аэросева леса
(ретроспективный анализ)**

The structure of factors affecting the aerial sowing forest efficiency (retrospective analysis)

Подготовка почвы	Тип площадей	Базовый уровень техники	
		Пилотируемые авиационные системы	Беспилотные летательные аппараты
Нет	Кипрейно-паловые вырубки в сочетании с контурными обсеменителями	Захаров (1933) [17], Самойлович (1935) [18], Олеринский (1939), Батраков (1940), Орлов (1947) [19], Шиманюк (1949) [20], Пестерев (1952) [21], Мелехов (1953, 1954) [22, 23], Молчанов (1954) [24], Сулимов (1954) [25], Шергольд (1954), Алексеев (1955), Декатов (1955) [26], Декатов и Зюзь (1956) [28], Сысоев (1956), Чернышев (1956) [29], Войчаль (1959) [30], Григорьев и др. (1959) [31], Истомин (1959) [32], Львов и Стальский (1959) [33], Прокопьев (1959) [34], Голутвин (1960) [35], Курепин (1960)	Нет данных на момент исследования
	Нарушенные земли, в том числе после техногенных катастроф, осложненные повышенным радиационным фоном	Копытков (2017) [54]	То же
	Недоступные для наземной техники земли, характеризующиеся сложным рельефом	Декатов (1936), Ирошников (1962); Derr, Mann (1971); Levack (1973); Анишин (1977); Scott (1981); Greipsson, El-Mayas (1999), Чернов (2002), R. Herman et al. (2003); Beyers (2004), Грибов (2007), Коновалов (2007), Неволин (2007), Устюжанин (2008), Groen, Woods (2008), Авдеев (2010), Оводов (2010), Xiao et al. (2015) [53], Морозова (2011), Якимов (2013)	Elliott et al. (2013); Lei (2016), Sturmer (2017) Соколов, Новиков (2017)
	Гари	Mikola (1953), Allen et al. (1955) [27], Siren (1955), Revel (1963), Марусов (1966) [37], Кизенков (1968) [38], Derr, Mann (1971) [39], Faulkner et al. (1972) [40], Levack (1973) [41], Scott (1981) [42], Liu et al. (1983) [43], Morris et al. (1994) [44], Yang (1996), Greipsson, El-Mayas (1999) [45], Shen (1999) [46], Wood (2000) [47], Qi et al. (2003) [48], Beyers (2004), Groen, Woods (2008) [49], Li et al. (2009) [50], Peppin et al. (2010) [51], Pyke et al. 2013, Rongao (2013) [52], Davies et al. (2014)	Нет данных на момент исследования
Есть	Луговиковые, вейниковые, таволговые вырубки	Мелехов (1954) Орлов (1954, 1956)	То же

применяемых технических средств (летательных и высевающих аппаратов). Заметим, что целесообразность аэросева в сочетании с проведением специальных мероприятий по подготовке почвенного и напочвенного покровов весьма условна по эффективности совокупных затрат.

Допустим, что основным фактором, влияющим на эффективность аэросева, является подготовка почвы (и способ ее осуществления). Тогда отсутствие операций подготовки почвы (вспашки, боронования и др.), отмечаемое большинством исследователей, должно являться ключевым и единственным критерием развития. Однако существует ограничение: если при лесовосстановительных работах обработка почвы не проводится, то можно осуществлять как ручной посев вразброс, так и аэросев. Следовательно, уникальность нулевой гипотезы под вопросом.

Допустим, что фактор, определяющий эффективность аэросева, — это вид восстанавливаемой площади. Тогда недоступность этих площадей, в соответствии с мнением многих исследователей (см. табл. 1), будет ключевым и единственным критерием развития. Однако и здесь существует ограничение, выражаемое в возможности лесовосстановления крутых склонов на расстоянии наземной техникой, способной придавать капсуле с семенами начальную кинетическую энергию. Следовательно, необходимость лесовосстановления труднодоступных площадей методом аэросева существует, а достаточность для однозначного определения тенденции — под вопросом.

Рассмотрим альтернативную гипотезу, заключающуюся в том, что развитие процессов аэросева соответствует развитию уровня применяемой техники. Во всех случаях, приведенных в табл. 1, до 2013 года в качестве летательных аппаратов использовали пилотируемые авиационные системы самолетного и вертолетного типа. Четко прослеживается временная взаимосвязь между появлением нового вида летательных аппаратов и началом его использования при аэросеве. Однако здесь имеются также некоторые ограничения, требующие сравнения способов посева в зависимости от степени механизации (табл. 2).

Как видно из табл. 2, пилотируемые летательные аппараты самолетного и вертолетного типа широко применялись в мировой практике и применяются в некоторых случаях до настоящего времени, преимущественно при работах сельскохозяйственного назначения. В 1958–1963 гг. в США [39] оба типа давали «превосходное распределение и точность высева при лесовосстановлении больших площадей — до 1500 акров (607,03 га) в день легким самолетом и около 3000 акров (1214,06 га) в день вертолетом» [57]. При этом затраты на аэросев семенного материала *Pinus contorta*

с вертолета составили 8,5...11 долл./га, тогда как использование наземного механизированного оборудования обошлось в 17...25 долл./га, а ручная посадка семян стоила свыше 250 долл./га (в ценах 1972 г.) [40].

Основное оборудование для аэросева — высевающие аппараты:

- дискового типа (агрегатирование с У-2АС, приводятся в действие от ветрового колеса);

- туннельного типа (распылители широкозахватные РТШ-1, РТШ-1М, РТШ-1Б, агрегируемые с АН-2, СП-30, Ми-2);

- центробежного типа (агрегатирование с Ка-26).

В 1971 г. в Каингароа (Kaingaroa) (Новая Зеландия) при воздушном посеве семян сосны Монтеррея были использованы новые для того времени высевающие аппараты (хопперы) [45]. Основным показателем высева, определяющим типаж и конструкцию высевающих аппаратов для аэросева, является норма высева по ГОСТ 16265–89, определяемая как количество всхожих семян, высеваемых на одном гектаре, или их масса с учетом их посевной годности. Норму высева, равно как и другие характеристики для разведения растений, указывают в протоколе лесоразведения (Plant Propagation Protocol), содержащемся в базе данных лесных культур (Plants Database USDA). Например, средняя норма высева для семян дуба, применяемая в штате Иллинойс (США) при механизированном посеве в строку, составляет 7500 шт./га, вразброс — 12 000 шт./га вблизи края поля на расстоянии 3 м от опушки леса; с учетом хищничества норму высева удваивают [56].

Заметим, что при использовании самолетов лесокультурная площадь должна быть не менее 25 га и иметь правильную форму. Норма высева семян около 6 кг/га. Применение вертолетов позволяет проводить аэросев на более мелких участках и с неправильной конфигурацией. Норма высева семян сосны и ели 1,5...2 кг/га. Следовательно, для проведения лесовосстановительных работ под пологом леса или с высокой точностью при сокращении норм высева и размеров площадей требуется переход на новую авиационную технику.

Использованию беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в лесном хозяйстве посвящено достаточное количество исследований (R. Launchbury (2014) [58], А.И. Николаева (2016)), в том числе по аэросеву леса (Elliott et al. (2013), W. Lei (2016), J. Sturmer (2017) [52], С.В. Соколов, А.И. Новиков (2017) [59] и др.).

Например, в Северном Таиланде лесовосстановление трудно осуществить из-за крутых склонов, недоступных для людей и техники. В отделе лесовосстановления департамента биологии Чиангмайского университета (FORRU)

Т а б л и ц а 2

**Характеристики способов посева мелкосеменного
репродуктивного материала**
Method characteristics of sowing small-seed reproductive material

Способ посева	Особенности посевных площадей	Норма высева, кг/га	Затраты, долл./га (в ценах времени исследований)
С помощью пилотируемого самолета (самолеты У-2АС, АН-2, СП-30, Cessna, «Бекас», СУ-38, НАРП, «Спектр», мотодельтапланы Т-2М, «Ветер», «Гриф», «Горизонт», N3360P и др.)	Открытая площадь 25–100 га, иногда необходимо прикатывание или боронование	6–8 (в сельском хозяйстве до 18)	Нет данных на момент исследования
С помощью пилотируемого вертолета (КА-26, МИ-2, N8422E и др.)	Открытая площадь 5–25 га любой геометрической формы, иногда необходимо прикатывание или боронование	1,5–2	8,5–11 (1972) [40]
С помощью беспилотного самолета (Supercam и др.)	Открытая площадь правильной геометрической формы, земли с радиационным фоном	Нет данных на момент исследования	Нет данных на момент исследования
С помощью беспилотного вертолета (Supercam и др.)	Открытая или закрытая площадь (полог леса) любой геометрической формы, любой сложный рельеф, любое увлажнение почвы, земли с радиационным фоном, иногда необходимо прикатывание или боронование	То же	То же
Наземный механизированный (сеялки лесные универсальные или сеялки лесные питомниковые и др.)	Открытая или закрытая площадь любой геометрической формы, ровный или с небольшим уклоном рельеф, развитая дорожная инфраструктура, отсутствие препятствий	60 (в строку), до 80 (вразброс)	17–25 (1972) [40]
Наземный ручной	Открытая или закрытая площадь (полог леса), необходима развитая дорожная инфраструктура и (или) система жизнеобеспечения	Нет данных на момент исследования	Свыше 250 (1972) [40]

проводятся исследования по применению аэропосева с использованием беспилотных летательных аппаратов, способных нести и сбрасывать семена на указанной территории [56]. Данных о типе БПЛА не приводится.

В Австралии разработана технология аэропосева пророщенных семян на крутых склонах и на землях, нарушенных минными полями [52]. Вначале проводят рекогносцировку местности с помощью БПЛА самолетного типа, оснащенного современным оптическим оборудованием и соответствующей информационной системой. Затем БПЛА вертолетного типа (квадрокоптер) по полученным координатам проводит точечный высев. По словам разработчика Сюзен Грэм (Dr. Susan Graham), эта технология позволит «в 10 раз увеличить скорость посева по сравнению с ручным и на 20 % снизить стоимость работ» [52]. Данных о конструктивных особенностях БПЛА, сохранности и приживаемости сеянцев не приводится.

Обсуждение

Прежде чем оценивать эффективность аэропосева, необходимо уточнить терминологию. Перспективным направлением создания лесных культур на площадях, недоступных и (или) неэффективных для традиционных способов, представляется один из видов посева вразброс — «аэросев леса», определяемый как «посев леса с помощью летательных аппаратов» (ГОСТ 17559–82) [59]. К авиационной работе «аэросев семян» относят «рассев авиационным способом семян различных растений на участок земной поверхности» (ГОСТ Р54265–2010) [60]. Однако начало использования в качестве технических средств БПЛА позволит производить высев любым способом. Основными показателями аэропосева являются:

– грунтовая всхожесть — «...число семян, давших всходы в условиях посева в грунт, выраженное в процентах к общему числу высеянных семян» (Гаврилова и др., 2015) [61];

– приживаемость лесных культур — «...величина, определяемая отношением числа посадочных или посевных мест, занятых деревьями и кустарниками культивируемых пород, к общему числу учтенных посадочных или посевных мест, согласно акту технической приемки, выраженная в процентах» (ГОСТ 17559–82) [59];

– сохранность лесных культур — «...величина, определяемая отношением площади жизнеспособных лесных культур к общей площади лесных культур, заложенных за определенный период, выраженная в процентах» (ГОСТ 17559–82) [59].

Аэросев с помощью БПЛА применяется в следующих случаях (см. табл. 2):

– при лесовосстановлении площадей, освободившихся в результате вырубок (в том числе паловых), где применение операционной технологии наземного посева неэффективно;

– при лесовосстановлении площадей, освободившихся в результате гарей, где применение операционной технологии наземного посева неэффективно;

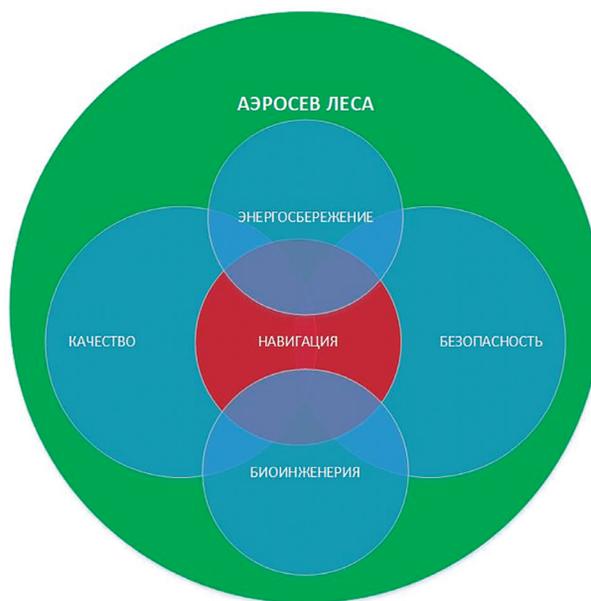
– при содействии естественному лесовозобновлению и при искусственном лесовосстановлении в районах, недоступных для наземных средств по климатическим и географическим причинам;

– при содействии естественному лесовозобновлению и при искусственном лесовосстановлении в районах, недоступных для людей ввиду сложности радиационным фоном и (или) после техногенных катастроф.

Экономическая эффективность аэросева зависит также от посевных качеств семян (прежде всего от их жизнеспособности), определяемых при неразрушающем экспресс-анализе (тестировании) и улучшаемых предпосевной обработкой по качественному признаку.

Говоря о степени проработанности технической составляющей аэросева на настоящий момент, следует отметить, что в конструкциях хопперов, агрегируемых как с пилотируемыми авиационными системами, так и с беспилотными летательными аппаратами, преобладают узлы и элементы, обеспечивающие поддержку количественных характеристик при исключительном посеве вразброс, эффективную при восстановлении почвенного покрова растениями, не очень чувствительными к недостатку и неравномерности площади питания (травы и др.).

Оценивая тенденции развития операционной технологии аэросева в лесохозяйственном производстве, необходимо учитывать возможности использования и особенности взаимодействия ключевых технологий (рисунок). В качестве возможного базового направления рассмотрим



Особенности взаимодействия ключевых технологических направлений при аэросеве
Features of key technologies interaction in aerial sowing

технологический сегмент AeroNet, в котором сочетаются предполагаемые исследования в области качества, безопасности, биоинженерии и энергосбережения, объединенные когнитивной составляющей.

При изучении вопросов экологической безопасности и энергосбережения при аэросеве следует руководствоваться основными принципами технологической платформы «Комплексная безопасность и энергетика»: неразрушающий контроль качества репродуктивного материала с использованием современных когнитивных методов и средств, повышающих достоверность результатов; полное исключение технологических операций с применением двигателей внутреннего сгорания, повышающих экологическую нагрузку на окружающую среду.

Исследования в области биоинженерии при аэросеве должны базироваться на стратегическом принципе технологической платформы «Био-Tech2030» — получении репродуктивного семенного материала с заданными генотипическими свойствами, в основе которого лежит гипотеза Л.Ф. Правдина о селекционном значении цветосеменных рас. Суть гипотезы: «При изучении кариотипа сосны обыкновенной обнаружены существенные отличия в морфологии хромосом как различных географических форм, так и разновидностей по цвету семян» [62]. В данной области запланированы изыскания Воронежского государственного лесотехнического университета с коллегами с Лесного факультета Белградского университета (Сербия). Совместно с ними на территории учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ заложен научный

Т а б л и ц а 3

**Предварительные технические требования к БПЛА, предназначенным
для аэросева, и возможности их реализации**
Preliminary technical requirements for UAVs designed for aerial seeding and the possibility of their implementation

Технические требования	Возможности реализации
1. Грузоподъемность из расчета 1–1,5 кг оборудования плюс требуемое число семян в зависимости от дифференцированной нормы высева	Можно установить экспериментальное оборудование на БПЛА самолетного типа грузоподъемностью порядка 5,0 кг или на БПЛА вертолетного типа грузоподъемностью до 3,0 кг. Разрабатываются БПЛА грузоподъемностью 15, 70 и 200 кг
2. Монтаж хоппера	Монтаж, разработка программного обеспечения и оптимизация устройства возможны благодаря универсальности российской платформы БПЛА
3. Полет на малых скоростях (менее 10 км/ч), устойчивость (особенно при ветровой нагрузке)	Рабочие скорости БПЛА самолетного типа: 60–80 км/ч (20–30 м/с), вертолетного типа: 0–40 км/ч (0–15 м/с)
4. Наличие ручного и автоматического управления, автопилота	Есть автоматическое, полуавтоматическое и ручное управление
5. Программирование автопилота любым несведущим оператором (понятный интерфейс)	Возможно при обязательном прохождении обучения
6. Установка дополнительных датчиков движения (и их сопряжение с уже существующими на БПЛА)	Возможно
7. Точность движения по заданной траектории	Точность движения 2–3 м при различной ветровой нагрузке (например, боковым ветре)
8. Точность определения текущего местоположения	До 5 см в плане и до 15 см по высоте (при аэрофотосъемке — точность координат центров фотографий)
9. Монтаж оборудования для сева, установка дополнительных датчиков и другие доработки на предприятии	ОКР в силу специфики должны выполняться разработчиками БПЛА на базе, согласованной с предприятием-разработчиком. Для БПЛА действуют все правила разработки, производства и ремонта авиатехники

объект для изучения роста и развития лесных культур *Pinus sylvestris*, полученных из семян разного цвета.

Исследования в области качества при аэросеве включают вопросы качества: репродуктивного материала при экспресс-анализе, где используются оптические технологии; изготовления активизирующих защитных и питательных капсул; непосредственного проведения посева. Здесь запланированы работы на базе ВГЛТУ. Направление работ будет определяться исходя из последующих наблюдений за пробными площадями, заложенными из отсортированных по качественному признаку семян сосны обыкновенной.

Исследования в области навигации при аэросеве [63–65] должны соответствовать основным принципам построения структуры тесно интегрированной инерциально-спутниковой системы мониторинга БПЛА, обеспечивающей при пропадании спутниковых измерений определение всех параметров движения беспилотных летательных аппаратов по автономному алгоритму.

Выводы

Таким образом, гипотеза о возможных тенденциях развития аэросева леса может быть принята

только с учетом требований необходимости и достаточности, а именно с учетом вида восстанавливаемых площадей и используемых технических средств. По мнению авторов, наибольшей целесообразности и эффективности можно достичь при выборе интенсивного пути развития аэросева в направлении беспилотной авиации.

В табл. 3 приведены требования к беспилотным техническим средствам для аэросева и данные о возможностях реализации перечисленных требований.

Для решения задач аэросева леса наиболее приемлемым представляется использование БПЛА вертолетного типа с числом лопастей не менее шести (гексакоптеры) вследствие большей грузоподъемности и устойчивости к ветровой нагрузке, а в перспективе — с применением гибридной аэродинамической схемы.

Запланированы всесторонние комплексные исследования, сочетающие современные достижения в области биоинженерии, энергоэффективности, экологической безопасности, беспилотного воздухоплавания и навигации, актуальность которых подтверждается технологическими платформами «БиоТех2030» и «Авиационная мобильность и авиационные технологии».

Работа выполнена при поддержке научного гранта ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова. Номер гранта АААА-А17-117071910071-7 ЕГИСУ НИОКТР.

Список литературы

- [1] Новикова Т.П. Состояние и задачи развития интегрированных информационных систем управления // Наука XXI века: проблемы и перспективы: Матер. Международной научно-практической конференции. Уфа, Башкирский государственный университет, 29–30 мая 2017 г. Уфа: Исследовательский центр информационно-правовых технологий, 2013. С. 106–108.
- [2] Global Forest Resources Assessment 2010: main report. FAO Forestry Paper 163. Rome (Italy): Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2010. 344 p.
- [3] ЕМИСС. Площадь лесных земель / Единая межведомственная информационно-статистическая система. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/38194> (дата обращения 19.10.2017).
- [4] Концепция интенсивного использования и воспроизводства лесов. СПб.: СПбНИИЛХ, 2015. 16 с.
- [5] Бурцев Д.С. Перспективы создания инновационных продуктов в области воспроизводства лесов // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2014. № 3. С. 6–17.
- [6] Морковина С.С., Драпалюк М.В., Баранова Е.В. Инновационные технологии в лесохозяйственном деле: реальность и перспективы // Лесотехнический журнал, 2015. Т. 5. № 3 (19). С. 327–338.
- [7] State of the World's Forests 2016: Forests and agriculture: land-use challenges and opportunities. Rome (Italy): Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2016. 107 p.
- [8] Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1, New York, USA. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication> (дата обращения 07.07.2017).
- [9] Новиков А.И. Дисковые сепараторы семян в лесохозяйственном производстве. Воронеж: ВГЛТУ, 2017. 159 с.
- [10] Новиков А.И. Некоторые технологические особенности сортировальных устройств и тенденции их развития // Лес и молодежь ВГЛТА — 2000: Матер. Юбилейной научной конференции молодых ученых, посвященной 70-летию образования Воронежской государственной лесотехнической академии. В 2 т. Воронеж, ВГЛТА, 21–25 февраля 2000 г. Воронеж: ВГЛТА, 2000. Т. 2. С. 53–60.
- [11] Новиков А.И. О новых способах сортирования лесных семян хвойных пород // Леса Евразии в третьем тысячелетии: Матер. Международной конференции молодых ученых. Москва, МГУЛ, 26–29 июня 2001 г. М.: МГУЛ, 2001. С. 90–91.
- [12] Огиевский В.Д. Избранные труды. М.: Лесная промышленность, 1966. 356 с.
- [13] Нартов А.А. О посеве леса // Труды Императорского Вольного Экономического общества, 1765. Ч. 1. С. 28–35.
- [14] Болотов А.Т. Избранные сочинения по агрономии, плодоводству, лесоводству, ботанике. М.: Московское общество испытателей природы, 1952. 523 с.
- [15] Toumey J.W. Seeding and planting: a manual for the guidance of forestry students, foresters, nurserymen, forest owners, and farmers. New York: John Wiley & Sons, 1916. 455 p.
- [16] Peppin D., Fule P.Z., Hull Sieg C., Beyers J.L., Hunter M.E. Post-wildfire seeding in forests of the western United States: An evidence-based review. Forest Ecology and Management, 2010, vol. 260, pp. 573–586.
- [17] Захаров Н. Опытные работы по аэросеву сосны // Лесное хозяйство и лесозаготовка, 1933. № 2. С. 12–15.
- [18] Самойлович Г.Г. Аэросев семян на лесных площадях // Лесное хозяйство и лесозаготовка, 1935. № 3. С. 19–22.
- [19] Орлов Ф.Б. Аэросев на повторных гарях в условиях Севера: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Воронеж, 1947. 19 с.
- [20] Шиманюк А.П. Восстановительные процессы в сосновых лесах Северного Урала // Восстановительные процессы на концентрированных лесосеках. М.: АН СССР, 1949. С. 66–126.
- [21] Пестерев А.П. Аэросев как способ возобновления вырубленных площадей на Севере // Лесное хозяйство, 1952. № 9. С. 29–32.
- [22] Мелехов И.С. Возобновление леса в связи с рубками в лесах Севера // Лесное хозяйство, 1953. № 6. С. 4–7.
- [23] Мелехов И.С. Механизация лесозаготовок и возобновление леса // Концентрированные рубки в лесах Севера: Сб. статей / под ред. Т.И. Кищенко. М.: АН СССР, 1954. С. 159–172.
- [24] Молчанов В.Ф. Восстановление леса на концентрированных вырубках // Лесное хозяйство, 1954. № 4. С. 13–17.
- [25] Сулимов Ф.И. Опыт аэросева семян хвойных пород // Лесное хозяйство, 1954. № 3. С. 70–74.
- [26] Декатов Н.Е. Аэросев в таежной зоне // Лесное хозяйство, 1955. № 3. С. 24–26.
- [27] Allen I.S., Barber I.K., Mahood I. The 1951 aerial baiting and seeding project ash River Tract Mac Millan and Bloedel limited. The Forestry Chronicle, 1955, vol. 31, no. 1, pp. 45–59. DOI: 10.5558/tfc31045-1
- [28] Декатов Н.Е., Зюзь Н.С. Указания по аэросеву семян сосны и ели. Л.: ЦНИИ лесного хозяйства, 1956. 19 с.
- [29] Чернышев И.А. Опыт аэросева сосны на Урале // Лесное хозяйство, 1956. № 11. С. 80, 81.
- [30] Войчал П.И. Необходима разработка теории аэросева // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 1959. № 2. С. 172, 173.
- [31] Григорьев И.А., Полежаев С.А., Пестерев А.П. Применение аэросева в лесном хозяйстве. М.; Л.: Гослесбуиздат, 1959. 71 с.
- [32] Истомина Л.А. Опыт аэросева в Кировской области // Лесное хозяйство, 1959. № 7. С. 27–41.
- [33] Львов П.Н., Стальский А.И. Аэросев семян сосны и ели в связи с типами вырубок // Основы типологии вырубок и ее значение в лесном хозяйстве / под ред. акад. ВАСХНИЛ И.С. Мелехова. Архангельск: Институт леса и лесохимии АН СССР, 1959. С. 196–208.
- [34] Прокопьев М.Н. Аэросев сосны и ели как способ лесовосстановления // Лесное хозяйство, 1959. № 10. С. 23–29.
- [35] Голутвин В.С. Результаты аэросева ели на гарях и вырубках западного склона Среднего Урала // Вопросы развития лесного хозяйства на Урале: Труды Института биологии Уральского филиала АН СССР, 1960. Вып. 16. С. 159–162.
- [36] Ирошников А.И. К вопросу об использовании аэросева при внедрении лиственницы в Вологодской области: материалы временных коллективов // Труды Института леса и древесины Сибирского отделения АН СССР, 1962. Т. 58. С. 238–244.
- [37] Марусов А.А. Опыт аэросева леса в Пермской области. Пермь: Кн. изд-во, 1966. 32 с.
- [38] Кизенков В.Е. Эффективность аэросева в условиях Архангельской и Вологодской областей: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Л., 1968. 16 с.
- [39] Derr H.J., Mann W.F. Direct-seeding pines in the south. Agriculture Handbook 391, Forest Service. Washington D.C. (USA): USDA, 1971. 73 p.

- [40] Faulkner M.E., Trotman I.G., Garnett B.T. Aerial seeding of pines for protection afforestation; Kaweka Forest, Hawke's Bay. *New Zealand Journal of Forestry*, 1972, vol. 17, no. 1, pp. 81–90.
- [41] Levack H.H. The Kaingaroa air sowing era 1960–71. *New Zealand Journal of Forestry*, 1973, vol. 18, no. 1, pp. 104–108.
- [42] Scott J.D., Mergen F., Mann H.G., Moulds F.R., Hordmeyer A.H., Vietmeyer N.D. *Sowing Forests from the Air*. National Research Council. Washington D.C. (USA): The National Academies Press, 1981, 62 p. DOI: 10.17226/19670
- [43] Liu X.D., Wu Q.X., Hou Q.C., Shi L.M. Ecological distribution of aerial Chinese pine seedlings. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1983, vol. 3, no. 6, pp. 77–82.
- [44] Morris D.M., Bowling C., Hills S.C. Growth and form responses to pre-commercial thinning regimes in aerially seeded jack pine stands: 5th year response. *The Forestry Chronicle*, 1994, vol. 70, no. 6, pp. 780–787.
- [45] Greipsson S., El-Mayas H. Large-scale reclamation of barren lands in Iceland by aerial seeding. *Land Degradation and Development*, 1999, vol. 10, pp. 185–193.
- [46] Shen W.S. Successional stage and rate of the aerial seeding vegetation in the Maowusu Sandyland. *Scientia Silvae Sinicae*, 1999, vol. 35, no. 3, pp. 103–108.
- [47] Wood A.D. Experimental studies of potential improvements in the forest regeneration capabilities of «seed-containing aerial darts». *The Forestry Chronicle*, 2000, vol. 76, no. 3, pp. 406–418.
- [48] Qi L.-H., Pang T., Chen X.-P. A study of the nutrient cycle in aerially seeded *Pinus massoniana* of Hunan Province. *Journal of Central South Forestry University*, 2003, vol. 23, no 2, pp. 26–32.
- [49] Groen A.H., Woods S.W. Effectiveness of aerial seeding and straw mulch for reducing post-wildfire erosion, north-western Montana, USA. *International Journal of Wildland Fire*, 2008, vol. 17, pp. 559–571.
- [50] Li G., Liu Y., Ma L., Lv R., Yu H., Bai S., Kang Y. Comparison of tree growth and undergrowth development in aerially seeded and planted *Pinus tabulaeformis* forests. *Frontiers of Forestry in China*, 2009, vol. 4, no. 3, pp. 283–290.
- [51] Rongao L. Aerial seeding in China. *Dryland Management: Economic Case Studies*, 2013, pp. 34–40.
- [52] Sturmer J. Climate change in drones' sights with ambitious plan to remotely plant nearly 100,000 trees a day. 2017. Available at: <http://mobile.abc.net.au/news/2017-06-25/the-plan-to-plant-nearly-100,000-trees-a-day-with-drones/8642766> (дата обращения 08.07.2017).
- [53] Xiao X., Wei X., Liu Y., Ouyang X., Li Q., Ning J. Aerial seeding: An effective forest restoration method in highly degraded forest landscapes of sub-tropic regions. *Forests*, 2015, vol. 6, no. 6, pp. 1748–1762.
- [54] Копытков В.В. Ресурсосберегающие технологии выращивания посадочного материала и создания лесных культур в Беларуси с использованием композиционных материалов: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.01. Брянск, 2017. 49 с.
- [55] Косиченко Н.Е. Радиобиологическое обоснование отдельных аспектов лесного семеноводства // Генетика и селекция — на службе лесу: Тезисы докладов Международной научно-практической конференции, Воронеж, НИИЛГИС, 28–29 июня 1996 г. / отв. ред. Ю.П. Ефимов. Воронеж: Родная речь, 1996. С. 28–29.
- [56] Forest landscape restoration in Asia-Pacific forests. / Ed. S. Appanah. Bangkok (Thailand): Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Center for People and Forests, 2016, 198 p.
- [57] Forest Planting Practice in the Central States. Ed. G.A. Limstrom. *Agricultural Handbook, Forest Service*. Washington D.C. (USA): USDA, 1963, no. 247, 70 p.
- [58] Launchbury R. Unmanned Aerial Vehicles in Forestry. *The Forestry Chronicle*, 2014, vol. 90, no. 4, pp. 418–420.
- [59] ГОСТ 17559–82. Лесные культуры. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1985. 18 с.
- [60] ГОСТ P54265–2010. Воздушный транспорт. Авиационные работы. Классификация. М.: Стандартинформ, 2012. 22 с.
- [61] Gavrilova O.I., Gostev K.V., Zhuravleva M.V. Study germination of seeds of forest seed *Picea abies* country stations in the Barents region // *Forestry Engineering Journal*, 2015, no. 2 (5), pp. 7–16.
- [62] Pravdin L.F. Osnovnye zakonomernosti geograficheskoy izmenchivosti sosny obyknovlennoy (*Pinus silvestris* L.) Основные закономерности географической изменчивости сосны обыкновенной // *Вопросы лесоведения и лесоводства: Докл. на V Всемирном Лесном конгрессе*. М.: АН СССР, 1960. С. 245–250.
- [63] Соколов С.В., Погорелов В.А. Стохастическая оценка, управление и идентификация в высокоточных навигационных системах. М.: Физматлит, 2016. 264 с.
- [64] Соколов С.В., Новиков А.И. Тенденции развития операционной технологии аэросева беспилотными летательными аппаратами в лесовосстановительном производстве // *Лесотехнический журнал*, 2017. Т. 7. № 4. С. 190–205.
- [65] Сысоев Е.П. Восстановление леса аэросевом на концентрированных вырубках в условиях Кировской области: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Свердловск, 1961. 23 с.

Сведения об авторах

Новиков Артур Игоревич — канд. техн. наук, доцент, доцент Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, arthur.novikov@vglta.vrn.ru.

Косиченко Николай Ефимович — д-р биол. наук, профессор, главный научный сотрудник научно-исследовательского отдела Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, nis@vglta.vrn.ru

Поступила в редакцию 24.01.2018.

Принята к публикации 03.05.2018.

TRENDS OF AERIAL SEEDING IN FORESTRY

A.I. Novikov, N.E. Kosichenko

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8, Timiryazeva st., 39408, Voronezh, Russia
arthur.novikov@vglta.vrn.ru

The process of sowing seeds with improved hereditary properties will help to diversify and optimize the standard methods of traditional reforestation. The object of the study was sowing forest from the air. Identifying trends in the development of technologies based on the methodology of systematic review. Aerial seeding of tree species has found wide application in forestry of the Russian Federation, USA, China, New Zealand and other countries. When using aircraft the silviculture area is to have the correct shape of size not less than 25 ha at a sowing rate of 6 kg/ha. Use of helicopters allows for aerial seeding on smaller sites and with the irregular configuration with a seeding rate of 1.5...2 kg/ha. The main equipment was sowing machines, disk, tunnel and centrifugal types. The application of unmanned aerial vehicles was studied. The basis of amalgamated classification is necessary to consider the possibility of preparation of soil, the types of recoverable space, means. Aerial sowing is used along with natural regeneration and artificial reforestation in areas inaccessible to terrestrial vehicles due to climatic and geographical reasons, as well as in the treatment of logged areas and burnt areas where the ground-based operational technologies are ineffective. The operating technology of aerial sowing in forestry production is developing in the direction of the AeroNet segment, integrating research in the field of quality, safety, bioengineering and energy saving combined by a cognitive component.

Keywords: forestry, aerial reforestation, artificial reforestation, development trends, sowing air, aerial vehicles, aerial seed system

Suggested citation: Novikov A.I., Kosichenko N.E. *Tendentsii razvitiya protsessov aéroseva semyan v lesokhozyaystvennom proizvodstve* [Trends of aerial seeding in forestry]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 14–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-14-25

References

- [1] Novikova T.P. *Sostoyaniye i zadachi razvitiya integrirovannykh informatsionnykh sistem upravleniya* [The status and tasks of development of integrated information management systems]. *Nauka XXI veka: problemy i perspektivy: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Science of the XXI century: problems and prospects. Proceeding of International scientific-practical conference]*. Ufa: Issledovatel'skiy tsentr informatsionno-pravovykh tekhnologiy [Research center of information and legal technologies], 2013, pp. 106–108.
- [2] *Global Forest Resources Assessment 2010: main report*. FAO Forestry Paper 163. Rome (Italy): Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2010. 344 p.
- [3] *EMISS. Ploshchad' lesnykh zemel'* [The area of forest land]. Available at: <https://www.fedstat.ru/indicator/38194> (accessed 19.10.2017).
- [4] *Kontsepsiya intensivnogo ispol'zovaniya i vosproizvodstva lesov* [The concept of intensive use and reproduction of forests]. Saint Petersburg: FBU «SPbNIILKh» [Federal State-Funded Organization «Saint Petersburg Forestry Research Institute»], 2015. 16 p.
- [5] Burtsev D.S. *Perspektivy sozdaniya innovatsionnykh produktov v oblasti vosproizvodstva lesov* [The prospects for the creation of innovative products in the field of forest reproduction]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaistva* [Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute], 2014, no. 3, pp. 6–17.
- [6] Morkovina S.S., Drapalyuk M.V., Baranova E.V. *Innovatsionnye tekhnologii v lesokul'turnom dele: real'nost' i perspektivy* [Innovative technologies in silviculture: reality and prospects]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2015, vol. 5, no. 3 (19), pp. 327–338.
- [7] *State of the World's Forests 2016: Forests and agriculture: land-use challenges and opportunities*. Rome (Italy): Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2016. 107 p.
- [8] *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. A/RES/70/1, New York, USA. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication> (accessed 07.07.2017).
- [9] Novikov A.I. *Diskovyye separatory semyan v lesokhozyaystvennom proizvodstve* [Disc separators of seeds in forestry production]. Voronezh: VGLTU, 2017. 159 p.
- [10] Novikov A.I. *Nekotorye tekhnologicheskie osobennosti sortiroval'nykh ustroystv i tendentsii ikh razvitiya* [Some technological features of the sorting devices and development trends]. *Les i molodezh' VGLTA — 2000: Materialy yubileynoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennaya 70-letiyu obrazovaniya Voronezhskoy gosudarstvennoy lesotekhnicheskoy akademii* [Forest and youth VSAFE — 2000: Proceedings of the anniversary scientific conference of young scientists dedicated to 70-th anniversary of VSAFE]. In 2 v. Voronezh, VGLTA, 2000, v. 2, pp. 53–60.
- [11] Novikov A.I. *O novykh sposobakh sortirovaniya lesnykh semyan khvoynykh porod* [New methods of separation of forest seeds of coniferous species]. *Lesa Evrazii v tret'em tysyacheletii: Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh* [Forests of Eurasia in the third Millennium: proceedings of the International Conference of Young Scientists]. Moscow, MGUL, 2001, pp. 90–91.
- [12] Ogievskiy V.D. *Izbrannyye trudy* [Selected proceedings]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1966. 356 p.
- [13] Nartov A.A. *O poseve lesa* [About the planting forests]. *Trudy Imperatorskogo Vol'nogo Ekonomicheskogo obshchestva* [Proceedings of the Imperial Free Economic society], 1765, part 1, pp. 28–35.
- [14] Bolotov A.T. *Izbrannyye sochineniya po agronomii, plodovodstvu, lesovodstvu, botanike* [Selected works on agriculture, horticulture, forestry, botany]. Moscow: Moskovskoye obshchestvo ispytateley prirody [Moscow society of naturalists], 1952, 523 p.

- [15] Toumey J.W. Seeding and planting: a manual for the guidance of forestry students, foresters, nurserymen, forest owners, and farmers. New York: John Wiley & Sons, 1916, 455 p.
- [16] Peppin D., Fule P.Z., Hull Sieg C., Beyers J.L., Huntera M.E. *Post-wildfire seeding in forests of the western United States: An evidence-based review*. Forest Ecology and Management, 2010, vol. 260, pp. 573–586.
- [17] Zakharov N. *Opytnye raboty po aroseyu sosny* [Development work in pine aerial seeding]. Lesnoe khozyaystvo i lesnoeksploatatsiya [Forestry and mining], 1933, no. 2, pp. 12–15.
- [18] Samoylovich G.G. *Arosey semyan na lesnykh ploshchadyakh* [Aerial seeding on forest land]. Lesnoe khozyaystvo i lesnoeksploatatsiya [Forestry and mining], 1935, no. 3, pp. 19–22.
- [19] Orlov F.B. *Arosey na povtornykh garyakh v usloviyakh Severa*. Avtoref. diss. kand. s.-kh. nauk [Aerial seeding for reburned areas in the North. Extended abstract of candidate's thesis]. Voronezh, 1947. 19 p.
- [20] Shimanyuk A.P. *Vosstanovitel'nye protsessy v osnovnykh lesakh Severnogo Urala* [Recovery processes in pine forests of the Northern Urals]. Vosstanovitel'nye protsessy na kontsentrirrovannykh lesosekakh [Recovery processes in concentrated felling areas]. Moscow: AN SSSR [USSR Academy of Sciences], 1949, pp. 66–126.
- [21] Pesterev A.P. *Arosey kak sposob vozobnovleniya vyrubaemykh ploshchadey na Severe* [Aerial seeding as a way to recover felled areas in the North]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1952, no. 9, pp. 29–32.
- [22] Melekhov I.S. *Vozobnovlenie lesa v svyazi s rubkami v lesakh Severa* [Renewal of the forest in connection with felling in the forests of the North]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1953, no. 6, pp. 4–7.
- [23] Melekhov I.S. *Mekhanizatsiya lesozagotovok i vozobnovlenie lesa* [Mechanization of logging and wood restoration]. Kontsentrirrovannye rubki v lesakh Severa [Concentrated logging in the forests of the North]. Ed. T.I. Kishchenko. Moscow: AN SSSR [USSR Academy of Sciences], 1954, pp. 159–172.
- [24] Molchanov V.F. *Vosstanovlenie lesa na kontsentrirrovannykh vyrubkakh* [Restoring forests on concentrated felling]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1954, no. 4, pp. 13–17.
- [25] Sulimov F.I. *Opyt arosey semyan khvoynykh porod* [Aerial seeding experience of conifers]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1954, no. 3, pp. 70–74.
- [26] Dekatov N.E. *Arosey v taezhnoy zone* [Sowing air in the taiga zone]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1955, no. 3, pp. 24–26.
- [27] Allen I.S., Barber I.K., Mahood I. The 1951 aerial baiting and seeding project ash River Tract Mac Millan and Bloedel limited. The Forestry Chronicle, 1955, vol. 31, no. 1, pp. 45–59. DOI: 10.5558/TFC31045-1
- [28] Dekatov N.E., Zyuz' N.S. *Ukazaniya po aroseyu semyan sosny i eli* [Guidelines for aerial planting of seeds of pine and spruce]. Leningrad: TSNII lesnogo khozyaystva [Central Research Institute of Forestry], 1956, 19 p.
- [29] Chernyshev I.A. *Opyt arosey semyan na Urale* [Aerial seeding experience on the Ural region]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1956, no. 11, pp. 80–81.
- [30] Voychal' P.I. *Neobkhodima razrabotka teorii ayerosey* [It is necessary to develop the theory of air seeding]. Izvestiya vyshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal [Bulletin of Higher Educational Institutions. Forest Journal], 1959, no. 2, pp. 172, 173.
- [31] Grigor'ev I.A., Polezhaev S.A., Pesterev A.P. *Primenenie arosey v lesnom khozyaystve* [The use of aerial seeding in forestry]. Moscow; Leningrad: Goslesbumizdat, 1959, 71 p.
- [32] Istomin L.A. *Opyt arosey v Kirovskoy oblasti* [Experience aerial seeding in the Kirov region]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1959, no. 7, pp. 27–41.
- [33] L'vov P.N., Stal'skiy A.I. *Arosey semyan sosny i eli v svyazi s tipami vyrubok* [Aerial seeding of pine and spruce in connection with the types of logging]. Osnovy tipologii vyrubok i ee znachenie v lesnom khozyaystve [The foundations of a typology of deforestation and its importance in forestry]. Arkhangel'sk: Institut lesa i lesokhimii AN SSSR [Institute of Forest and Wood Chemistry of the USSR Academy of Sciences], 1959, pp. 196–208.
- [34] Prokop'ev M.N. *Arosey sosny i eli kak sposob lesovosstanovleniya* [Aerial seeding for pine and spruce trees as a way of reforestation]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1959, no. 10, pp. 23–29.
- [35] Golutvin V.S. *Rezul'taty arosey eli na garyakh i vyrubkakh zapadnogo sklona Srednego Urala* [The results of spruce sowing air on burned and felled areas of the Western slope of the Middle Urals]. Voprosy razvitiya lesnogo khozyaystva na Urale: Trudy Instituta biologii Ural'skogo filiala Akademii nauk SSSR [Forestry development in the Urals: Proc. Institute of Biology, Ural branch of the USSR Academy of Sciences], 1960, vol. 16, pp. 159–162.
- [36] Iroshnikov A.I. *K voprosu ob ispol'zovanii arosey pri vnedrenii listvennitsy v Vologodskoy oblasti* [To the question about the use of aerial seeding in the introduction of larch in the Vologda region]. Trudy Instituta lesa i drevesiny Sibirskogo otdeleniya Akademii nauk SSSR [Proceedings of Institute of Forest and Wood of Siberian branch of the USSR Academy of Sciences], 1962, vol. 58, pp. 238–244.
- [37] Marusov A.A. *Opyt arosey lesa v Permskoy oblasti* [Experience sowing forest from the air in the Perm region]. Perm': Kn. izd-vo, 1966. 32 p.
- [38] Kizenkov V.E. *Effektivnost' arosey v usloviyakh Arkhangel'skoy i Vologodskoy oblastey*. Avtoref. dis. kand. s.-kh. nauk. [The effectiveness of aerial seeding in the conditions of Arkhangel'sk and Vologda regions. Extended abstract of candidate's thesis]. Leningrad, 1968. 16 p.
- [39] Derr H.J., Mann W.F. *Direct-seeding pines in the south*. Agriculture Handbook 391, Forest Service. Washington D.C. (USA): USDA, 1971, 73 p.
- [40] Faulkner M.E., Trotman I.G., Garnett B.T. *Aerial seeding of pines for protection afforestation; Kaweka Forest, Hawke's Bay*. New Zealand Journal of Forestry, 1972, vol. 17, no. 1, pp. 81–90.
- [41] Levack H.H. *The Kaingaroa air sowing era 1960–71*. New Zealand Journal of Forestry, 1973, vol. 18, no. 1, pp. 104–108.
- [42] Scott J.D., Mergen F., Mann H.G., Moulds F.R., Hordmeyer A.H., Vietmeyer N.D. *Sowing Forests from the Air*. National Research Council. The National Academies Press, Washington D.C. (USA): 1981, 62 p. DOI: 10.17226/19670
- [43] Liu X.D., Wu Q.X., Hou Q.C., Shi L.M. *Ecological distribution of aerial Chinese pine seedlings*. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1983, vol. 3, no. 6, pp. 77–82.
- [44] Morris D.M., Bowling C., Hills S.C. *Growth and form responses to pre-commercial thinning regimes in aerially seeded jack pine stands: 5th year response*. The Forestry Chronicle, 1994, vol. 70, no. 6, pp. 780–87.

- [45] Greipsson S., El-Mayas H. *Large-scale reclamation of barren lands in Iceland by aerial seeding*. Land Degradation and Development, 1999, vol. 10, pp. 185–193.
- [46] Shen W.S. *Successional stage and rate of the aerial seeding vegetation in the Maowusu Sandyland*. Scientia Silvae Sinicae, 1999, vol. 35, no. 3, pp. 103–108.
- [47] Wood A.D. *Experimental studies of potential improvements in the forest regeneration capabilities of «seed-containing aerial darts»*. The Forestry Chronicle, 2000, vol. 76, no. 3, pp. 406–418.
- [48] Qi L.-H., Pang T., Chen X.-P. *A study of the nutrient cycle in aeri ally seeded Pinus massoniana of Hunan Province*. Journal of Central South Forestry University, 2003, vol. 23, no 2, pp. 26–32.
- [49] Groen A.H., Woods S.W. *Effectiveness of aerial seeding and straw mulch for reducing post-wildfire erosion, north-western Montana, USA*. International Journal of Wildland Fire, 2008, vol. 17, pp. 559–571.
- [50] Li G., Liu Y., Ma L., Lv R., Yu H., Bai S., Kang Y. *Comparison of tree growth and undergrowth development in aeri ally seeded and planted Pinus tabulaeformis forests*. Frontiers of Forestry in China, 2009, vol. 4, no. 3, pp. 283–290.
- [51] Rongao L. *Aerial seeding in China*. Dryland Management: Economic Case Studies, 2013, pp. 34–40.
- [52] Sturmer J. *Climate change in drones' sights with ambitious plan to remotely plant nearly 100,000 trees a day*. 2017. Available at: <http://mobile.abc.net.au/news/2017-06-25/the-plan-to-plant-nearly-100,000-trees-a-day-with-drones/8642766> (accessed 08.07.2017).
- [53] Xiao X., Wei X., Liu Y., Ouyang X., Li Q., Ning J. *Aerial seeding: An effective forest restoration method in highly degraded forest landscapes of sub-tropic regions*. Forests, 2015, vol. 6, no. 6, pp. 1748–1762.
- [54] Kopytkov V.V. *Resursosberegayushchie tekhnologii vyrashchivaniya posadochnogo materiala i sozdaniya lesnykh kul'tur v Belarusi s ispol'zovaniem kompozitsionnykh materialov*. Avtoref. dis. d-ra s.-kh. nauk [Energy saving technologies of cultivation of a landing material and creation of forest cultures in Belarus with the use of composite materials. Extended abstract of Doctor's thesis]. Bryansk, 2017. 49 p.
- [55] Kosichenko N.E. *Radiobiologicheskoe obosnovanie otdel'nykh aspektov lesnogo semenovodstva* [Radiobiological rationale for certain aspects of forest seed production]. Genetika i selektsiya na sluzhbe lesu: Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Genetics and selection the service forest. Abstracts of Papers of the International Scientific-Practical Conference], Voronezh: Rodnaya rech', 1996, pp. 28–29.
- [56] *Forest landscape restoration in Asia-Pacific forests*. Ed. S. Appanah. Bangkok (Thailand): Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Center for People and Forests, 2016, 198 p.
- [57] *Forest Planting Practice in the Central States*. Ed. G.A. Limstrom. Agricultural Handbook, Forest Service. Washington D.C. (USA): USDA, 1963, no. 247, 70 p.
- [58] Launchbury R. *Unmanned Aerial Vehicles in Forestry*. The Forestry Chronicle, 2014, vol. 90, no. 4, pp. 418–420.
- [59] *GOST 17559–82. Lesnye kul'tury. Terminy i opredeleniya* [Forest cultures. Terms and Definitions]. Moscow: Izd-vo standartov [Publishing house of standards], 1985, 18 p.
- [60] *GOST R54265–2010. Vozdushnyy transport. Aviatsionnye raboty. Klassifikatsiya* [Air Transport. Aviation work. Classification]. Moscow: Standardinform, 2012, 22 p.
- [61] Gavrilo O.I., Gostev K.V., Zhuravleva M.V. *Study germination of seeds of forest seed Picea abies country stations in the Barents region // Forestry Engineering Journal*, 2015, no. 2 (5), pp. 7–16.
- [62] Pravdin L.F. *Osnovnye zakonomernosti geograficheskoy izmenchivosti sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.)*. [The main regularities of the geographical variability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)]. Moscow: AN SSSR, 1960, pp. 245–250.
- [63] Sokolov S.V., Pogorelov V.A. *Stokhasticheskaya otsenka, upravlenie i identifikatsiya v vysokotochnykh navigatsionnykh sistemakh* [Stochastic assessment, management and identification of high precision navigation systems]. Moscow: Fizmatlit, 2016, 264 p.
- [64] Sokolov C.V., Novikov A.I. *Tendentsii razvitiya operatsionnoy tekhnologii arooseva bespilotnymi letatel'nyimi apparatami v lesovosstanovitel'nom proizvodstve* [Trends aerial seeding operating technology from unmanned aerial vehicles in reforestation]. Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry Engineering Journal], 2017, vol. 7, no. 4.
- [65] Sysoev E.P. *Vosstanovlenie lesa aroosevom na kontsentrirrovannykh vyrubkakh v usloviyakh Kirovskoy oblasti*. Avtoref. dis. kand. s.-kh. nauk [Aerial seeding forest restoration on concentrated cuttings in the Kirov region. Extended abstract of candidate's thesis]. Sverdlovsk, 1961. 23 p.

Authors' information

Novikov Arthur Igorevitch — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor, Associated Professor of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov (VSUFT), arthur.novikov@vglta.vrn.ru.

Kosichenko Nikolay Efimovich — Dr. Sci. (Biol.), Professor, Chief Research Officer of the Research Department at the Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov (VSUFT), nis@vglta.vrn.ru.

Received 24.01.2018.

Accepted for publication 03.05.2018.