

Научная статья

УДК 630*15:630*43+630*34+630*611

DOI: 10.37482/0536-1036-2025-5-187-197

Лесоводственные основы технологий освоения товарных горельников после низовых пожаров

С.А. Денисов[✉], д-р с.-х. наук; ResearcherID: [ADB-0277-2022](https://orcid.org/0000-0002-8805-1253),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8805-1253>

З.Н. Домрачева, канд. с.-х. наук; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3381-680X>

М.Н. Волдаев, канд. техн. наук; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3339-8081>

Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия, 424000; DenisovSA@volgatech.net[✉], DomrachevaZN@volgatech.net, VoldaevMN@volgatech.net

Поступила в редакцию 27.12.24 / Одобрена после рецензирования 11.01.25 / Принята к печати 15.01.25

Аннотация. Сосновые леса левобережья Волги между Нижним Новгородом и Казанью сформировались на песчаных почвах и отличаются высокой пожарной опасностью, что осложняет их охрану и восстановление. В условиях изменяющегося климата и увеличения частоты крупных пожаров необходима разработка эффективных методов ликвидации их последствий. Цель исследования – обоснование лесоводственных требований к организации лесосечных работ на горельниках с обеспечением баланса заготовки древесины и содействием естественному восстановлению сосны. Объект исследования – товарные горельники сосновых древостоев в Республике Марий Эл. Установлено, что демутиационные процессы на гарях 1921, 1972, 2010 и 2021 гг. в условиях борового ряда протекали стабильно с доминированием сосны. Всхожесть семян сосны, полученных из шишек после низовых пожаров 2010 и 2021 гг., составляла 40–80 %, что коррелирует с интенсивностью пирогенного воздействия. Разработаны лесоводственные рекомендации по эффективному использованию постпирогенного семенного потенциала сосны, включающие 2-приемные санитарные рубки котловинным методом для снижения риска ветровалов и иссушения почвы. Котловинными рубками в первые 8 мес. после пожара рекомендуется вырубать 50 % запаса древесины в горельниках, а через 15–20 мес. после пожаров проводить финальные рубки по снежному покрову. Минерализация почвы и котловинные рубки товарных горельников могут обеспечить благоприятные условия укоренения всходов и снизить их элиминацию от возможного недобора осадков. Это позволит сократить потери товарной древесины и сохранить местные популяции сосны, значительно уменьшив объемы искусственного лесовосстановления.

Ключевые слова: товарные горельники, лесные пожары, первичный постпирогенный семенной потенциал сосны, санитарные рубки, котловинные рубки, Республика Марий Эл

Для цитирования: Денисов С.А., Домрачева З.Н., Волдаев М.Н. Лесоводственные основы технологий освоения товарных горельников после пожаров // Изв. вузов. Лесн. журн. 2025. № 5. С. 187–197. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-5-187-197>

Original article

Silvicultural Principles of the Technologies for the Management of Commercial Burnt Stands after Ground Fires

Sergey A. Denisov[✉], Doctor of Agriculture; ResearcherID: [ADB-0277-2022](https://orcid.org/0000-0002-8805-1253),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8805-1253>

Zulfiya N. Domracheva, Candidate of Agriculture; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3381-680X>

Maksim N. Voldaev, Candidate of Engineering; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3339-8081>

Volga State University of Technology, pl. Lenina, 3, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation; DenisovSA@volgatech.net[✉], DomrachevaZN@volgatech.net,

VoldaevMN@volgatech.net

Received on December 27, 2024 / Approved after reviewing on January 11, 2025 / Accepted on January 15, 2025

Abstract. The pine forests on the left bank of the Vologda River between Nizhny Novgorod and Kazan have developed on sandy soils and are highly susceptible to fire, making their protection and restoration difficult. In the context of a changing climate and an increasing frequency of large fires, it is necessary to develop effective methods for eliminating their consequences. The aim of the research has been to substantiate forestry requirements for the organization of logging operations in burnt stands, ensuring a balance of wood harvesting and promoting the natural restoration of pine trees. Commercial burnt pine stands of the Republic of Mari El have been chosen as a research object. It has been established that the demutation processes in the burnt areas of 1921, 1972, 2010 and 2021 under the conditions of the pine forest row have proceeded stably with the dominance of pine. The germination rate of pine seeds obtained from cones after the ground fires in 2010 and 2021 has been 40–80 %, which correlates with the intensity of the pyrogenic impact. Silvicultural recommendations have been developed for the effective use of the post-pyrogenic seed potential of pine, including 2-step sanitary felling using the gap-based method to reduce the risk of windfalls and soil drying out. It is recommended to cut down 50 % of the wood stock in burnt stands using the gap-based method in the first 8 months after a fire, and to carry out final felling on the snow cover 15–20 months after the fires. Soil mineralization and gap-based felling of commercial burnt stands can provide favorable conditions for the rooting of seedlings and reduce their elimination from possible precipitation shortages. This will reduce the loss of commercial wood and preserve local pine populations, significantly reducing the volume of artificial reforestation.

Keywords: commercial burnt stands, forest fires, primary post-pyrogenic seed potential of pine, sanitary felling, gap-based felling, the Republic of Mari El

For citation: Denisov S.A., Domracheva Z.N., Voldaev M.N. Silvicultural Principles of the Technologies for the Management of Commercial Burnt Stands after Ground Fires. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2025, no. 5, pp. 187–197.

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-5-187-197>

Введение

Сосновые леса на песчаных отложениях левобережья Волги между Нижним Новгородом и Казанью занимают 34 % площади лесов. Они отличаются высокой пожарной опасностью, создавая проблемы в профилактике пожаров,

их тушении и ликвидации последствий. Только за последние 100 лет, в 1921, 1972, 2010, 2021 гг., происходили крупные пожары, часть которых подробно описана в научной литературе [9]. Из-за климатических изменений вероятность таких событий растет, а интервалы между ними сокращаются [29, 30], что повышает актуальность решения проблем по ликвидации последствий крупных лесных пожаров [6].

Пожары 1921 г. в Республике Марий Эл привели к гибели сосновых и еловых древостоев с объемом древесины 21,4 млн м³ (госархив Республики Марий Эл, фонд 306, опись 1, дело 201). К 1924 г. было вырублено 1,10 млн м³ товарной древесины на сплав и 0,61 млн м³ – местным населением, что составило 8,0 % от запасов погибших древостоев. Остальные 92 % запаса древесины в дальнейшие годы быстро теряли свою товарность. Через 5 лет после пожара 1921 г. 100 % мертвой сосновой древесины было поражено грибами против 15 % в сосняках, сохранивших жизнеспособность [24].

Процесс восстановления сосны, по предположению Л.И. Яшнова и А.П. Петрова [15, 25], мог происходить за счет дозревших после июльских пожаров семян в погибших насаждениях. Эта особенность сосны, вероятно, сказалась на параметрах лесного фонда Республики, когда к 1940 г. 25 % сосновых лесов были представлены молодняками (84,8 тыс. га), что сопоставимо с площадью полностью погибших в пожарах 1921 г. древостоев (109,4 тыс. га). Лесокультурные приемы восстановления лесов на гарях стали широко внедряться после 1932 г. [13], когда были получены их успешные результаты.

После пожаров 1972 г. (180 тыс. га) запасы древесины в товарных горельниках оценивались в 4,9 млн м³, 78 % которых за 2 года было разработано силами Росколхозстрой-объединения РФ и Украины [21]. Общий объем лесовосстановительных работ в 1972–1973 гг. составил 67,0 тыс. га лесных культур.

Уже через год после пожара сортность древесины сосны снизилась на 18–64 %, хотя физико-механические свойства сохраняются в первые 2 года [2, 12, 23, 28]. Теплотворная способность постпирогенной древесины сосны делает ее перспективным сырьем как биотопливо [14, 22, 27], а время перехода древесины сосны в категорию дров составляет 7–8 лет [9].

К осени 5-го года после пожаров густота подроста сосны в условиях боров часто превышала 5 тыс. шт./га, что обеспечивалось формированием хвойных молодняков рубками ухода [3], а почти на всех обследованных участках неразработанных горельников наблюдалось успешное естественное возобновление сосны [9].

Способность растений восстанавливать свои популяции после пожаров интересовала многих исследователей. Так, в Средиземноморье изучался порог выживаемости семян рода сосны [30–32], который экспериментально определен в 110 °С в течение 5 мин. [26]. Крупные семена и видовые особенности (например, у сосны канарской) смягчают негативное влияние пожаров [27, 28]. Нами экспериментально [7], а затем и в природных условиях оценена способность семян сосны обыкновенной сохранять всхожесть после низовых пожаров разной интенсивности [5]. Это дает основание для использования первичного (начального) постпирогенного семенного потенциала сосны в качестве альтернативы искусственному лесовосстановлению на гарях. Для

реализации этого подхода необходима разработка специализированных технологий.

Цель работы – обосновать лесоводственные требования к лесосечным работам в горельниках с обеспечением максимального выхода товарной древесины и естественного восстановления сосны за счет ее начального постпирогенного семенного потенциала. Эффективное освоение горельников требует решения 2 основных задач: 1) организации и проведения лесосечных работ в товарных горельниках в оптимальные сроки при минимальных потерях древесины и 2) активизации естественного возобновления сосны за счет первичного послепожарного семенного потенциала.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования стали товарные горельники сосняков брусничного типа леса (A_2) на территории Учебно-опытного лесничества Поволжского государственного технологического университета (Республика Марий Эл) после крупного лесного пожара 2021 г. на площади 1400 га. На площади 100 га (кв. 95 Чернушкинского лесного участка) был оценен лесовосстановительный потенциал сосны после низовых пожаров.

Методика исследования, описанная в наших работах [5–7], включала экспериментальную и фактическую характеристику всхожести семян из крон погибших деревьев сосны после низовых пожаров разной интенсивности в молодняках и семеносящих древостоях. Учет количества опадающих семян в поврежденных огнем древостоях выполнен с помощью семеномеров, а их всхожесть определена по ГОСТ 13056.6–97. Наблюдение за всходами и самосевом выполнялось в 2022–2024 гг. в 10 таксационных выделах на 294 постоянных круговых учетных площадках размером по 10 м², зафиксированных на местности и привязанных к географическим координатам.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ публикаций и собственные исследования показали, что сценарии демулационных процессов на гарях 1921, 1972, 2010 гг. в боровых условиях повторяются, они довольно стабильны и протекают с доминированием сосны [3, 6, 17, 18]. При этом выявленная нами экспериментально и подтвержденная полевыми исследованиями способность семян сосны сохранять жизнеспособность после пожаров представляет собой первичный постпирогенный потенциал ее естественного возобновления [5], который необходимо учитывать при адаптации технологий и комплексов машин к разработке товарных горельников. По результатам мониторинга густоты подроста был подтвержден закономерный процесс его накопления в выделах, где древостои в момент пожара были семеносящие (табл. 1).

Древостои в выделах 23в и 24в подверглись рубке осенью, что, вероятнее всего, и послужило причиной отсутствия подроста. В других выделах рубки приводились по снежному покрову.

Так, при сплошных санитарных рубках товарных горельников после лесопатологического обследования должны быть учтены следующие лесоводственные положения.

Таблица 1

**Густота подроста после низового пожара 2021 г. в кв. 95
Чернушкинского лесного участка УОЛ ПГТУ (по учету осенью 2024 г.)
The undergrowth density after the 2021 ground fire in sq. 95 of the Chernushkinsky
Forest Compartment of the Educational and Experimental Forestry of the Vologda
State University of Technology (as recorded in autumn 2024)**

№ вы-дела	Учетная площад-ка, шт.	Интен-сивность пожара	Возраст древостоя, лет	Густота (тыс. шт./га) сосны в возрасте, лет				Береза	Осина	Всего
				1	2	3	Итого			
1п	43	Инт.	105	2,84	1,56	0,07	4,47	0,37	0	4,84
1в	49	Инт.	105	0,60	1,70	1,64	3,94	0,24	0,86	5,04
2в	65	Инт.	105	0,35	0,72	0,52	1,51	0,16	0,22	1,89
8в	36	Инт.	90	0,22	1,03	1,11	2,36	0,03	0,08	2,47
13п	10	Инт.	80	1,40	3,00	0,80	5,20	0,90	0	6,10
18п	10	Инт.	100	1,30	4,10	0,70	6,1	0,70	0	6,80
20в	20	Ср.	105	0,30	1,70	0,40	2,40	0,10	0	2,50
22п	23	Ср.	70	1,00	1,30	0,20	2,50	0,27	0,08	2,85
23в	22	Ср.	60	0,10	0,29	0	0,38	0	0	0,38
24в	16	Ср.	70	0	0	0	0	0	0	0

Примечание: п – под пологом горельника; в – сплошная вырубка; Инт., Ср. – интенсивный и средний соответственно.

1. *Наличие семян и их источники.* Разработке товарных горельников при-спевающих и более старших древостоев должна предшествовать оценка пер-вичного потенциала семенного возобновления за счет семян, сохранивших жизнеспособность после пожаров [4, 5, 10]. Об урожае семян сосны в год по-жара можно судить либо по непосредственному учету семян в горельнике ме-тодом модельных деревьев, либо иными приемами [20]. Средний урожай семян сосны, по данным [11], составляет около 2 кг/га, или 0,25–0,50 млн. шт./га. Не-посредственный учет в горельниках 2010 г. показал, что урожай семян составил 0,5 млн. шт./га [6], а в горельниках 2021 г. семян насчитывалось от 0,4 до 1,0 млн. при массе их 1000 шт. 6,04±0,28 г [5].

Семена первичного постпирогенного урожая сосны весной после пожара дают первую волну всходов. Всходы сосны на 2-й год после пожара появляют-ся, вероятно, либо за счет семян, не проросших в 1-й год после пожара, либо от живых стен леса. Возможно поступление семян в ограниченном количестве с сохранившихся живых деревьев, хотя у таких деревьев нарушается процесс закладки генеративных почек и оплодотворение женских шишек [8], что резко снижает возобновляемость сосны в 2–5 раз [19], отодвигая на 3–4 года полно-ценное семеношение. В связи с этим особенно важно использовать для лесо-восстановления первичный постпирогенный семенной потенциал сосны.

2. *Всхожесть семян, переживших пожар.* Семена, сохранившие жизне-способность после пожара, составляют первичный потенциал семенного воз-обновления. Наиболее точно его можно оценить после сбора семян с модель-ных деревьев по ГОСТ 13056.6–97. Всхожесть семян, защищенных кроющими чешуями шишек и переживших низовые пожары, колеблется в значительных пределах, но в целом находится на высоком уровне (40–80 %). Эта зависимость выражается линейным уравнением с использованием в качестве предиктора процентного соотношения высоты нагара к высоте дерева [5]:

для молодняков: $Y = 107,870 - 0,988(100h_n/h_d)$, $R^2 = 0,829$, $p = 0,00002$;

для спелых древостоев: $Y = 113,770 - 1,123(100h_n/h_d)$, $R^2 = 0,648$, $p = 0,00280$,

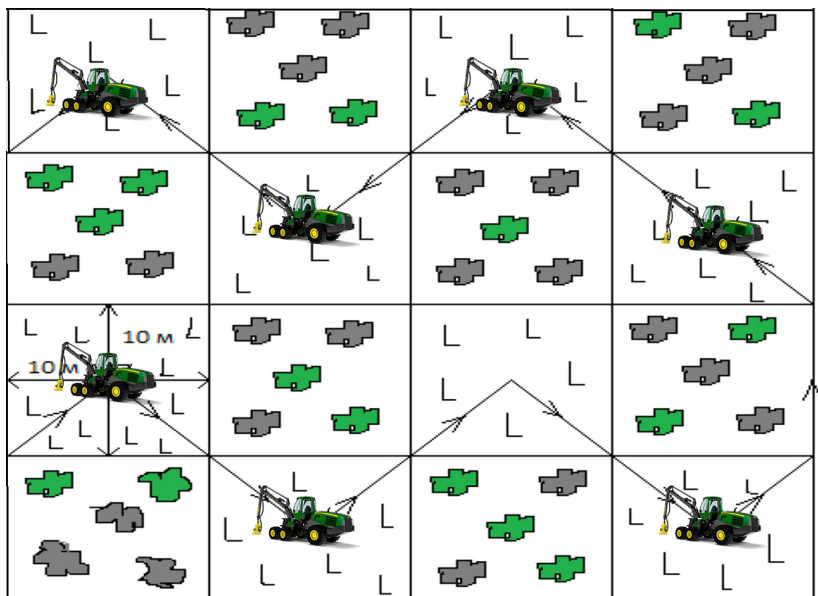
где h_n , h_d – высота нагара и дерева соответственно, м.

3. *Ложь для семян.* Семена, выжившие при пожарах, для того чтобы прорасти, должны оказаться на минерализованной поверхности почвы, это обеспечивается либо значительной степенью прогара подстилки при сильных низовых пожарах, либо дополнительной минерализацией поверхности почвы [1, 14, 16]. Наиболее благоприятные условия для прорастания семян и укоренения всходов складываются в минеральном горизонте, имеющем более стабильный водный режим. Для удержания влаги в верхних горизонтах почвы необходимо ее притенение, что особенно важно для сосны на этапе формирования корневой системы. Поэтому вырубку древостоя следует осуществлять таким образом, чтобы на освобожденной от деревьев площади в полуденные часы была тень, и лучшим вариантом в этом случае могут быть котловинные рубки.

4. *Сроки проведения санитарной рубки товарных горельников.* Данный этап работ лучше всего увязать со временем опадения семян сосны с апреля по 1-ю декаду июля следующего за пожаром года. Выборочные санитарные рубки в горельниках со слабым прогоранием подстилки следует проводить, совмещая их с активной минерализацией почвы в бесснежный период с сентября по май, когда начинают появляться всходы сосны.

Для использования первичного постпирогенного семенного потенциала сплошные (котловинные) санитарные рубки необходимо проводить в 2 приема. Первый – в течение 8 мес. (сентябрь–апрель) после пожара, убирая 50 % запаса древесины. Второй – по снежному покрову спустя 15–16 мес. после пожара для сохранения накопившихся всходов.

5. *Предотвращение ветровалов.* Исключить опасность ветровалов в разрабатываемых горельниках можно рубкой небольших делянок с шахматным примыканием (вариант котловинных рубок) площадью 0,04 га (см. рисунок).



Общая схема вырубki товарного горельника

The general diagram of commercial burnt stand felling

Окончание табл. 2

Год после пожара	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
4	❄	❄	❄	Налет семян с остав- ленных живых деревь- ев и живых стен леса				ЛПО	ЛПО	ЛПО	❄	❄
				Накопление подроста								
5	❄	❄	❄	Налет семян с остав- ленных живых деревь- ев и живых стен леса				ЛПО	ЛПО	ЛПО	❄	❄
				Накопление подроста								
6	❄	❄	❄	Налет семян с остав- ленных живых деревь- ев и живых стен леса				ЛПО	ЛПО	ЛПО	❄	❄
	Удаление семенных деревьев			Накопление подроста								

Примечание: ЛПО – лесопатологическое обследование; * – наличие устойчивого снежного покрова.

Заключение

Задача сбалансированности получения максимального выхода товарной древесины и естественного восстановления сосны на крупных гарях может быть решена на базе перечисленных в статье лесоводственных положений, в основе которых находится первичный постпирогенный семенной потенциал сосны. Для наилучшего использования сохраняющегося после пожаров семенного потенциала рекомендуется проводить санитарные рубки котловинным способом в 2 этапа: 1-й – в течение первых 8 мес. и второй – спустя 15–16 мес. после пожара по снежному покрову. Это будет способствовать накоплению подроста и минимизации потери товарной древесины.

Необходима разработка лесозаготовительных технологий, отвечающих перечисленным лесоводственным положениям, для обеспечения ликвидации последствий крупных лесных пожаров без масштабных затрат на лесные культуры сосны с возможностью заготовки максимума товарной древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Буряк Л.В., Агеев А.А., Салцевич Ю.В. Технологии лесовосстановления горельников в лесных районах Сибири: методич. рекомендации. Пушкино: ВНИИЛМ, 2021. 64 с.
Buryak L.V., Ageev A.A., Saltsevich Yu.V. *Technologies for Reforestation of Burned Areas in Forest Regions of Siberia: Methodological Guidelines*. Pushkino, All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, 2021. 64 p. (In Russ.).

2. Дворецкий М.Л., Алексеев П.В., Мамаев И.В., Пчелин В.И. Влияние пожаров 1972 года на товарную структуру соснового древостоя и некоторые физико-механические качества древесины // Проблемы ликвидации последствий лесных пожаров 1972 г. в Марийской АССР. Йошкар-Ола: Марийск. кн. изд-во, 1976. С. 110–113.
Dvoretiskij M.L., Alekseev P.V., Mamaev I.V., Pchelin V.I. The Impact of the 1972 Fires on the Commercial Structure of Pine Stands and Some Physical and Mechanical Properties of Wood. *Problemy likvidatsii posledstvij lesnykh pozharov 1972 g. v Marijskoj ASSR*. Yoshkar-Ola, Mari Book Publ. House, 1976, pp. 110–113. (In Russ.).

3. Денисов С.А. Регулирование роли березы в естественном возобновлении гарей // Лесн. хоз-во. 1979. № 7. С. 19–21.

Denisov S.A. Regulating the Role of Birch in the Natural Regeneration of Burnt Areas. *Lesnoe khozyajstvo*, 1979, no. 7, pp. 19–21. (In Russ.).

4. Денисов С.А., Домрачева З.Н., Демичева Н.В. Эколого-лесоводственные особенности естественного возобновления сосны на гарях лесного Среднего Заволжья // Вестн. Поволж. гос. технол. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2021. № 1(49). С. 47–63.

Denisov S.A., Domracheva Z.N., Demicheva N.V. Ecological and Silvicultural Peculiar Features of Natural Regeneration of Pine Trees on the Fire-Sites of Forest Middle Trans-Volga Region. *Vestnik Povolzhskogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* = Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management, 2021, no. 1(49), pp. 47–63. (In Russ.).

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2021.1.47>

5. Денисов С.А., Домрачева З.Н., Мотова К.А., Ожиганов М.А., Чиликова С.А. Влияние пожара в сосняке брусничном на всхожесть и качественные особенности семян сосны // Вестн. Поволж. гос. технол. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2022. № 2(54). С. 26–39.

Denisov S.A., Domracheva Z.N., Motova K.A., Ozhiganov M.A., Chilikova S.A. The Impact of Fire in a Vaccinium-Type Pine Forest on the Germination and Quality Characteristics of Pine Seeds Mortality. *Vestnik Povolzhskogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* = Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management, 2022, no. 2(54), pp. 26–39. (In Russ.).

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2022.2.26>

6. Денисов С.А., Конюхова Т.А., Рачкова Т.С. Управление лесовосстановлением на гарях // Вестн. Поволж. гос. технол. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 3(27). С. 5–17.

Denisov S.A., Konukhova T.A., Rachkova T.S. Forest Restoration Management at the Fire Sites. *Vestnik Povolzhskogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* = Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management, 2015, no. 3(27), pp. 5–17. (In Russ.).

7. Денисов С.А., Шакирова З.Н. Влияние температурных условий низового пожара на всхожесть семян сосны обыкновенной // Вестн. Поволж. гос. технол. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2017. № 4(36). С. 35–47.

Denisov S.A., Shakirova Z.N. Influence of Thermal Conditions of Creeping Fire on Viability of Scots Pine Seeds. *Vestnik Povolzhskogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* = Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management, 2017, no. 4(36), pp. 35–47. (In Russ.).

8. Иозус А.П., Зеленьяк А.К., Колесова О.Н. Особенности цветения и плодоношения сосны обыкновенной в Нижнем Поволжье // Соврем. проблемы науки и образования. 2012. № 6. Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7628> (дата обращения: 12.05.25).

Iozus A.P., Zelenyak A.K., Kolesova O.N. Features of Flowering and Fruiting of Scots Pine in the Lower Volga Region. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern Problems of Science and Education, 2012, no. 6. (In Russ.).

9. Калинин К.К. Крупные лесные пожары в лесном Среднем Заволжье и система лесохозяйственных мероприятий по ликвидации их последствий. Йошкар-Ола: Поволж. гос. технол. ун-тет, 2012. 364 с.

Kalinin K.K. Large-Scale Forest Fires in the Middle Volga Forest Region and the System of Forestry Measures to Eliminate Their Consequences. Yoshkar-Ola, Volga State University of Technology Publ., 2012. 364 p. (In Russ.).

10. Коба В.П., Жигалова Т.П. Экспериментальная оценка постпирогенной жизнеспособности семян сосны Палласа // Лесоведение. 2018. № 6. С. 417–425.

Koba V.P., Zhigalova T.P. *Experimental Assessment of Post-Pyrogenic Viability of Crimean Pine Seeds*. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 2018, no. 6, pp. 417–425. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0024114818050042>

11. Лесная энциклопедия: в 2 т. / редкол.: Г.И. Воробьев (гл. ред.) и др. М.: Сов. энцикл., 1985. Т. 2. 631 с.

Forest Encyclopedia: in 2 vols. Ed. Board: G.I. Vorob'ev (ed.-in-chief) et al. Moscow, Soviet Encyclopedia, 1985, vol. 2. 631 p. (In Russ.).

12. Макаров А.В. Технические качества древесины, поврежденной различными видами пожара // Лесотехн. журн. 2011. № 4. С. 14–18.

Makarov A.V. *Technical Properties of Wood Damaged by Different Types of Fires*. *Lesotekhnicheskij zhurnal* = Forestry Engineering Journal, 2011, no. 4, pp. 14–18. (In Russ.).

13. Незабудкин Г.К. Искусственное восстановление леса на гарях // Проблемы ликвидации последствий лесных пожаров 1972 г. в Марийской АССР. Йошкар-Ола: Марийск. кн. изд-во, 1976. С. 76–81.

Nezabudkin G.K. *Artificial Reforestation of Burnt-Out Forests. Problemy likvidatsii posledstvij lesnykh pozharov 1972 g. v Marijskoj ASSR*. Yoshkar-Ola, Mari Book Publ. House, 1976, pp. 76–81. (In Russ.).

14. Патент на полезную модель № 11950 U1 РФ, МПК A01B 49/00. Агрегат для подготовки лесной почвы: № 99111026/20: заявл. 21.05.1999: опубл. 16.12.1999 / С.Н. Санников, Д.С. Санников, Б.В. Токарев.

Sannikov S.N., Sannikov D.S., Tokarev B.V. *Forest Soil Preparation Unit*: Patent RF no. 11950 U1, 1999. (In Russ.).

15. Петров А.П. Типы возобновления гарей Волжского лестранхоза М.А.О.: отдельный оттиск из журнала «МАО», № 2-3, 1934. Йошкар-Ола: Марийск. науч.-исслед. ин-т, 1934. 56 с.

Petrov A.P. *Types of Regeneration of Burnt Areas of the Volga Forestry Enterprise of the Mari Autonomous Oblast*: A Separate Reprint from the “MAO” Journal, no. 2-3, 1934. Yoshkar-Ola, Mari Research Institute, 1934. 56 p. (In Russ.).

16. Санников С.Н., Подшивалов В.А., Санников Д.С. Рекомендации по содействию естественному возобновлению главных пород на гарях в лесах Западной Сибири. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 51 с.

Sannikov S.N., Podshivalov V.A., Sannikov D.S. *Guidelines for Promoting the Natural Regeneration of the Main Species in Burnt-Out Forests of Western Siberia*. Yekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2000. 51 p. (In Russ.).

17. Санников С.Н., Санников Д.С. Система рубок и возобновления сосновых лесов на эколого-генеогеографической основе // Сиб. лесн. журн. 2015. № 6. С. 3–16.

Sannikov S.N., Sannikov D.S. *Felling-System and Regeneration of Pine Forests on Ecological-Genetic-Geographical Basis*. *Sibirskij lesnoj zhurnal* = Siberian Journal of Forest Science, 2015, no. 6, pp. 3–16. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/SJFS20150601>

18. Санников С.Н., Санникова Н.С. Экология естественного возобновления сосны под пологом леса. М.: Наука, 1985. 152 с.

Sannikov S.N., Sannikova N.S. *The Ecology of Natural Pine Regeneration under the Forest Canopy*. Moscow, Nauka Publ., 1985. 152 p. (In Russ.).

19. Санникова Н.С., Санников С.Н., Кочубей А.А., Петрова И.В. Естественное возобновление сосны на гарях в лесостепи Западной Сибири // Сиб. лесн. журн. 2019. № 5. С. 22–29.

Sannikova N.S., Sannikov S.N., Kochubei A.A., Petrova I.V. *Natural Pine Regeneration on Burns in Forest-Steppe of Western Siberia*. *Sibirskij lesnoj zhurnal* = Siberian Journal of Forest Science, 2019, no. 5, pp. 22–29. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/SJFS20190503>

20. Св. о госрегистрации программы для ЭВМ № 2020665170 РФ. Расчет урожая шишек и семян на лесосеменной плантации сосны обыкновенной: № 2020663985: заявл. 06.11.2020: опубл. 23.11.2020 / Б.В. Раевский.

Raevskij B.V. *Calculation of the Yield of Cones and Seeds on a Scots Pine Seed Plantation*: Certificate of State Registration of a Computer Program no. RF 2020665170, 2020. (In Russ.).

21. Тресцов Б.И. Леса Марийской АССР и ликвидация лесных пожаров 1972 года // Проблемы ликвидации последствий лесных пожаров 1972 г. в Марийской АССР. Йошкар-Ола: Марийск. кн. изд-во, 1976. С. 5–14.

Trestsov B.I. Forests of the Mari ASSR and the Elimination of the 1972 Forest Fires. *Problemy likvidatsii posledstvij lesnykh pozharov 1972 g. v Marijskoj ASSR*. Yoshkar-Ola, Mari Book Publ. House, 1976, pp. 5–14. (In Russ.).

22. Тюкавина О.Н., Гудина А.Г. Теплотворная способность постпирогенной древесины сосны // Лесотехн. журн. 2020. Т. 10, № 2(38). С. 188–195.

Tyukavina O.N., Gudina A.G. Heating Capability of Postpyrogen Pine Wood. *Lesotekhnicheskij zhurnal* = Forestry Engineering Journal, 2020, vol. 10, no. 2(38), pp. 188–195. (In Russ.). <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.2/19>

23. Шведов Е.И., Васьков С.П., Алексеев И.А. Особенности разрушения древесины, поврежденной огнем // Современ. проблемы лесовосновения. Воронеж, 1981. С. 75–76.

Shvedov E.I., Vas'kov S.P., Alekseev I.A. Features of the Destruction of Wood Damaged by Fire. *Sovremennye problemy drevosinovedeniya*. Voronezh, 1981, pp. 75–76. (In Russ.).

24. Юницкий А.А. Лесоводственная характеристика марийских горельников. Йошкар-Ола: Маргиз, 1933. 82 с. Отд. оттиск из журн. «Известия ЛПИИ».

Yunitskiy A.A. *Silvicultural Characteristics of the Mari Burnt Forests*. Yoshkar-Ola, Margiz Publ., 1933. 82 p. A Separate Reprint from the Journal “*Izvestiya Povolzhskogo Lesotekhnicheskogo Instituta*”. (In Russ.).

25. Яшинов Л.И. Обзор исследований лесовозобновления на гарях Маробласти, произведенный кафедрой общего лесоводства // Изв. Казанск. ин-та сельск. хоз-ва и лесоводства. 1930. № 1. С. 26–41.

Yashnov L.I. A Review of Reforestation Research in Burnt Areas of the Mari Region, Conducted by the Department of General Forestry. *Izvestiya Kazanskogo instituta sel'skogo khozyajstva i lesovodstva*, 1930, no. 1, pp. 26–41. (In Russ.).

26. Alvarez R., Valbuena L., Calvo L. Effect of High Temperatures on Seed Germination and Seedling Survival in Three Pine Species (*Pinus pinaster*, *P. sylvestris* and *P. nigra*). *International Journal of Wildland Fire*, 2007, vol. 16, no. 1, pp. 63–70.

<https://doi.org/10.1071/WF06001>

27. Calvo L., Hernández V., Valbuena L., Taboada A. Provenance and Seed Mass Determine Seed Tolerance to High Temperatures Associated to Forest Fires in *Pinus pinaster*. *Annals of Forest Science*, 2016, vol. 73, pp. 381–391. <https://doi.org/10.1007/s13595-015-0527-0>

28. Castoldi E., Molina J.A. Effect of Seed Mass and Number of Cotyledons on Seed Germination after Heat Treatment in *Pinus sylvestris* L. var. *iberica* Svob. *Forest Systems*, 2014, vol. 23, no. 3, pp. 483–489. <https://doi.org/10.5424/fs/2014233-05480>

29. Keenan R.J. Climate Change Impacts and Adaptation in Forest Management: a Review. *Annals of Forest Science*, 2015, vol. 72, no. 2, pp. 145–167. <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0446-5>

30. Ladd P.G., Zhao X., Enright N.J. Fire Regime and Climate Determine Spatial Variation in Level of Serotiny and Population Structure in a Fire-Killed Conifer. *Plant Ecology*, 2022, vol. 223, pp. 849–862. <https://doi.org/10.1007/s11258-022-01243-8>

31. Stephan K., Miller M., Dickinson M.B. First-Order Fire Effects on Herbs and Shrubs: Present Knowledge and Process Modeling Needs. *Fire Ecology*, 2010, vol. 6, pp. 95–114. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0601095>

32. Méndez J., Morales G., Nascimento de L., Otto R., Gallardo A., Fernández-Palacios J.M. Understanding Long-Term Post-Fire Regeneration of a Fire-Resistant Pine Species. *Annals of Forest Science*, 2015, vol. 72, pp. 609–619. <https://doi.org/10.1007/s13595-015-0482-9>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article