

ОБЗОРЫ

УДК 631.33

**ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АЭРОСЕВА ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР  
С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**Лысыч М.Н., Бухтояров Л.Д., Чернышов В.В., Нагайцев В.М.**

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет  
им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, e-mail: miklynea@yandex.ru*

Статья посвящена обзору существующих технологий аэросева лесных семян с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Приводится краткая история применения аэросева в СССР и зарубежных странах. На данный момент применение пилотируемой авиации для лесовосстановления значительно сократилось и широко используется только в сельском хозяйстве. В последние десятилетия наблюдается тенденция интенсивного внедрения беспилотных летательных аппаратов во все отрасли человеческой деятельности. Не является исключением и лесное хозяйство, где в последние годы начали быстро развиваться технологии аэросева с применением БПЛА. Приводится анализ основных типов летательных аппаратов, применяемых для аэросева или имеющих перспективы подобного применения. Проанализированы последние мировые тенденции в применении БПЛА для осуществления аэросева и даны краткие описания реализуемых сейчас проектов. Это открытый проект компании DroneSeed, включающий создание комплексов для аэросева дражированных семян с помощью мультикоптеров, разработку дражировочных установок и составов оболочек семян. Проект компании Dendra Systems (бывшие BioCarbon Engineering), предлагающий технологию, предназначенную для работы в сложных, труднодоступных местах, например таких, как мангровые леса. Канадский проект Flash Forest, в рамках которого были высажены тысячи деревьев с применением предварительно пророщенных семян. Пневматический высевочный комплекс от AirSeed Technologies, способный высевать дражированные семена со специально разработанной оболочкой из биоугля. Проект DroneSeed, осуществляющий высева семян в почвенных брикетах роями дронов. Перспективный отечественный проект Smart Forest, ведущий разработку высевочных комплексов различного назначения. Установлено, что сейчас реализуется весьма ограниченный ряд зарубежных проектов, при этом успешный практический опыт аэросева с применением БПЛА на территории России фактически отсутствует. На основе анализа существующих технологий определены условия эффективного использования аэросева с применением БПЛА.

**Ключевые слова:** аэросев, лесовосстановление, изменения климата, БПЛА, применение, анализ

**OVERVIEW OF MODERN TECHNOLOGIES OF AEROSSEEDING  
FORESTS USING UNMANNED AERIAL VEHICLES**

**Lysych M.N., Bukhtoyarov L.D., Chernyshov V.V., Nagaytsev V.M.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, e-mail: miklynea@yandex.ru*

The article is devoted to a review of existing technologies for aerial seeding of forest seeds using unmanned aerial vehicles (UAVs). A brief history of the use of aerial seeding in the USSR and foreign countries is given. At the moment, the use of manned aircraft for reforestation has significantly decreased and is widely used only in agriculture. In recent decades, there has been a tendency for the intensive introduction of unmanned aerial vehicles in all branches of human activity. Forestry is no exception, where in recent years aroseed technologies with the use of UAVs have begun to develop rapidly. An analysis is given of the main types of aircraft used for aroseed or having prospects for such an application. The latest global trends in the use of UAVs for the implementation of aroseed are analyzed and brief descriptions of the projects currently being implemented are given. This is an open project of the DroneSeed company, which includes the creation of complexes for aerial seeding of pelleted seeds using multicopters, pelleting machines and casing compositions. A project by Dendra Systems (formerly BioCarbon Engineering) offering technology designed to work in difficult, hard-to-reach locations such as mangrove forests. Canadian Flash Forest project planted thousands of trees using pre-germinated seeds. The pneumatic seeding system from AirSeed Technologies is capable of sowing pelleted seeds with a specially developed biochar cover. DroneSeed project, which sows seeds into soil briquettes by swarms of drones. A promising domestic project Smart Forest leading the development of seeding complexes for various purposes. It has been established that a very limited number of foreign projects are currently being implemented, while there is practically no successful practical experience of aerial seeding within Russia with the use of UAVs. Analysis of the existing technologies of aroseed allowed to determine the conditions for its effective use with the use of UAVs.

**Keywords:** aroseed, reforestation, climate change, UAV, application, analysis

Технология аэросева лесных культур имеет достаточно долгую историю. Он широко использовался в центральных районах СССР для создания хвойных насаждений в пустынных и полупустынных районах при посеве саксаула. В 1932 г. аэросев был осуществлен на территории в 58 тыс. га, а в 1953 г. – в таежных районах на террито-

рии 22,6 тыс. га. Также есть опыт создания лесных культур на площадях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, с применением посева гранулированных семян. Приживаемость составила 43,8% [1].

В 1960-х гг. аэросев семян сосны с нормой высева 2,24 кг/га использовали для содействия естественному лесовосстанов-

лению в лесах Новой Зеландии. Данная практика была прекращена из-за повышенного расхода семян и их неравномерной всхожести. В США аэросев успешно применялся на труднопроходимых участках, возникших после пожаров и бурь. Стоимость аэросева не превышала наземных методов разбросного посева, но при этом работы выполнялись в значительно более короткие сроки. В Китае только в 2012 г. были засеяны площади более 136 тыс. га [1, 2].

В описанных примерах для аэросева использовались пилотируемые летательные аппараты самолетного и вертолетного типа. На данный момент применение пилотируемой авиации для лесовосстановления значительно сократилось и широко используется только в сельском хозяйстве.

Тенденцией последних десятилетий является интенсивное развитие беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Они находят все более широкое применение во всех отраслях человеческой деятельности. Не является исключением и лесное хозяйство. Дополнительным импульсом развития этого направления является ускорение климатических изменений при постоянно сокращающейся площади лесов, что обуславливает необходимость су-

щественной интенсификации процессов лесовосстановления [3].

Целью исследования является изучение современных технологий и оборудования для аэросева лесных культур с применением БПЛА.

### Материалы и методы исследования

Исследование выполнено на основе анализа существующих высевальных комплексов для БПЛА, применяемых или имеющих перспективы применения для аэросева лесных культур.

### Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 приводится классификация основных типов летательных аппаратов, применяемых для аэросева или имеющих перспективы подобного применения. Кратко проанализируем их возможности.

Применение легкомоторных самолетов возможно только для осуществления разбросного посева. Это ведет к большим расходам семян и неравномерности их распределения, что определяет невысокую эффективность данного метода. Также необходим парк машин и развитая инфраструктура, которая на данный момент в России практически отсутствует.



Рис. 1. Летательные аппараты, применяемые для аэросева и имеющие перспективы подобного применения

Использование БПЛА самолетного типа тоже не получило широкого распространения. Это обусловлено целым рядом причин. Компактные БПЛА, способные взлетать без подготовки стартовой площадки, имеют малую грузоподъемность и непригодны для аэросева. Более же грузоподъемные модели обладают всем спектром качественных недостатков, присущих легкомоторным самолетам, и дополнительными правовыми проблемами, связанными с использованием воздушного пространства.

Применение БПЛА типа многоосевой вертолет или «мультикоптер» на данный момент имеет наилучшие перспективы для практического применения. Это связано с сочетанием таких его технических параметров, как возможность вертикального взлета и посадки без подготовки участка, высокая маневренность и устойчивость, обеспечивающие высокую точность посева, а также низкая аварийность при приемлемой стоимости. Главным его недостатком является невысокая грузоподъемность и малая продолжительность полета. Однако на данный момент производители ведут интенсивную работу по устранению этих проблем, предлагая все больше моделей с приемлемыми для аэросева характеристиками.

БПЛА вертолетного типа обладают сходными с мультикоптерами характеристиками. Они могут иметь большую грузоподъемность, однако значительно проигрывают по стоимости и сложности конструкции. На основе выполненного анализа можно сделать вывод, что наиболее перспективным типом БПЛА для посева лесных культур является многоосный вертолет или «мультикоптер». Рассмотрим последние

мировые тенденции осуществления аэросева с применением мультикоптеров.

Dronecoria – это открытый проект, включающий создание комплексов для аэросева дражированных семян с помощью мультикоптеров (рис. 2), а также дражировочных установок и составов оболочек для крупномасштабного лесовосстановления при минимальных затратах [4, 5]. Предлагаемая технология облегчает лесовосстановление путем высева сочетания деревьев и травянистых растений.

Процесс аэросева разделяется на два этапа. Сначала делается точная карта, чтобы определить оптимальное место для каждого дражированного семени. Затем производится процесс посева по ранее созданной траектории полета. Чтобы сделать проект легко масштабируемым, предлагается модель высевающего комплекса и программное обеспечение с открытым исходным кодом, что позволяет разнообразным организациям и частным лицам самостоятельно осуществлять посев.

Сильной стороной данного проекта является его открытая концепция, то есть возможность свободного использования разработанных конструкций БПЛА, высевающих аппаратов и программного обеспечения. В то же время проект еще находится на стадии разработки и не готов к промышленному применению. Конструкция используемого высевающего аппарата позволяет осуществлять исключительно групповой высев. При этом группа семян не получает дополнительного ускорения, что не обеспечивает их внедрение в поверхностный почвенный слой. При этом семена могут иметь значительный разброс по размерам и форме.

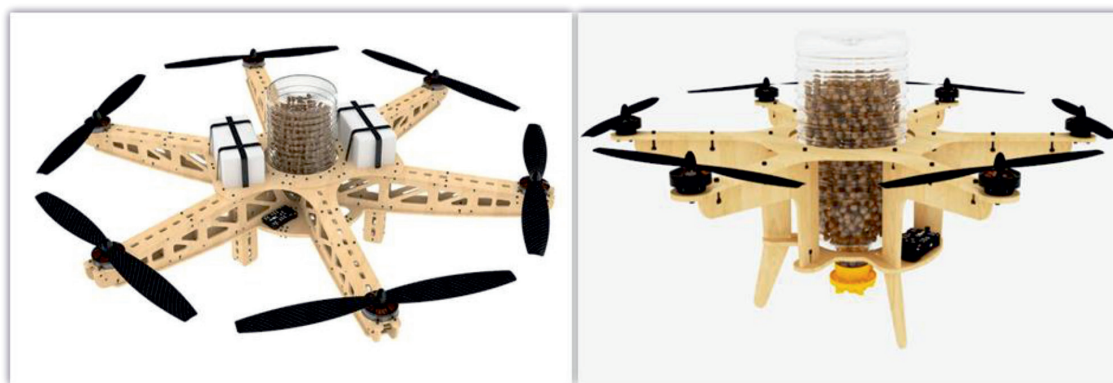


Рис. 2. Высевающий комплекс проекта Dronecoria



Компания Dendra Systems (бывшие BioCarbon Engineering) предлагает технологию, предназначенную для работы в сложных, труднодоступных местах, например таких, как мангровые леса, где илистый ландшафт приливной зоны создает многочисленные проблемы для традиционных методов посадки (рис. 3) [6, 7].

Компания существует с 2014 г. Начиная с 2016 г. были созданы насаждения объемом 100000 деревьев в Австралии и Мьянме. С помощью предлагаемого подхода посадка растений осуществляется в 150 раз быстрее и в десять раз дешевле, чем с другими современными методами посадки, используемыми в настоящее время. По мнению авторов, при использовании существующих традиционных технологий потребуется не менее 200 лет для восстановления утраченных лесных площадей, что является неприемлемым для борьбы с изменениями климата. В настоящее время компания осуществляет проекты, один из которых заключается в рекультивации площадей горнодобывающих

объектов в Австралии, а другой – в восстановлении утраченных мангровых лесов в Мьянме.

Исходя из анализа доступной информации, конструкции высевających комплексов предполагают использование не только дражированных семян, но и специализированных капсул, облегчающих проникновение семян в почвенный слой и их прорастание. Также в последнее время начали внедряться высевające аппараты с центробежным разбросом семян.

Активно развивающийся канадский проект Flash Forest начал испытание прототипов высевających аппаратов с 2019 г. (рис. 4) [8]. С начала испытаний были высажены тысячи деревьев в провинции Онтарио. Использовались предварительно проросшие семена, при этом стоимость посева составляла всего 50 центов. Эта сумма в четыре раза ниже, чем стоимость ручной посадки. В 2020 г., начиная с апреля, Flash Forest планирует посеять с беспилотников не менее 150000 деревьев.



Рис. 3. Высевающий комплекс компании Dendra Systems



Рис. 4. Высевающий комплекс компании Flash Forest

Компанией используются высевающие аппараты двух видов. Это пневматический высевающий аппарат, обеспечивающий дополнительное ускорение сферического дражированного семени, что необходимо для лучшего внедрения в поверхностный почвенный слой. Второй тип высевающего аппарата предназначен для гравитационного высева достаточно крупных брикетов околосферической формы.

Пневматический высевающий комплекс от AirSeed Technologies (рис. 5) способен отстреливать два дражированных семени в секунду со скоростью от 150 до 300 м/с [9]. Выссевающий модуль может крепиться к нижней части различных моделей дронов. По предварительным оценкам команда из двух человек, управляющая двумя аппаратами, может посадить до 40 000 семян в день.

AirSeed Technologies разработал оболочку семени, изготовленную из добавки «biochar» (биоуголь), чтобы сделать ее более легкой. Это спрессованный уголь, полученный при термохимическом преобразовании биомассы. Шарообразные дражированные семена весят 5 г и достаточно

прочны, что позволяет сообщать им дополнительное ускорение для проникновения в поверхностный почвенный слой. Дрон может брать полезную нагрузку до тысячи семян. Оболочка действует как естественное удобрение. Семена также не нуждаются в предварительном проращивании, так как оболочка богата питательными веществами и может быть пропитана свойственными для почвы микроорганизмами и грибами. При использовании технологии группового полета команда из четырех человек, работающая с восемью дронами, может посадить до 160 000 семян за один день.

Высевающий комплекс американской компании DroneSeed (рис. 6) использует для лесовосстановления рои дронов [10]. Они предназначены для эксплуатации в тяжелых условиях, и каждый дрон способен осуществлять посадку на площади 0,3 га за рейс. При этом его полезная нагрузка достигает до 25 кг. Особенностью проекта является использование в качестве посевного материала достаточно больших брикетов квадратной формы, сбрасываемых без дополнительного ускорения.



Рис. 5. Выссевающий комплекс компании AirSeed Technologies

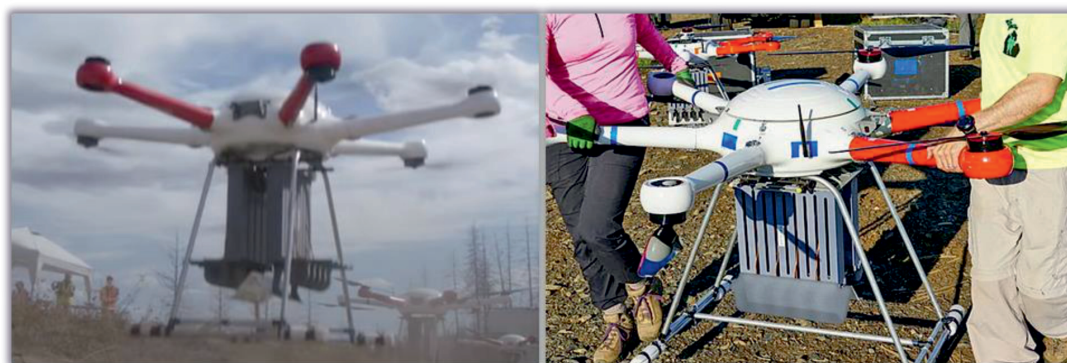


Рис. 6. Выссевающий комплекс компании DroneSeed





Рис. 7. Пневматический высевательный комплекс точного посева проекта Smart Forest

Один из немногих отечественных проектов, реализуемых в данном направлении, выполняется в Воронежском лесотехническом университете авторами данной статьи. Сейчас проект находится на стадии научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Командой проекта разрабатывается комплекс высевательных аппаратов, предназначенных для БПЛА с грузоподъемностью от 5 кг. При этом в зависимости от типа высевательного аппарата могут быть использованы семена различных размеров и формы, в том числе и дражированные. Также реализуются различные способы распределения семян – точный посев, точный посев с дополнительным ускорением семени, групповой и разбросной посев.

На рис. 7 как пример показан высевательный комплекс, оборудованный пневматическим высевательным аппаратом для точного посева дражированных семян [11]. В роли базового мультикоптера использован октокоптер DJI S1000. Рассчитанная по параметрической 3D-модели масса высевательного аппарата равна 915 г при условии изготовления основных конструктивных элементов из АБС-пластика. Полная вместимость бункера и горловины высевательного аппарата при диаметре дражированных семян в 5 мм составляет не менее 7426 шт. Общая масса семян полностью загруженного бункера равна 920,8 г при их плотности 1900 кг/м<sup>3</sup>.

### Заключение

Анализ существующих современных технологий аэропосева с применением БПЛА показал, что его можно эффективно применять на следующих типах участков:

– участки, требующие энергоемкой расчистки от порубочных остатков и пней после выполнения лесозаготовительных работ;

– труднодоступные для наземной техники участки, образовавшиеся в результате лесных пожаров, ветровалов и буреломов;

– участки в местах добычи полезных ископаемых, подлежащие рекультивации;

– участки с ограниченным доступом, возникшие в результате негативного антропогенного воздействия, например радиоактивного.

При этом все перечисленные типы участков должны иметь умеренный травянистый покров и слой лесной подстилки, а также приемлемые водный и световой режимы.

### Список литературы / References

1. Новиков А.И., Косиченко Н.Е. Тенденции развития процессов аэропосева семян в лесохозяйственном производстве // Лесной вестник. 2018. № 5. С. 15–25.
2. Novikov A.I., Kosichenko N.E. Trends of aerial seeding in forestry // Lesnoy Vestnik. 2018. No. 5. P. 15–25 (in Russian).
3. Соколов С.В., Новиков А.И. Тенденции развития операционной технологии аэропосева беспилотными летательными аппаратами в лесовосстановительном производстве // Лесотехнический журнал. 2017. № 4. С. 190–205.
4. Sokolov S.V., Novikov A.I. Trends of development of aerial seeding operational technology with unmanned aerial vehicles in reforestation production // Forestry journal. 2017. No. 4. P. 190–205.
5. Mohan M., Richardson G., Gopan G., Aghai M.M., Bajaj S., Galgamuwa G.A.P., Vastaranta M., Arachchige P.S.P., Amorós L., Corte A.P.D., De Miguel S., Leite R.V., Kganyago M., Broadbent E.N., Doaemo W., Shorab M.A. Bin Cardil A. UAVsupported forest regeneration: Current trends, challenges and implications // Remote Sens. 2021. Vol. 13. No. 13.
6. Dronecoria: Open Source Restoration – WDCD Climate Challenge [Electronic resource]. URL: <https://challenge.whatdesigncando.com/projects/dronecoria-open-source-drones-for-seeding/> (accessed: 01.10.2021).
7. Dronecoria [Electronic resource]. URL: <http://dronecoria.org/drone/> (accessed: 01.10.2021).
8. Dendra Systems: automation and intelligence for the natural world [Electronic resource]. URL: <https://www.dendra.io/> (accessed: 01.10.2021).
9. Drones Planting Trees: An interview with BioCarbon Engineering – Impakter [Electronic resource]. URL: <https://impakter.com/biocarbon-engineering/> (accessed: 01.10.2021).
10. Flash Forest [Electronic resource]. URL: <https://flash-forest.ca/> (accessed: 01.10.2021).
11. Reforestation AirSeed Technologies Australia [Electronic resource]. URL: <https://www.airseedtech.com/> (accessed: 01.10.2021).
12. Rapid Reforestation. DroneSeed [Electronic resource]. URL: <https://droneseed.com/> (accessed: 01.10.2021).
13. Булавинов А.А., Лапшина Н.А., Лысыч М.Н. Пневматический высевательный аппарат // Патент РФ № 194398. Патентообладатель ООО Научно-производственная фирма «Лесав». 2019. Бюл. № 34.