

Научный обзор

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.1/4>

УДК 630*434



К вопросу восстановления поврежденных пожарами лесных площадей

Роман К. Калинин, komers.for@gmail.com e-mail  <https://orcid.org/0000-0001-5863-0564>

Михаил В. Ивашнев , ivashnev.mv@yandex.ru  <https://orcid.org/0000-0001-7780-9922>

Алексей С. Васильев, alvas@petsu.ru  <https://orcid.org/0000-0003-2349-5600>

Юрий В. Суханов, yurii_ptz@bk.ru  <https://orcid.org/0000-0002-1517-5538>

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», просп. Ленина, 33, г. Петрозаводск, Республика Карелия, 185910, Российская Федерация

В статье рассмотрены вопросы восстановления поврежденных пожарами лесных площадей. Лесные пожары наносят не только экологический, но и материальный ущерб. Если экологический ущерб, наносимый попаданием в атмосферу продуктов горения, компенсировать практически невозможно, то восстановить лесные ресурсы – посильная задача. В настоящее время для лесовосстановления на лесных гарях и горельниках используются те же технологии, что и при проведении лесовосстановительных работ на лесных площадях после вырубке леса. Однако их эффективность с учетом природно-производственных условий оказывается зачастую не на самом высоком уровне. Обострение проблемы лесных пожаров вызывает необходимость применения высокоэффективных отечественных способов и технических средств для лесовосстановления после пожаров. Целью данного исследования является определение уровня технического развития отечественных современных способов и технических средств восстановления поврежденных пожарами лесных площадей. В ходе проведенного патентно-информационного поиска и анализа научно-технической литературы были изучены современные способы и технические средства для восстановления лесных насаждений на поврежденных пожарами площадях, проведен анализ собранной информации. Отмечена эффективность применения мульчерного рабочего органа для предварительной подготовки лесной площади, нарушенной пожарами.

Ключевые слова: гарь, горельник, древесина, лесная почва, лесной пожар, лесовосстановление, мульчерный рабочий орган, щена

Финансирование: данное исследование не получало внешнего финансирования.

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: К вопросу восстановления поврежденных пожарами лесных площадей / Р. К. Калинин, М. В. Ивашнев, А. С. Васильев, Ю. В. Суханов // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14. – № 1 (53). – С. 54–80. – Библиогр.: с. 72–79 (59 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.1/4>.

Поступила 15.11.2023. Пересмотрена 21.01.2024. Принята 12.02.2024. Опубликована онлайн 20.03.2024

On the issue of restoration of forest areas damaged by fires

Roman K. Kalinin, komers.for@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0001-5863-0564>

Mikhail V. Ivashnev , ivashnev.mv@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0001-7780-9922>

Alexey S. Vasiliev, alvas@petsu.ru,  <https://orcid.org/0000-0003-2349-5600>

Yuri V. Sukhanov, yurii_ptz@bk.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-1517-5538>

Petrozavodsk State University, Lenin ave., 33, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation

Abstract

The article discusses the issues of restoration of forest areas damaged by fires. Forest fires cause not only environmental, but also material damage. If it is almost impossible to compensate for the environmental damage caused by the ingress of combustion products into the atmosphere, then restoring forest resources is a feasible task. Currently, the same technologies are used for reforestation in fire-damaged forest and burnt areas as for reforestation in forest sites after deforestation. However, their efficiency, taking into account natural and industrial conditions, is often not at the highest level. The aggravation of the problem of forest fires necessitates the use of highly effective domestic methods and technical means for reforestation after fires. The purpose of this study is to determine the level of technical development of domestic modern methods and technical means of restoring forest areas damaged by fires. In the course of the patent information search and analysis of scientific and technical literature, modern methods and technical means for restoring forest plantations in areas damaged by fires were studied, and the collected information was analyzed. The effectiveness of the use of a mulch working body for the preliminary preparation of a forest area disturbed by fires is noted.

Keywords: *burnt area, fire-damaged forest, wood, forest soil, forest fire, reforestation, mulcher working body, wood chips*

Funding: this study did not receive external funding.

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

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

For citation: Kalinin R. K., Ivashnev M. V., Vasiliev A. S., Sukhanov Y. V. (2024). On the issue of restoration of forest areas damaged by fires. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 14, No. 1 (53), pp. 54-80 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.1/4>.

Received 15.11.2023. **Revised** 21.01.2024. **Accepted** 12.02.2024. **Published online** 20.03.2024.

Введение

Лесные пожары имеют ряд отрицательных последствий для природы, среди которых наряду с загрязнением атмосферы продуктами горения следует отметить уничтожение органического слоя почвы, изменение видового состава биоценозов и др.

Леса покрывают 31 % территории суши, но неравномерно распределены по всему земному шару. Общая площадь лесов составляет

4,06 млрд га. Более половины мировых лесов находится всего в пяти странах (рис. 1) [1].



Рисунок 1. Диаграмма распределения площади лесов по странам

Figure 1. Diagram of the distribution of forest area by country

Источник: Salimova G., Ableeva A., Lubova T., Sharafutdinov A., Araslanbaev I. Multidimensional modeling of the economy of forest management and reforestation. *Ecological Modelling*. 2022; Vol. 472. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110098>.

Source: Salimova G., Ableeva A., Lubova T., Sharafutdinov A., Araslanbaev I. Multidimensional modeling of the economy of forest management and reforestation. *Ecological Modelling*. 2022; Vol. 472. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110098>.

Проблема гибели леса в результате пожаров относится к глобальным проблемам человечества. Оценка последствий лесных пожаров проводится в основном по простому показателю – площади пожара [2].

А.Ю. Мануковский и Ю.А. Макарова указали, что «... ежегодно в мире горит 10-15 миллионов гектаров леса [3]», затраты на ликвидацию лесных пожаров и их последствий представлены на рис. 2.



Рисунок 2. Затраты на ликвидацию лесных пожаров и их последствий

Figure 2. Costs for the elimination of forest fires and their consequences

Источник: Мануковский А.Ю., Макарова Ю.А. Исследование восстановления лесных площадей, пострадавших из-за пожаров. *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2018; 6 (3): 87-91. Режим доступа: <https://elibrary.ru/ypclxk>.

Source: Manukovsky A.Yu., Makarova Yu.A. Research on the restoration of forest areas affected by fires. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*. 2018; 6 (3): 87-91. URL: <https://elibrary.ru/ypclxk>.

Стоимость поврежденных зданий и сооружений составляет около 0,1 % и на рис. 2 не указана.

Россия имеет высокий уровень горимости лесов в бореальной зоне. Интенсивность пожара является важнейшим показателем, определяющим количество сгоревших растительных горючих материалов, и определяет степень разрушения биогеоценоза и характер послепожарного восстановления [4, 5]. Общее проективное покрытие живого напочвенного покрова на гарях уменьшается, а количество сорных видов растительности увеличивается [6, 7].

В работе [8] отмечено, что повреждение нижней части деревьев низовым пожаром ведёт к заселению их вредителями. Кроме потери деловой древесины, нанесения экологического ущерба окружающей среде, лесные пожары оставляют после себя значительные опустошенные площади. Процесс восстановления лесов после пожаров занимает длительный период, который длится десятилетиями [9].

Вследствие низовых пожаров полностью уничтожаются напочвенный покров и древостой. Живой напочвенный покров восстанавливается только через 4-5 лет после пожара, несмотря на увеличение процента освещенности территории. Естественное возобновление древесной растительности после пожаров изменяет ее видовой состав [10]. Только спустя 15 лет после пожара в сосновом лесу начинается формирование лесной экосистемы [11, 12].

В работах [13, 14] рассмотрены управляющие факторы интенсификации лесовосстановления в зависимости от последствий после лесных пожаров. Искусственное лесовосстановление по уровню затрат в разы превосходит естественное, поэтому оно проводится при невозможности обеспечить естественное лесовосстановление [15].

В работах зарубежных ученых отмечено, что процесс восстановления лесных территорий, поврежденных пожарами, естественным образом протекает очень медленно и для ускорения процесса лесовосстановления требуется проведение специальных работ по искусственному содействию [16, 17]. После низовых пожаров отмечена удовлетворительная приживаемость семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) при искусственном лесовосстановлении [18, 19]. При этом площади искусственно засаживаются, когда естественные процессы не позволяют достичь желаемой численности, видового состава, темпов роста или структуры леса [20].

В результате лесных пожаров ущерб, наносимый окружающей среде, сохраняется длительное время. Даже через 10 лет после пожара, растительный покров вокруг живых и отмерших деревьев различается [21].

Поэтому одной из нерешенных задач является повышение эффективности лесовосстановления на площадях, поврежденных пожарами. При естественном лесовосстановлении возникает множество сложностей, например, отдельные виды растений препятствуют развитию ценных лесообразующих пород; в результате воздействия огня нарушаются нормальные условия произрастания древостоев. Интенсификация лесовосстановления может быть достигнута не только за счет содействия естественному лесовосстановлению путем высадки искусственно выращенного посадочного материала,

но за счет проведения работ по созданию благоприятных условий для возобновления и роста.

Процесс выращивания саженцев и семян для искусственного лесовосстановления, а также процесс их высадки достаточно хорошо отработаны [22]. Совсем другая картина складывается в отношении технологических процессов подготовки поврежденного пожаром почвенного покрова, подготовки субстрата и создания благоприятных условий для скорейшего роста деревьев целевых пород на лесных гарях и горельниках.

Лесовосстановление на гарях и горельниках представляет собой достаточно сложную проблему для лесного хозяйства и зависит от множества факторов [23-25]. Выбор способа содействия естественному возобновлению должен основываться на учете местных особенностей лесов и условий их произрастания.

Например, предварительная обработка саженцев ели корейской (*Picea koraiensis*) при помощи крезацина и эпин-экстра показала эффективность применения данного способа для ускоренного выращивания посадочного материала [26].

В работах зарубежных авторов [27, 28] отмечено, что предварительная подготовка почвы в виде поверхностного рыхления дает более высокую приживаемость и дальнейшее развитие саженцев. Для сухих почв или для почв, имеющих уплотненный поверхностный слой, рекомендовано проводить глубокое рыхление перед восстановлением, что ограничит рост заглушающих растений.

Также отмечена эффективность периодического прореживания лесов и удаления древесно-кустарниковой растительности, заглушающей послепожарное восстановление хвойных пород древесины [29-31].

Согласно ГОСТ Р 59058-2020 к гари относится лесная площадь с древостоем, погибшим в результате пожара, а к горельнику – лесная площадь с древостоем, частично погибшим в результате пожара.

Выделяют две группы поврежденных пожарами древостоев:

– товарные с запасом древесины более 50 м³/га и средним диаметром более 16 см;

– нетоварные, занятые мелколесьем и молодняками с незначительным запасом древесины и средним диаметром менее 16 см.

На участках с товарным древостоем, представляющим хозяйственную ценность, проводится заготовка древесины. Разработка участков с нетоварным древостоем проводится путем срезки кустарника и мелколесья.

Таким образом, первоначально на основании обследования гарей и горельников определяют требуемый вид работ для освобождения территории от поврежденных пожарами древостоев в зависимости

от типа пожара, повреждения ярусов растительности, возможности использования уцелевшей древесины [32].

Согласно рекомендациям [33] для подготовки площадей, пройденных лесными пожарами, обработку почвы перед последующим лесовосстановлением можно разделить по типам увлажнения почвы:

- обработка почвы в виде борозд;
- обработка почвы в виде гряд или микроповышений;
- обработка почвы подготовкой канав с образованием двух пластов.

Для данных целей рекомендована техника, представленная в табл. 1 и табл. 2

Таблица 1

Оборудование для подготовки площадей, пройденных лесными пожарами

Table 1

Equipment for the preparation of areas covered by forest fires

Показатели Indicators	Подборщик сучьев The bough picker	Корчевальные машины Rooting machines		
	ПС-2,4	Д-513А	КМ-1	МП-8
Базовый трактор	ТЛТ-100	Т-130	ТЛТ-100	Т-130БГ
Мощность базового трактора, кВт (л.с.)	88,2 (120)	160 (118)	88,2 (120)	160 (118)
Ширина захвата, м	2,4	1,38	0,71	1,28
Производительность, га/ч	0,34	-	-	-
Производительность при корчевании пней, шт./ч	-	30	32	-
Диаметр корчующих пней, см	-	до 40	до 60	до 45

Источник: по данным [33] | Source: according to [33]

Таблица 2

Оборудование для обработки почвы после лесных пожаров, перед лесовосстановлением

Table 2

Equipment for tillage, after forest fires, before reforestation

Показатели Indicators	Лесные плуги Forest plows					
	ПКЛ-70	ПЛБ-07	ПЛП-135	ПЛ-2-50	ПЛМ-1,5	ПКЛН-500А
Базовый трактор	ТЛТ-100	МТЗ-82	Т-130	ТЛТ-100	ТЛТ-100	Т-130БГ
Мощность базового трактора, кВт (л.с.)	88,2 (120)	59,5 (81)	160 (118)	88,2 (120)	88,2 (120)	160 (118)
Ширина захвата по дну борозды, м	0,7	0,7	-	0,8	-	0,5
Ширина минерализованной полосы, м	-	1,4	2,5-2,8	2,7	1,5	-
Глубина борозды, см	14	10-15	10-30	15-25	20	50
Производительность, км/ч	до 2,5	до 3,0	-	до 3,8	до 2,6	до 2,0

Источник: по данным [33] | Source: according to [33]

Таким образом, ранее в нашей стране существовали рекомендации по подбору системы машин для лесовосстановления из серийно производимых в стране моделей машин с учетом зоны применения и технических характеристик. Но в настоящее время большая часть оборудования (см. табл. 1 и табл. 2) морально устарели, а многие лесохозяйственные машины и базовые тракторы уже не производятся. С учетом произошедших в стране экономических преобразований и трансформации лесного хозяйства, в настоящее время эти рекомендации значительно потеряли в актуальности. Ориентация на зарубежный опыт и машины иностранного производства оказалась ошибочной стратегией, так как экономические и природно-производственные условия между странами различаются, а дорогие зарубежные машины малодоступны.

В настоящее время для лесовосстановления на лесных гарях и горельниках используются та же техника и технологии, что и при проведении лесовосстановительных работ на лесных территориях после вырубке леса. Однако, если при проведении лесовосстановления на вырубках имеются подъездные пути для доставки необходимой техники и материалов, а также специально оборудованные площадки для техники, то при проведении работ на гарях и горельниках они, как правило, отсутствуют.

Обострение проблемы лесных пожаров вызывает необходимость применения высокоэффективных отечественных способов и технических средств для лесовосстановления после пожаров. Тема обзорной статьи посвящена поиску современных способов и технических средств восстановления поврежденных пожарами лесных площадей и представляется актуальной для лесного комплекса.

Целью данного исследования является определение уровня технического развития отечественных современных способов и технических средств восстановления поврежденных пожарами лесных площадей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– изучить современные отечественные способы и технические средства в области восстановления лесных насаждений;

– установить тенденции развития отечественных способов и технических средств в области восстановления лесных насаждений.

Материалы и методы

Исследование является теоретическим изысканием в виде обзора, базируется на анализе результатов интеллектуальной деятельности. Объект исследования: лесные площади, нарушенные рубками и пожарами. Предмет исследования: способы и технические средства для восстановления лесных площадей.

Для достижения цели исследования и решения поставленных задач использовались следующие методы.

1. Патентно-информационный поиск с последующей систематизацией собранного материала.

Патентно-информационный поиск проводился на сайте Федерального института промышленной собственности (ФИПС) следующим образом. На сайте ФИПС выбирали патентный поиск; вводили имя пользователя и пароль; далее выбирали базу данных «ПАТЕНТНЫЕ ДОКУМЕНТЫ РФ (РУС.)»; из предлагаемых форм документов выбирали всё, кроме «Заявки на российские изобретения» и переходили к поиску.

Поиск проводился по ключевым словам: «Способ восстановления лесов после пожаров», «Способ расчистки вырубок», «Восстановление гарей», «Подготовка почвы на гарях», «Машина для подготовки вырубке». После каждого поискового запроса проводился ручной отбор патентов изобретений и полезных моделей за последние 10 лет, начиная с даты публикации патента от 01.01.2013 г., представляющие собой технические решения, направленные на возможность применения для восстановления лесов, гарей после пожаров, а также подготовку почвы перед лесовосстановлением.

Информационный поиск проводился среди научных статей в периодических и непериодических изданиях, материалах конференции, научно-технической литературы. Среди информационных баз следует выделить наукометрические базы данных научной электронной библиотеки elibrary.ru, sciencedirect.com, researchgate.net.

Поиск проводился по ключевым словам как на русском, так и на английском языке: «Лесовосстановление», «Горельник», «Гарь», «Посадки леса», «Лесохозяйственные машины», «Обработка почвы», «Расчистка территории»; «Reforestation», «Restoration after a fire», «Forest fire», «Burnt forest», «Dead wood and methods of combating it».

После каждого поискового запроса проводился ручной отбор публикаций за последние 10 лет, представляющие собой описание способов и техники, направленные на возможность применения для восстановления лесов, гарей после пожаров, а также подготовку почвы перед лесовосстановлением.

2. Метод сравнения, позволяющий установить достоинства и недостатки известных способов и технических средств.

Метод сравнения позволил кластеризовать отобранные патенты на изобретения и полезные модели, а также описанные способы по общим признакам.

3. Анализ и синтез, суть которых достаточно подробно раскрыта Левиным Г. Д. в работе [34].

Метод анализа использовался при познавательном переходе от общих характерных черт, изучаемых объекта и предмета исследования к частным их характеристикам. Метод синтеза использовался при упорядочивании данных, полученных в ходе анализа. Применение данного метода позволило определить уровень технического развития отечественных современных способов и технических средств восстановления лесных площадей, поврежденных пожарами, за последние 10 лет.

Результаты

Для изучения известных способов и технических средств восстановления леса после пожаров был проведен анализ патентов изобретений и полезных моделей РФ, содержащихся в фондах. В результате поискового запроса и ручного отбора патентов были отобраны 40 технических решений.

На основе изучения научных статей и технических решений была создана классификация способов и технических средств в области восстановления лесных площадей, поврежденных пожарами, представленная на рис. 3.

На основе представленной классификации вручную были сформированы пять кластеров способов и технических средств за последние 10 лет, которые сведены в табл. 3.

В первые три кластера вошли способы, позволяющие более эффективно восстанавливать лесные площади, в остальные два кластера вошли технические средства, при помощи которых производят восстановление лесных площадей, поврежденных пожарами. Технические решения, направленные на возможность применения различных способов и технических средств для восстановления лесов, гарей после пожаров, а также подготовку почвы перед лесовосстановлением, с учетом кластеризации сведены в табл. 4 и в табл. 5.

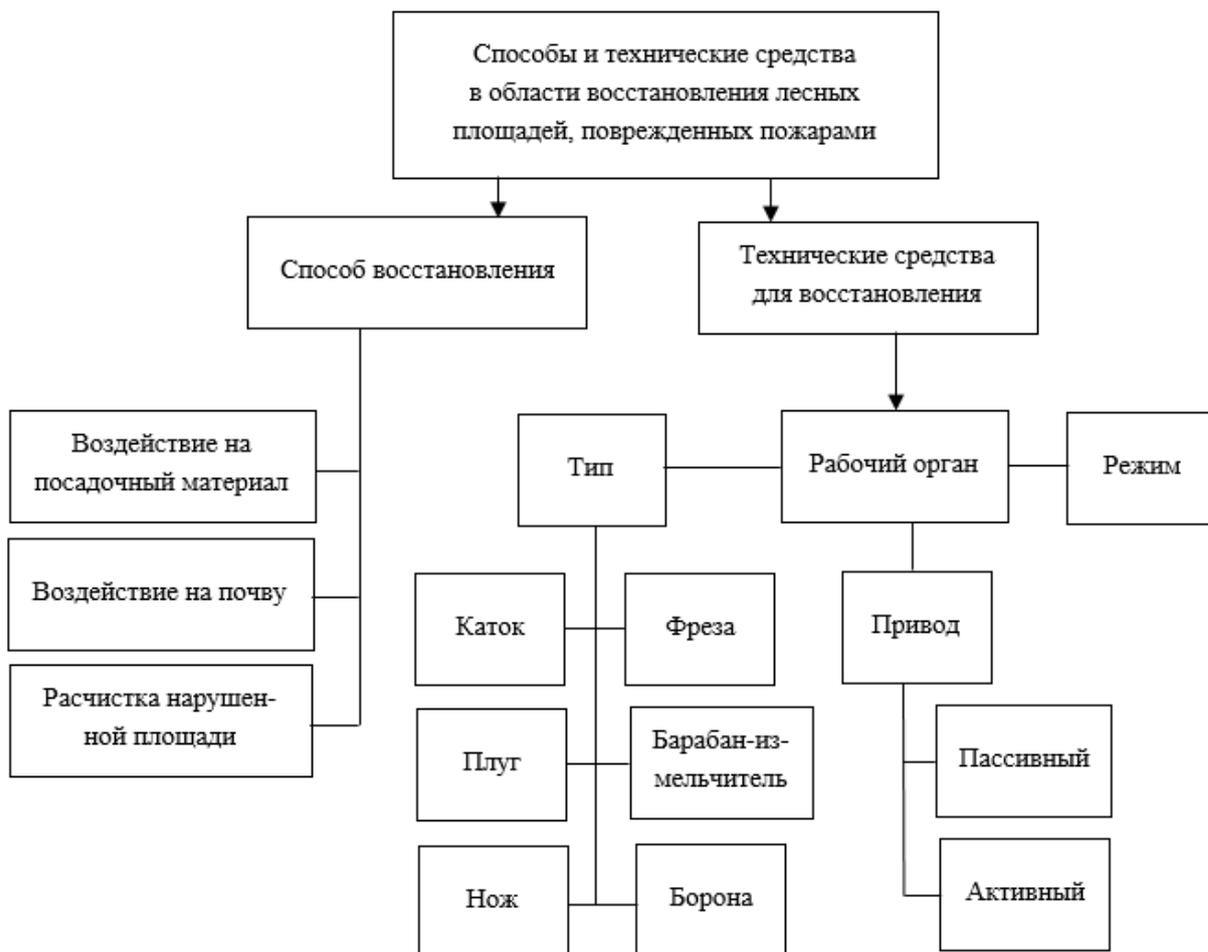


Рисунок 3. Классификация способов и технических средств в области восстановления лесных площадей

Figure 3. Classification of methods and technical means in the field of restoration of forest areas

Источник: собственная разработка авторов

Source: the authors' own development

Таблица 3

Кластеризация способов и технических средств в области восстановления лесных площадей, поврежденных пожарами

Table 3

Clustering of methods and technical means in the field of restoration of forest areas damaged by fires

Название кластера Cluster name	Характеристика кластера Characteristics of the cluster
Кластер 1	Способ воздействия на посадочный материал
Кластер 2	Способ воздействия на почву
Кластер 3	Способ расчистки нарушенной площади
Кластер 4	Технические средства с рабочим органом пассивного действия
Кластер 5	Технические средства с рабочим органом активного действия

Источник: собственная разработка авторов

Source: the authors' own development

Технические решения в области восстановления лесных площадей,
поврежденных пожарами, запатентованные за последние 10 лет в Российской Федерации

Table 4

Technical solutions in the field of restoration of forest areas damaged by fires, patented over the past 10 years in the
Russian Federation

№ п.п. Item no.	Номер патента Patent number	Название Title	Патентообладатель The patent holder	Год публикации Year of publication	Номер кластера Cluster number
1	2492627	Способ восстановления лесополосы после пожаров	Дагестанский государственный университет	2013	1
2	2643245	Способ лесовосстановления на горных склонах	Иркутский государственный университет путей сообщения	2018	1
3	2731345	Способ создания устойчивых лесных экосистем на отвалах, образованных при разработке угольных месторождений открытым способом	Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН	2020	1
4	2504942	Способ строчно-луночного посева лесных семян	Петрозаводский государственный университет	2014	2
5	2560187	Способ высадки посадочного материала с закрытой корневой системой лесозаготовительной машиной	Петрозаводский государственный университет	2015	2
6	2706158	Способ рекультивации земель под древесно-кустарниковой растительностью, пораженной лесными пожарами	Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова	2019	2
7	2737195	Способ посадки саженцев лесопосадочной машиной	Петрозаводский государственный университет	2020	2
8	2714705	Способ восстановления леса	Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова	2020	2
9	2760705	Способ выращивания сеянцев ели, сосны, лиственницы, кедра сибирского в открытом грунте с использованием устройств и приспособлений	Чиликов Б.Д.	2021	2
10	2757381	Способ очистки мест рубок	Уральский государственный лесотехнический университет	2021	2
11	2779947	Устройство и способ пересадки саженцев	Иркутского государственного университета путей сообщения	2022	2
12	2782954	Способ создания лесных культур на переувлажненных песчаных землях	Федеральный научный центр агроэкологии РАН	2022	2

Технологии. Машины и оборудование

№ п.п. Item no.	Номер патента Patent number	Название Title	Патентообладатель The patent holder	Год публикации Year of publication	Номер кластера Cluster number
13	2554447	Способ расчистки вырубок для искусственного лесовосстановления со сбором лесосечных отходов	Петрозаводский государственный университет	2015	3
14	2769472	Способ посадки, выращивания культур и выборочных рубок с заготовкой сортиментов машинами на возобновляемых искусственным путем лесных площадях	Поволжский государственный технологический университет	2022	3
15	141061	Машина для создания прерывистых микроповышений почвы	Петрозаводский государственный университет	2014	4
16	173955	Лесное почвообрабатывающее орудие	Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова	2017	4
17	176212	Машина для образования лунок для посадки растений в грунт	Петрозаводский государственный университет	2018	4
18	181473	Машина для подготовки посадочных мест	Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова	2018	4
19	177604	Лесопосадочная машина для семян с закрытой корневой системой	Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства	2018	4
20	198972	Лесопосадочная машина для осуществления лесовосстановительных работ на вырубках	Петрозаводский государственный университет	2020	4
21	199359	Лесопосадочная машина для лесовосстановления на вырубках	Петрозаводский государственный университет	2020	4
22	199369	Машина для лесовосстановительных работ	Петрозаводский государственный университет	2020	4
23	200708	Лесопосадочная машина с лесным плугом	Петрозаводский государственный университет	2020	4
24	198856	Машина лесопосадочная	Петрозаводский государственный университет	2020	4
25	198853	Лесопосадочная машина	Петрозаводский государственный университет	2020	4
26	2742659	Плуг комбинированный лесной	Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова	2021	4

Технологии. Машины и оборудование

№ п.п. Item no.	Номер патента Patent number	Название Title	Патентообладатель The patent holder	Год публикации Year of publication	Номер кластера Cluster number
27	213599	Усовершенствованный лесной плуг	Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова	2022	4
28	2767361	Корчеватель	Волгоградский государственный технический университет	2022	4
29	217468	Комбинированное почвообрабатывающее орудие	Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова	2023	4
30	216995	Модернизированный лесной плуг	Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова	2023	4
31	220357	Лесной плуг	Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова	2023	4
32	2789357	Лесной плуг для образования микроповышений	Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова	2023	4
33	2535162	Лесная машина	Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова Россельхозакадемии	2014	5
34	138170	Машина для расчистки вырубок перед искусственным лесовосстановлением	Петрозаводский государственный университет	2014	5
35	158731	Машина для восстановления леса на вырубках	Петрозаводский государственный университет	2016	5
36	167259	Лесохозяйственная машина для рубок ухода за лесами	Государственный научный центр лесопромышленного комплекса	2016	5
37	168574	Машина для восстановления леса на вырубках	Петрозаводский государственный университет	2017	5
38	178892	Лесохозяйственная машина	Государственный научный центр лесопромышленного комплекса	2018	5
39	183264	Рабочий орган машины для среза и измельчения древесно-кустарниковой растительности и прокладки минерализованных полос	Петрозаводский государственный университет	2018	5
40	178801	Лесозаготовительная машина для сбора и транспортировки лесосечных отходов	Государственный научный центр лесопромышленного комплекса	2018	5

Источник: открытые данные ФИПС
Source: FIPS open data

Технические решения в области восстановления лесных площадей,
поврежденных пожарами, описанные в научных публикациях за последние 10 лет

Technical solutions in the field of restoration of forest areas damaged by fires,
described in scientific publications over the past 10 years

№ п.п. Item no.	Название публикации Title of the publication	Аффилиация Affiliation	Год публикации Year of publication	Номер кластера Cluster number
1	Совершенствование технологического комплекса технических средств для лесовосстановления на горельниках в Центрально-Черноземном регионе [35]	Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова	2013	3, 5
2	Технологии лесовосстановления сосняков в условиях степного Придонья (на примере Ростовской области) [36]	Филиал Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства «Южно-европейская НИЛОС»	2013	2, 3
3	Исследование влияния метода утилизации сгоревшей древесины горельников на дальнейшее повреждение травоядными растительности [37]	Университет Гранады (Испания)	2013	2, 3
4	Генетический аспект восстановления леса на гарях [12]	Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета; Центр защиты леса Новгородской области	2014	1
5	Санитарные рубки древесины на лесных гарях изменяют видовой состав, сокращают площадь растительного покрова, богатство и разнообразие средиземноморских растительных сообществ [38]	Университет Гранады (Испания); Андалузский институт сельскохозяйственных исследований и профессиональной подготовки (Испания)	2014	3
6	Особенности разработки и лесовосстановления горельников в лесостепной зоне [39]	Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства; Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова	2015	2, 3
7	Удаление кустарника на восстановленных после пожара территориях увеличивает богатство местных видов растений [29]	Калифорнийский университет (США)	2016	2, 3
8	Особенности лесовосстановления на вырубках и гарях в Сомовском лесничестве Воронежской области [40]	Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова	2017	2, 3
9	Особенности восстановления древостоев сосны крымской в постпирогенный период [41]	Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН	2017	3

№ п.п. Item no.	Название публикации Title of the publication	Аффилиация Affiliation	Год публикации Year of publication	Номер кластера Cluster number
10	Особенности роста сеянцев сосны при лесовосстановлении горельников в лесостепной зоне [42]	Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова	2017	1, 2
11	Совершенствование технологий выращивания посадочного материала и лесовосстановления на горельниках [32]	Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства	2019	1, 2
12	Влияние способа лесовосстановления горельников на свойства почвы и восстановление выгоревших территорий на границе между дикой природой и городом, на примере пожаров в районе города Хайфа [43]	Хайфский университет (Израиль); Университет Вагенингена (Нидерланды); Университет Ньюкасла (Австралия)	2019	2
13	Исследование влияния травянистого яруса на восстановление сосны приморской (<i>Pinus pinaster Aiton</i>) после пожара на примере двух возрастных групп саженцев [16]	Университет Порту (Португалия); Университет Гранады (Испания)	2019	2
14	Справочник по передовому опыту лесопользования на горельниках [44]	Университет Жироны (Каталония)	2019	2, 3
15	Послепожарная эволюция лесных экосистем на песчаных террасах Юго-Восточного Прибайкалья [45]	Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН; Рослесозащита – Центр защиты леса Республики Бурятия; Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В. Р. Филиппова	2020	2
16	Десятилетнее исследование влияния способов лесовосстановления горельников на концентрацию углерода в почве и питательных веществ в сгоревшем средиземноморском лесу [23]	Университет Коимбры (Португалия); Институт биологических исследований Парагвая (Парагвай); Университет Гранады (Испания)	2021	3
17	Совокупное воздействие санитарных рубок и расчистки лесосек на эрозию, показатели функционирования почвы и растительность в горельниках на северо-западе Испании [46]	Хунта-де-Галисия (Испания); Испанское общество лесных наук (Испания)	2021	2, 3
18	Эффективность послепожарного восстановления с использованием двух методов подготовки почвы и различных видов кустарников в сосновых лесах юго-восточной Испании [28]	Университет Кастилия-Ла-Манча (Испания); Читтагонгский университет (Бангладеш); Университет Реджо-Ди-Калабрии (Италия)	2022	1, 2
19	Пространственные и временные характеристики формирования древостоев, а также высоты деревьев в лесных культурах заложенных на грязах [47]	Университет штата Вашингтон (США); Университет Колорадо (США); Севани: университет Юга (США); Лесная служба США; Университет Айдахо (США)	2022	2, 3

№ п.п. Item no.	Название публикации Title of the publication	Аффилиация Affiliation	Год публикации Year of publication	Номер кластера Cluster number
20	Обработка мульчированием способствует восстановлению множества функций лесных экосистемы после крупного пожара на северо-западе Испании [48]	Леонский университет (Испания)	2022	2
21	Восстановление сфагновых болот после пожаров на объектах Дикой природы Тасмании (Всемирного наследия ЮНЕСКО) [49]	Университет Тасмании (Австралия)	2022	2
22	Разработка повреждённых низовым пожаром горельников системой машин «харвестер + форвардер» [50]	Поволжский государственный технологический университет	2022	3
23	Способы лесовосстановления и использование валежной древесины после пожара: влияние на естественное возобновление и динамику растительности на пробных площадках [51]	Падуанский университет (Италия); Туринский университет (Италия)	2023	3
24	Среднесрочное изменение свойств почвы и разнообразие растений в ползасушливом сосновом лесу после ликвидации последствий лесного пожара [24]	Университет Кастилия-Ла-Манча (Испания); Ланьчжонский университет (Китай); Кливлендский государственный университет (США); Мадридский технический университет (Испания); Средиземноморский университет Реджо-Ди-Калабрии (Италия)	2023	2, 3
25	Пролонгированное влияние стимуляторов роста на выращивание посадочного материала ели корейской (<i>Picea koraiensis</i>) [26]	Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН	2023	1

Источник: открытые данные
Source: open data

На территории Российской Федерации патенты получают организации, а также частные лица. Большинство документов по патентованию в области восстановления лесных площадей, поврежденных пожарами, за последние 10 лет в Российской Федерации получено следующими организациями: Петрозаводским государственным университетом, Воронежским государственным лесотехническим университетом имени Г.Ф. Морозова, Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова, АО «Государственный научный центр лесопромышленного комплекса», Иркутским государственным университетом путей сообщения, а также другими организациями.

На основании данных табл. 4 в Microsoft Excel была проведена визуализация данных при помощи кластеризованной столбчатой диаграммы, представленной на рис. 4.

По кластерам запатентованные технические решения распределились следующим образом:

- по способу воздействия на посадочный материал (кластер 1) – 7,5%;
- по способу воздействия на почву (кластер 2) – 22,5%;
- по способу расчистки нарушенной площади (кластер 3) – 5,0%;
- технические средства с рабочим органом пассивного действия (кластер 4) – 45,0%;

– технические средства с рабочим органом активного действия (кластер 5) – 20,0%.

Основная часть запатентованных за последние 10 лет в РФ технических решений в области восстановления лесных площадей, поврежденных пожарами, направлена на создание способов воздействия на почву (кластер 2) и разработку технических средств (кластеры 4 и 5).

На основании данных табл. 5 в Microsoft Excel была проведена визуализация данных при помощи кластеризованной столбчатой диаграммы, представленной на рис. 5. Данные по кластерам на основе изучения публикаций в научных статьях формировались с учётом того, что в одной статье предлагались различные технические решения в области восстановления лесных площадей, поврежденных пожарами.

По кластерам технические решения в опубликованных научных статьях распределились следующим образом:

– по способу воздействия на посадочный материал (кластер 1) – 13,2%;

– по способу воздействия на почву (кластер 2) – 44,7%;

– по способу расчистки нарушенной площади (кластер 3) – 39,5%;

– технические средства с рабочим органом пассивного действия (кластер 4) – 0,0%;

– технические средства с рабочим органом активного действия (кластер 5) – 2,6%.

Большинство технических решений запатентовано в следующих годах: 2020 г. – 22,5%; 2018 г. – 17,5%; 2022 г. – 12,5%; 2014 г. – 10,0% и 2023 г. – 10,0%. Публикаций было больше всего в следующих годах: 2023 г. – 20,0%, 2019 г. – 16,0%, 2017 г. – 12,0%, 2013 г. – 12,0%, 2014 г. – 8,0%.

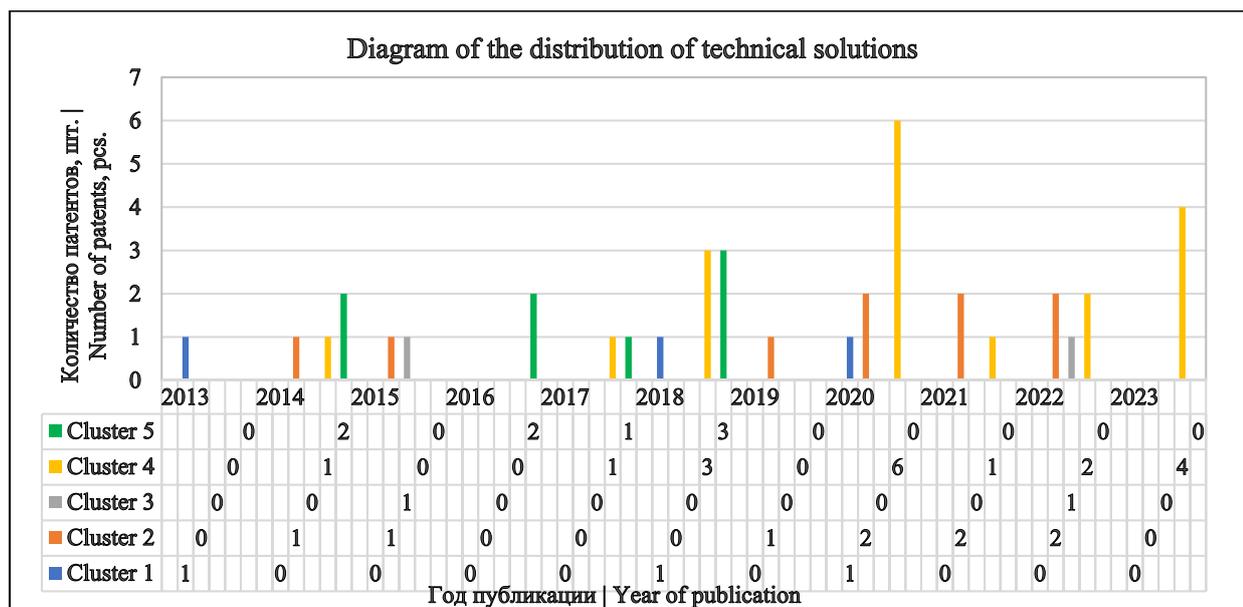


Рисунок 4. Кластеризованная столбчатая диаграмма распределения технических решений в области восстановления лесных площадей, поврежденных пожарами, запатентованных за последние 10 лет
 Figure 4. A clustered bar chart of the distribution of technical solutions in the field of restoration of forest areas damaged by fires, patented over the past 10 years

Источник: собственная разработка авторов

Source: the authors' own development

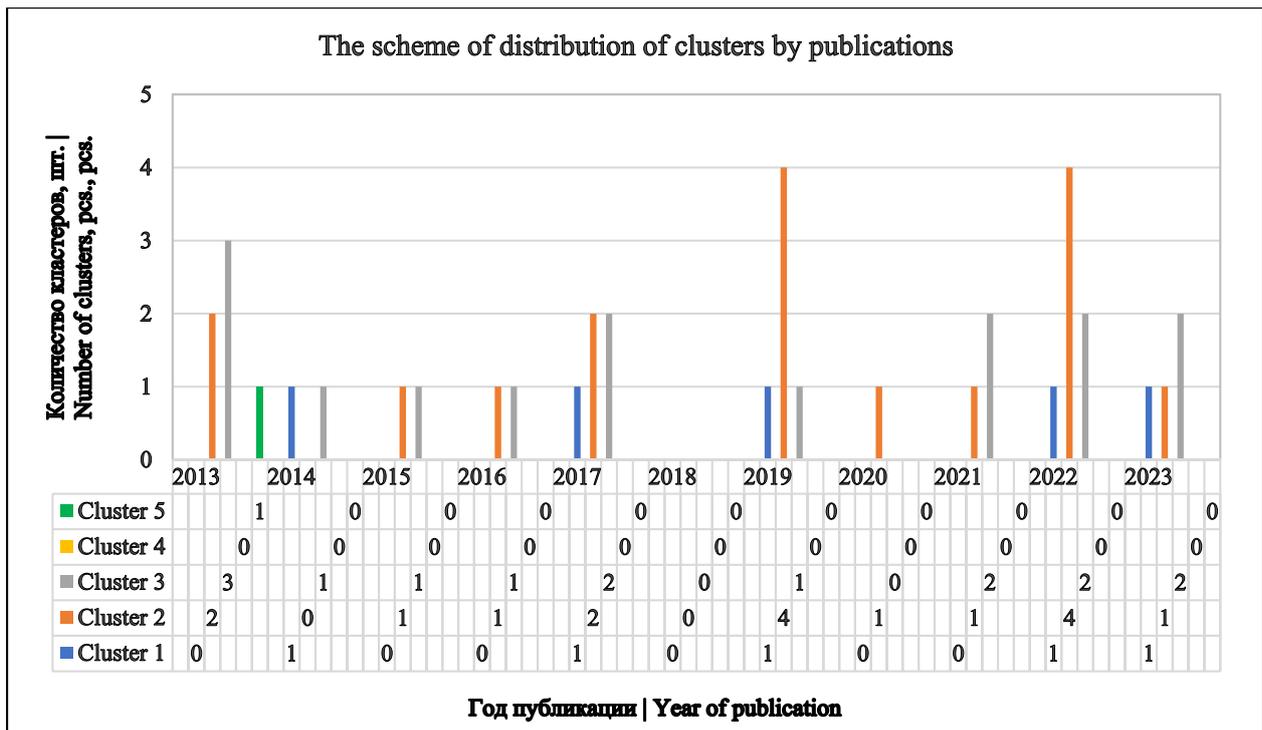


Рисунок 5. Кластеризованная столбчатая диаграмма распределения технических решений в области восстановления лесных площадей, поврежденных пожарами, описанные в научных публикациях за последние 10 лет
 Figure 5. A clustered bar chart of the distribution of technical solutions in the field of restoration of forest areas damaged by fires, described in scientific publications over the past 10 years

Источник: собственная разработка авторов
 Source: the authors' own development

В ходе анализа публикаций в научных статьях установлено, что их большая часть посвящена рассмотрению способов воздействия на почву (кластер 2) и способов расчистки нарушенной площади (кластер 3), в меньшей степени рассмотрению способов воздействия на посадочный материал (кластер 1) и совсем незначительная их часть посвящена рассмотрению технических средств с рабочим органом активного (кластер 5) действия. При этом значительная доля публикаций охватывает сразу несколько кластеров. Наиболее часто встречается сочетание кластеров 2 и 3 – 36,0 %, реже кластеров 1 и 2 – 12,0 %.

В работах [52, 53] отмечено, что при воздействии на почву высокой температуры происходят ее стерилизация и уничтожение полезных для корневых систем растений микроорганизмов. Одной из известных полезных функций мульчирования является создание благоприятной среды для микроорганизмов.

В работе [54] рассмотрено устройство мульчеров и раскрыт принцип их работы. Применение мульчеров для подготовки гарей и горельников перед лесовосстановлением позволит измельчить неликвидную древесину в щепу и одновременно с этим образовавшуюся щепу смешать с разрыхленным слоем почвы. При этом в зависимости от интенсивности лесного пожара, степени повреждения почвенного покрова путем корректировки глубины обработки почвы создать требуемый для данных условий субстрат, обогатив обедненную почву измельченной древесиной.

В работе [55] отмечено, что мульча из щепы достаточно хорошо обеспечивает древесные породы питательными веществами и выполняет роль дополнительного резерва органического вещества. Также зарубежные ученые в своих работах [46, 56, 57] приводят сведения о положительном влиянии подготовки лесной почвы перед лесовосстановлением, проводимом в том числе на гарях.

Еще одно достоинство использования мульчеров – это выравнивание поверхности почвы путем измельчения пней, устранения кочек, крупных корней, находящихся в верхних слоях почвы, что обеспечивает возможность использования на данной территории лесопосадочных машин. Стоит отметить, что при установке на мульчерный рабочий орган в качестве режущих элементов инструмента с карбидовольфрамовыми наконечниками, такой рабочий орган может работать на каменистой почве.

В работах [58, 59] отмечено, что предварительная обработка почвы на горях и горельниках путем мульчирования способствует активизации процессов естественного возобновления лесных площадей.

Мульчерный рабочий орган одновременно с измельчением древесины может осуществлять и перемешивание почвы с предварительно раскиданными по ней удобрениями. Мульчерные рабочие органы могут также использоваться и при создании противопожарных полос.

Обсуждение

Изучены существующие рекомендации по лесовосстановлению на площадях, пройденных лесными пожарами, включая рекомендованные технологические комплексы машин. Отмечено, что не все машины и базовые тракторы из рекомендаций производятся в настоящее время.

При лесовосстановлении на горях и горельниках в настоящее время обычно используются те же технологии и машины, что и при лесовосстановлении на вырубках. Однако эффективность с учетом природно-производственных условий оказывается зачастую не на самом высоком уровне. Это объясняется тем, что исходные факторы при лесовосстановлении на вырубках и лесовосстановлении на горях и горельниках существенным образом отличаются. Следовательно, логично предположить, что выбор технологии лесовосстановления осуществляемого в целях восстановления полезных функций леса, их биологического разнообразия, должен выбираться с учетом исходного состояния подлежащей лесовосстановлению территории.

После вырубki лесная подстилка остается в исходном состоянии, а в результате огневого воз-

действия при пожаре происходит существенное изменение свойств лесной подстилки, влияющее на ее плодородие, при этом стоит отметить, что вид пожара (верховой, низовой, торфяной) также существенным образом влияет на степень изменения условий произрастания растений.

Например, при пожаре большой ущерб наносится лесной подстилке и низкорастущим растениям, при этом верхний слой почвы лишается защитного слоя из опавших с деревьев листьев, хвои, происходит потеря связи частиц почвы между собой, в результате чего возникает опасность эрозии плодородной почвы и оголения ее поверхности. Оголение поверхности почвы, кроме ухудшения ее плодородных свойств, также негативно сказывается и на взаимодействии систем: «двигатель лесной машины»-«почва»; «рабочий орган»-«почва». Чем меньше проходов по территории, пройденной огнем, совершат лесные машины, тем меньше будет негативное воздействие на почву.

В зависимости от степени повреждения почвенного покрова, ее первоначального состава и плодородия требуются разная глубина ее обработки и использование различных полезных элементов. Поэтому лесные машины, используемые при лесовосстановлении гарей и горельников должны позволять изменять глубину воздействия на почву.

Искусственное лесовосстановление на данных территориях затруднено, поскольку зачастую к поврежденным пожарами лесным территориям нет подъездных путей для движения лесной техники, кроме того, для искусственного лесовосстановления нужен посадочный материал, потребный объем которого заранее спрогнозировать очень проблематично. Из-за того, что доставка лесных машин на такие территории затруднительна, то машины, выполняющие сразу несколько операций, например, расчистка и подготовка почвы, являются более предпочтительным выбором.

При лесных пожарах обычно повреждается большая по площади территория, что требует проведения работ по содействию естественному лесовозобновлению для скорейшего восстановления лесной территории с ее полезными функциями. Как показал проведенный анализ способы, касающихся восста-

новления поврежденных пожарами лесных площадей, основываются на обработке поверхностного слоя почвы с целью повышения его плодородных свойств. При этом глубина обработки и ее вид, например, механическое перемешивание с нижележащими слоями, внесение мульчи и т.д. должны выбираться исходя из степени повреждения почвенного покрова огневым воздействием.

Результаты данной работы могут быть использованы организациями, занимающимися лесовосстановлением лесных территорий, поврежденных пожарами, для обоснованного выбора наиболее эффективного с учетом конкретных условий проведения работ способа и необходимых для его реализации технических устройств.

Заключение

Восстановление леса на гарях и горельниках представляет собой достаточно сложную проблему для лесного комплекса вследствие необходимости учета множества различных факторов, основными из которых являются: состав и возраст бывшего насаждения, состояние гарей, тип лесорастительных условий, наличие необходимых средств механизации и ряд других.

Ввиду существенного отличия в состоянии почвенного покрова на гарях и горельниках многими университетами и научными институтами нашей страны за последние 10 лет проводился поиск и разработка технических решений по проведению лесовосстановления применительно к поврежденным пожарами территориям.

Установлены тенденции развития отечественных способов и технических средств в области восстановления лесных насаждений. В ходе проведенного патентно-информационного поиска и анализа научно-технической литературы выделено пять кластеров. В первые три кластера вошли способы, позволяющие более эффективно восстанавливать лесные площади, в четвертый и пятый кластеры вошли технические средства пассивного и активного действия, позволяющие эффективно производить восстановление лесных площадей, поврежденных пожарами.

Предлагаемые нашими учеными и организациями современные отечественные способы и технические средства в области восстановления лесных насаждений по кластерам распределились следующим образом:

- по способу воздействия на посадочный материал (кластер 1) – 12,3 %;
- по способу воздействия на почву (кластер 2) – 26,3 %;
- по способу расчистки нарушенной площади (кластер 3) – 14,0 %;
- технические средства с рабочим органом пассивного действия (кластер 4) – 31,6 %;
- технические средства с рабочим органом активного действия (кластер 5) – 15,8 %.

Анализ результатов проведенного патентно-информационного исследования показал, что при изучении технического уровня развития технических средств (кластеры 4, 5), применяемых при восстановлении нарушенных пожаром территорий, с целью синтеза новых технических решений следует первоочередное внимание уделить изучению патентного фонда, а при поиске путей повышения эффективности способов воздействия на почву и способов расчистки нарушенной пожаром площади (кластеры 2, 3) первоочередное внимание следует уделить анализу публикаций.

Анализ публикаций показал, что перспективным является использование машин с активным рабочим органом мульчерного типа, способных измельчать оставшиеся на гарях и горельниках обгоревшие остатки лесной растительности, и одновременно с этим обрабатывать почвенный покров путем перемешивания поврежденного огневым воздействием верхнего почвенного покрова с более глубокими не поврежденными пожаром ее слоями. Однако, для широкого применения на практике пока не хватает обобщения опыта и разработки рекомендаций по применению мульчеров при лесовосстановлении лесных территорий, пройденных лесными пожарами с учетом лесорастительных условий и состояния древесной растительности. Авторы планируют продолжить работу по изучению применения машин мульчерного типа на гарях и горельниках.

Список литературы

1. Salimova G., Ableeva A., Lubova T., Sharafutdinov A., Araslanbaev I. Multidimensional modeling of the economy of forest management and reforestation. *Ecological Modelling*. 2022; Vol. 472. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110098>.
2. Donato D.C., Halofsky J.S., Churchill D.J., Haugo R.D., C. Cansler A., Smith A., Harvey B.J. Does large area burned mean a bad fire year? Comparing contemporary wildfire years to historical fire regimes informs the restoration task in fire-dependent forests. *Forest Ecology and Management*. 2023; Volume 546. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121372>. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112723006060>.
3. Мануковский А.Ю., Макарова Ю.А. Исследование восстановления лесных площадей, пострадавших из-за пожаров. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018; Т. 6; 3 (39): 87-91. Режим доступа: <https://elibrary.ru/ypclxk>.
4. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г. Климатические изменения и лесные пожары в России. *Лесоведение*. 2013; 5: 50-61. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20370655>.
5. Чучалина А.А., Санникова Н.С. Влияние низовых пожаров на возобновление хвойных видов в сосняке бруснично-чернично-зеленомошном. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2013; 3 (41): 13-16. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19425397>.
6. Соколова Г.Г. Влияние сельскохозяйственных палов на травяной покров березовых лесов Алтайского края. *Известия Алтайского государственного университета*. 2014; 3-1 (83): 84-88. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21741785>.
7. Казанцева М.Н., Мухамадиева Р.Р. Начальный этап восстановления растительного покрова на гарях сосняков лишайниковых в южной части Тюменской области. Актуальные проблемы лесного комплекса. 2023; 64: 196-200. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54795587>.
8. Буряк Л.В., Каленская О.П. Влияние пожаров на формирование насаждений Нижнего Приангарья. Монография. 2020; 140 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13500452>.
9. Sirolli H., Torrella S.A. The role of secondary forest in the survival and growth of native species: Tree planting field experiment in the delta of the Paraná River (Argentina). *Forest Ecology and Management*. 2023; Volume 546. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121329>. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112723005637>.
10. Утюк В.О., Иванисова Н.В. Естественное возобновление древостоя после низовых пожаров в Ростовской области. *Тимирязевский биологический журнал*. 2023; 1: 68-72. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54758296>.
11. Грязькин А.В., Гаврилова О.И., Чэн Т., Семенова Е.И. Структурные особенности лесных фитоценозов формирующихся на скальниках после пожара. *Лесной вестник. Forestry Bulletin*. 2023; 27; 3: 18-25. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53944397>.
12. Рогозин М.В., Голиков А.М. Генетический аспект восстановления леса на гарях. В сборнике: Проблемы устойчивого управления лесами Сибири и Дальнего Востока. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 75-летию образования Дальневосточного научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2014; 335-339. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53812083>.
13. Churchill D.J., Jeronimo S.M.A., Hessburg P.F., Cansler C.A., Povak N.A., Kane V.R., Lutz J.A., Larson A.J. Post-fire landscape evaluations in Eastern Washington, USA: Assessing the work of contemporary wildfires. *Forest Ecology and Management*. 2022; Volume 504. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119796>. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112721008872>.
14. Šebesta J, Rogers P.C., Maděra P., Koutecký T., Dufour S., Řepka R. Long-term effects of mechanical site preparation on understorey plant communities in lowland floodplain forests. *Forest Ecology and Management*. 2021; Vol. 480: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118651>.

15. Петров А.С., Виньковская О.П. Состояние лесовосстановления в Качугском лесничестве Иркутской области. Вестник ИРГСХА. 2023; 116: 110-123. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53979667>.
16. Castro J., Leverkus A.B. Effect of Herbaceous Layer Interference on the Post-Fire Regeneration of a Serotinous Pine (*Pinus pinaster* Aiton) across Two Seedling Ages. *Forests*. 2019; Vol. 10. Issue 1: 74. DOI: <http://doi.org/10.3390/f10010074>.
17. Fisher R.F., Fox T.R., Harrison R.B., Terry T. Forest soils education and research: Trends, needs, and wild ideas. *Forest Ecology and Management*. 2005; Vol. 220 (1-3): 1-16. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.001>.
18. Atutova Zh.V. Post-fire restoration of pine forests in the Badary area, Tunkinskiy national park, Russia. *Nature Conservation Research*. 2023; 8; 2: 22-32. DOI: 10.24189/ncr.2023.010.
19. González-Díaz P., Jump A.S., Perry A., Wachowiak W., Cavers S., Lapshina E. Ecology and management history drive spatial genetic structure in Scots pine. *Forest Ecology and Management*. 2017; Vol. 400: 68-76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.05.035>.
20. North M.P., Latimer A.M., Welch K.R., Young D.J.N., Buckley T.N., Vice H., Stevens J.T., York R.A., Axelson J.N., Shive K.L., Tubbesing C.L., Werner C.M., Wyrsh P., Greene D.F., Coppoletta M., Knapp E.E., Restaino C.M., Tompkins R.E., Estes B.L., Hager R.N. et al. Tamm Review: Reforestation for resilience in dry western U.S. forests. *Forest Ecology and Management*. 2019; Vol. 432: 209-224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.09.007>.
21. Прокушкин С.Г., Зырянова О.А. О влиянии деревьев лиственницы Гмелина на послепожарное восстановление лесного фитоценоза в криолитозоне Средней Сибири. *Сибирский экологический журнал*. 2013; 20; 5: 645-652. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20210731>.
22. Шварц Е.А., Стариков И.В., Харламов В.С., Ярошенко А.Ю., Шматков Н.М., Кобяков А.В., Птичников А.В., Луковцев Ф.Ю., Тюленева О.В., Голунов Р.Ю., Щеголев А.А. Новый взгляд на развитие лесного комплекса: Ч. 3. Фундаментальные основы нового леса. Использование и охрана природных ресурсов в России. 2021; 1 (165): 30-39. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45670893>.
23. Juan-Ovejero R., Molinas-González C.R., Leverkus A.B., Martín Peinado F. J., Castro J. Decadal effect of post-fire management treatments on soil carbon and nutrient concentrations in a burnt Mediterranean forest. *Forest Ecology and Management*. 2021; Vol. 498. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119570>.
24. Gómez-Sánchez M.E., Navidi M., Ortega R. (et al.) Medium-term associations of soil properties and plant diversity in a semi-arid pine forest after post-wildfire management. *Forest Ecology and Management*. 2023; Vol-ume 545. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121163>. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112723003973>.
25. Бойко Т.А., Напалкова Ю.А. Влияние пожаров на естественное возобновление на территории Краснокамского участкового лесничества Закамского лесничества. В сборнике: Материалы I национ. конф. по итогам научной и производственной работы преподавателей и студентов в области ландшафтной архитектуры и лесного дела. ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова». 2019; 37-42. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38073788>.
26. Острошенко В.Ю. Пролонгированное влияние стимуляторов роста на выращивание посадочного материала ели корейской *Picea koraiensis* Nakai. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2023; 18; 3: 309-319. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54661938>.
27. Stevens J.T., Haffey C.M., Coop J.D. (et al.) Tamm Review: Postfire landscape management in frequent-fire conifer forests of the southwestern United States. *Forest Ecology and Management*. 2021; Vol. 502. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119678>.
28. Matallana R.G., Lucas-Borja M.E., Gómez-Sánchez M.E., Uddin S.M.M., Zema D.A. Post-fire restoration effectiveness using two soil preparation techniques and different shrubs species in pine forests of South-Eastern Spain. *Ecological Engineering*. 2022; Vol. 178: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106579>.

29. Bohlman G.N., North M., Safford H.D. Shrub removal in reforested post-fire areas increases native plant species richness. *Forest Ecology and Management*. 2016; Vol. 374: 195-210. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.05.008>.
30. Lind B.M., North M.P., Maloney P.E., Eckert A.J. Effect of fire and thinning on fine-scale genetic structure and gene flow in fire-suppressed populations of sugar pine (*Pinus lambertiana* Dougl.). *Forest Ecology and Management*. 2019; Vol. 447: 115-129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.033>.
31. Steckel M., Heym M., Wolff B., Reventlow D.O.J., Pretzsch H. Transgressive overyielding in mixed compared with monospecific Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and oak (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) stands – Productivity gains increase with annual water supply. *Forest Ecology and Management*. 2019; Vol. 439: 81-96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.02.038>.
32. Проказин Н.Е., Родин С.А., Казаков В.И., Лобанова Е.Н., Казаков И.В. Совершенствование технологий выращивания посадочного материала и лесовосстановления на горельниках. *Лесохозяйственная информация*. 2019; 3: 38-47. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39263392>.
33. Рекомендации по планированию и проектированию фонда лесовосстановления на площадях, пройденных лесными пожарами и ветровалами. Пушкино: ВНИИЛМ. 2019; 36. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43825305>.
34. Левин Г.Д. Классическая теория анализа и синтеза. *Философия науки и техники*. 2020: Т. 25; 2: 103-115. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44526604>.
35. Гончаров П. Э., Попиков П. И., Пономарёв С. В., Шабанов М. Л., Меняйлов К. А. Совершенствование технологического комплекса технических средств для лесовосстановления на горельниках в Центрально-Черноземном регионе // *Лесотехнический журнал*. 2013. №1 (9). С. 116-126. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20164097>.
36. Чукарина А. В. Технологии лесовосстановления сосняков в условиях степного Придонья (на примере Ростовской области) // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. 2013. №35. С. 100-103. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22574341>.
37. Castro J. Postfire Burnt-Wood Management Affects Plant Damage by Ungulate Herbivores. *International Journal of Forestry Research*. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1155/2013/965461>.
38. Leverkus A., Lorite J., Navarro F., Sánchez-Cañete E., Castro J. Post-fire salvage logging alters species composition and reduces cover, richness, and diversity in Mediterranean plant communities. *Journal of environmental management*. 2014. Vol. 133. Pp. 323-331. DOI: [doi:10.1016/j.jenvman.2013.12.014](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.014).
39. Проказин Н. Е., Бартнев И. М., Казаков В. И., Лобанова Е. Н. Особенности разработки и лесовосстановления горельников в лесостепной зоне // *Лесотехнический журнал*. 2015. №1 (17). С. 85-97. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23576045>.
40. Тырченкова И. В. Особенности лесовосстановления на вырубках и гарях в Сомовском лесничестве Воронежской области // *Лесотехнический журнал*. 2017. №3 (27). С. 157-166. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30468610>.
41. Коба В.П. Особенности восстановления древостоев сосны крымской в постпирогенный период // *Экосистемы*. 2017. №11 (41). С. 10-13. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30784158>.
42. Проказин Н. Е., Бартнев И. М., Казаков В. И., Лобанова Е. Н. Особенности роста семян сосны при лесовосстановлении горельников в лесостепной зоне // *Лесотехнический журнал*. 2017. №2 (26). С. 91-96. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29825788>.
43. Wittenberg L., Keesstra S., Tessler N. Post-fire management treatment effects on soil properties and burned area restoration in a wildland-urban interface, Haifa Fire case study. *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 716. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.135190](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135190).
44. Mauri E., Pons P. Handbook of good practices in post-wildfire management. Universitat de Girona. 2019. 171 p. ISBN: 978-84-8458-564-0.

45. Гынинова А. Б., Убугунов Л. Л., Куликов А. А., Гынинова Б. Д., Гончиков Б. Н., Бадмаев Н. Б., Сымпилова Д. П. Послепожарная эволюция лесных экосистем на песчаных террасах Юго-Восточного Прибайкалья // Сибирский экологический журнал. 2020. Т. 27. № 1. С. 13-25. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42347250>.
46. Fernández C., Fontúrbel T., Vega J.A. Cumulative effects of salvage logging and slash removal on erosion, soil functioning indicators and vegetation in a severely burned area in NW Spain. *Geoderma*. 2021; Vol. 393. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115004>.
47. Andrus R., Droske C., Franz M., Hudak AT., Leigh L., Lewis S., Morgan P., Robichaud P., Meddens A. Spatial and temporal drivers of post-fire tree establishment and height growth in a managed forest landscape. *Fire Ecology*. 2022. DOI: 18. 10.1186/s42408-022-00153-4.
48. Marcos E., Huerta S., Fernández-García V., Prieto I., Pinto P. P., Ansola G., Sáenz de Miera L., Calvo L. Mulching treatments favour the recovery of ecosystem multifunctionality after a large wildfire in Northwest Spain. 2022. Pp. 1234-1239. DOI: 10.14195/978-989-26-2298-9_187.
49. Prior L., Nichols S., Williamson G., Bowman D. Post-fire restoration of Sphagnum bogs in the Tasmanian Wilderness World Heritage Area, Australia. *Restoration Ecology*. 2022. Vol. 31. DOI: 31. 10.1111/rec.13797.
50. Ширнин Ю. А., Ширнин А. Ю., Денисов С. А., Волдаев М. Н., Шарнин И. В. Разработка повреждённых низовым пожаром горельников системой машин "харвестер + форвардер" // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2022. №2 (54). С. 55-63. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49208675>.
51. Lingua E., Marques G., Marchi N., Garbarino M., Marangon D., Taccaliti F., Marzano R. Post-Fire Restoration and Deadwood Management: Microsite Dynamics and Their Impact on Natural Regeneration. *Forests*. 2023. Vol. 14. DOI: 10.3390/f14091820.
52. Одноралов Г.А., Тихонова Е.Н., Голядкина И.В., Малинина Т.А. Оценка биологической продуктивности лесной среды в условиях урбанизации (на примере Воронежской нагорной дубравы). *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2020; 2 (374): 60-72. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42654444>.
53. Родин С.А., Проказин Н.Е., Казаков В.И., Лобанова Е.Н., Пентелькина Н.В., Румянцева С.А., Чеплянский И.Я. Рекомендации по планированию и проектированию фонда лесовосстановления на площадях, пройденных лесными пожарами и ветровалами. 2019: 36. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43825305>.
54. Малюков С.В., Панявина Е.А., Аксенов А.А. Анализ конструкций мульчеров и ротаторов. *Лесотехнический журнал*. 2019; 1 (33): 159-167. Режим доступа: <https://elibrary.ru/zfeegt>.
55. Ивашнев М.В. Научные основы совершенствования машин для удаления древесно-кустарниковой растительности при непрерывном движении базового трактора : дис. ... д-ра техн. наук : 05.21.01. 2020; 316. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54471861>.
56. Löf M., Dey D.C., Navarro R.M., Jacobs D.F. Mechanical site preparation for forest restoration. *New Forests*. 2012; Vol. 43 (5-6): 825-848. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11056-012-9332-x>.
57. Curran M.P., Murray M.P. Soil disturbance, amelioration and rehabilitation affect forest growth, health, soil carbon and chemistry on five long-term soil productivity (LTSP) sites in southeastern British Columbia. *Forest Ecology and Management*. 2023; Vol. 546. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121362>. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112723005960>.
58. Тарасов П.А., Бакшеева Е.О., Иванов В.А. Исследования влияния мульчирования сплошной вырубki на температуру почвы. *Вестник КрасГАУ*. 2015; 8: 75-80. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24120779>.
59. Беховых Ю.В. Влияние мульчирования на изменение гидротермических условий в пахотном слое чернозёма выщелоченного. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2020; 2 (184): 12-19. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42600764>.

References

1. Salimova G., Ableeva A., Lubova T., Sharafutdinov A., Araslanbaev I. Multidimensional modeling of the economy of forest management and reforestation. *Ecological Modelling*. 2022; Vol. 472. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110098>.
2. Donato D.C., Halofsky J.S., Churchill D.J., Haugo R.D., C. Cansler A., Smith A., Harvey B.J. Does large area burned mean a bad fire year? Comparing contemporary wildfire years to historical fire regimes informs the restoration task in fire-dependent forests. *Forest Ecology and Management*. 2023; Volume 546. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121372>. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112723006060>.
3. Manukovsky A.Yu., Makarova Yu.A. Research on the restoration of forest areas affected by fires. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*. 2018; vol. 6; 3 (39): 87-91. Access mode: <https://elibrary.ru/ypclcx>.
4. Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G. Climatic changes and forest fires in Russia. *Forest science*. 2013; 5: 50-61. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20370655>.
5. Chuchalina A.A., Sannikova N.S. The influence of grass-roots fires on the renewal of coniferous species in the cranberry-blueberry-zelenomoshny pine forest. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*. 2013; 3 (41): 13-16. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19425397>.
6. Sokolova G.G. The influence of agricultural bollards on the grass cover of birch forests of the Altai Territory. *Proceedings of the Altai State University*. 2014; 3-1 (83): 84-88. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21741785>.
7. Kazantseva M. N., Mukhamadieva R. R. The initial stage of restoration of vegetation cover on burning lichen pine forests in the southern part of the Tyumen region. *Actual problems of the forest complex*. 2023; 64: 196-200. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54795587>.
8. Buryak L. V., Kalenskaya O. P. The influence of fires on the formation of plantations in the Lower Angara region. *Monograph*. 2020; 140 p. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13500452>.
9. Sirolli H., Torrella S.A. The role of secondary forest in the survival and growth of native species: Tree planting field experiment in the delta of the Paraná River (Argentina). *Forest Ecology and Management*. 2023; Volume 546. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121329>. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112723005637>.
10. Zhelyuk V. O., Ivanisova N. V. Natural renewal of the forest stand after grass-roots fires in the Rostov region. *Timiryazev Biological Journal*. 2023; 1: 68-72. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54758296>.
11. Gryazkin A.V., Gavrilova O.I., Chen T., Semenova E.I. Structural features of forest phytocenoses formed on rock formations after a fire. *Forest Bulletin. Forestry Bulletin*. 2023; 27; 3: 18-25. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53944397>.
12. Rogozin M.V., Golikov A.M. The genetic aspect of forest restoration in burning areas. In the collection: *Problems of sustainable forest management in Siberia and the Far East. Materials of the All-Russian conference with international participation dedicated to the 75th anniversary of the formation of the Far Eastern Scientific Research Institute of Forestry*. 2014; 335-339. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53812083>.
13. Churchill D.J., Jeronimo S.M.A., Hessburg P.F., Cansler C.A., Povak N.A., Kane V.R., Lutz J.A., Larson A.J. Post-fire landscape evaluations in Eastern Washington, USA: Assessing the work of contemporary wildfires. *Forest Ecology and Management*. 2022; Volume 504. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119796>. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112721008872>.
14. Šebesta J, Rogers P.C., Maděra P., Koutecký T., Dufour S., Řepka R. Long-term effects of mechanical site preparation on understorey plant communities in lowland floodplain forests. *Forest Ecology and Management*. 2021; Vol. 480: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118651>.
15. Petrov A.S., Vinkovskaya O.P. The state of reforestation in the Kachugsky forestry of the Irkutsk region. *Bulletin of the IrGSHA*. 2023; 116:110-123. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53979667>.

16. Castro J., Leverkus A.B. Effect of Herbaceous Layer Interference on the Post-Fire Regeneration of a Serotinous Pine (*Pinus pinaster* Aiton) across Two Seedling Ages. *Forests*. 2019; Vol. 10. Issue 1: 74. DOI: <http://doi.org/10.3390/f10010074>.
17. Fisher R.F., Fox T.R., Harrison R.B., Terry T. Forest soils education and research: Trends, needs, and wild ideas. *Forest Ecology and Management*. 2005; Vol. 220 (1-3): 1-16. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.001>.
18. Atutova Zh.V. Post-fire restoration of pine forests in the Badary area, Tunkinskiy national park, Russia. *Nature Conservation Research*. 2023; 8; 2: 22-32. DOI: 10.24189/ncr.2023.010.
19. González-Díaz P., Jump A.S., Perry A., Wachowiak W., Cavers S., Lapshina E. Ecology and management history drive spatial genetic structure in Scots pine. *Forest Ecology and Management*. 2017; Vol. 400: 68-76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.05.035>.
20. North M.P., Latimer A.M., Welch K.R., Young D.J.N., Buckley T.N., Vice H., Stevens J.T., York R.A., Axel-son J.N., Shive K.L., Tubbesing C.L., Werner C.M., Wyrsh P., Greene D.F., Coppoletta M., Knapp E.E., Restaino C.M., Tompkins R.E., Estes B.L., Hager R.N. et al. Tamm Review: Reforestation for resilience in dry western U.S. forests. *Forest Ecology and Management*. 2019; Vol. 432: 209-224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.09.007>.
21. Prokushkin S.G., Zyryanova O.A. On the influence of Gmelin larch trees on the post-fire formation of forest phytocenosis in the cryolithozone of Central Siberia. *Siberian Ecological Journal*. 2013; 20; 5: 645-652. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20210731>.
22. Schwartz E.A., Starikov I.V., Kharlamov V.S., Yaroshenko A.Yu., Shmatkov N.M., Kobayakov A.V., Ptichnikov A.V., Lukovtsev F.Yu., Tyuleneva O.V., Golunov R.Yu., Shchegolev A.A. A new look at the development of the forest complex: Part 3 The fundamental foundations of the new forest. Use and protection of natural resources in Russia. 2021; 1 (165): 30-39. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45670893>.
23. Juan-Ovejero R., Molinas-González C.R., Leverkus A.B., Martín Peinado F. J., Castro J. Decadal effect of post-fire management treatments on soil carbon and nutrient concentrations in a burnt Mediterranean forest. *Forest Ecology and Management*. 2021; Vol. 498. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119570>.
24. Gómez-Sánchez M.E., Navidi M., Ortega R. (et al.) Medium-term associations of soil properties and plant diversity in a semi-arid pine forest after post-wildfire management. *Forest Ecology and Management*. 2023; Vol-ume 545. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121163>. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112723003973>.
25. Boyko T.A., Napalkova Yu.A. The impact of fires on natural regeneration in the territory of the Krasnokamsky district forestry of the Zakamsky forestry. In the collection: Materials of the I nation. conf. on the results of scientific and industrial work of teachers and students in the field of landscape architecture and forestry. Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. 2019; 37-42. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38073788>.
26. Ostroshenko V.Yu. Prolonged effect of growth stimulants on the cultivation of planting material of Korean spruce *Picea koraiensis* Nakai. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and animal husbandry*. 2023; 18; 3: 309-319. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54661938>.
27. Stevens J.T., Haffey C.M., Coop J.D. (et al.) Tamm Review: Postfire landscape management in frequent-fire conifer forests of the southwestern United States. *Forest Ecology and Management*. 2021; Vol. 502. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119678>.
28. Matallana R.G., Lucas-Borja M.E., Gómez-Sánchez M.E., Uddin S.M.M., Zema D.A. Post-fire restoration effectiveness using two soil preparation techniques and different shrubs species in pine forests of South-Eastern Spain. *Ecological Engineering*. 2022; Vol. 178: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106579>.
29. Bohlman G.N., North M., Safford H.D. Shrub removal in reforested post-fire areas increases native plant species richness. *Forest Ecology and Management*. 2016; Vol. 374: 195-210. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.05.008>.

30. Lind B.M., North M.P., Maloney P.E., Eckert A.J. Effect of fire and thinning on fine-scale genetic structure and gene flow in fire-suppressed populations of sugar pine (*Pinus lambertiana* Dougl.). *Forest Ecology and Management*. 2019; Vol. 447: 115-129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.033>.
31. Steckel M., Heym M., Wolff B., Reventlow D.O.J., Pretzsch H. Transgressive overyielding in mixed compared with monospecific Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and oak (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) stands – Productivity gains increase with annual water supply. *Forest Ecology and Management*. 2019; Vo. 439: 81-96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.02.038>.
32. Prokazin N.E., Rodin S.A., Kazakov V.I., Lobanova E.N., Kazakov I.V. Improvement of technologies for growing planting material and reforestation on mountain ranges. *Forestry information*. 2019; 3: 38-47. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39263392>.
33. Recommendations on the planning and design of the reforestation fund in areas affected by forest fires and windfalls. Pushkino: VNIILM. 2019; 36. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43825305>.
34. Levin G.D. Classical theory of analysis and synthesis. *Philosophy of science and technology*. 2020: Vol. 25; 2: 103-115. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44526604>.
35. Goncharov P. E., Popikov P. I., Ponomarev S. V., Shabanov M. L., Menyailov K. A. Improving the technological complex of technical means for reforestation in the burnt forests in the Central Black Earth region // *Forestry Journal*. 2013. No. 1 (9). Pp. 116-126. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20164097>.
36. Chukarina A.V. Technologies for reforestation of pine forests in the conditions of the steppe region of the Don (on the example of the Rostov region) // *Current problems of the forest complex*. 2013. No. 35. Pp. 100-103. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22574341>.
37. Castro J. Postfire Burnt-Wood Management Affects Plant Damage by Ungulate Herbivores. *International Journal of Forestry Research*. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1155/2013/965461>.
38. Leverkus A., Lorite J., Navarro F., Sánchez-Cañete E., Castro J. Post-fire salvage logging alters species composition and reduces cover, richness, and diversity in Mediterranean plant communities. *Journal of environmental management*. 2014. Vol. 133. pp. 323-331. DOI: [doi:10.1016/j.jenvman.2013.12.014](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.014).
39. Prokazin N. E., Bartenev I. M., Kazakov V. I., Lobanova E. N. Features of the development and reforestation of burnt forests in the forest-steppe zone // *Forestry Journal*. 2015. No. 1 (17). Pp. 85-97. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23576045>.
40. Tyrchenkova I.V. Features of reforestation in clearings and burnt areas in the Somovsky forestry of the Voronezh region // *Forestry Journal*. 2017. No. 3 (27). Pp. 157-166. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30468610>.
41. Koba V.P. Features of restoration of Crimean pine stands in the post-pyrogenic period // *Ecosystems*. 2017. No. 11 (41). Pp. 10-13. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30784158>.
42. Prokazin N. E., Bartenev I. M., Kazakov V. I., Lobanova E. N. Features of the growth of pine seedlings during reforestation of burnt forests in the forest-steppe zone // *Forestry Journal*. 2017. No. 2 (26). Pp. 91-96. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29825788>.
43. Wittenberg L., Keesstra S., Tessler N. Post-fire management treatment effects on soil properties and burned area restoration in a wildland-urban interface, Haifa Fire case study. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 716. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.135190](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135190).
44. Mauri E., Pons P. *Handbook of good practices in post-wildfire management*. Universitat de Girona. 2019. 171 p. ISBN: 978-84-8458-564-0.
45. Gyninova A. B., Ubugunov L. L., Kulikov A. A., Gyninova B. D., Gonchikov B. N., Badmaev N. B., Sympilova D. P. Post-fire evolution of forest ecosystems on sandy terraces of the South-Eastern Baikal region // *Siberian ecological journal*. 2020. T. 27. No. 1. P. 13-25. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42347250>.

46. Fernández C., Fontúrbel T., Vega J.A. Cumulative effects of salvage logging and slash removal on erosion, soil functioning indicators and vegetation in a severely burned area in NW Spain. *Geoderma*. 2021; Vol. 393. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115004>.
47. Andrus R., Droske C., Franz M., Hudak AT., Leigh L., Lewis S., Morgan P., Robichaud P., Meddens A. Spatial and temporal drivers of post-fire tree establishment and height growth in a managed forest landscape. *Fire Ecology*. 2022. DOI: 18. 10.1186/s42408-022-00153-4.
48. Marcos E., Huerta S., Fernández-García V., Prieto I., Pinto P. P., Ansola G., Sáenz de Miera L., Calvo L. Mulching treatments favour the recovery of ecosystem multifunctionality after a large wildfire in Northwest Spain. 2022. Pp. 1234-1239. DOI: 10.14195/978-989-26-2298-9_187.
49. Prior L., Nichols S., Williamson G., Bowman D. Post-fire restoration of Sphagnum bogs in the Tasmanian Wilderness World Heritage Area, Australia. *Restoration Ecology*. 2022. Vol. 31. DOI: 31. 10.1111/rec.13797.
50. Shirnin Yu. A., Shirnin A. Yu., Denisov S. A., Voldaev M. N., Sharnin I. V. Development of burnt areas damaged by ground fire with a machine system “harvester + forwarder” // *Bulletin of the Volga State Technological University* . Series: Forest. Ecology. Nature management. 2022. No. 2 (54). pp. 55-63. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49208675>.
51. Lingua E., Marques G., Marchi N., Garbarino M., Marangon D., Tacaliti F., Marzano R. Post-Fire Restoration and Deadwood Management: Microsite Dynamics and Their Impact on Natural Regeneration. *Forests*. 2023. Vol. 14. DOI: 10.3390/f14091820.
52. Odnoralov G.A., Tikhonova E.N., Golyadkina I.V., Malinina T.A. Assessment of the biological productivity of the forest environment in conditions of urbanization (on the example of the Voronezh upland oak grove). *News of higher educational institutions. Forest magazine*. 2020; 2 (374): 60-72. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42654444>.
53. Rodin S.A., Prokazin N.E., Kazakov V.I., Lobanova E.N., Pentelkina N.V., Rumyantseva S.A., Cheplyansky I.Ya. Recommendations for planning and designing a reforestation fund in areas affected by forest fires and windfalls. 2019: 36. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43825305>.
54. Malyukov S.V., Panyavina E.A., Aksenov A.A. Analysis of designs of mulchers and rotovators. *Forestry and Technical journal*. 2019; 1 (33): 159-167. Access mode: <https://elibrary.ru/zfeegt>.
55. Ivashnev M.V. Scientific foundations of improving machines for removing woody and shrubby vegetation with continuous movement of the base tractor : dis. ... Doctor of Technical Sciences : 05.21.01. 2020; 316. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54471861>.
56. Löf M., Dey D.C., Navarro R.M., Jacobs D.F. Mechanical site preparation for forest restoration. *New Forests*. 2012; Vol. 43 (5-6): 825-848. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11056-012-9332-x>.
57. Curran M.P., Murray M.P. Soil disturbance, amelioration and rehabilitation affect forest growth, health, soil carbon and chemistry on five long-term soil productivity (LTSP) sites in southeastern British Columbia. *Forest Ecology and Management*. 2023; Vol. 546. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121362>. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112723005960>.
58. Tarasov P.A., Baksheeva E.O., Ivanov V.A. Studies of the effect of continuous cutting mulching on soil temperature. *Bulletin of KrasGAU*. 2015; 8: 75-80. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24120779>.
59. Behovykh Yu.V. The effect of mulching on changes in hydrothermal conditions in the arable layer of leached chernozem. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2020; 2 (184): 12-19. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42600764>.

Сведения об авторах

Калинин Роман Константинович – преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности и здоровьесберегающих технологий, ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», просп. Ленина, 33, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Российская Федерация, 185910, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5863-0564>, e-mail: komers.for@gmail.com e-mail.

✉ *Ивашнев Михаил Валерьевич* – доктор техн. наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и здоровьесберегающих технологий, ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», просп. Ленина, 33, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Российская Федерация, 185910, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7780-9922>, e-mail: ivashnev.mv@yandex.ru.

Васильев Алексей Сергеевич – кандидат техн. наук, доцент кафедры технологии и организации лесного комплекса, ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», просп. Ленина, 33, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Российская Федерация, 185910, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2349-5600>, e-mail: alvas@petrsu.ru.

Суханов Юрий Владимирович – кандидат техн. наук, доцент кафедры технологии и организации лесного комплекса, ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», просп. Ленина, 33, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Российская Федерация, 185910, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1517-5538>, e-mail: yurii_ptz@bk.ru.

Information about the authors

Roman K. Kalinin – Lecturer of the Department of Life Safety and Health-saving Technologies, Petrozavodsk State University, ave. Lenin, 33, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russian Federation, 185910, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5863-0564>, e-mail: komers.for@gmail.com.

✉ *Mikhail V. Ivashnev* – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Life Safety and Health-saving Technologies, Petrozavodsk State University, ave. Lenin, 33, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russian Federation, 185910, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7780-9922>, e-mail: ivashnev.mv@yandex.ru.

Alexey S. Vasiliev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology and Organization of the Forest Complex, Petrozavodsk State University, ave. Lenin, 33, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russian Federation, 185910, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2349-5600>, e-mail: alvas@petrsu.ru.

Yuri V. Sukhanov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology and Organization of the Forest Complex, Petrozavodsk State University, ave. Lenin, 33, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russian Federation, 185910, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1517-5538>, e-mail: yurii_ptz@bk.ru.

✉ – Для контактов/Corresponding author