



УДК 630.232.22 (58.084.2)

ББК 43.438 (43.469)

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2026-4-2-109-119>

Апробация технологии восстановления лесов методом имитации аэрозасева с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для целей сохранения биоразнообразия

Ефремов Д.А.

ООО «Промрыбвод», Петрозаводск, Россия

denisefremov@list.ru

Аннотация. Представлен результат апробации технологии восстановления лесов методом имитации аэросева с применением БПЛА DJI Agras T10 в Мурманской области на территории и в окрестностях города Мончегорска, в районе Промышленной площадки АО «Кольская ГМК». Технология включает определение участков, требующих мероприятий по восстановлению леса, разработку проекта лесовосстановления, заготовку семян проектных культур деревьев, высев семян деревьев с помощью беспилотного летательного аппарата с заданной нормой высева, с функцией распределения твердых гранул, мониторинг результатов всхожести семян деревьев. В ходе работы были заготовлены районированные семена сосны обыкновенной 271,4 кг и 2 кг семян ели, произведен высев семян на суммарной площади 150,5 га, всего на 9 участках с различным рельефом и типом грунта. Был произведен мониторинг участков засева, оценена всхожесть семян, их выживаемость на протяжении сезона. Оработана методика работы с БПЛА, оценена эффективность и применимость модели DJI Agras T10 для поставленной задачи. Дана оценка факторов, влияющих на итоговую всхожесть и приживаемость семян.

Ключевые слова: лесовосстановление, технология аэросева, семена сосны обыкновенной, семена ели, семена, участки сева, всхожесть семян, БПЛА для аэросева

Конфликт интересов: автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ефремов Д.А. Апробация технологии восстановления лесов методом имитации аэрозасева с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для целей сохранения биоразнообразия. *Арктика и инновации*. 2026;5(2):109–119. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2026-4-2-109-119>

Simulated aerial seeding with unmanned aerial vehicles in reforestation technology

Denis A. Efremov

Promrybvod LLC, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia

denisefremov@list.ru

Abstract. This article explores the use of a DJI Agras T10 unmanned aerial vehicle (UAV) for simulated aerial seeding in a reforestation technology. The testing took place in the Murmansk Region, with a focus on the area around the city of Monchegorsk and Kolskaya MMC JSC industrial site. The reforestation technology entails identifying areas requiring reforestation measures, designing a reforestation project, and harvesting seeds of the target tree species. Then, drones with a set sowing rate and granule spreading system are used to sow the tree seeds. Finally, the germination results of the seedlings are monitored. During the technology testing, 271.4 kg of regionalized Scots pine seeds and 2 kg of spruce seeds were harvested. These seeds were then sown across nine plots, covering a total area of 150.5 hectares with varying topography and soil types. The sowing plots were monitored, and the germination rate and survival rate of the seedlings were assessed throughout the planting season. The effectiveness and suitability of using a DJI Agras T10 model UAV for monitoring the plots was evaluated, and a methodology for operating the UAV was developed. Additionally, factors influencing the final germination rate and survival of seedlings were examined.

Keywords: reforestation, aerial seeding technology, Scots pine seeds, spruce seeds, seedlings, seeding plots, seedling germination, UAVs for aerial seeding

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

For citation: Efremov D.A. Simulated aerial seeding with unmanned aerial vehicles in reforestation technology. *Arctic and Innovations*. 2026;4(2): 109–119. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2026-4-2-109-119>

Введение

В результате экстенсивного освоения ресурсной базы, полезных ископаемых и природных ресурсов в Мурманской области в советский период России был накоплен значительный экологический ущерб, приведший к нарушению естественных лесных насаждений. Лесные массивы были подвержены разрушению как в результате выбросов с предприятий, так и за счет лесных пожаров, спровоцированных человеком из-за неосторожного обращения с огнем. В районе г. Мончегорска до сих пор остаются пустующие земли, на пожарищах, сформированных в 90-е годы, все еще не началось возобновление хвойных лесов. Нарушения лесных массивов происходили в том числе за счет выбросов с металлургического предприятия Кольской ГМК.

Вместе с тем в настоящее время на предприятии идет процесс установки современных очистных сооружений, эффективно очищающих выбрасываемые газы. Так, по данным Кольской ГМК [1], новая установка, введенная в эксплуатацию в 2025 г., входит в число 180 мероприятий комплексной экологической программы компании на Кольском полуострове, общий объем финансирования которой до 2031 г. превысит 71,7 млрд рублей. Основная задача системы — сокращение выбросов диоксида серы (SO₂) от печей кипящего слоя в рамках единой системы очистки газов. Ожидается, что ежегодный

объем выбросов будет снижен почти на 1 тысячу тонн. По данным компании, в 1990-е гг. объем выбросов SO₂ на Кольской ГМК составлял порядка 500 тысяч тонн. К 2015 г. этот показатель снизился до 155,1 тысячи тонн, а по итогам 2024 года — до 12,4 тысячи тонн, в том числе благодаря реализации Серной программы.

В настоящее время вокруг предприятия во всех направлениях началось активное восстановление флоры, хорошо распространяются и поднимаются массивы березы, ивы и осины за счет мелких легких семян, распространяемых ветром с больших расстояний, массово развиваются травянистые растения, иван-чай, осоки, злаки и другие, семена которых также распространяются ветром на большие расстояния. На протяжении лета вплоть до зимы флора остается зеленой, хорошо развивается, наблюдается заметный рост. Это свидетельствует о минимизации уровня загрязнений, критичных для произрастания лесных массивов. В то же время сухие и обугленные стволы свидетельствуют о произрастании ранее на данной территории сосен и елей. В настоящее время сложились условия, позволяющие произрастать этим лесным культурам, но материнские растения, являющиеся источниками семян, находятся на значительном удалении, что не позволяет быстро начаться процессу самовосстановления лесов, даже несмотря на сильные ветры различных

направлений. Стала очевидна необходимость искусственного восстановления лесных насаждений различными методами. В настоящее время в приоритете является метод высадки сеянцев различного размера, этот метод является эффективным на ограниченных площадях, поскольку требует значительных затрат на этапе выращивания сеянцев в специальных питомниках, изъятия нарушенной почвы, завоза чистой подготовленной почвы. В нашем эксперименте на первом этапе работ мы провели отсев пробной территории площадью 2,1 га. Были получены положительные результаты: несмотря на крайне засушливое лето, осенью 2024 года на экспериментальном участке были получены всходы сосны обыкновенной в необходимом количестве, на некоторых участках до 50–60 шт. на 1 м². Наиболее подходящими для всходов оказались грунты с высоким содержанием торфа, положительный эффект был получен на участках без внесения дополнительных грунтов.

Таким образом, получив положительные результаты на пробном участке, стало очевидно, что работу возможно масштабировать и провести сев хвойных культур большей площади, с применением современных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Был проанализирован мировой опыт применения БПЛА для целей сева различных культур, выбрана подходящая платформа. Отобраны участки, нуждающиеся в аэросеве с различным типом рельефа, разработаны проекты лесовосстановления, заготовлены семена сосны и ели, проведен аэросев семян на 10 участках сева общей площадью более 150 га. В ходе мониторинговой экспедиции была изучена всхожесть семян высаженных хвойных пород на различных экспериментальных участках, оценена эффективность метода аэросева семян хвойных пород с применением БПЛА.

Материалы и методы

В ходе работы для проведения аэросева было заготовлено 271,4 кг семян сосны обыкновенной, которые были упакованы в 10 мешков фасовкой по 25,4 кг вместе с упаковкой и 1 мешок весом 21,4. Каждый мешок был тщательно запакован и перенесен на хранение в холодное темное помещение зимой 2024–2025 гг. Заготовка семян производилась на Северо-Западе России, в Лесосеменном районе 1 (ЛСР 1),

что позволяет перебрасывать семена в Мурманскую область. Также было приобретено 2 кг семян ели обыкновенной: из-за засухи 2024 г. на Северо-Западе России шишка ели не уродилась, в результате удалось приобрести ограниченное количество семян ели подходящего ЛСР 1 из запасов 2023 г.

В эксперименте по аэросеву применялся БПЛА DJI Agras T10 (рис. 1), учетный номер 0899e55, максимальной взлетной массой 24,8 кг, грузоподъемностью 8 кг со стандартным программным обеспечением DJI Agras. Всего было проведено более 70 полетов в снаряженном состоянии общей продолжительностью более 1000 минут. Для полетов использовалось разрешение администрации города Мончегорска №01-028-2094 от 15.05.2025, а также администрации Печенгского муниципального округа Мурманской области № 19 от 10.06.2025 г.

Для заряда батарей применялся бензогенератор Konnen&Sohnen KS10000E ATS мощностью 8 кВт в сочетании с зарядной станцией для DJI Agras T10. Всего в работе использовалось 3 стандартных аккумулятора DJI Intelligent Flight Battery T10 емкостью 9500 мАч.

Для распределения семян использовался бункер для разбрасывания сухих гранул — система разбрасывания T10 Spreading System 3.0 (рис. 1), производительность от 0,5 до 100 кг/га.

Предварительно была подготовлена карта расположения участков (рис. 2). Проектной организацией была предложена концепция по выбору участков, включающая использование нескольких участков на территории города Мончегорска, нескольких участков в буферной зоне между Промплощадкой Кольской ГМК и Мончегорском и несколько участков на территории Промплощадки Кольской ГМК. Участок 1 относится к территории Мончегорска, имеет площадь 27 га, Участки 2, 3 и 8 находятся в буферной зоне, между городом и Промплощадкой, имеют суммарную площадь 53 га. Участки 4 и 6 находятся на территории Промплощадки Кольской ГМК, имеют площадь 14 га. Участки 5 и 7 находятся за пределами Промплощадки Кольской ГМК, здесь грунты носят каменистый характер, их выбрали в качестве экспериментальных, чтобы проверить, прорастут ли здесь семена и как будут чувствовать



Рис. 1. БПЛА DJI Agras T10 (<https://www.rusgeocom.ru/>, Ефремов Д.А.)

Fig. 1. DJI Agras T10 UAV (<https://www.rusgeocom.ru/>, photos taken by D.A. Efremov)

себя семена на скальных грунтах. Площадь участков — 7 га. Участки 9 и 11 являются резервными, их суммарная площадь — 348 га, они были выбраны на случай невозможности проведения эксперимента на территориях участков 1–8 из-за возможных ограничений полетной зоны или иных причин. Следует отметить, что участок 7 (рис. 2) был исключен администрацией Мончегорска в связи с тем, что он уже включен в зону рекультивируемых земель. Высвободившиеся из 271,4 кг сосны были распределены на дополнительные площади, в том числе на 9-й и 11-й резервные участки.

Семена для засева были привезены в мешках. При наполнении бункера БПЛА семенами делали смесь семян минимум из 2 мешков сосны и мешка ели, чтобы обеспечить максимальную эффективность перемешивания семян, добиться высева семян из разных партий заготовки. Весь объем семян был распределен на участках засева.

При аэрозасеве с учетом сложного рельефа местности, наличия препятствий и непригодных для произрастания областей (дороги, водоемы, дренажные канавы) для каждого участка непосредственно на месте строился свой план автоматического полета в режиме сева на базе программного обеспечения БПЛА DJI. Некоторые крупные участки, «изрезанные» линиями ЛЭП, разбивались на сектора с учетом охранной зоны ЛЭП 25 м, в границах которой запрещены полеты. Также в этой зоне нецелесообразно проводить сев, поскольку после подъема леса насаждения будут срублены бригадами косарей и вальщиков для сохранения охранной просеки. Точный план полета на открытых участках, без ЛЭП, столбов, заборов, высоких одиночных деревьев возможно строить на основе встроенной в программное обеспечение карты спутниковых снимков, используя в качестве ориентиров береговую линию озер, канав, дорог и др. Данный способ планирования полетов



Рис. 2. Общая карта-схема предварительно подобранных участков для искусственного лесовосстановления (источник <https://yandex.ru/maps>)

Fig. 2. General map of pre-selected plots for artificial reforestation (source: <https://yandex.ru/maps>)

хорошо работал 21–23 мая. После 24 мая, с потеплением, началось интенсивное таяние снега, ручей Кумужий наполнился паводковой водой, в результате чего области на участке 3 попали в зону затопления, которая не отображалась на летних спутниковых снимках. В итоге план полетов строился с помощью пульта управления БПЛА и модуля RTK, обеспечивающего точность позиционирования до одного метра. Аналогичный способ построения использовался в зонах ЛЭП, что позволяло построить схему участка, исключая возможность залета в охранную зону. Крайняя точка подлета ставилась на расстоянии не ближе 1 метра от таблички «Охранная зона ЛЭП». В случае сильного ветра часть семян могла попадать в эту зону за счет сноса, но в этих случаях делали поправку на ветер и точку полета строили несколько дальше от таблички.

Фактическая работа по аэросеву проводилась с 23 мая по 6 июня 2025 г. в соответствии с полетным планом и предоставленной полетной зоной, на каждый день — новая полетная зона. С учетом погодных условий — ветер, осадки и т. п. — некоторые участки засеивали за один подход, некоторые — за 2 дня. Перед высевом семян производилась калибровка автоматической системы распределением с заданным параметром 1,0, или 1,5, или 2,0 кг семян на 1 га. Полет осуществлялся преимущественно в автоматическом режиме с заранее заданными параметрами. Скорость полета — 7–8 м/с, расстояния между транссектами на участке — 7–9 м в зависимости от силы ветра, высота полета — 8–15 м. Минимальная высота задавалась на участке без древесных культур, максимальная — на участках с холмистой местностью и насаждениями из осин и берез, в районе участка 8. Направление транссекта определялось в соответствии с направлением ветра так, чтобы БПЛА двигался на ветер или по ветру, в этом режиме наблюдалась максимальная экономия энергии.

Для оценки всхожести семян хвойных пород была применена оригинальная методика. На каждом участке засева выбирали 3–9 точек в случайном порядке, на которых с помощью рулетки (5 м), вымеряли квадрат площадью 2 × 2 метра и на нем пересчитывали все обнаруженные семена хвойных пород. Также проводили описание участка, учитывали тип грунта, увлажнение, наличие древесных остатков, индивидуальные осо-

бенности. Суммарная всхожесть для каждого участка рассчитывалась на основе среднего показателя со всех промеренных точек участка. Далее делали пересчет средней всхожести для изученного участка. Количество семян каждого отдельного участка суммировали и получали итоговую цифру со всех участков. Идентификацию саженцев по видам не проводили, в показателе «всхожесть» показана информация суммарно для сосны и ели. Идентификация саженцев будет производиться на более поздних этапах мониторинга, после формирования полноценных растений.

Работа по изучению всхожести участков проводилась на протяжении 4 дней в различные даты. Участки 0, 1, 2, 3, 4 и 6 обследовали 25 сентября, участки 5, 8, 11 и 9 провели 15 октября, участок 1 — 16 октября, все участки были обследованы до выпадения снега. Следует учесть, что процедура по обследованию занимает много времени, в условиях короткого светового дня следует закладывать дополнительные дни на пешие маршруты на обследование участков в будущем.

Результаты и обсуждение

Выбор дрона DJI Agras T10 для эксперимента был сделан неслучайно. Технические расчеты, включающие объем бункера (до 8 кг), скорость полета до 10 м/с, объем сева 1,5–3,0 кг/га, показали, что наиболее подходящим и энергоэффективным для полетов является именно этот БПЛА. За время полета (около 12 минут и 2–3 минуты на возврат) дрон успевает облететь около 3 га с заданным шагом 7–9 метров между транссектами, при этом распределив до 5 кг семян сосны и ели. С учетом низкой плотности семян сосны бункер вмещает около 5,5 кг семян сосны. В результате ко времени опустошения бункера батарея разряжалась на 80 % и процедура очередной загрузки бункера совпадала со временем замены батареи. Также к моменту замены батареи успевала зарядиться очередная батарея. В результате циклическое использование трех батарей позволяло осуществлять непрерывный посев семян. 1 батарея постоянно находилась на зарядке, одна была установлена на дроне, а одна находилась близ точки посадки дрона и очередного пополнения бункера. Применение дрона большей массы, такого

как DJI Agras T20 с грузоподъемностью 20 кг или аналогов, окажется энергетически неэффективным. Дрон с большей массой в воздухе может находиться не более 15 минут, за это время он сможет посеять не более 5 кг из возможных 15. После разряда батареи будет необходим возврат на точку старта для замены батареи с неопустошенным бункером. В итоге дрон будет возможно загружать лишь на треть от его возможностей и его применение будет нецелесообразным.

При первичной проработке проекта объем высева семян взяли из нормативов СССР для аэросева с расчетной величиной 2,5 кг/га, были выбраны участки для засева планируемой общей площадью 100 га с резервными площадями до 200 га. Также дополнительно к ним включили еще один участок близ п. Заполярный площадью 5 га. Заготовку семян произвели исходя из первичных данных. После подготовки проекта лесовосстановления инженерами были рассчитаны нормы высева от 1 до 2 кг семян сосны на 1 га. В результате избыточные объемы семян в ходе работы распределили на резервных площадях, которые были заранее запланированы и утверждены. В результате итоговая площадь засева в районе Мончегорска составила 150,5 га.

Всего в ходе работы с помощью дрона DJI Agras T10 было засеяно 150,5 га экспериментальных площадей. На них было

суммарно распределено 245,8 кг семян сосны обыкновенной и 1,8 кг ели европейской ЛСР 1. Это составило суммарно более 38 000 000 семян. Работа была начата 23 мая и завершена 6 июня 2025 г. Основные сложности в работе представляли погодные условия, разрешительная документация (ограниченное время согласованных полетов) и форсмажорные обстоятельства.

В целом функциональность агродрона DJI Agras T10 позволила полностью выполнить запланированные показатели в срок и перевыполнить их. Дополнительные площади были засеяны за счет высвободившегося объема семян в результате снижения нормы высева семян с 2,5 до 1,5 кг на 1 га в среднем.

В ходе осенней работы был осуществлен мониторинг результатов сева 9 участков в районе Мончегорска. Практически на всех участках удалось обнаружить сеянцы сосны разной стадии развития (рис. 3).

На участке засева 1 средняя всхожесть сеянцев сосны составила 3 шт. на 4 м² с учетом засеянной площади 27,6 га и распределенных 8 550 447 семян сосны обыкновенной и ели, всхожесть составила 215 800 сеянцев, эффективность прорастания семян составила 2,5 %. Следует отметить, что первоначальная всхожесть в июне была значительно выше, 25–27 сеянцев, на 4 м², но далее произошла гибель сеянцев и уже 10 августа на том же участке присутствовали

Таблица 1. Результаты засева участков в окрестностях Мончегорска (Д.А. Ефремов)

Table 1. Results of sowing plots around Monchegorsk (D.A. Efremov)

Участок сева	S, га план.	S, га факт.	к-во семян сосны, кг	к-во семян сосны, шт.	к-во семян ели, кг	к-во семян ели, шт.
1	27	27,6	55,2	8 492 308	0,35	58 140
2	5	12,1	24,2	3 723 077	0,15	24 917
3	28	22,7	34	5 230 769	0,25	41 528
4	13	10,7	16	2 461 538	0,15	24 917
5	5	5,5	8,2	1 261 538	0,05	8 306
6	1	0,7	1	153 846	0,05	8 306
7	–	–	–	–	–	–
8	22	20	30,5	4 692 308	0,2	33 223
резерв 9	–	29,8	44,7	6 876 923	0,35	58 140
резерв 11	–	21,4	32	4 923 077	0,25	41 528
Всего Мончегорск	101	150,5	245,8	37 815 385	1,8	299 003



Рис. 3. Участок засева 3, сеянцы сосны (Ефремов Д.А.)

Fig. 3. Sowing plot 3, pine seedlings (photos taken by D.A. Efremov)

погибшие, сухие сеянцы и свежие проросшие. В ходе мониторинга 16 октября июньские сеянцы с хорошо сформированными настоящими иглками отмечены нами только в одной мониторинговой точке У 1.2, она является самой северной, находится на северо-востоке участка в приозерной торфяной низменности. Визуально эта точка находится за пределами шлейфа завода, протянувшегося в северо-западном направлении, остальные же точки мониторинга располагаются в пятне рельефа с минимальным уровнем самовосстановившейся зелени. Предположительно, причиной гибели сеянцев стал период июльского тепла на протяжении 11 дней и 6 дней в августе, а также, вероятно, накопленные в торфе загрязнители. На остальных точках обнаружены сеянцы, которые проросли вторично после обильных ливней в августе и сентябре, некоторые сеянцы все еще сохраняли иглки внутри семенной кожуры.

Эффективность сева на участке 1 оказалась довольно низкой и не превысила 2,5 %, в то же время было получено 215 800 сеянцев сосны обыкновенной и ели. Данный сев в значительной степени стал мониторинговым, позволил оценить различные почвы в разных секторах участка, что позволит сформировать эффективную программу лесовосстановления на данном участке в будущем.

Средняя эффективность сева на участке 11 составила 11,2 сеянца на 4 м², с учетом площади участка 21,4 га из 4 964 605 распределенных семян взошли 599 200 сеянцев на всем участке. Эффективность всхожести составила 12 %, это лучший показатель, которого удалось добиться в окрестностях Мончегорска. На обследованном участке 11 преимущественно хорошо обводненные участки, на них обнаружены июньские сеянцы с хорошо развитыми настоящими

иголками, на участках с недостатком влаги обнаружены как июньские, так и августовские сеянцы, взошедшие после обильных ливней в августе. На участке минимальная всхожесть наблюдалась в точках, возвышающихся над болотами, где проявляется недостаток влаги; есть участки с «коркой» условно живого мха, не позволяющей эффективно прорасти и закрепиться сеянцам хвойных пород деревьев на торфе.

В целом эффективность работ по аэросеву на данном участке оказалась наилучшей среди экспериментальных площадок близ Мончегорска, была достигнута эффективность всхожести сеянцев 12 %, было получено около 600 000 сеянцев сосны обыкновенной и ели, которые в основном хорошо сформировались, имеют развитую розетку настоящих иголок.

Аналогичный детальный анализ был сделан для всех участков и исследованных точек на них, все результаты в данную публикацию не вошли. Обобщенные данные результатов со всех точек мониторинга приведены в таблице 2. В 2025 году удалось суммарно учесть на 9 экспериментальных площадках 1 639 375 сеянцев сосны, преимущественно июньские всходы, с хорошо сформированными настоящими иголками, в то же время на участках присутствовали сеянцы, проросшие в августе и сентябре, после на-

чала осенних дождей. Средняя всхожесть и приживаемость для Мончегорска составила 4 сеянца на 4 м², или 4,1 % от количества распределенных семян. Наибольшая эффективность засева была получена на участке 11 — 12 % на Восточном берегу озера Нудъявр, наихудшая — 0% — в районе участка 2, близ железной дороги и ручья Кумужий.

Промежуточный мониторинг на участке 1 в конце июня показал высокие результаты всхожести, до 25–27 экз./4 м², тогда как 10 августа на том же участке присутствовали полностью высохшие июньские всходы и начали прорасти новые сеянцы, но в меньшем остаточном количестве. Участки восстановления леса и флоры в окрестностях Мончегорска следует рассматривать как сухие пустыни и применять технологии, позволяющие сохранить влагу и дополнительно внести ее. Требуется орошение участков, мульчирование песчаных грунтов, затенение, посадка саженцев на большую глубину с более развитой корневой системой. По возможности отсыпка песчаных участков привозным торфом.

Наиболее сложным для лесовосстановления являются склоны горы Сопчуайвенч, здесь наблюдается значительная эрозия почвы, старые пни будто висят в воздухе с оголенными корнями, склоны потеряли

Таблица 2. Результаты всхожести и приживаемости сеянцев сосны и ели в окрестностях города Мончегорска (Ефремов Д.А.)

Table 2. Germination and survival rates of pine and spruce seedlings around Monchegorsk (D.A. Efremov)

Участок сева / год сева	S, га факт.	Кол-во семян сосны и ели, кг	Кол-во семян сосны и ели, шт.	Всхожесть сеянцев, шт./4 м ²	Всхожесть сеянцев, %.	Всего сеянцев, шт.
У0 / 2024	2,2	5	710 000	8	4	28850
У1 / 2025	27,6	55,2	8 550 447	3	2,5	215 800
У2 / 2025	12,1	24,2	3 747 994	0	0,0	1000
У3 / 2025	22,7	34	5 272 297	7	7,5	397 250
У4 / 2025	10,7	16	2 486 455	6	6,5	160 500
У5 / 2025	5,5	8,2	1 269 844	3,2	3,5	41 250
У6 / 2025	0,7	1	62 152	1,5	1,6	2 625
У7 / 2025	–	–	–	–	–	–
У8 / 2025	20	30,5	4 725 530	3,0	2,4	110 000
резерв 9 / 2025	29,8	44,7	6 935 063	1,5	1,6	111 750
резерв 11 / 2025	21,4	32	4 964 605	11,2	12,0	599 200
Мончегорск	150,5	245,8	38 114 388	4	4,2	1 639 375

почву и грунт до 20–25 см в результате выветривания и смывания водой. В то же время на склонах горы, где сохраняется сток ручьев, сформированы своеобразные оазисы, в которых флора хорошо произрастает, на расстоянии не более 1,9 км от Промплощадки КГМК под кронами берез и елей растут черника, брусника и багульник. Есть следы жизнедеятельности лосей.

Заключение

В ходе работы был успешно апробирован агротехнический БПЛА DJI Agras T10 с максимальной взлетной массой 24,7 кг, грузоподъемностью 8 кг. В мае и июне 2025 г. успешно проведена работа по аэрозасеву 9 участков в районе города Мончегорска, всего 150,5 га. На них было успешно распределено 248,5 кг семян сосны обыкновенной и 1,8 кг ели европейской ЛСР 1, 1-й класс всхожести, это составило около 38 114 000 семян.

Осенью 2025 г. проведена мониторинговая работа по эффективности прорастания и приживания семян сосны обыкновенной и ели, посаженной методом имитации аэрозасева. Всего на 11 участках было получено около 1 800 000 семян хвойных пород, средняя эффективность всхожести составила 4,2 %. В окрестностях Мончегорска на наилучшем участке была достигнута всхожесть на уровне 12 %.

Косвенным результатом работы по аэрозасеву стал мониторинг участков с различным типом грунта, уклонов, рельефа. Были выявлены негативные факторы, влияющие на прорастание семян хвойных пород, и других видов флоры. При восстановительных мероприятиях следует рассматривать засеваемые участки как пустыни. Отсутствие растительного покрова, шлаковые и песчаные грунты, большие уклоны, сильный ветер, полярное солнце, отсутствие тени и влагоудерживающей дерновины в своей

результатирующей сумме дают эффект пустыни, особенно в жаркие июльские и августовские дни. Влага от дождей просачивается в песок или скатывается по склонам, в случае затяжных сухих периодов более 7 дней происходит гибель молодых ростков, в результате не удается восстановить растительный покров.

Дополнительным негативным для прорастания фактором стало присутствие на торфяных участках «корки» из условно живого мха: данное естественное образование не позволяет семенам растений закрепиться в минеральном слое, это покрывало имеет темно-зеленый или черный свет, что при интенсивном солнце приводит к ускоренному процессу иссушивания семян.

На экспериментальном участке 0, засеянном в 2024 г., спустя два летних сезона и одной зимовки было учтено 28 850 семян сосны, итоговая цифра приживаемости семян составила 4 % от первоначально распределенных семян на 2,2 га в среднем. 3 участка с подготовкой грунта по разным причинам остались практически без семян. На неподготовленном участке на площади 1,2 га эффективность приживания составила 12 %. Сеянцы преимущественно прижились на хорошо обводненных заболоченных участках и вдоль ручьев.

В целом работа по аэрозасеву позволила отработать уникальную инновационную методику лесовосстановления, позволив засеять в ограниченный сроки порядка 150,5 га пустующих земель. Мониторинговые мероприятия позволили выявить причины отсутствия процессов самовосстановления лесов на некоторых участках вокруг Мончегорска, на некоторых локациях удалось достичь высоких показателей всхожести и приживаемости семян сосны и ели. Данную методику можно рекомендовать в арктических условиях Северо-Запада России.

Литература

1. Шугаев Г. (ред). «Норникель» ввел в эксплуатацию систему газоочистки на Кольской площадке. Lenta.ru [интернет]; 25 авг. 2025. Режим доступа: <https://lenta.ru/news/2025/08/25/nornikel-vvel-v-ekspluatatsiyu-sistemu-gazochistki-na-kolskoy-ploschadke/>

References

1. Shugaev G. (ed.). Norilsk Nickel has commissioned a gas cleaning system at its Kola site. Lenta.ru [internet]; 25 August 2025. Available at: <https://lenta.ru/news/2025/08/25/nornikel-vvel-v-ekspluatatsiyu-sistemu-gazoochistki-na-kolskoy-ploschadke/>. (In Russ.).

Сведения об авторе

Ефремов Денис Александрович — кандидат биологических наук, директор ООО «Промрыбвод». Россия, 185034, Республика Карелия, Петрозаводск, 3-й Сайнаволоцкий пер., д. 9а
Тел.: +7 (911) 410-31-05
E-mail: denisefremov@list.ru

Author information

Denis A. Efremov — Cand. Sci. (Biol.), Director, Promrybvod LLC. Russia, 1850343, Republic of Karelia, Petrozavodsk, 3rd Sainavolokskiy per., 9A
Tel.: +7 (911) 410-31-05
E-mail: denisefremov@list.ru

Вклад автора

Автор подтверждает единоличную ответственность за концепцию и дизайн исследования, сбор и анализ данных, интерпретацию результатов, а также подготовку рукописи.

Author contribution statement

The author confirms his sole responsibility for the concept and design of the study, data collection and analysis, interpretation of results, and preparation of the manuscript.

Благодарности

Финансовое обеспечение работ осуществлялось за счет средств АО «Кольская ГМК» (г. Мончегорск), договор КГМК/720 от 16.05.2023 г., при содействии Министерства природных ресурсов Мурманской области и администрации города Мончегорска, выражаем им особую благодарность.

Acknowledgments

The work was funded by Kola MMC JSC (Monchegorsk) under Contract No. KGMK/720 dated May 16, 2023, with the assistance of the Ministry of Natural Resources of the Murmansk Region and the Monchegorsk City Administration, to whom we would like to express our special gratitude.