

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.3/11>

УДК 630*23:502.37/38(98)



Технологии и способы восстановления нарушенных земель Крайнего Севера

Наталья В. Яковенко ¹, n.v.yakovenko71@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>

Елена А. Сурина², surina_ea@sevniilh-arh.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8159-8977>

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

²ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», ул. Никитова, 13, г. Архангельск, 163062, Российская Федерация

Статья посвящена актуальной проблеме восстановления нарушенных земель в Арктической зоне России, где площадь деградированных территорий превышает 86 тысяч гектаров. Цель исследования — разработка научно обоснованных подходов к рекультивации для ключевых регионов: Мурманской, Архангельской областей и Республики Карелия.

На основе анализа данных лесовосстановления (2007–2024 гг.) и обобщения отечественного опыта доказано, что успех рекультивации зависит от учёта региональной специфики. Для каждого региона определены приоритетные направления работ — от санитарно-гигиенических до лесохозяйственных.

Наиболее эффективными технологиями признаны посадка стандартного посадочного материала (сосна, ель, береза, устойчивые интродуценты) и аэросев на труднодоступных территориях с нормами высева 1,0–1,8 кг/га. Подробно описаны методы подготовки почвы, состав травосмесей и необходимость последующих уходов.

Результаты работы имеют практическую ценность для органов лесного хозяйства и предприятий, ведущих деятельность в Арктике. Комплексное применение предложенных мер позволит повысить эффективность восстановления экосистем и обеспечить устойчивое развитие региона.

Ключевые слова: технология, леса, рекультивация, лесовосстановление, уход за лесом, рост, приживаемость

Финансирование: Исследования проведены в рамках государственного задания «Проведение прикладных научных исследований» в сфере деятельности Рослесхоза, № НИОКТР 123032700030-9, АААА–А17-117030110096-5.

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Яковенко, Н. В. Технологии и способы восстановления нарушенных земель Крайнего Севера / Н. В. Яковенко, Е. А. Сурина // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15. – № 3 (59). – С. 166–185. – Библиогр.: с. 181–184 (32 назв). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.3/11>

Поступила 25.08.2025. Пересмотрена 03.09.2025. Принята 15.09.2025. Опубликована онлайн 25.09.2025.

Article

Technologies and methods of restoration of disturbed lands of the Far North

Natalia V. Yakovenko ¹, n.v.yakovenko71@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>
Elena A. Surina², surina_ea@sevniilh-arh.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-8159-8977>

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

²Northern Research Institute of Forestry, Nikitova str., 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation

Abstract

The article is devoted to the urgent problem of restoration of disturbed lands in the Arctic zone of Russia, where the area of degraded territories exceeds 86 thousand hectares. The purpose of the study is to develop scientifically based approaches to reclamation for key regions: Murmansk, Arkhangelsk regions and the Republic of Karelia.

Based on the analysis of reforestation data (2007-2024) and generalization of domestic experience, it is proved that the success of reclamation depends on taking into account regional specifics. Priority areas of work have been identified for each region, from sanitary and hygienic to forestry.

The most effective technologies are the planting of standard planting material (pine, spruce, birch, resistant introduced plants) and aerial sowing in hard-to-reach areas with seeding rates of 1.0-1.8 kg/ha. The methods of soil preparation, the composition of grass mixtures and the need for subsequent care are described in detail.

The results of the work are of practical value for forestry authorities and enterprises operating in the Arctic. The integrated application of the proposed measures will improve the efficiency of ecosystem restoration and ensure the sustainable development of the region.

Keywords: *technology, forests, reforestation, reclamation, reforestation, thinning, growth, establishment*

Funding: the research carried out within the framework of the state task «Conducting applied scientific research» in the sphere of activity of Rosleskhoz, No. AAAA-A17-11703011096-5, 123032700030-9

Acknowledgments: authors thank the reviewers for their contribution to the peer review.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Yakovenko N. V., Surina E. A. (2025). Technologies and methods of restoration of disturbed lands of the Far North. Forestry Engineering journal, Vol. 15, No. 3 (59), pp. 166-185 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.3/11>

Received 25.08.2025. **Revised** 03.09.2025. **Accepted** 15.09.2025. **Published online** 25.09.2025.

Введение

Освоение северных территорий, сопровождающееся интенсивным развитием добывающей промышленности, имеет своим следствием масштабные экологические последствия. Приарктические леса и прилегающие к ним экосистемы, отличающиеся

особой хрупкостью и низкой скоростью самовосстановления, уже сегодня испытывают на себе тяжелые последствия антропогенного прессинга и зачастую безграмотного использования природных ресурсов. Деятельность горнодобывающих, нефтегазовых и лесопромышленных предприятий приводит к формированию обширных техногенных ландшафтов:

карьером, отвалам, хвостохранилищ, территорий, загрязненных выбросами и нефтепродуктами. Результатом является полное уничтожение почвенно-растительного покрова, нарушение гидрологического режима, деградация естественной среды обитания и, как следствие, потеря биоразнообразия и хозяйственного потенциала земель.

Масштабы проблемы приобретают характер экологического кризиса регионального значения. Согласно официальным данным Росприроднадзора (2025), на конец 2024 года общая площадь нарушенных земель в северных регионах России достигла 86 133 га. Географическое распределение этих территорий крайне неравномерно и концентрируется в ключевых промышленных субъектах: наибольшая доля приходится на Республику Коми (44%) и Ненецкий автономный округ (23%), значительные площади нарушены в Мурманской (25%) и Архангельской (7%) областях [1]. Данная статистика наглядно демонстрирует острую необходимость в систематическом и научно обоснованном подходе к восстановлению этих земель.

Процесс возвращения нарушенных территорий в природно-хозяйственный оборот — рекультивация — является сложным, многоэтапным и капиталоемким мероприятием [12], требующим учета всего комплекса природно-климатических и техногенных факторов. Как убедительно доказывают многочисленные исследования [2-11], успех рекультивации напрямую зависит от конкретных условий нарушенной территории. Ключевая задача этого процесса, по меткому выражению Л. В. Моториной (1975), заключается не просто в формальном «озеленении» пустошей, а в целенаправленном создании на их месте новых, более продуктивных и устойчивых ландшафтов, обладающих высокой хозяйственной, эстетической и природоохранной ценностью.

Центральное место в биологической рекультивации отводится лесовосстановлению, как наиболее эффективному способу восстановления экологического каркаса территорий. Многолетний опыт свидетельствует, что посадка лесных культур является более надежным методом по сравнению с посевом, обеспечивая высокую и управляемую приживаемость сеянцев [16, 17]. При этом критически важным является не просто густота посадки, а научно

обоснованное размещение посадочного материала на территории [18]. Проблемам лесной рекультивации техногенных ландшафтов посвящены работы целого ряда отечественных ученых [19-25], что подчеркивает комплексный и междисциплинарный характер этой проблемы.

Современные вызовы требуют современных решений. В ответ на это разрабатываются и успешно апробируются инновационные биоинженерные технологии. Ярким примером является работа научной школы под руководством профессора В.В. Никонова, разработавшей и внедрившей эффективные методики восстановления земель, загрязненных выбросами медно-никелевых производств [26-29]. Широкое применение находят такие технологии, как использование биоматов — полотен из растительных волокон, которые стабилизируют грунт и создают оптимальные условия для прорастания семян [14].

Для реабилитации труднодоступных территорий со сложным рельефом (отвалы, крутые склоны, карьерные выемки), где механизированная посадка саженцев затруднена или экономически нецелесообразна, высокий потенциал демонстрирует метод аэропосева (аэросева). Его положительные результаты были подтверждены в условиях Архангельской и Вологодской областей [30]. Анализ международного опыта (США, Канада, Австралия, Новая Зеландия) и экспертных оценок [31, 32] указывает на успешное применение аэропосева для лесовосстановления, в том числе хвойных пород, при обязательной предварительной подготовке территории (например, дискование или бороздование) для обеспечения контакта семян с минеральным слоем почвы.

Целью данной работы является комплексный анализ и обобщение существующих методов рекультивации нарушенных земель в условиях Приарктических регионов России, а также оценка эффективности и определение областей целесообразного применения традиционных (посадка саженцев) и инновационных (биоматы, аэропосев) технологий для восстановления экологического баланса и продуктивности этих стратегически важных территорий.

Материалы и методы исследования

Объект и предмет исследований

Объектом исследования выступили нарушенные земли, образовавшиеся в результате деятельности горнодобывающих предприятий по разработке месторождений песка и песчано-гравийного материала (ПГМ) в пределах Арктической зоны Российской Федерации. Исследование проводилось на территориях Архангельской области, Республики Карелия и Мурманской области, характеризующихся схожими северными таежными условиями, но различающихся степенью антропогенной нагрузки и спецификой нарушений.

Предметом исследования является процесс лесовосстановления на указанных нарушенных территориях, включая анализ эффективности различных методов: естественного восстановления, содействия естественному восстановлению и искусственного лесовосстановления (создания лесных культур).

Сбор и анализ данных

Основу исследования составили данные натурных обследований и камерального анализа. Для оценки эффективности лесовосстановления были изучены участки с различным состоянием растительного покрова: территории с естественным восстановлением леса, зоны, где применялись меры по содействию естественному возобновлению, и искусственно созданные лесные культуры. В ходе полевых работ на ключевых участках проводилась оценка таксационных показателей, включая состав и густоту древостоя, сохранность посадок, а также характеристики живого напочвенного покрова.

Дополнительным источником информации послужили материалы лесоустройства и официальные данные инвентаризации лесных культур, что позволило проанализировать динамику восстановительных процессов на значительных площадях за продолжительный временной период. Для выявления общих закономерностей и региональных особенностей был применен сравнительно-географический метод, сопоставляющий условия и результаты лесовосстановления в разных субъектах Российской Федерации.

Сравнительно-аналитический метод позволил провести комплексную оценку эффективности различных подходов к рекультивации на основе изученных литературных источников и собственных данных, учитывая такие критерии, как скорость восстановления, устойчивость формирующихся насаждений и их хозяйственная ценность.

Таким образом, методика исследования основана на комплексном подходе, сочетающем полевые наблюдения, анализ официальных источников информации и статистическую обработку данных, что позволяет обеспечить достоверность и обоснованность полученных выводов.

Результаты и обсуждение

Проведенный анализ данных отчетности по лесовосстановлению за период 2007-2024 гг. и детальное изучение региональных особенностей нарушений земель Арктической зоны Российской Федерации позволили не только констатировать текущее состояние дел, но и сформулировать научно обоснованные рекомендации по выбору направлений и технологий рекультивации. Полученные результаты выявляют четкую региональную специфику, обусловленную как природно-климатическими условиями, так и характером антропогенного воздействия, и позволяют перейти к их детальному обсуждению и систематизации. Преимущественно используется способ естественного лесовосстановления. На Арктической территории отдаются предпочтение наименее затратным и упрощенным технологиям лесовосстановления.

Выбор направлений рекультивации для арктических регионов России определяется комплексным анализом, в основе которого лежит совокупность взаимосвязанных критериев. Ключевым фактором выступают уникальные природно-климатические условия, включающие специфику рельефа, состав почв и грунтов, а также суровый климат, диктующий необходимость использования морозостойких растений и особых сроков проведения работ.

Существенное влияние оказывает характер и степень нарушения земель, поскольку именно тип

антропогенного воздействия определяет приоритетные меры — от срочной санитарно-гигиенической локализации опасных загрязнений до преобразования техногенного рельефа. Важную роль играет и экономическая составляющая, в силу которой предпочтение часто отдается менее затратным и упрощенным технологиям, таким как естественное зарастивание.

Выбор также зависит от целевого назначения восстанавливаемых территорий, будь то возвращение земле хозяйственной функции или обеспечение защитной и экологической роли для nearby населенных пунктов. Наконец, решения основываются на апробированном научно-практическом опыте, используя уже доказавшие свою эффективность методы и технологии для конкретных условий Арктики.

Таким образом, стратегия рекультивации формируется не произвольно, а является результатом всесторонней оценки региональных природных, технологических, экономических и социальных факторов, что позволяет найти наиболее рациональный путь восстановления хрупких арктических экосистем.

На основе критериев определены направления рекультивации нарушенных земель по регионам Арктической зоны Российской Федерации:

в Мурманской области: санитарно-гигиеническое направление для отработанных хвостохранилищ обогатительных фабрик и мест аварийного сброса пульпы; комбинированное, включающее при близком уровне грунтовых вод создание водоемов в понижениях техногенного рельефа (водохозяйственное направление), посадку сеянцев, саженцев, черенков на повышенных участках откосов (лесохозяйственное направление), посев многолетних трав; содействие естественному зарастанию отвалов, сложенных скальными породами, заключающееся в рациональном складировании вскрышных пород с учетом возможности их естественного зарастания.

в Архангельской области: лесо-, водо-, сельскохозяйственное; — санитарно-гигиеническое; устранение негативного влияния нарушенного ландшафта на селитебные территории, населенные пункты.

в Республике Карелия: сельскохозяйственное; санитарно-гигиеническое;

водохозяйственное; устранение негативного влияния нарушенного ландшафта на селитебные территории, населенные пункты (лесохозяйственное).

Архангельская область

В качестве минеральных удобрений рекомендуется азото-фосфорно-калийное удобрение N45P45K45 на 1 га. В качестве органического удобрения используют навоз. Семена трав сеют не глубже 3 см, дискование до 14 см.

Искусственное лесовосстановление проводится в случае, если невозможно обеспечить естественное лесовосстановление. Используется преимущественно метод посадки, которым закладываются культуры основных лесообразующих пород — сосны и ели. Посадки в заранее подготовленные посадочные места без предварительной сплошной обработки почвы.

Для посадки применяется только стандартный посадочный материал с открытой и закрытой корневой системой в ряду — 1 м, с расстоянием между рядами 5 м. За исключением плотных, влажных и переувлажненных почв возможно также использовать технологию подготовки почвы под посадку, минерализации почвы экскаватором. Традиционно эти работы выполняются бульдозером и лесным плугом, что осложнено необходимостью проводить раскорчевку пней и невозможно при не сплошных рубках (которые по факту делаются, оставляя на корню лиственные деревья).

Аэросев семян ели на гарях трехлетней давности, где умеренно развит покров из иван-чая (со степенью покрытия 0,4-0,5). Лучшее время аэросева семян хвойных пород — весна (апрель — по снежному покрову, первая и вторая декады мая — непосредственно после стаяния снега). Осенний посев (сентябрь и октябрь) вследствие низкой грунтовой всхожести семян проводить нецелесообразно.

Оптимальными нормами высева семян первого класса сортности при аэросеве следует считать: на паловых и кипрейно-паловых вырубках с обнажением поверхности почвы огнем до 70-80 % — для сосны 1,0, для ели 1,2 кг; на свежих вырубках из-под зеленомошных типов леса с минерализацией почвы более 40% — для сосны 1,5, для ели 1,8 кг/га.

Лесоводственный уход проводится до смыкания крон культивируемых деревьев и кустарников.

После смыкания крон деревьев и кустарников осуществляется уход за лесными насаждениями в соответствии с лесным законодательством Российской Федерации – ныне действующим Приказом Минприроды России от 30.07.2020 № 534 «Об утверждении Правил ухода за лесами». Уходы за культурами проводят по мере их зарастания. При применении удобрений развитие травяного покрова усиливается, количество уходов необходимо увеличить (на 1-2 в год).

Мурманская область

Важное место должно занять создание запасов растительных почвогрунтов, приобретение извести или ее заменителей, приобретение минеральных удобрений для подготовки субстратов. Заготовку почвогрунта можно осуществлять с середины лета до глубокой осени. Мероприятия по мелиорации пустырей и техногенных пустынь посредством торфования, известкования и внесения удобрений весной, после оттаивания верхнего 10 см слоя грунтов. В числе подготовительных работ может быть уделено внимание (подготовке) почвогрунтов и субстратов. Желательно, чтобы почвогрунты какое-то время могли вылежаться.

Планировка поверхности заключается в удалении камней, валунов. Необходимо учитывать эрозионные процессы на территории: чем круче склоны, тем выше опасность сноса, смыва. В таких местах в порядке подготовки участков под облесение требуется плантажная вспашка с уборкой камней. После создания на участке слоя почвогрунта не менее 11 см проводится дискование участка и прикатывание поверхности. Затем проводится высеv травосмеси. При осуществлении залужения имеет смысл использовать различные виды мелиорантов. Необходимо учитывать, что использование злаков позволяет быстрее закрепить поверхность почвогрунта, снизить эрозию. Однако злаки мало эффективны с точки зрения повышения плодородия и углубления почвообразовательных процессов на мёртвых грунтах. Более эффективны травосмеси из злаков (ежа сборная, овсяница овечья, овсяница красная полевица, мятлики) с участием разнотравья

(подмаренников, крапивы двудомной, тысячелистника, черноголовника, шлемника, ястребинок, золотарника, пижмы, василистника, щавеля, шмеля). Оправдано введение в смеси азотонакопителей (некоторых видов клеверов, люпина многолетнего, горошка мышиного). На участках с посадками или с наличием естественной древесной растительности сжигание травы или случайное возникновение палов приведут к их повреждению. Возможно потребуется определенный подбор трав, снижение в травосмесях доли высокорослых злаков.

При гнездовых посадках на 1 га требуется 600 м³ грунта, тогда как при сплошной посадке 2 тыс. м³.

Сеянцы желательно привязывать к кольям. Важнейшее условие приживаемости – обильный полив, сразу же после посадки. При посадках в весенне-летний период полив повторяется через 7 дней, в зависимости от погодных условий. При осенних работах достаточен один прием полива. Значительный эффект может быть достигнут подготовкой почвы под естественный налет семян в еловых и сосновых редицах. Высокой эффективностью при реабилитации нарушенных природных комплексов залужение минерализованных почвогрунтов.

По периферии интенсивного поражения природных комплексов может найти применение упрощенный способ, заключающийся в разбрасывании семян трав с торфяной крошкой. Доза смеси семян сокращается относительно нормы вдвое (8-10 кг/га). Посев должен осуществляться осенью. При разбрасывании почвогрунта с семенами трав могут быть применены разбрасыватели типа РТО, КСА-3, агрегированные легкими тракторами типа МТЗ-75 и т.д. На более влажных увеличивают норму высева, к смеси мелиоранта добавляют известь или золу с минеральными удобрениями (аммиачная селитра, калийная соль, суперфосфат и т.д.). Посадка может осуществляться сеянцами, саженцами или дичками. Не исключается создание насаждений посевом семян. При подготовке почвы используются обычные тракторные плуги, дисковые бороны и серийные лесопосадочные машины (типа СЛН-1, СЛН-2). Саженцы берёзы, ивы пятитычинковой (*Salix pentandra* L.), ивы козьей (*Salix caprea* L.), тополей и рябины, сеянцев хвойных пород (сосны, ели, лиственницы)

высаживают с дистанцией в рядах 2,0-2,5 между рядами при многоприемных посадках – 5,0-5,5 м, при посадках в один прием – в среднем 2,5 м. И в тех случаях, когда вводят кустарники расстояние между деревьями с кустарниками сокращается до 1,2-1,5 м, а в рядах кустарников до 1 м. При создании плотных посадок типа живых изгородей дистанцию между кустарниками в рядах сокращают до 0,4-0,5 м. Такие же в среднем придержки следует использовать также при создании других категорий насаждений: рядов, аллей, полос. Для хорошего приживания саженцев и успешного их роста в будущем следует соблюдать минимальные размеры посадочных ям, лунок. Яма (траншея) для крупных (высотой 2-3 м) саженцев (черенков) тополя, саженцев березы повислой (*Betula pendula* Roth.), рябины должна иметь глубину не менее 0,4 м. Для саженцев и дичков средних размеров (1,0-2,5 м), для саженцев и дичков ивы филиколистной (*Salix phylicifolia* L.), ивы чернеющей (*Salix myrsinifolia* Salisb), ивы сизой (*Salix glauca* L.), для березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) и березы извилистой (*Betula tortuosa* Ledeb), для караганы древовидной (желтой) (*Caragana arborescens* Lam), крушины, не образующих крупные деревья глубина ямы 0,36-0,46 м. Для кустарников глубина ям, лунок, траншей 24-36 см. Для Крайнего Севера в условиях формирования мелких слабо развитых почв характерна тенденция к образованию древесными породами и кустарниками корневых систем поверхностного типа. В таких условиях при создании насаждений оправдана подготовка посадочных мест не столько глубоких, сколько широких. Для крупных деревьев 1x1 м, для средних по размерам – 0,8 x 0,8 м, для кустарников – 0,6 x 0,6 м, стенки посадочных мест не должны быть отвесными. На мелиорируемых территориях при создании массивных посадок сосны, ели, лиственницы, в том числе в смеси с лиственными саженцами (0,3-0,4 м), посадочные места можно готовить в виде глубоких (0,2 м) борозд или производить посадки в лунки (0,3x0,3 м), заполненные почвой. В качестве дичков могут использоваться 3-10-летние растения березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.), березы повислой (*Betula pendula* Roth.), березы извилистой (*Betula tortuosa* Ledeb), рябины, ольхи серой (*Alnus incana* (L.) Moench), осины, ивы козьей (*Salix caprea* L.),

ивы филиколистной (*Salix phylicifolia* L.), ивы кольской (*Salix kolaensis* Schljakov), ивы пятитычинковой (*Salix pentandra* L.), жимолости синей (*Lonicera caerulea* L.), шиповника, смородины. Посадка дичков на участках пустошей и техногенных пустынь целесообразно производить поздней осенью, не дожидаясь, впрочем, сильных морозов и снега. Посадки саженцев и семян хвойных при массовом лесоразведении может производиться весной, и осенью.

Создание насаждением с использованием интродуцированных пород, а также всех пород при выращивании их в питомнике лучше производить поздней осенью. Среди интродуцентов необходимо отдавать предпочтение тополи душистому (*Populus suaveolens* Fisch.) и тополи берлинскому (*Populus × berolinensis* K. Koch), их гибридным формам, караганы древовидной (желтой) (*Caragana arborescens* Lam), и караганы кустарниковой (*Caragana frutex* (L.) C. Koch), крушине ломкой (*Frangula alnus* Mill.), спиреи средней (*Spiraea media* Fr. Schmidt) и спиреи дубравколистной (*Spiraea chamaedryfolia* Martti), сирени венгерской (*Syringa josikaea* Jacq. fil.) и сирени мохнатой (*Syringa villosa* Vahl), боярышнику обыкновенному (*Crataegus oxyacantha* L.) и боярышнику сибирскому (*Crataegus sanguinea* Pall.), жимолости обыкновенной (*Lonicera xylosteum* L.), жимолости синей (*Lonicera caerulea* L.), жимолости татарской (*Lonicera tatarica* L.), и возможно районированных климатипов лиственницы сибирской (Сукачева) (*Larix sukaczewii* Djl.). На особо ответственных участках дерева и крупные кустарники на период приживания целесообразно крепить растяжками к кольям. Крепления требуют и более крупные черенки тополей, некоторые крупные виды ив и рябины.

За исключением плотных, влажных и переувлажненных почв возможно также использовать технологию подготовки почвы под посадку, минерализации почвы экскаватором. Традиционно эти работы выполняются бульдозером и лесным плугом, что осложнено необходимостью проводить раскорчевку пней и невозможно при не сплошных рубках (которые по факту делаются, оставляя на корню лиственные деревья). Эта проблема решена за счет перехода к экскаваторному способу подготовки

почвы. Посадка ручным способом при помощи «посадочной трубы» диаметром 55 мм, одним человеком.

Оптимальными нормами высева семян первого класса сортности при аэросеве следует считать: на паловых и кипрейно-паловых вырубках с обнажением поверхности почвы огнем до 70-80 % – для сосны 1,0, для ели 1,2 кг; на свежих вырубках из-под зеленомошных типов леса с минерализацией почвы более 40% – для сосны 1,5, для ели 1,8 кг/га.

Наличие валежника и порубочных остатков на лесосеках положительно сказывается на результатах аэросева семян ели. Здесь молодые елочки меньше страдают от солнечных ожогов, заморозков и выжимания морозом. Лесоводственный уход проводится до смыкания крон культивируемых деревьев и кустарников. После смыкания крон деревьев и кустарников осуществляется уход за лесными насаждениями в соответствии с лесным законодательством Российской Федерации – ныне действующим Приказом Минприроды России от 30.07.2020 № 534 «Об утверждении Правил ухода за лесами».

Уходы за культурами проводят по мере их зарастания. При применении удобрений развитие травяного покрова усиливается, количество уходов необходимо увеличить (на 1-2 в год).

Республика Карелия

Вспашка проводится на глубину не более 20 см. Использование дисковых орудий для рыхления верхнего слоя почвы. Дискование проводят гусеничным трактором с бороной дисковой тяжелой БДТ-3. При создании злаковых травостоев применяются азотные – 30 кг/га, фосфорные – 60 кг/га, калийные – 60 кг/га. Травосмеси создаются путем сочетания видов различных жизненных форм: длиннокорневых, рыхло- или плотнокустовых и растений с универсальной корневой системой. Принятый состав травосмеси: Лисохвост луговой (*Alopecurus* (12-14 кг/га) + овсяница луговая (*Festuca pratensis* (6-8 кг/га) + тимофеевка луговая (*Phleum pratense* (4-6 кг/га).

За исключением плотных, влажных и переувлажненных почв возможно использовать технологию подготовки почвы под посадку, минерализации почвы экскаватором. Тогда посадка производится

ручным способом при помощи «посадочной трубы» диаметром 55 мм, одним человеком.

Аэросев применим для труднодоступных территорий, где посадки затруднены, для территорий с неровным рельефом – с возвышенностями, склонами, а также там, где имеются трудности, чтобы привить лесную культуру. Аэросев семян ели на гаях трехлетней давности, где умеренно развит покров из иван-чая (со степенью покрытия 0,4-0,5). Лучшее время аэросева семян хвойных пород – весна (апрель – по снежному покрову, первая и вторая декады мая – непосредственно после стаяния снега). Осенний посев (сентябрь и октябрь) вследствие низкой грунтовой всхожести семян проводить нецелесообразно.

Оптимальными нормами высева семян первого класса сортности при аэросеве следует считать: на паловых и кипрейно-паловых вырубках с обнажением поверхности почвы огнем до 70-80% – для сосны 1,0, для ели 1,2 кг; на свежих вырубках из-под зеленомошных типов леса с минерализацией почвы более 40 % – для сосны 1,5, для ели 1,8 кг/га.

Наличие валежника и порубочных остатков на лесосеках положительно сказывается на результатах аэросева семян ели. Здесь молодые елочки меньше страдают от солнечных ожогов, заморозков и выжимания морозом.

Лесоводственный уход проводится до смыкания крон культивируемых деревьев и кустарников. После смыкания крон деревьев и кустарников осуществляется уход за лесными насаждениями в соответствии с лесным законодательством Российской Федерации – ныне действующим Приказом Минприроды России от 30.07.2020 № 534 «Об утверждении Правил ухода за лесами». Уходы за культурами проводят по мере их зарастания. При применении удобрений развитие травяного покрова усиливается, количество уходов необходимо увеличить (на 1-2 в год).

Лучшие показатели по приживаемости и приросту в этих условиях отмечены у светолюбивых морозостойких видов, таких как лиственница сибирская, береза повислая (бородавчатая) (*Betula pendula* Roth), облепиха, карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.) (табл. 1).

Породный состав лесных культур на нарушенных землях

Species composition of forest culture on disturbed lands

| Лесорастительная зона Area for forest growing | Ассортимент культивируемых пород Range of cultivated species | |
|---|--|--|
| | Нетоксичные и слаботоксичные грунты Non-toxic and low-toxic soils | Средне- и сильнотоксичные грунты Medium- and highly toxic soils |
| Лесная зона Forest zone | сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris L.</i>) scots pine, береза повислая (<i>Betula pendula Roth</i>) silver birch, ольха серая (<i>Alnus incana (L.) Moench</i>) hoary alder и ольха черная (<i>Alnus glutinosa (L.) Gaertn.</i>) black alder, карагана древовидная (<i>Caragana arborescens Lam.</i>) siberian pea tree | ольха серая (<i>Alnus incana (L.) Moench</i>) hoary alder, ольха черная (<i>Alnus glutinosa (L.) Gaertn.</i>) black alder, береза повислая (<i>Betula pendula Roth</i>) silver birch |

Выбор древесных пород для лесовосстановления на нарушенных землях представляет собой сложный многофакторный процесс, основанный на глубоком анализе экологических условий и целевых функций будущих насаждений.

Ключевым определяющим фактором выступает степень химической деградации субстрата. На землях с незначительным загрязнением или его полным отсутствием стратегия направлена на восстановление продуктивных и устойчивых лесных экосистем, максимально приближенных к природным аналогам. В лесной зоне, например, это подразумевает использование традиционных хозяйственно-ценных хвойных пород, таких как сосна обыкновенная и ель, способных сформировать высокопродуктивные древостои. Лиственные виды, включая березу повислую, играют важную роль пионеров, подготавливающих условия для последующего внедрения более требовательных хвойных пород.

Совершенно иной подход применяется для реабилитации территорий со средним и высоким уровнем токсического загрязнения, таких как отвалы горных пород или хвостохранилища. Основной задачей здесь становится не экономическая эффективность, а экологическая санация и стабилизация субстрата. Приоритет отдается видам-фитомелиорантам, обладающим уникальным комплексом свойств для выживания и улучшения почв в экстремальных условиях. Такие породы, как ольха серая и черная,

способны вступать в симбиоз с азотфиксирующими бактериями, что позволяет им обогащать бедные и токсичные грунты жизненно важным азотом. Другие виды, например, некоторые ивы и тополя, отличаются быстрым ростом и высокой толерантностью к тяжелым металлам, эффективно изолируя загрязнители в своей биомассе и формируя защитный растительный покров.

Таким образом, формирование породного состава представляет собой научно обоснованный выбор, балансирующий между необходимостью восстановления хозяйственной ценности земель и их срочной экологической реабилитации в зависимости от исходной степени деградации.

В таблицах 2 и 3 представлен сравнительный анализ технологий искусственного лесовосстановления, применяемых в субъектах Российской Федерации, входящих в зону северной тайги: Мурманской области, Республике Карелия и Архангельской области. Данные систематизированы по ключевым технологическим операциям, включая способы подготовки площади, виды посадочного материала, методы посадки и последующего агротехнического ухода. Информация позволяет провести сравнительную оценку подходов с учетом лесорастительных и экономических условий каждого региона.

Технологии искусственного лесовосстановления в Мурманской области, в Республике Карелия, в Архангельской области (табл.2, табл.3).

Создание лесных культур (посадка)
Creation of forest cultures (planting)

| № п/п No. p / p | Технологическая операция Technological operation | Механизированные агрегаты Mechanized units | Ед. изм. Unit of measurement | Время выполнения Lead time |
|-------------------|---|--|--------------------------------|--|
| 1 | Копка посадочных ямок (0,3 м×0,3 м×0,3 м) для посадки сеянцев (саженцев) Digging planting holes (0.3 m×0.3 m×0.3 m) for planting seedlings (saplings) | – | Шт. Pс | За 7-10 дней до начала лесокультурных работ 7-10 days before the start of forestry planting works |
| 2 | Посадка без кома вручную в подготовленные ямки саженцев высотой до 2 м в возрасте 2-5 лет Manual planting of seedlings up to 2 m tall and 2-5 years old in prepared holes | – | Шт. Pс | За 7-10 дней до начала лесокультурных работ на зональных почвах 7-10 days before the start of forestry planting works on zonal soils |
| 3 | Посадка с комом 0,3×0,3 м Planting with a 0.3×0.3 m clod | – | Шт. Pс | За 7-10 дней до начала лесокультурных работ на зональных почвах 7-10 days before the start of forestry planting works on zonal soils |
| 4 | Полив деревьев (2 ведра на дерево) с подноской воды на расстояние 41-60 м Watering trees (2 buckets per tree) with water delivery at a distance of 41-60 m | – | Ведро Bucket | Сразу после посадки Immediately after landing |
| 5 | Механизированный агротехнический уход Mechanized agrotechnical care | Мотокусто-рез МКР-2,5 Motorcycle saw blade МКР-2,5 | Га На | До выхода из-под влияния травянистой растительности Before leaving the influence of herbaceous vegetation |

| | | | | |
|---|--|--|---------|--|
| 6 | Лесоводственный уход (осветление) Forestry care (thinning) | Мотокусторез МКР-2,5 Motorcycle saw blade МКР-2,5 | Га На | После смыкания культур After closing the cultures |
| 7 | Вспомогательные операции (подвозка посадочного материала, укладка, дополнение) Auxiliary operations (transportation of planting material, laying, and addition) | — | Га На | — |

Представленная технологическая схема характеризуется высокой технологичностью при минимальном уровне механизации. Основным инструментом посадки — ручная посадочная труба («пот-типутка») — обеспечивает бережное и быстрое высаживание сеянцев с закрытой корневой системой без нарушения земляного кома, что критически важно для их приживаемости. Этот метод особенно эффективен на труднодоступных участках, где невозможно использовать крупную лесопосадочную технику.

Важной особенностью схемы является строгий учет биологических требований растений. Сроки выполнения основных работ приурочены к оптимальным агротехническим периодам, что обычно означает посадку в фазу максимального увлажнения почвы и благоприятных температурных условий для укоренения.

Схема подчеркивает необходимость многоэтапного ухода за культурами, включая агротехнические мероприятия по устранению конкуренции со стороны сорной растительности в первые годы жизни культур и последующие лесоводственные уходы (осветления), направленные на устранение нежелательной древесной растительности после смыкания крон.

Рациональным решением является использование универсального механизированного агрегата

(мотокустореза МКР-2,5) для различных видов уходов, что обеспечивает экономию ресурсов и снижает затраты на техническое обслуживание.

В целом, технологическая схема демонстрирует современный адаптивный подход, сочетающий щадящую ручную посадку с эффективным механизированным уходом, что направлено на формирование высококачественных и устойчивых лесных насаждений.

Представленная ниже технологическая карта (таблица 3) регламентирует процесс создания лесных культур с применением сеянцев с закрытой корневой системой (ЗКС), что является ключевым элементом современных интенсивных моделей лесовосстановления. Данная методика представляет собой качественный эволюционный скачок по сравнению с традиционными подходами, основанными на работе с посадочным материалом с открытой корневой системой. Её внедрение направлено на преодоление фундаментальных ограничений, связанных с низкой приживаемостью сеянцев, краткостью оптимальных агротехнических сроков и исключительной трудоёмкостью процесса. Анализ таблицы позволяет выявить системную трансформацию технологического цикла, где биотехническое совершенство посадочного материала обуславливает ревизию всей операционной цепи.

Создание лесных культур (посадка сеянцев с закрытой корневой системой)

Creation of forest crops (planting seedlings with a closed root system)

| № п/п No. p / p | Технологическая операция Technological operation | Механизированные агрегаты Mechanized units | Ед. изм. Unit of measurement | Время выполнения Lead time |
|-------------------------|--|--|-----------------------------------|---|
| 1 | Посадка сеянцев с заглублением корневой шейки и присыпкой от пересыхания Planting seedlings with the root collar buried and sprinkled to prevent drying out | Посадочная труба «поттипутка» Pottiputka landing tube | Шт. Pc | За 7-10 дней до начала лесокультурных работ 7-10 days before the start of forestry planting works |
| 2 | Механизированный агротехнический уход Mechanized agrotechnical care | Мотокусторез МКР-2,5 Motorcycle saw blade МКР-2,5 | Га На | До выхода из-под влияния травянистой растительности Before leaving the influence of herbaceous vegetation |
| 3 | Лесоводственный уход (осветление) Forestry care (thinning) | Мотокусторез МКР-2,5 Motorcycle saw blade МКР-2,5 | Га На | После смыкания культур After closing the cultures |
| 4 | Вспомогательные операции (подвозка посадочного материала, укладка, дополнение) Auxiliary operations (transportation of planting material, laying, and addition) | Посадочная труба «поттипутка» Pottiputka landing tube | Шт. Pc | За 7-10 дней до начала лесокультурных работ на зональных почвах 7-10 days before the start of forestry planting works on zonal soils |

Данная технологическая карта иллюстрирует оптимизированный производственный контур, сформированный вокруг биологических преимуществ сеянцев с ЗКС. Ключевым технологическим звеном выступает операция посадки, выполняемая с применением специализированного ручного инструмента («поттипутки»), который обеспечивает минимальное нарушение почвенной структуры и точное позиционирование корневого кома. Это позволяет полностью исключить из цикла наиболее ресурсоёмкие операции: капитальную подготовку посадочных мест (копку ям) и обязательный последующий полив. Исключение полива является не организационной экономией, а прямым следствием высокой физиологической сохранности корневой системы и её функциональной активности сразу после высадки, что нивелирует водный стресс.

Последующие операции агротехнического и лесоводственного ухода, механизированные с помощью мотокустореза, сохраняют классическую структуру, направленную на снижение фитocenотической конкуренции. Однако их эффективность в рамках данной технологии может быть пересмотрена, так как высокая начальная приживаемость и энергия роста сеянцев с ЗКС потенциально сокращают требуемую кратность и интенсивность уходов.

Таким образом, таблица демонстрирует не просто замену одного вида посадочного материала другим, а системную технологическую модернизацию. Она отражает переход от экстенсивной, зависящей от климатических условий и ручного труда модели, к более управляемой и биологически обоснованной системе, где первоначальные инвестиции в качественный посадочный материал компенсируются значительным повышением эффективности на всех последующих этапах лесовосстановительного цикла.

Освоение северных территорий, сопровождающееся интенсивным развитием добывающей промышленности, привело к формированию обширных техногенных ландшафтов и масштабным экологическим последствиям. Хрупкие приарктические экосистемы с низкой скоростью самовосстановления испытывают на себе тяжелейший антропогенный прессинг, что выражается в деградации почвенно-растительного покрова, нарушении гидрологического режима и потере биоразнообразия.

Успешная рекультивация нарушенных земель требует дифференцированного подхода, учитывающего комплекс природно-климатических, технологических и экономических факторов. Ключевое значение имеют специфические северные условия, характер техногенных нарушений и целевое назначение восстанавливаемых территорий.

Проведенное исследование демонстрирует эффективность сочетания традиционных и инновационных методов восстановления. Посадка лесных культур, особенно с использованием саженцев с закрытой корневой системой, подтвердила свою надежность как основной метод лесовосстановления. Одновременно инновационные биоинженерные технологии, такие как аэропосев и применение биоматов, показали высокий потенциал для реабилитации труднодоступных территорий со сложным рельефом.

Для различных северных регионов разработаны практические рекомендации по выбору оптимальных методов рекультивации. В Мурманской области акцент делается на санитарно-гигиенической рекультивации и создании специальных субстратов, в Архангельской области - на лесохозяйственном направлении, а в Республике Карелия применяется

комплексный подход с элементами сельскохозяйственного восстановления.

Таким образом, восстановление нарушенных земель Российского Севера представляет собой сложную, но решаемую задачу. Её успешная реализация возможна через адаптацию технологий к специфическим условиям каждого региона и комбинирование проверенных традиционных методов с современными инновационными подходами. Это позволит не только вернуть продуктивность этим территориям, но и восстановить их экологический потенциал для будущих поколений.

На основе проведенного исследования можно сформулировать четкие, практические рекомендации для различных стейкхолдеров, включая органы власти, предприятия, а также научные и проектные организации.

Для органов государственной власти и регулирования ключевым направлением является утверждение и внедрение дифференцированного регионального подхода в нормативные документы. Это подразумевает установление различных приоритетных направлений рекультивации для каждого субъекта РФ. Например, для Мурманской области приоритетом должна стать санитарно-гигиеническая рекультивация, направленная на локализацию очагов загрязнения и хвостохранилищ. Для Архангельской области более актуальна многоцелевая рекультивация, включающая лесохозяйственные и водохозяйственные мероприятия, а также защиту населенных пунктов. Республике Карелия требуется комбинированный подход, объединяющий сельскохозяйственные, водохозяйственные и санитарно-гигиенические задачи. Параллельно необходимо разработать механизмы экономического стимулирования для предприятий, применяющих инновационные методы, вместо малоэффективных. Важным шагом станет организация на региональном уровне фондов и управляемых запасов плодородных почвогрунтов, мелиорантов и семенного материала аборигенных пород. Также требуется ужесточение требований к долгосрочному мониторингу состояния рекультивированных земель с обязательной публичной отчетностью.

Для **недропользователей** принципиально важно закладывать современные и научно обоснованные методы рекультивации уже на стадии проектирования освоения месторождений. Выбор технологий должен строго зависеть от конкретных условий. Для стандартных ситуаций рекомендована массовая посадка семян и саженцев с соблюдением оптимальных схем размещения, с активным внедрением семян с закрытой корневой системой для повышения приживаемости. На труднодоступных территориях, таких как отвалы и крутые склоны, следует широко применять метод аэропосева с соблюдением научно обоснованных норм высева и оптимальных сроков. Для укрепления грунтов и ускорения начальных стадий восстановления эффективно использование биоматов и методов залужения со специально подобранными травосмесями. Подбор породного состава должен быть адаптирован к условиям грунтов: на нетоксичных высаживаются основные лесообразующие породы, а на токсичных и сильнонарушенных — виды-фитомелиоранты, такие как ольха, ивы и лох. Успех мероприятий напрямую зависит от неукоснительного соблюдения агротехники, включая сроки посадки, обязательный полив и проведение регулярных уходов.

Научно-исследовательским и проектным организациям следует сосредоточиться на разработке и адаптации технологий для конкретных типов нарушений и уровней загрязнения. Это включает доработку составов травосмесей, рецептур почвогрунтов и мелиорантов. Активная работа по селекции и семеноводству позволит выделять и размножать наиболее устойчивые климатотипы местных пород и интродуцентов. Большой потенциал кроется во внедрении цифровых технологий, а именно в разработке систем дистанционного мониторинга на основе БПЛА и данных ДЗЗ для оценки состояния насаждений на больших территориях. Еще одной важной задачей является разработка и тиражирование типовых технологических карт и проектов рекультивации для наиболее распространенных типов нарушений.

Ключевые технологические рекомендации для всех участников процесса включают отказ от исключительно бульдозерной подготовки почвы на

сложных участках в пользу более гибкого экскаваторного способа. Массовый переход на использование семян с закрытой корневой системой является необходимым условием для повышения приживаемости. Крайне важно строго придерживаться научно обоснованных норм высева при аэропосеве и оптимальных схем посадки. Наконец, планирование и финансирование должны предусматривать полный цикл послепосадочных уходов вплоть до смыкания крон созданных насаждений.

В заключение, предложенные рекомендации носят комплексный и прикладной характер. Их успешная реализация возможна только при условии тесной координации между государством, бизнесом и наукой. Такой подход позволит перейти от формального выполнения требований к целенаправленному созданию устойчивых и продуктивных ландшафтов, что и является высшей целью рекультивации.

Заключение

Проведенное комплексное исследование позволило сформулировать научно обоснованные выводы и практические рекомендации по рекультивации нарушенных земель в условиях Российской Арктики. Анализ современной экологической ситуации, подкрепленный статистическими данными, подтверждает масштабность антропогенного воздействия на хрупкие приарктические экосистемы, характеризующиеся низким потенциалом самовосстановления. Это обуславливает необходимость применения системного, дифференцированного и технологически адаптированного подхода к восстановительным мероприятиям.

Ключевым выводом работы является доказательство тезиса о том, что эффективность рекультивации напрямую детерминирована комплексным учетом региональной специфики. Установлено, что выбор приоритетного направления рекультивации должен базироваться на всесторонней оценке природно-климатических условий (рельеф, состав грунтов, суровость климата), характера и степени техногенного нарушения, экономической целесообразности и целевого пост-рекультивационного назначения территории. В результате для каждого субъекта РФ

Арктической зоны были определены оптимальные векторы работ:

Для Мурманской области приоритет отдается санитарно-гигиеническому направлению, направленному на локализацию высокотоксичных объектов (хвостохранилища, места аварийных сбросов), с элементами лесохозяйственного и водохозяйственного обустройства территорий.

Для Архангельской области наиболее актуальным является многоцелевой (комбинированный) подход, интегрирующий лесовосстановительные, водоохранные мероприятия и работы по устранению негативного влияния на селитебные зоны.

Для Республики Карелия оптимален комбинированный подход с применением сельскохозяйственного, лесохозяйственного и санитарно-гигиенического направлений рекультивации.

Сравнительный анализ технологий искусственного лесовосстановления выявил высокую эффективность традиционного метода посадки стандартного посадочного материала (сеянцев и саженцев) с строгим соблюдением научно обоснованных схем размещения (например, 1 м в ряду при междурядье 5 м). При этом доказана перспективность массового перехода на использование посадочного материала с закрытой корневой системой (ЗКС), что позволяет минимизировать посадочный стресс, исключить необходимость обязательного полива и значительно повысить приживаемость культур.

Для реабилитации труднодоступных территорий со сложным рельефом (отвалы, крутые склоны) высокий потенциал подтверждает метод аэропосева. Установлены оптимальные сроки его проведения (весенний период по снежному покрову или непосредственно после его стаяния) и научно обоснованные нормы высева семян хвойных пород первого класса качества (от 1,0 до 1,8 кг/га в зависимости от типа площадки и степени минерализации почвы).

Критически важным элементом успешной рекультивации является научно обоснованный подбор породного состава. На нетоксичных и слаботоксичных грунтах целесообразно создание продуктивных насаждений на основе основных лесобразующих пород (сосна обыкновенная, ель). На территориях со средним и высоким уровнем загрязнения приоритет

должен отдаваться видам-фитомелиорантам, обладающим толерантностью к токсикантам и способностью улучшать почвенные условия (ольха серая и черная, береза повислая, а также устойчивые интродуценты: тополь душистый, карагана древовидная).

Эффективность любых применяемых технологий находится в прямой зависимости от качества агротехнического исполнения на всех этапах: подготовки почвы (включая мелиорацию, внесение органоминеральных удобрений и мелиорантов), соблюдения оптимальных сроков проведения работ, а также от регулярного проведения послепосадочных уходов до момента смыкания крон созданных насаждений.

В качестве перспективных направлений для дальнейших исследований и практической реализации идентифицированы:

–Разработка и внедрение адаптивных систем лесохозяйственных мероприятий для различных категорий нарушенных земель.

–Широкое применение современных методов дистанционного мониторинга (БПЛА, ДЗЗ) для оценки эффективности рекультивации и состояния насаждений на обширных и труднодоступных территориях.

–Активное использование достижений лесной селекции и семеноводства для выделения и размножения наиболее устойчивых климатипов и видов.

–Разработка типовых технологических карт и регламентов для наиболее распространенных типов нарушений.

Таким образом, комплексная реализация предложенного дифференцированного подхода, основанного на комбинации традиционных и инновационных методов, адаптированных к специфике каждого региона, позволит перейти от формального выполнения восстановительных работ к целенаправленному созданию устойчивых, продуктивных и экологически ценных ландшафтов. Это является обязательным условием для обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития стратегически важных арктических регионов Российской Федерации.

Список литературы

1. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор): [официальный сайт]. – URL: <https://rpn.gov.ru/> (дата обращения: 11.09.2025).
2. Создание искусственного растительного покрова техногенно нарушенных ландшафтов / М. А. Осинцева, В. А. Крюк, Е. А. Дюкова, Н. В. Бурова // Уголь. – 2023. – № S12(1175). – С. 56–62. – DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-56-62.
3. Биологическая рекультивация нарушенных земель / Т. Г. Зеленская, А. А. Коровин, Е. Е. Степаненко [и др.]; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет». – Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2022. – 186 с.
4. Шанин, С. А. Теория и практика регионального землепользования: подходы к пространственному развитию / С. А. Шанин // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2021. – № 7(76). – С. 46–51. – DOI 10.33938/217-46.
5. Digging into Canadian soils: an introduction to soil science / M. Krzic, F. L. Walley, A. Diochon, M. C. Paré, R. E. Farrell (Eds.). – Pinawa, MB: Canadian Society of Soil Science, 2021. – URL: <https://www.saskoer.ca/soilscience/> (дата обращения: 11.09.2025).
6. Антропогенные почвы: учебник для вузов / М. И. Герасимова, М. Н. Строганова, Н. В. Можарова, Т. В. Прокофьева. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва: Юрайт, 2025. – 264 с.
7. Иванов А. Н., Игнатьева М. Н., Юрак В. В., Пустохина Н. Г. Проблемы восстановления земель, нарушенных при разработке месторождений полезных ископаемых // Известия Уральского государственного горного университета. – 2020. – № 4(60). – С. 218–227. – DOI: 10.21440/2307-2091-2020-4-218-227.
8. Kapelkina L. P., Bardina V. I., Gerasimov A. O. Ecological state assessment of urban soils by bioassay // Water, Air, & Soil Pollution. – 2022. – Vol. 233, № 1. – DOI: 10.1007/s11270-021-05475-8.
9. Капелькина Л. П., Бардина Т. В. Подходы к проведению исследований объектов накопленного экологического вреда // Биосфера. – 2023. – Т. 15, № 3. – С. 184–192. – DOI: 10.24855/biosfera.v15i3.827.
10. Соловицкий А. Н., Никулин Н. Ю. О рекультивации земель, нарушенных горными работами в Кузбассе, на основе применения прикладных геофизических технологий // Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2024. – № 1. – С. 111–116. – DOI: 10.31857/S0869780924010115.
11. Musurmankulov Z. S., Ergashev K. N., Ponomarenko E. A. Designing the recultivation and improvement of land damaged in Uzbekistan, problems and solutions // Vestnik IrGSHA. – 2025. – № 1(126). – С. 58–68. – DOI: 10.51215/1999-3765-2025-126-58-68.
12. Жуйков В. И., Софьина Е. В. Экономическое регулирование земельных отношений как основной принцип развития земельной политики России // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2022. – Т. 12, № 8-1. – С. 143–152. – DOI: 10.34670/AR.2022.33.32.016. – EDN UGLYMQ.
13. Соколов Д. А., Гуркова Е. А., Соколова Н. А. Литогенный потенциал почвообразования в техногенных ландшафтах угледобывающих месторождений Сибири // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26, № 11. – С. 48–54. – DOI: 10.18412/1816-0395-2022-11-48-54.
14. Соколов Д. А., Гуркова Е. А., Соколова Н. А. Литогенный потенциал почвообразования в техногенных ландшафтах угледобывающих месторождений Сибири // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26, № 11. – С. 48–54. – DOI: 10.18412/1816-0395-2022-11-48-54.
15. Трещевская Э. И., Тихонова Е. Н., Голядкина И. В., Трещевская С. В., Бобрешов К. В., Галстян Н. В. Защитные лесные полосы как составная часть мероприятий по биологической рекультивации техногенно нарушенных земель // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2025. – Вып. 252. – С. 22–39. – DOI: 10.21266/2079-4304.2025.252.22-39.
16. Филатова М. Ю., Крупская Л. Т., Леоненко А. В. Перспективы плантационного лесовыращивания на рекультивированных землях Дальневосточного федерального округа // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2025. – № 252. – С. 155–169. – DOI: 10.21266/2079-4304.2025.252.155-169.
17. Первичное почвообразование на субстратах разного гранулометрического состава в посттехногенных экосистемах таёжной зоны / И. А. Лиханова, Е. Г. Кузнецова, Ю. В. Холопов [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. – 2024. – № 1. – С. 122–130. – DOI: 10.25750/1995-4301-2024-1-122-130.
18. Заусаев В. К., Панкратова Н. Н. Интенсификация воспроизводства лесов как необходимое условие устойчивого развития лесного комплекса Дальнего Востока России // Лесохозяйственная информация. – 2023. – № 4. – С. 61–70. – DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2023.4.06.
19. International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition / G. D. Gann, T. McDonald, B. Walder, J. Aronson, C. R. Nelson, J. Jonson, J. G. Hallett, C. Eisenberg et al. // Restoration Ecology. – 2019. – P. S1–S46.

20. Ермолаева Н. А., Савельев С. Н. К вопросу о рекультивации земель в промышленных зонах города Кемерово // Приднепровский научный вестник. – 2019. – Т. 7, № 2. – С. 3–5. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=mdfkjr> (дата обращения: 11.09.2025).
21. Исследование результатов работ по лесовосстановительной экологии на породных отвалах угольных карьеров в регионах Ангаро-Енисейской Сибири / И. В. Зеньков, Л. Х. Чинь, Ю. А. Анищенко [и др.] // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26, № 10. – С. 45–51. – DOI: 10.18412/1816-0395-2022-10-45-51. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49492594> (дата обращения: 11.09.2025).
22. Antoninova N., Shubina L., Sobenin A., Usmanov A. Modern aspects of disturbed land reclamation // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 192. – Art. 03019. – DOI: 10.1051/e3sconf/202019203019.
23. Лесная рекультивация угольных отвалов с позиции сохранения фаунистического разнообразия Кузбасса / А. В. Ковалевский, И. В. Тарасова, Е. М. Лучникова [и др.] // Лесоведение. – 2021. – № 5. – С. 509–522. – DOI: 10.31857/S0024114821050065.
24. Кушнир Е. А., Недбаев И. С., Трещевская Э. И. Оценка состояния лесных насаждений и почвенного покрова на участках рекультивации Кингисеппского месторождения фосфоритов // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2021. – № 1. – С. 68–80. – DOI: 10.21178/2079-6080.2021.1.68.
25. Кирдин В. Ф., Конончук В. В., Штырхунов В. Д., Тимошенко С. М. Восстановление плодородия почв, подвергшихся техногенным нарушениям // Аграрная Россия. – 2022. – № 2. – С. 8–12. – DOI: 10.30906/1999-5636-2022-2-8-12.
26. Лянгузова И. В. Средообразующая функция почвенно-растительного покрова сосновых лесов Кольского полуострова в условиях аэротехногенного загрязнения // Ботанический журнал. – 2024. – Т. 109, № 10. – С. 984–1000. – DOI: 10.31857/S0006813624100031.
27. Shestakova T. A., Rogers B. M., Mackey B., Hugh S., Norman P., Kukavskaya E. A. Tracking ecosystem stability across boreal Siberia // Ecological Indicators. – 2024. – Vol. 169. – Art. 112841. – DOI: 10.1016/j.ecolind.2024.112841.
28. Лянгузова И. В. Средообразующая функция почвенно-растительного покрова сосновых лесов Кольского полуострова в условиях аэротехногенного загрязнения // Ботанический журнал. – 2024. – Т. 109, № 10. – С. 984–1000. – DOI: 10.31857/S0006813624100031.
29. Tsoraeva E. N., Zaitseva Y. V. Reclamation of Disturbed Land in Russia: State of the Art // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – Vol. 988, № 2. – Art. 022020. – DOI: 10.1088/1755-1315/988/2/022020.
30. Сурина Е. А., Демидова Н. А., Гоголева Л. Г. Успешность естественного лесовосстановления после применения различных видов рубок в Арктической зоне Архангельской области // Лесохозяйственная информация. – 2025. – № 2. – С. 59–69. – DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2025.2.04. – EDN KRCNQN.
31. Wu J., Liu Y., Liu F. et al. Comprehensive evaluation of land reclamation schemes in mining areas based on linguistic intuitionistic fuzzy group decision-making // Environmental Science and Pollution Research. – 2022. – Vol. 29. – P. 87380–87392. – DOI: 10.1007/s11356-022-20952-1.
32. Закономерности лесовосстановительных сукцессий на заброшенных сельскохозяйственных землях Башкирского Предуралья / П. С. Широких, Н. И. Федоров, И. Р. Туктамышев [и др.] // Экология. – 2023. – № 3. – С. 179–187. – DOI: 10.31857/S036705972303006X.

References

1. Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere prirodnopol'zovaniya (Rosprirodnadzor): [ofits. sayt]. – URL: <https://rpn.gov.ru/> (data obrashcheniya: 11.09.2025). [Federal Service for Supervision of Natural Resource Management (Rosprirodnadzor): official website].
2. Oprintseva, M. A., Kryuk, V. A., Dyukova, E. A., & Burova, N. V. (2023). Sozдание iskusstvennogo rastitel'nogo pokrova tekhnogenno narushennykh landshaftov [Creation of artificial vegetation cover for technogenically disturbed landscapes]. *Ugol' [Coal]*, (S12(1175)), 56–62. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-56-62>
3. Zelenckaya, T. G., Korovin, A. A., & Stepanenko, E. E. (2022). *Biologicheskaya rekul'tivatsiya narushennykh zemel'* [Biological reclamation of disturbed lands]. Stavropol'skiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet.
4. Shanin, S. A. (2021). Teoriya i praktika regional'nogo zemlepol'zovaniya: podkhody k prostranstvennomu razvitiyu [Theory and practice of regional land use: approaches to spatial development]. *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyajstve [Economics, Labor, Management in Agriculture]*, (7(76)), 46–51. <https://doi.org/10.33938/217-46>
5. Krzic, M., Walley, F. L., Diochon, A., Paré, M. C., & Farrell, R. E. (Eds.). (2021). *Digging into Canadian soils: an introduction to soil science*. Canadian Society of Soil Science. <https://www.saskoer.ca/soilscience/> (data obrashcheniya: 11.09.2025).
6. Gerasimova, M. I., Stroganova, M. N., Mozharova, N. V., & Prokofeva, T. V. (2025). *Antropogennyye pochvy* [Anthropogenic soils] (3rd ed.). Yurajt.

7. Ivanov, A. N., Ignat'eva, M. N., Yurak, V. V., & Pustokhina, N. G. (2020). Problemy vosstanovleniya zemel', narushennykh pri razrabotke mestorozhdenij poleznykh iskopaemykh [Problems of land restoration disturbed by mining]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta [News of the Ural State Mining University]*, (4(60)), 218–227. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2020-4-218-227>
8. Kapelkina, L. P., Bardina, V. I., & Gerasimov, A. O. (2022). Ecological state assessment of urban soils by bioassay. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(1). <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05475-8>
9. Kapel'kina, L. P., & Bardina, T. V. (2023). Podkhody k provedeniyu issledovaniy ob"ektov nakoplenno ekologichestkogo vreda [Approaches to research of objects of accumulated environmental damage]. *Biosfera [Biosphere]*, 15(3), 184–192. <https://doi.org/10.24855/biosfera.v15i3.827>
10. Solovickij, A. N., & Nikulin, N. Yu. (2024). O rekul'tivatsii zemel', narushennykh gornymi robotami v Kuzbasse, na osnove primeneniya prikladnykh geofizicheskikh tekhnologij [On the reclamation of lands disturbed by mining operations in Kuzbass based on applied geophysical technologies]. *Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya [Engineering Geology. Hydrogeology. Geocryology]*, (1), 111–116. <https://doi.org/10.31857/S0869780924010115>
11. Musurmankulov, Z. S., Ergashev, K. N., & Ponomarenko, E. A. (2025). Designing the recultivation and improvement of land damaged in Uzbekistan, problems and solutions. *Vestnik IrGSHA*, (1(126)), 58–68. <https://doi.org/10.51215/1999-3765-2025-126-58-68>
12. Zhujkov, V. I., & Sof'ina, E. V. (2022). Ekonomicheskoe regulirovanie zemel'nykh otnoshenij kak osnovnoj printsip razvitiya zemel'noj politiki Rossii [Economic regulation of land relations as a basic principle of the development of land policy in Russia]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra [Economics: Yesterday, Today, Tomorrow]*, 12(8-1), 143–152. <https://doi.org/10.34670/AR.2022.33.32.016>
13. Sokolov, D. A., Gurkova, E. A., & Sokolova, N. A. (2022). Litogennyj potentsial pochvoobrazovaniya v tekhnogennykh landshaftakh ugledobyvayushchikh mestorozhdenij Sibiri [Lithogenic potential of soil formation in technogenic landscapes of coal mining deposits in Siberia]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia]*, 26(11), 48–54. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-11-48-54>
14. Sokolov, D. A., Gurkova, E. A., & Sokolova, N. A. (2022). Litogennyj potentsial pochvoobrazovaniya v tekhnogennykh landshaftakh ugledobyvayushchikh mestorozhdenij Sibiri [Lithogenic potential of soil formation in technogenic landscapes of coal mining deposits in Siberia]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia]*, 26(11), 48–54. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-11-48-54>
15. Treshchevskaya, E. I., Tikhonova, E. N., Golyadkina, I. V., Treshchevskaya, S. V., Bobreshov, K. V., & Galshtyan, N. V. (2025). Zashchitnye lesnye polosy kak sostavnaya chast' meropriyatij po biologicheskoy rekul'tivatsii tekhnogenno narushennykh zemel' [Protective forest strips as an integral part of biological reclamation measures for technogenically disturbed lands]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii [News of the Saint Petersburg Forestry Technical Academy]*, (252), 22–39. <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2025.252.22-39>
16. Filatova, M. Yu., Krupckaya, L. T., & Leonenko, A. V. (2025). Perspektivy plantatsionnogo lesovyrashchivaniya na rekul'tivirovannykh zemlyakh Dal'nevostochnogo federal'nogo okruga [Prospects of plantation forest cultivation on reclaimed lands of the Far Eastern Federal District]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii [News of the Saint Petersburg Forestry Technical Academy]*, (252), 155–169. <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2025.252.155-169>
17. Likhanova, I. A., Kuznecova, E. G., & Kholopov, Yu. V. (2024). Pervichnoe pochvoobrazovanie na substratakh raznogo granulometricheskogo sostava v posttekhnogennykh ekosistemakh tajozhnoj zony [Primary soil formation on substrates of different granulometric composition in post-technogenic ecosystems of the taiga zone]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya [Theoretical and Applied Ecology]*, (1), 122–130. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-1-122-130>
18. Zausaev, V. K., & Pankratova, N. N. (2023). Intensifikatsiya vosproizvodstva lesov kak neobkhodimoe uslovie ustojchivogo razvitiya lesnogo kompleksa Dal'nego Vostoka Rossii [Intensification of forest reproduction as a necessary condition for the sustainable development of the forest complex of the Russian Far East]. *Lesokhozyajstvennaya informatsiya [Forestry Information]*, (4), 61–70. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2023.4.06>
19. Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., Hallett, J. G., Eisenberg, C., et al. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology*, S1–S46.
20. Ermolaeva, N. A., & Savel'ev, S. N. (2019). K voprosu o rekul'tivatsii zemel' v promyshlennykh zonakh goroda Kemerovo [On the issue of land reclamation in industrial zones of the city of Kemerovo]. *Pridneprovskij nauchnyj vestnik [Dnieper Scientific Bulletin]*, 7(2), 3–5. <https://elibrary.ru/item.asp?edn=mdfjkp> (data obrashcheniya: 11.09.2025).
21. Zen'kov, I. V., Chin', L. Kh., & Anishchenko, Yu. A. (2022). Issledovanie rezul'tatov rabot po lesovosstanovitel'noj ekologii na porodnykh otvalakh ugol'nykh kar'erov v regionakh Angaro-Enisejskoj Sibiri [Study of the results of

forest restoration ecology work on overburden dumps of coal quarries in the regions of Angara-Yenisei Siberia]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia]*, 26(10), 45–51. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-10-45-51>

22. Antoninova, N., Shubina, L., Sobenin, A., & Usmanov, A. (2020). Modern aspects of disturbed land reclamation. *E3S Web of Conferences*, 192, 03019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019203019>

23. Kovalevskij, A. V., Tarasova, I. V., & Luchnikova, E. M. (2021). Lesnaya rekul'tivatsiya ugol'nykh otvalov s pozitsii sokhraneniya faunisticheskogo raznoobraziya Kuzbassa [Forest reclamation of coal dumps from the perspective of preserving faunal diversity in Kuzbass]. *Lesovedenie [Forest Science]*, (5), 509–522. <https://doi.org/10.31857/S0024114821050065>

24. Kushnir, E. A., Nedbaev, I. S., & Treshchevskaya, E. I. (2021). Otsenka sostoyaniya lesnykh nasazhdenij i pochyennogo pokrova na uchastkakh rekul'tivatsii Kingiseppskogo mestorozhdeniya fosforitov [Assessment of the state of forest plantations and soil cover on reclaimed areas of the Kingisepp phosphate deposit]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyajstva [Proceedings of the Saint Petersburg Research Institute of Forestry]*, (1), 68–80. <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2021.1.68>

25. Kirdin, V. F., Kononchuk, V. V., Shtyrkhunov, V. D., & Timoshenko, S. M. (2022). Vosstanovlenie plodorodiya pochvy, podvergnushchaya tekhnogennym narusheniyam [Restoration of soil fertility subjected to technogenic disturbances]. *Agrarnaya Rossiya [Agrarian Russia]*, (2), 8–12. <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2022-2-8-12>

26. Lyanguzova, I. V. (2024). Sredoobrazuyushchaya funktsiya pochvenno-rastitel'nogo pokrova sosnovykh lesov Kol'skogo poluostrova v usloviyakh aerotekhnogennogo zagryazneniya [Environment-forming function of soil and vegetation cover of pine forests of the Kola Peninsula under conditions of aerotechnogenic pollution]. *Botanicheskij zhurnal [Botanical Journal]*, 109(10), 984–1000. <https://doi.org/10.31857/S0006813624100031>

27. Shestakova, T. A., Rogers, B. M., Mackey, B., Hugh, S., Norman, P., & Kukavskaya, E. A. (2024). Tracking ecosystem stability across boreal Siberia. *Ecological Indicators*, 169, 112841. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112841>

28. Lyanguzova, I. V. (2024). Sredoobrazuyushchaya funktsiya pochvenno-rastitel'nogo pokrova sosnovykh lesov Kol'skogo poluostrova v usloviyakh aerotekhnogennogo zagryazneniya [Environment-forming function of soil and vegetation cover of pine forests of the Kola Peninsula under conditions of aerotechnogenic pollution]. *Botanicheskij zhurnal [Botanical Journal]*, 109(10), 984–1000. <https://doi.org/10.31857/S0006813624100031>

29. Tsoraeva, E. N., & Zaitseva, Y. V. (2022). Reclamation of Disturbed Land in Russia: State of the Art. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 988(2), 022020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/988/2/022020>

30. Surina, E. A., Demidova, N. A., & Gogoleva, L. G. (2025). Uspeshnost' estestvennogo lesovosstanovleniya posle primeneniya razlichnykh vidov rubok v Arkticheskoy zone Arkhangel'skoj oblasti [Success of natural reforestation after various types of cuttings in the Arctic zone of the Arkhangelsk region]. *Lesokhozyajstvennaya informatsiya [Forestry Information]*, (2), 59–69. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2025.2.04>

31. Wu, J., Liu, Y., Liu, F. et al. (2022). Comprehensive evaluation of land reclamation schemes in mining areas based on linguistic intuitionistic fuzzy group decision-making. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 87380–87392. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20952-1>

32. Shirokikh, P. S., Fedorov, N. I., & Tuktamyshev, I. R. (2023). Zakonomernosti lesovosstanovitel'nykh sutsessij na zabroshennykh sel'skokhozyajstvennykh zemlyakh Bashkirskogo Predural'ya [Patterns of reforestation successes on abandoned agricultural lands of the Bashkir Cis-Urals]. *Ekologiya [Ecology]*, (3), 179–187. <https://doi.org/10.31857/S036705972303006X>

Сведения об авторах

✉ Яковенко Наталья Владимировна – доктор географических наук, главный научный сотрудник дирекции НИИ ИТЛК, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>, e-mail: n.v.yakovenko71@gmail.com

Сурина Елена Анатольевна – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела, ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», ул. Никитова, 13, г. Архангельск, Российская Федерация, 163062, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8159-8977>, e-mail: surina_ea@sevniilh-arh.ru

Information about the authors

✉ *Nataliya V. Yakovenko* – Dr. Sci. (Geogr.), Chief research officer of the division's Directorate of the Research Institute of Innovative Technologies and the Forestry Complex, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8, Timiryazeva str., Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>, e-mail: n.v.yakovenko71@gmail.com

Elena A. Surina – Cand. Sci. (Agric.), Leader Researcher, Scientific Research Department, Northern Research Institute of Forestry, Nikitova str., 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8159-8977>, e-mail: surina_ea@sevniilh-arh.ru

– Для контактов /Corresponding author