

УДК 630*431

DOI: 10.15350/2306-2827.2017.4.35

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ НИЗОВОГО ПОЖАРА НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

С. А. Денисов, З. Н. Шакирова

Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: DenisovSA@volgatech.net

Изучено влияние высоких температур при моделировании тепловых условий, складывающихся при низовых пожарах, на динамику прогрева центральной части шишек сосны обыкновенной и последующую всхожесть семян. Установлено, что температурные условия низовых пожаров не приводят семена сосны в шишках к полной гибели. Подавляющая часть семян, находящихся в закрытых шишках в кроне, не теряют всхожести. В модельных экспериментах до четверти всех семян, находящихся в шишках на поверхности горячей подстилки, сохраняют жизнеспособность. Сделан вывод о высокой вероятности успешного естественного восстановления сосны на горячих в первый же год после низовых пожаров за счёт семян, сохранивших всхожесть.

Ключевые слова: низовой пожар; шишки сосны; прогрев шишек; сохранность семян; всхожесть; лесовосстановление.

Введение. В настоящее время признано, что природные пожары являются фактором регуляции состава растительных сообществ. С точки зрения экологов пожары в лесу следует рассматривать как одну из сторон развития лесов, часто оцениваемую как фактор поддержания господства светлыхвойных пиропитных пород [1–5]. Как отмечают П. А. Цветков [6] и многие другие исследователи [7–10], положительная роль огня заключается в изменении экотопа, что оказывает существенное влияние на ход естественного лесовосстановления. При этом периодические пожары приводят к формированию адаптивных свойств видов растений, играют существенную роль в динамике лесов [9–17].

Крупные лесные пожары в Среднем лесном Заволжье, связанные с ландшафтными особенностями, происходят пе-

риодически через 40–50 лет: 1823, 1851, 1891, 1921, 1972, 2010. Исследования гарей и лесовозобновления на них проводили в 1920-е годы специальные экспедиции под руководством А. А. Юницкого и Л. И. Яшнова [18]. Дальнейшее изучение формирования сосновых насаждений на этих горячих выявили лесоводственные особенности сосны, позволяющие ей успешно противостоять смене на лиственные [19]. Детальные исследования процессов возобновления и динамики формирования древостоев на горячих были выполнены в Марий Эл после пожаров 1972 года А. К. Денисовым, К. К. Калинин, Ю. П. Демаковым, А. В. Ивановым и др. [20–23]. Подтвердились выявленные после пожаров 1921 года основные закономерности постпирогенных процессов лесовосстановления, получены и развиты новые знания о роли пожаров в формировании лесов [24, 25]. Наличие

© Денисов С. А., Шакирова З. Н., 2017.

Для цитирования: Денисов С. А., Шакирова З. Н. Влияние температурных условий низового пожара на всхожесть семян сосны обыкновенной // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2017. № 4 (36). С. 35–47. DOI: 10.15350/2306-2827.2017.4.35

отдельных деревьев и групп сосны, сохранивших жизнеспособность на горях, позволяет в короткий срок обеспечить изменённые пожаром территории семенами на дистанциях более 150 метров и создавать надёжные предпосылки успешного её восстановления [26–30]. Изучение экологических условий возобновления сосны обыкновенной на горях позволило по-новому оценить её роль в формировании лесов на горях [11, 12].

На практике принятие решений по выбору методов лесовосстановления на горях во многом зависит от надёжности прогноза естественного лесовозобновления. Этот вопрос неоднократно возникал перед лесоводами Среднего лесного За-волжья в связи с крупными пожарами в 1972 и 2010-х годах. Однако искусственное лесовосстановление с разработанными лесокультурными технологиями доминировало, что привело к формированию больших площадей чистых насаждений сосны после пожаров 1972 года [31], по части которых прошли пожары в 2010 году. Во избежание потери товарности древесины, значительная часть древостоев, пройденная огнём, вырубалась начиная уже с осени. К осени следующего, 2011 года, на горях с ещё не вырубленными погибшими древостоями наблюдалось значительное количество всходов сосны, что в целом не изменило принятых решений о создании здесь лесных культур. Таким образом, вопрос о способности сосны сохранять жизнеспособность семян в шишках после пожаров, имеет, кроме теоретического, и чисто практическое значение.

Теоретические положения о возможности сохранения всхожести семян после пожаров неоднократно высказывались и ранее [18, 32]. Однако фактического материала и экспериментальных работ в решении этого вопроса в открытых публикациях мы не обнаружили.

Цель работы – оценить возможность сохранения жизнеспособности семян сосны обыкновенной после лесных пожаров.

Для достижения цели решались следующие **задачи**: изучить температурные условия в центральной части шишек при моделировании условий низового пожара, установить уровень всхожести семян после теплового воздействия, установить температуры прогрева гумуса и почвы и уровень потери жизнеспособности почвенного запаса семян сосны.

Объекты и методика. Объектом эксперимента являлись семена в шишках сосны обыкновенной, собранные в брусничном и черничном типах леса Куярского, Мари-Турекского лесничеств Республики Марий Эл и Шарангского лесничества Нижегородской области (зона хвойно-широколиственных лесов).

Из каждой партии шишек отбиралась средняя проба в качестве «контроля» для определения всхожести семян. Семена контроля получали из шишек путём естественной сушки в помещении.

Методические приёмы, которые описаны в работах [15, 17, 33–36], используют непосредственный прогрев самих семян с экспозицией, как правило, в 1 и 5 минут для задач по поиску условий, обеспечивающих эффективность прорастания и летальных температур для семян разных видов сосен. Такой подход, по нашему мнению, не является методически правильным для решения поставленной нами цели, поэтому мы создавали условия, наиболее близкие к реальным условиям температурного воздействия на шишки сосны в кронах во время пожаров. Моделирование температурных условий во время низового пожара проводилось с учётом распределения температур по высоте древостоя и оценки влияния температур на объект [37–39]. Воздействие теплового потока на шишки проводилось с фиксированными температурами: 100, 150, 200, 300, 400 и 500 °С (далее варианты «100», ..., «500»). Предельной температурой, выше которой семена в шишках могли погибнуть, приняты в 60 °С (летальная температура). Время внешнего

воздействия тепловым потоком измерялось секундомером. Изменение температуры внутри шишек фиксировалось электронным термометром-щупом (Hanna HI 145). По достижении температуры внутри шишек в 60 °С нагрев прекращался, а наблюдение за изменением температуры внутри шишек продолжалось. Оценка выживаемости семян во всех вариантах экспериментов проводилась после извлечения семян из шишек проращиванием их в лесосеменной лаборатории кафедры лесных культур ПГТУ в соответствии с ГОСТ 13056.6-97 «Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести». Учёт проросших семян проводили в течение 15 дней. В каждом из вариантов планировалось не менее 100 шт. семян. В связи с этим количество шишек по вариантам колебалось от 10 до 15.

Температурные условия, формирующиеся в верхнем слое почвы (глубина 2...3 см) при горении подстилки в условиях сосняка брусничного, оценивались в натурном эксперименте, в котором на поверхность почвы выкладывались семена сосны (модель почвенного банка семян). Температура во время горения подстилки на поверхности почвы измерялась инфракрасным термометром (TemPro 900) и

нижележащего слоя – электронным термометром-щупом (Hanna HI 145). После сжигания подстилки сохранившиеся семена закладывались на проращивание.

Все экспериментальные данные первоначально оценивались графическим методом, а затем обрабатывались методами математической статистики. Использованы пакеты Excel и Statistica. Определялись основные статистики рядов наблюдений, коэффициенты корреляции, проводился поиск прогностических моделей.

Результаты и обсуждение. Время достижения критической температуры в центре шишки до 60 °С (T_{60}) предварительно рассматривалось как функция от температуры потока воздуха ($t_{вп}$) и параметров шишек (d , h , m). Корреляционная матрица по этим параметрам (табл. 1) показала, что достоверные линейные связи существуют между массой шишек и температурой воздушного потока в варианте 100 °С, тогда как при температурах 150 °С и больше эти связи становятся достоверными не только с массой, но и с диаметром и высотой шишек. Во всех вариантах, за исключением варианта 150 °С, величина связи времени прогрева центральной части шишек с их массой оказывается наибольшей.

Таблица 1

Корреляционная матрица параметров шишек сосны и времени прогрева центральной части до 60 °С по вариантам температур воздушного потока ($t_{вп}$, °С)

$t_{вп}$, °С (варианты)	Параметры шишек	Статистические параметры		Параметры шишек			
		$X \pm m$	$\pm b$	d , см	h , см	m , г	T_{60} с
100	d , см	2,0±0,06	0,23	1,000	0,434	0,931	0,505
	h , см	4,1±0,20	0,76	0,434	1,000	0,630	0,492
	m , г	6,6±0,50	1,92	0,931	0,630	1,000	0,653
	T_{60} с	233±15,2	58,71	0,505	0,492	0,653	1,000
150	d , см	2,1±0,06	0,19	1,000	0,739	0,909	0,654
	h , см	4,4±0,15	0,46	0,739	1,000	0,899	0,358
	m , г	7,6±0,44	1,40	0,909	0,899	1,000	0,552
	T_{60} с	150±6,3	20,02	0,654	0,358	0,552	1,000
200	d , см	2,0±0,07	0,26	1,000	0,753	0,961	0,788
	h , см	4,3±0,10	0,40	0,753	1,000	0,869	0,815
	m , г	6,4±0,54	2,08	0,961	0,869	1,000	0,831
	T_{60} с	102±5,0	19,28	0,788	0,815	0,831	1,000

Окончание таблицы 1

$t_{\text{вп}}, ^\circ\text{C}$ (варианты)	Параметры шишек	Статистические параметры		Параметры шишек			
		$X \pm m$	$\pm \sigma$	d, см	h, см	m, г	T_{60} с
300	d, см	2,0 \pm 0,10	0,37	1,000	0,860	0,962	0,848
	h, см	4,1 \pm 0,14	0,50	0,860	1,000	0,930	0,875
	m, г	6,3 \pm 0,68	2,45	0,962	0,930	1,000	0,912
	T_{60} с	76 \pm 5,0	18,00	0,848	0,875	0,912	1,000
400	d, см	2,0 \pm 0,07	0,23	1,000	0,798	0,958	0,876
	h, см	4,2 \pm 0,12	0,38	0,798	1,000	0,864	0,830
	m, г	5,9 \pm 0,59	1,87	0,958	0,864	1,000	0,934
	T_{60} с	68 \pm 4,4	13,94	0,876	0,830	0,934	1,000
500	d, см	1,9 \pm 0,07	0,23	1,000	0,991	0,958	0,878
	h, см	4,1 \pm 0,13	0,41	0,991	1,000	0,949	0,880
	m, г	5,6 \pm 0,70	2,20	0,958	0,949	1,000	0,932
	T_{60} с	60 \pm 4,8	15,27	0,878	0,880	0,932	1,000

Примечание: отмеченные корреляции значимы на уровне $p < 0,05$.

Корреляционная матрица позволила выбрать основные предикторы, которыми являются температура воздушного потока ($t_{\text{вп}}$) и масса шишек (m).

Поверхность распределения времени прогрева шишек (рис. 1), показывает зна-

чительную роль в этом процессе массы шишек при температурах воздуха до 200 $^\circ\text{C}$, тогда как при дальнейшем повышении температуры воздушного потока масса шишек становится малозначимым фактором.

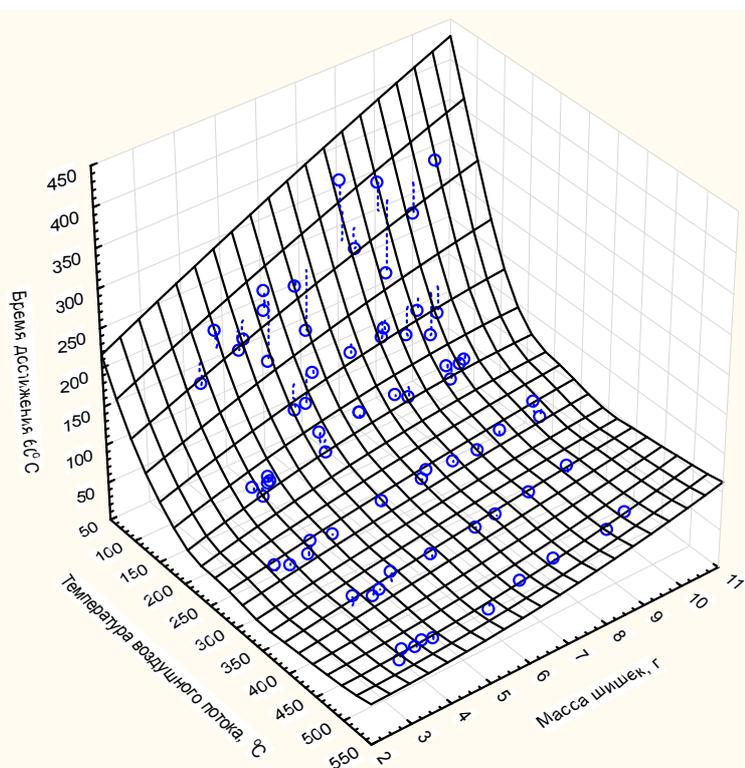


Рис. 1. Время достижения 60 $^\circ\text{C}$ в центральной части шишек сосны обыкновенной в связи с температурой воздушного потока и массой шишек

Модель влияния температуры воздушного потока и массы шишки на её прогрев до критической температуры достаточно хорошо ($R^2=0,877$ при уровне значимости 95 %) описывает следующая формула:

$$T_{60}=20404*t_{\text{вп}}^{(-2,15+m^{0,08})}$$

Время прогрева внутренней части шишек при увеличении температуры воздушного потока быстро уменьшается (рис.1, табл. 2) с 3,9 мин. при 100 °С до 1,7 мин. при 200 °С. При повышении темпе-

ратуры до 300 °С время прогрева шишек сокращается до одной минуты и в дальнейшем уже мало изменяется при 400 и 500 °С.

Ход температуры внутри шишек при снятии воздействия горячего воздуха зависит от температуры нагрева. Температура в центральной части шишек после снятия нагрева продолжает увеличиваться (рис. 2). Математическое выражение этого процесса хорошо описывает показатель-степенная функция (табл. 3).

Таблица 2

Статистические показатели времени прогрева шишек сосны до 60 °С

Варианты	Статистические показатели				достоверность различия времени прогрева ($t_{0,05}=2,262$)	
	$X \pm m$	$\pm \sigma$	V, %	P, %		
100	232,5±15,16	58,707	25,2	6,5	5,036 > $t_{0,05}$	
150	149,8±6,33	20,021	13,4	4,2		
200	102,3±4,98	19,278	18,9	4,9		
300	75,5±4,99	18,003	23,8	6,6		3,791 > $t_{0,05}$
400	68,3±4,88	14,637	21,4	7,1		1,032 < $t_{0,05}$
500	60,2±4,83	15,267	25,4	8,0		1,185 < $t_{0,05}$

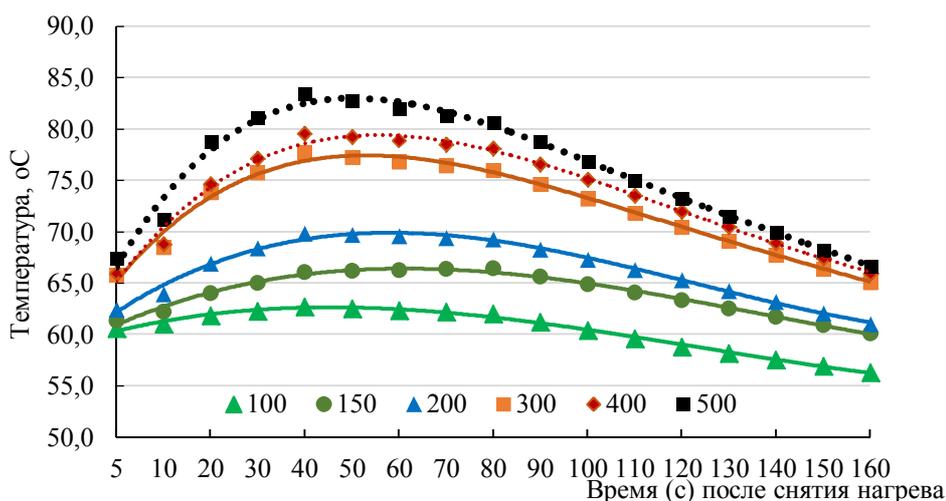


Рис. 2. Динамика остаточного прогрева в центральной части шишек после снятия температурного воздействия (в легенде указаны температуры воздушного потока)

Таблица 3

Параметры моделей остаточного прогрева центральной части шишек
 $Y=a \cdot X^b \cdot \exp(c \cdot X)$

Варианты	a	b	c	R ²
100	55,27	0,0506	-0,0015	0,964
150	52,96	0,0786	-0,0016	0,917
200	51,74	0,1054	-0,0023	0,960
300	51,73	0,1411	-0,0030	0,982
400	49,83	0,1607	-0,0033	0,976
500	50,35	0,1757	-0,0038	0,988

Максимальная температура внутри шишек наблюдается спустя 40...50 секунд после устранения нагрева. В вариантах «300», «400» и «500» длительность остаточного прогрева с температурой свыше 60 °С может составить более трёх минут. Максимальная температура в зоне расположения семян в варианте «500» достигала 83,7 °С. Это обстоятельство повлияло на резкое снижение жизнеспособности семян в вариантах с нагревом 300 – 500 °С. Всхожесть семян, полученных из прогретых шишек, по отношению к контрольным, снижается при повышении температуры воздействия (табл. 4) и, как следствие, увеличении длительности остаточного прогрева, превышающего 60 °С (см. рис. 2).

Полученные результаты свидетельствуют, что в кронах семена сосны защищены от температуры в 100 °С на 3,8 минуты, от температуры в 200 °С на время около 1,7 минуты. Температуры такого порядка в верхней трети крон (здесь, как правило, сосредоточен урожай семян сосны), в приспевающих и спелых древостоях II и выше классов бонитета, при низовых пожарах маловероятны. Время воз-

действия теплового потока на крону на высоте 20 метров, при 195 °С по расчётам [38] при самых неблагоприятных условиях не превышает двух минут.

Всё это означает, что низовые пожары полностью не уничтожают наличный урожай семян, оставшаяся часть которого вполне достаточна для естественного возобновления сосны на горях или, по крайней мере, для формирования молодняков со значительным участием сосны.

Влияние низового пожара на почвенный банк семян и семена, находящиеся в шишках на поверхности подстилки, связано с температурными условиями горения подстилки, температур непосредственно под подстилкой, на поверхности почвы и на глубине 3 см. Время пламенного горения подстилки мощностью 3 см продолжалось в экспериментах от 210 до 255 секунд. Средняя величина которого составила 232±8,2 секунды при небольшой изменчивости 8,7 %, которая обусловлена низкой влажностью (13 %) и довольно однородной структурой подстилки, состоящей преимущественно из хвои и мелких веточек.

Таблица 4

Всхожесть (%) семян после прогрева их в шишках до 60 °С по вариантам

Параметры	Варианты						
	контроль	100	150	200	300	400	500
Время прогрева, с	0	232	149	102	75	68	60
Количество семян, шт.	128	134	95	143	131	128	129
Всхожесть (%) по отношению к контролю	100	73	40	43	15	14	8

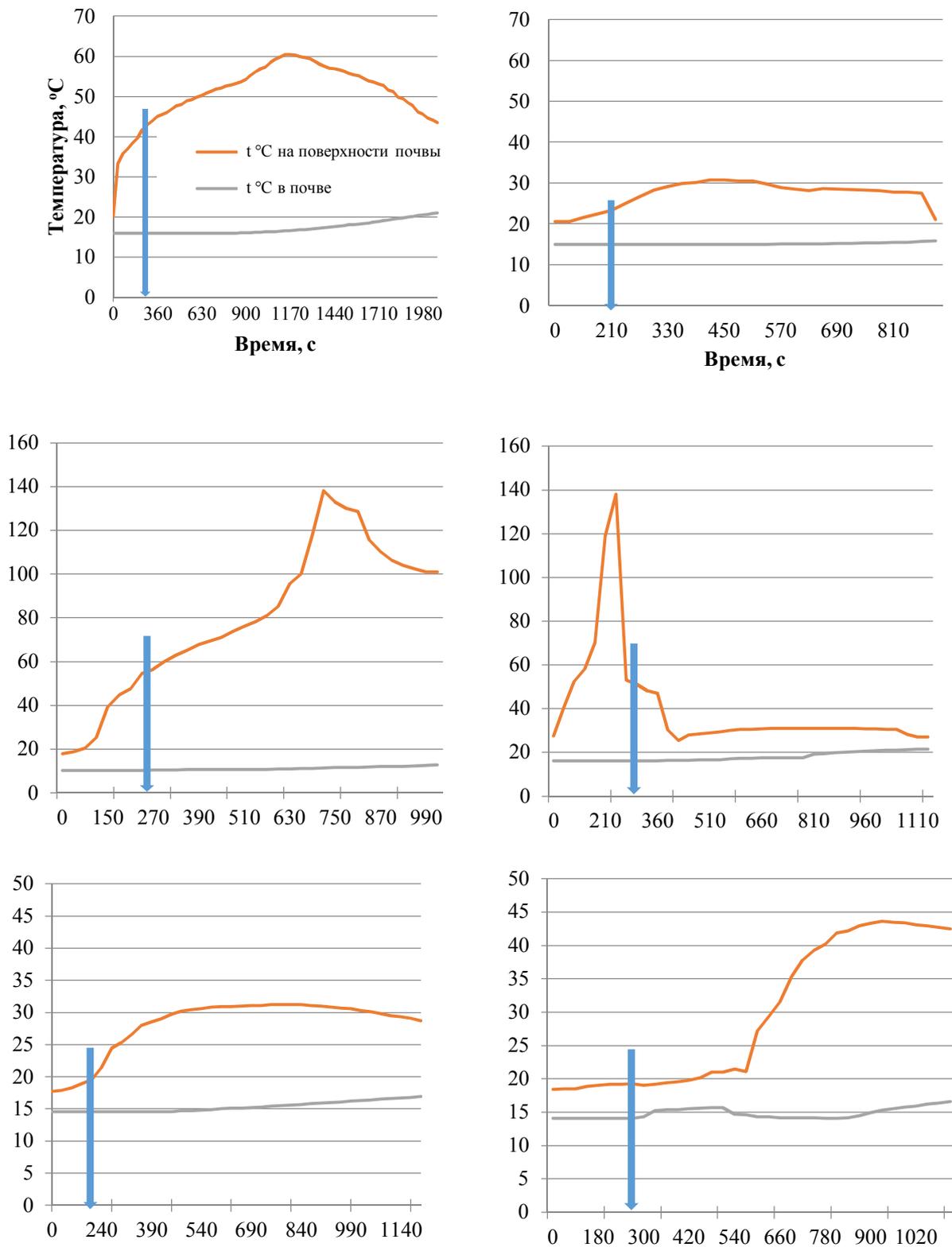


Рис. 3. Температуры поверхности почвы и на глубине 3 см при сжигании подстилки толщиной 3 см. Стрелками обозначено время прекращения пламенного горения

Температуры в процессе пламенного горения подстилки и последующего её тления имеют сильную изменчивость (рис. 3). Все шесть повторностей сжигания подстилки показали, что температура почвы на глубине 3 см не поднялась выше 25 °С. Что касается температуры на поверхности почвы (под подстилкой), то в процессе тления она может меняться в широких пределах, поднимаясь до 140 °С, что в целом согласуется с данными, полученными J.-C. Valette, V. Gomendy, C. Houssard и др. [40]. Лесная подстилка во всех повторностях практически полностью сгорела. После пламенного горения температура в подстилке продолжала увеличиваться вследствие тления. Семена, находящиеся под подстилкой, частично сгорели на всех площадках, а оставшаяся часть оказалась не жизнеспособной. Из шишек, собранных после эксперимента со сгоревшей подстилки, были извлечены семена и определена их всхожесть, которая составила 40 % от контроля. Энергия прорастания значительно отстала от контрольных семян и составила только 4,5 %, поскольку тепловое воздействие задержало прорастание семян. Это явление отмечают [33–36] и у других видов сосен.

Таким образом, семена, которые могут находиться в почве, не испытывают критических температур, в отличие от семян в шишках, непосредственно находящихся на поверхности горячей подстилки.

Заключение. При низовых пожарах, происходящих в конце июля и августе, шишки сосны в кронах защищают вызревающие семена от высоких температур. Кратковременное нахождение шишек с семенами в пламени горения хвои на ветвях (до трёх минут) не приводит семена к существенной потере всхожести.

Время достижения критической температуры для сохранения жизнеспособности семян во внутренней части шишек сосны зависит от температуры внешнего воздействия и массы шишек. Нахождение шишек в течение четырёх минут в потоке воздуха с температурой 100 °С не приводит к нагреву центральной части шишек

выше 60 °С и не оказывает существенного влияния на всхожесть семян. С увеличением внешних температур до 200 °С резко сокращается время прогрева и всхожесть семян. При нагреве семян в шишках свыше 70 °С теряется жизнеспособность более 60 % семян. Температуры воздействия на шишки свыше 200 °С приводят к почти полной потере всхожести семян.

Почвенный банк семян при низовых пожарах может быть полностью уничтожен, если семена находятся вне шишек в подстилке. Семена в шишках, находящихся на поверхности горячей подстилки, способны на 40 % сохранить свою жизнеспособность.

Следует учесть, что высоко поднятые кроны сосны также являются защитой семян от критических температур. Так, снижение возраста рубки в сосняках в прошлом веке до 80 лет приблизило кроны на 2...3 метра к вероятному источнику огня. Это, теоретически, уменьшило возможность выживания семян при возникновении сильных пожаров, и, как следствие, усложняет и удорожает лесохозяйственные работы на гари.

На практике разработка горельников преспевающих и спелых древостоев должна предваряться анализом потенциала семенного возобновления за счёт семян, сохранивших жизнеспособность. Следует давать прогнозную оценку с учётом урожая семян в год пожара, интенсивности низового пожара, высоты крон и вероятных температур в кронах. При положительной оценке возможности естественного возобновления сосны рубку горелых древостоев, с точки зрения успешности естественного возобновления, следует проводить летом следующего после пожара года, соблюдая технологию разработки лесосек с сохранением подроста. При быстрой потере товарности древесины на гари, разработку горельника следует проводить по специальной технологии [41, 42] без сжигания порубочных остатков, равномерно разбрасывая ветви с шишками по площади вырубки.

Список литературы

1. Mutch R.W. Wildfires and ecosystems – a hypothesis // Ecology. 1970. Vol. 51. P. 1047-1051.
2. Komarek E.V. Ancient fires // Proc. Ann. Tall Timbers Fire Ecol. Conf. 1973. Vol. 12. P. 219-241.
3. Kozlowski T.T., Ahlgren C.E. Fire and ecosystems. San Francisco etc: Acad. Press, 1974. 542 p.
4. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир. 1975. 740 с.
5. Санников С.Н. Циклически эрозивно-пирогенная теория естественного возобновления сосны обыкновенной // Экология. 1983. № 1. С. 10-20.
6. Цветков П. А. Пиропитные свойства лиственницы Гмелина // Лесное хозяйство. 2004. № 1. С. 43-46
7. Арцыбашев Е.С. Влияние пожаров на лесные биогеоценозы // Биосфера. 2014. Т. 6. № 1. С. 53-59.
8. Матвеев А.М., Матвеева Т.А. Роль пирогенного фактора в лесообразовательном процессе // Фундаментальные исследования. 2013. № 4-4. С. 914-918.
9. Фуряев В.В., Фуряев Е.А. Пирозкологические свойства сосны обыкновенной в Средней Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. XXV. № 1–2. С. 103-109.
10. Фуряев В.В., Самсоненко С.Д. Исследование роли пожаров в формировании бореальных лесов // Лесоведение. 2011. № 3. С. 73-79.
11. Санников С. Н. Низовой пожар как фактор появления, выживания и роста всходов сосны // Обнаружение и анализ лесных пожаров. Красноярск: Институт леса и древесины (ИЛиД) СО АН СССР, 1977. С. 110–128.
12. Санников С.Н. Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной. М.: Наука, 1992. 264 с.
13. Merrill R. Kaufmann, Kevin C. Ryan, Peter Z. Fule, William H. Romme Restoration of ponderosa pine forests in the interior western U.S. after logging, grazing, and fire suppression // Restoration of Boreal and Temperate Forests / edited by John A. Stanturf, Palle Madsen. CRC PRESS. 2005. P.481-500.
14. Фуряев В. В. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука, 1996. 253 с.
15. Alvarez R., Valbuena L., and L. Calvo. Effect of high temperatures on seed germination and seedling survival in three pine species (*Pinus pinaster*, *P. sylvestris* and *P. nigra*) // International Journal of Wild and Fire. 2007. Vol. 16. Pp. 63–70.
16. Косов И.В., Кисильков Е.К. Огнестойкость сосны обыкновенной // Ботанические исследования в Сибири. Красноярск, 2004. Вып. 12. С. 81-88.
17. Jon E. Keeley, Juli G. Pausas, Philip W. Rundel et al. Bradstock Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits // Trends in Plant Science. August 2011. Vol. 16. No 8. P. 406-412. doi:10.1016/j.tplants.2011.04.002
18. Яшинов Л.И. Обзор исследований лесовозобновления на горях Маробласти, проведенных кафедрой общего лесоводства Казанского института сельского хозяйства и лесоводства // Известия Казанского института сельского хозяйства и лесоводства за 1930 год. Казань: б. г. С.18-26.
19. Денисов А.К., Александров А.А. Формирование смешанных древостоев на свежих горях // Лесное хозяйство. 1954. № 10. С. 26-31.
20. Денисов А.К. Состояние горельников и их классификация в Марийской АССР // Проблемы ликвидации последствий лесных пожаров 1972 года в Марийской АССР. Йошкар-Ола: Маркнигоиздат, 1976. С. 34-42.
21. Kalinin K.K. Forest Formation Processes after Fire in the Volga Region // Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia Academia Foblishers Dororencht. Boston / London, 1996. P. 404-408.
22. Калинин К.К. Экология лесовозобновления на горях 1972 года в Марийском Заволжье // Экология и генетика популяций: Сб. науч. материалов Всерос. научного популяционного семинара. Йошкар-Ола: МарГУ, 1998. С. 249-250.
23. Калинин К.К., Иванов А.В., Демаков Ю.П. Динамика компонентов сосновых насаждений на горях 1972 г. в Марийском Заволжье // Лесные стационарные исследования: методы, результаты, перспективы. Материалы совещания. Тула: Гриф и К, 2001. С. 206-208.
24. Санников С.Н. Эволюционные аспекты светлохвойных видов // Лесоведение. 2009. № 3. С. 3-10.
25. Калинин К.К. Крупные лесные пожары в лесном среднем Заволжье и система лесохозяйственных мероприятий по ликвидации их последствий. Монография. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2012. 364 с.
26. Денисов А.К., Денисов С.А. Взаимосвязь аэродинамических и посевных свойств семян сосны и ее влияние на обсеменение вырубок // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 1971. № 4. С. 9-12.
27. Санников С.Н. Лесные пожары как эволюционно-экологический фактор возобновления популяций сосны в Зауралье // Горение и пожары в лесу. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1973. С. 236-277.
28. Sven Wagner, Lars Lundqvist. Regeneration techniques and the seedling environment from a European perspective // Restoration of Boreal and Temperate Forests. CRC PRESS, 2005. P. 153-171.
29. Экогеографические особенности семенования и естественного возобновления сосны на горях в сосновых лесах Забайкалья / Н.С. Санникова, С.Н. Санников, А.П. Гриценюк и др. //

Сибирский экологический журнал. 2010. № 2. С. 231-237.

30. *Евстигнеев О.И., Мурашев И.А., Коротков В.Н.* Анемохория и дальность рассеивания семян деревьев восточноевропейских лесов // Лесоведение. 2017. № 1. С. 45-52.

31. *Турецких И.А., Калинин К.К.* Лесовосстановление гарей 1972 года в Республике Марий Эл // Лесное хозяйство. 1998. № 5. С. 23-24.

32. *Чистяков А.Р., Крейер В.А.* Естественное возобновление в разных типах гарей // Проблемы ликвидации последствий лесных пожаров 1972 г. в Марийской АССР. Йошкар-Ола: Маркнигоиздат, 1976. С. 68-75.

33. Effect of high temperatures on seed germination of *Prosopis caldenia* Burk / A. E. Villalobos, D. V. Pelaeztt, R. M. Boott, et al. // Journal of Arid Environments. 2002. Vol. 52. Pp. 371-378 doi:10.1006/jare.2002.1004

34. Effects of high temperatures on germination of *Pinus halepensis* Mill, and *P. pinaster* Aiton subsp. *pinaster* seeds in southeast Spain / J. J. Martfnez-Sdnchez, A. Marin, J. M. Herranz, et al. // Vegetatio. 1995. Vol. 116. P. 69-72.

35. *Escudero A., Barrero S., Pita J.M.* Effects of high temperatures and ash on seed germination of two Iberian pines (*Pinus nigra* ssp *salzmannii*, *P sylvestris* var *iberica*)// Annals of Forest Science. 1997. Vol. 54. No 6. P. 553 – 562 DOI <https://doi.org/10.1051/forest:19970605>

36. *Herreroa C., San Martin R., Bravoa F.* Effect of heat and ash treatments on germination of *Pinus pinaster* and *Cistus laurifolius* // Journal of Arid

Environments. 2007. Vol. 70. P. 540-548 doi:10.1016/j.jaridenv.2006.12.027. www.elsevier.com/locate/jaridenv

37. *Санников С. Н., Санникова Н. С.* Эволюционные аспекты пироэкологии светлохвойных видов // Лесоведение. 2009. № 3. С. 3-10.

38. *Валендик Э. Н., Косов И.В.* Устойчивость почек хвойных пород к воздействию низовых пожаров // Лесоведение. 2008. № 5. С. 12-17.

39. *Валендик Э.Н., Косов И.В.* Тепловое излучение лесных пожаров и возможное воздействие его на древостой // Хвойные бореальной зоны, 2008. Т. XXV. № 1 – 2.

40. Heat-Transfer in the Soil During Very Low-Intensity Experimental Fires - the Role of Duff and Soil-Moisture Content / J.C. Valettel, V. Gomendy, J. MarCchal, et al. // International Journal of Wildland Fire. 1994. № 4. P. 225-237. DOI 10.1071/WF9940225

41. Проблемы воспроизводства сосновых лесов Среднего Поволжья / С. А. Денисов, К. К. Калинин, В. П. Бессчетнов и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2012. № 1 (14). С. 12-23.

42. *Shirnin Y., Denisov S., Shirnin A.* Feasibility demonstration of technologies for the development of pine burnt woods with the aim of reestablishment of the pine stand from the seeds remaining in tree crowns after a low fire // Journal of Applied Engineering Science. 2016. Vol. 14. № 3. P. 391-400.

Статья поступила в редакцию 14.08.17.

Информация об авторах

ДЕНИСОВ Сергей Александрович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и лесоустройства, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – лесоведение, лесоводство, лесная пироэкология. Автор 150 публикаций.

ШАКИРОВА Зульфия Назимовна – аспирант кафедры лесоводства и лесоустройства, заведующий лабораторией, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – лесоведение, лесоуправление, лесная пироэкология. Автор восьми публикаций.

UDC 630*431

DOI: 10.15350/2306-2827.2017.4.35

INFLUENCE OF THERMAL CONDITIONS OF CREEPING FIRE ON VIABILITY OF SCOTS PINE SEEDS

S. A. Denisov, Z. N. Shakirova

Volga State University of Technology,
3, Lenin Square, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
E-mail: DenisovSA@volgatech.net

Keywords: creeping fire; pine cones; warm up of cones; preservation of seeds; viability; forest regeneration.

ABSTRACT

Introduction. Periodic forest fires contribute to formation of adaptive properties of the species of plants playing a crucial role in forest dynamics. Study of ecological conditions of Scots pine regeneration on the fire-sites made it possible to reveal the regularities of its natural regeneration and newly assess its role in formation of forests on the fire-sites. A capacity of the seeds of Scots pine to survive in case of creeping fires was not analyzed in terms of quantity. **The goal of the research** is to assess the possibility to save viability of seeds of Scots pine after forest fires. The following tasks were to be solved: to study the thermal conditions in the central part of the cones when simulation the conditions of creeping fire, to determine the degree of viability of seeds after heat effect, to define the temperature of warming of humus and soil and the level of loss of viability of soil bank of pine seeds. The seeds of Scots pine in the cones, collected in the *vaccinium* and *myrtillus* types of forest in the Republic of Mari El and Nizhniy Novgorod oblast (zone of mixed coniferous-broad leaved forests) were chosen to be the **object** of the research. Simulation of thermal conditions was carried out with the fixed temperatures: 100, 150, 200, 300, 400 and 500 °C. Fatal temperature was established to be 60 °C. Variation of temperature was fixed by means of electronic and infrared thermometers. Thermal conditions on the soil surface and on the 2...3 cm depth were estimated in the live experiment. Assessment of seeds survival was conducted with germination. Originally, the experimental data were estimated with a diagram method, then, some basic statistical parameters of observation series, correlation factor were determined. A search of prognostic models was carried out. Excel and Statistica were used. **Results.** A substantial connection of the time of warming up of the central part of cones with their weight and the temperature of the influencing current of air is observed in all the cases. This connection is well approximated with power function. The seeds under burning litter lose their viability in full. The seeds in the cones lying on the burning litter had 4.5 % germinative energy with viability of 40 %. **Conclusion.** In the crowns, pine seeds are protected with the cones for 3.8 min. at the temperature of 100 °C, 1,7 min. - at the temperature of 200 °C. Higher temperatures lead to near-complete death of seeds. As per calculation, there are no fatal thermal conditions for the seeds at the height of crowns of more than 20 m when creeping fires. In case of creeping fires in late July-August, pine cones in the tree crowns protect maturing seeds, contributing to the post-fire regeneration of pine. Soil bank of seeds in creeping fires may be destroyed in full if the seeds are located in the litter and out of the cones. The obtained results are aimed at a re-consideration of the technologies of fire-sites development.

REFERENCES

1. Mutch R.W. Wildfires and ecosystems – a hypothesis. *Ecology*. 1970. Vol. 51. P. 1047-1051.
2. Komarek E.V. Ancient fires. *Proc. Ann. Tall Timbers Fire Ecol. Conf.* 1973. Vol. 12. P. 219-241.
3. Kozlowski T.T., Ahlgren C.E. Fire and ecosystems. San Francisco etc: Acad. Press, 1974. 542 p.
4. Odum Yu. *Osnovy ekologii* [Fundamentals of Ecology]. Moscow: Mir. 1975. 740 p.
5. Sannikov S.N. Tsiklicheski erozionno-pirogennaya teoriya estestvennoy vozobnovleniya sosny obyknovnoy [Cyclically Erosion- Pyrogenic Theory of Natural Regeneration of Scots Pine]. *Ekologiya* [Ecology]. 1983. No 1. P. 10-20.
6. Tsvetkov P. A. Pirofitnyye svoystva listvennitsy Gmelina [Pyrofit Properties of Dahurian Larch]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 2004. No 1. P. 43-46
7. Artsybashev E.S. Vliyanie pozharov na lesnye biogeotsenozy [Influence of Fires on Forest Biogeocenoses]. *Biosfera* [Biosphere]. 2014. Vol. 6. No 1. P. 53-59.

8. Matveev A.M., Matveeva T.A. Rol pirogenogo faktora v lesoobrazovatelnom protsesse [A Role of Pyrogenous Factor in Forest Forming Process]. *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental Researches]. 2013. No 4-4. P. 914-918.
9. Furyaev V.V., Furyaev E.A. Piroekologicheskie svoystva sosny obyknovennoy v Sredney Sibiri [Pyroecological Properties of Scots Pine in the Middle Siberia]. *Khvoynye borealnoy zony* [Coniferous Trees of Boreal Area]. 2008. Vol. XXV. No 1-2. P. 103-109.
10. Furyaev V.V., Samsonenko S.D. Issledovanie roli pozharov v formirovanii borealnykh lesov [Study of the Role of Fires in the Boreal Forests Formation]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2011. No 3. P. 73-79.
11. Sannikov S.N. Nizovoy pozhar kak faktor poyavleniya, vyzhivaniya i rosta vskhodov sosny [Creeping Fire as a Factor of Emergence, Survival, and Growth of Germinating Seedlings]. *Obnaruzhenie i analiz lesnykh pozharov* [Detection and Analysis of Forest Fires]. Krasnoyarsk: Institut lesa i drevesiny SO AN SSSR, 1977. P. 110-128.
12. Sannikov S.N. *Ekologiya i geografiya estestvennogo vozobnovleniya sosny obyknovennoy* [Ecology and Geography of Natural Regeneration of Scots Pine]. Moscow: Nauka, 1992. 264 p.
13. Merrill R. Kaufmann, Kevin C. Ryan, Peter Z. Fule, William H. Romme Restoration of ponderosa pine forests in the interior western U.S. after logging, grazing, and fire suppression. *Restoration of Boreal and Temperate Forests* / edited by John A. Stanturf, Palle Madsen. CRC PRESS. 2005. P. 481-500.
14. Furyaev V.V. *Rol pozharov v protsesse lesoobrazovaniya* [The Role of Fires in Forest Formation]. Novosibirsk: Nauka, 1996. 253 p.
15. Alvarez R., Valbuena L., and L. Calvo. Effect of high temperatures on seed germination and seedling survival in three pine species (*Pinus pinaster*, *P. sylvestris* and *P. nigra*). *International Journal of Wild and Fire*. 2007. Vol. 16. Pp. 63-70.
16. Kosov I.V., Kisilyakov E.K. Ognestoykost sosny obyknovennoy [Fire-Resistance of Scots Pine]. *Botanicheskie issledovaniya v Sibiri* [Botanical Researches in Siberia]. Krasnoyarsk, 2004. Iss. 12. P. 81-88.
17. Jon E. Keeley, Juli G. Pausas, Philip W. Rundel et al. Bradstock Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in Plant Science*. August 2011. Vol. 16. No 8. P. 406-412. doi:10.1016/j.tplants.2011.04.002
18. Yashnov L.I. Obzor issledovaniy lesovozobnovleniya na garyakh Maroblasti, provedennykh kafedroy obshchego lesovodstva Kazanskogo instituta selskogo khozyaystva i lesovodstva [A Review of Forest Regeneration at the Burnt Areas of Mari Republic, Conducted by the Chair of General Forestry of Kazan Institute of Agriculture and Forestry]. *Izvestiya Kazanskogo instituta selskogo khozyaystva i lesovodstva za 1930 god* [News of Kazan Institute of Agriculture and Forestry in 1930]. Kazan: s. a. P. 18-26.
19. Denisov A.K., Aleksandrov A.A. Formirovanie smeshannykh drevostoev na svezhih garyakh [Formation of Composite Forest on the Fresh Fire-Sites]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1954. No 10. P. 26-31.
20. Denisov A.K. Sostoyanie gorelnikov i ikh klassifikatsiya v Mariyskoy ASSR [Condition of Burnt Areas and Their Classification in Mari ASSR]. *Problemy likvidatsii posledstviy lesnykh pozharov 1972 goda v Mariyskoy ASSR* [Problems of Relief of the Consequences of Forest Fires- 1972 in Mari ASSR]. Yoshkar-Ola: Marknigoizdat, 1976. P. 34-42.
21. Kalinin K.K. Forest Formation Processes after Fire in the Volga Region. *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia Academia Foblishers Dororentch*. Boston / London, 1996. P. 404-408.
22. Kalinin K.K. Ekologiya lesovozobnovleniya na garyakh 1972 goda v Mariyskom Zavolzh'e [Ecology of Forest Regeneration at the Burned Area - 1972 in Mari Trans-Volga Region]. *Ekologiya i genetika populyatsiy: sb. nauch. materialov Vseros. nauchnogo populyatsionnogo seminaru* [Ecology and Genetics of Population: collected papers of All-Russian Scientific Population Seminar]. Yoshkar-Ola: MarGU, 1998. P. 249-250.
23. Kalinin K.K., Ivanov A.V., Demakov Yu.P. Dinamika komponentov osnovnykh nasazhdeniy na garyakh 1972 g. v Mariyskom Zavolzh'e [Dynamics of the Components of Pineries on the Fire-Sites- 1972 in Mari Trans-Volga Region]. *Lesnye statsionarnye issledovaniya: metody, rezultaty, perspektivy. Materialy soveshchaniya* [Forest Stationary Researches: Methods, Results, Perspectives. Proceedings of the meeting]. Tula: Grif i K, 2001. P. 206-208.
24. Sannikov S.N. Evolyutsionnye aspekty svetlokhvoynnykh vidov [Evolutionary Aspects of Light-Loving Coniferous Species]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2009. No 3. P. 3-10.
25. Kalinin K.K. *Krupnye lesnye pozhary v lesnom srednem Zavolzh'e i sistema lesokhozyaystvennykh meropriyatiy po likvidatsii ikh posledstviy. Monografiya*. [Large Forest Fires in Middle Trans-Volga Region and the System of Forestry Practice in Liquidation of the Consequences. Monograph]. Yoshkar-Ola: PGU, 2012. 364 c.
26. Denisov A.K., Denisov S.A. Vzaimosvyaz aerodinamicheskikh i posevnykh svoystv semyan sosny i ee vliyanie na obsemenenie vyrubok [Interaction of Aerodynamic and Sowing Properties of Seeds of Pine and Its Influence on Seeding of Slashes]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [News of Higher Educational Institutions. Forest Journal]. 1971. No 4. P. 9-12.
27. Sannikov S.N. Lesnye pozhary kak evolyutsionno-ekologicheskiy faktor vozobnovleniya populyatsiy sosny v Zaurale [Forest Fires as Evolutionary and Ecological Factor of Pine Regeneration in Trans-Urals]. *Gorenie i pozhary v lesu* [Pyro and Fires in Forests]. Krasnoyarsk: Institut lesa i drevesiny SO AN SSSR, 1973. P. 236-277.

28. Sven Wagner, Lars Lundqvist. Regeneration techniques and the seedling environment from a European perspective. *Restoration of Boreal and Temperate Forests*. CRC PRESS, 2005. P. 153-171.
29. Sannikova N.S., Sannikov S.N., Gritsenuk A.P., et al. Ekogeograficheskie osobennosti semenosheniya i estestvennogo vozobnovleniya sosny na garyakh v sosnovykh lesakh Zabaykalya [Ecogeographical Peculiarities of Seed Production and Natural Regeneration of Pine on the Fire-Sites in Pine Forests of Transbaikal]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian Ecological Journal]. 2010. No 2. P. 231-237.
30. Evstigneev O.I., Murashev I.A., Korotkov V.N. Anemokhoriya i dalnost rasseivaniya semyan derevov vostochnoevropeyskikh lesov [Anemochory and Distance of Seed Dissemination in East-European Forests]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2017. No 1. P. 45-52.
31. Turetskikh I.A., Kalinin K.K. Lesovostanovlenie gary 1972 goda v Respublike Mariy El [Regeneration of Fire-Sites- 1972 in Mari El Republic]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1998. No 5. P. 23-24.
32. Chistyakov A.R., Kreyer V.A. Estestvennoe vozobnovlenie v raznykh tipakh gary [Natural Regeneration in Various Fire-Site Types]. *Problemy likvidatsii posledstviy lesnykh pozharov 1972 g. v Mariyskoy ASSR* [Problems of Relief of the Consequences of Forest Fires- 1972 in Mari ASSR]. Yoshkar-Ola: Marknigoizdat, 1976. P. 68-75.
33. Villalobos A. E., Pelaez D. V., Boott R. M., et al. Effect of high temperatures on seed germination of *Prosopis caldenia* Burk. *Journal of Arid Environments*. 2002. Vol. 52. Pp. 371-378 doi:10.1006/jare.2002.1004
34. Martfnez-Sdnchez J. J., Marin A., Heranz J. M., et al. Effects of high temperatures on germination of *Pinus halepensis* Mill, and *P. pinaster* Aiton subsp. *pinaster* seeds in southeast Spain. *Vegetatio*. 1995. Vol. 116. P. 69-72.
35. Escudero A, Barrero S, Pita JM. Effects of high temperatures and ash on seed germination of two Iberian pines (*Pinus nigra* ssp *salzmannii*, *P. sylvestris* var *iberica*). *Annals of Forest Science*. 1997. Vol. 54. No 6. P. 553 – 562 DOI <https://doi.org/10.1051/forest:19970605>
36. Herreroa C., San Martin R., Bravao F. Effect of heat and ash treatments on germination of *Pinus pinaster* and *Cistus laurifolius*. *Journal of Arid Environments*. 2007. Vol. 70. P. 540-548 doi:10.1016/j.jaridenv.2006.12.027. www.elsevier.com/locate/jaridenv
37. Sannikov S.N., Sannikova N. S. Evolutsionnye aspekty piroekologii svetlokhvoynykh vidov [Evolutionary Aspects of Pyroecology of Light Coniferous Forests]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2009. No 3. P. 3-10.
38. Valendik E. N., Kosov I.V. Ustoychivost pochetk khvoynykh porod k vozdeystviu nizovykh pozharov [Sustainability of Buds of Coniferous Species to the Influence of Creeping Fires]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2008. No 5. P. 12-17.
39. Valendik E. N., Kosov I.V. Teplovoe izluchenie lesnykh pozharov i vozmozhnoe vzdystvie ego na drevostoy [Thermal Emission of Forest Fires and Possible Influence on a Stand]. *Khvoynye borealnoy zony* [Coniferous Trees of the Boreal Zone]. 2008. Vol. XXV. No 1 – 2.
40. Valettel JC., Gomendy V., MarCchal J., et al. Heat-Transfer in the Soil During Very Low-Intensity Experimental Fires - the Role of Duff and Soil-Moisture Content. *International Journal of Wildland Fire*. 1994. No 4. P. 225-237. DOI 10.1071/WF9940225
41. Denisov S.A., Kalinin K.K., Besschetnov V.P., et al. Problemy vosproizvodstva sosnovykh lesov Srednego Povolzhya [Problems of Reproduction of Pine Forests of Middle Volga Region]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ecologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2012. No 1 (14). P. 12-23.
42. Shimin Y., Denisov S., Shirmin A. Feasibility demonstration of technologies for the development of pine burnt woods with the aim of reestablishment of the pine stand from the seeds remaining in tree crowns after a low fire. *Journal of Applied Engineering Science*. 2016. Vol. 14. No. P. 391-400.

The article was received 14.08.17.

For citation: Denisov S. A., Shakirova Z. N. Influence of Thermal Conditions of Creeping Fire on Viability of Scots Pine Seeds. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2017. No 4(36). Pp. 35-47. DOI: 10.15350/2306-2827.2017.4.35

Information about the authors

DENISOV Sergey Aleksandrovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Sylviculture and Forest Management, Volga State University of Technology. Research interests – sylviculture, forest management, forest pyrology. Author of 150 publications.

SHAKIROVA Zulfiya Nazimovna – Postgraduate student at the Chair of Forestry and Forest Surveying, Head of a Laboratory, Volga State University of Technology. Research interests – sylviculture, forest administration, forest pyrology. The author of 8 publications.