

УДК 639*43; 631*445

ОТПАД ДРЕВЬЕВ В ОСУШЕННЫХ СОСНЯКАХ КУСТАРНИЧКОВО-СФАГНОВЫХ ПОСЛЕ ТОРФЯНОГО ПОЖАРА¹

© 2024 г. М. В. Покоева^{1,*}, Т. В. Глухова¹, А. А. Сири¹

¹ Институт лесоведения РАН, ул. Советская, д. 21, с. Успенское, Одинцовский р-н, Московская обл, 143030, Россия

* E-mail: mpokoeva@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.10.2023

После доработки 18.12.2023

Принята к публикации 12.04.2024

Приведены результаты многолетних наблюдений за процессом отпада деревьев в осушенных кустарничково-сфагновых сосняках на верховом болоте в Тверской области Западнодвинского района, пройденном низовым (торфяным) пожаром средней интенсивности, который привел к гибели 80–100 % более продуктивного, чем до осушения, древостоя. Последствия для древостоя оказались более сильными вблизи осушительных каналов (96 % погибших деревьев), чем на удаленных от каналов участках (87 %). В меньшей степени сосняки пострадали на окрайке болота. Показано наличие зависимости величины послепожарного отпада деревьев от высоты нагара на стволах ($R^2 = 0.5622$).

Ключевые слова: олиготрофные болота, торфяная почва, низовые пожары, осадки, уровень почвенно-грунтовых вод, нагар на стволах

DOI: 10.31857/S0024114824030032, EDN: PEHONG

Лесные пожары оказывают значительное влияние на состояние и развитие природных экосистем. Особыми последствиями отличаются лесные торфяные пожары, возникающие в условиях болот и заболоченных лесов. Торфяные пожары характеризуются специфической течением, длительностью, выбросом особо опасных для человека продуктов горения (Сири и др., 2020). Они лидируют среди природных пожаров по количеству сгораемого материала на единицу площади (Huang, Reuin, 2017; Сири и др., 2019). Торфяные пожары могут возникать везде, где есть болота (Hu et al.; 2018), в нашей стране — во всех природных зонах (Minaeva et al., 2013), и наиболее часто — в лесной, являясь естественным фактором развития лесных и болотных экосистем.

Болота вместе с заболоченными мелкоотторфованными землями (мощность торфа <30 см), с которыми они экологически близки и часто трудно разделимы в пространстве, занимают более 1/5 территории страны (Вомперский и др., 1994). Наиболее заболочена лесная зона, где широко представлены верховые (олиготрофные) болота, составляющие 18.8 % от всей площади болот страны (Вомперский и др., 2005). Более половины верховых болот облесены: 27.9 % сомкнутой и 26.1 % редкостойной древесной растительностью (Вомперский и др., 2011). На большей

части территории страны до Енисея облесенные верховые болота представлены преимущественно сосняками кустарничково-сфагновыми (например, «рямы» Западной Сибири) разной полноты, высоты и диаметра, восточнее их сменяют лиственничники.

На международном (Assessment... 2008) и национальном (Вомперский и др., 2004; Зайдельман, 2011) уровнях пожары отмечены среди наибольших угроз для болот при изменении климата. Возникающие в лесах и на болотах торфяные пожары нарушают целостность экосистемы и непрерывность природных процессов, являясь разрушающим фактором (Жила, 2013).

Изучение последствий торфяного пожара в случае объекта лесосушения создает предпосылки для анализа влияния различий лесорастительных условий, которые возникают в результате влияния дренажа. Водное питание верховых болот определяется исключительно атмосферной влагой, поэтому они наиболее уязвимы среди болот к колебаниям погодно-климатических условий. В сухие периоды при падении уровней болотных вод происходит разрыв капиллярной каймы, чему способствует высокая пористость верхних слабо разложившихся слоев торфа и сфагнового очеса (Сири, 1999). Это защищает болота от дальнейшей потери влаги, но повышает горючесть поверхностных слоев, включая мох, очес и подстилающий торф. Пожарную опасность увеличивают богатые эфирными маслами кустарнички (Конев, 1977) и пятна лишайников.

¹ Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта (№ 23-74-00067).

Целью данной работы было рассмотрение динамики отпада древесостоя после низового торфяного пожара в осушенных сосняках кустарничково-сфагновых за 20-летний период.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследование послепожарного отпада древесостоя проводили на осушенном открытыми каналами верховом болоте центрально-олиготрофного хода развития Сосвятское, в кустарничково-сфагновых сосняках, на Западнодвинском лесоболотном стационаре Института лесоведения РАН, в Тверской области Западнодвинского района (N56° 09', E32° 10').

Торфяная залежь исследуемого болотного массива имеет мощность 3 м, а крайка болота — 0,8 м. Залежь сформирована сфагновыми и кустарничково-травяными торфами со степенью разложения, не превышающей 20—25%. Объемная масса (плотность) в верхнем полуметровом слое изменяется от 0,050 до 0,087 г/см³. Зольность составляет 3—5%.

В нижних ярусах на участках с различным соотношением видов среди трав и кустарничков преобладают пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.), подбел обыкновенный (*Andromeda polifolia* L.), багульник болотный (*Ledum palustre* L.), из второстепенных видов — марьянник луговой (*Melampyrum pratense* L.), росянка круглолистная (*Drosera rotundifolia* L.), голубика обыкновенная (*Vaccinium uliginosum* L.). Сфагновые мхи представлены сфагнумом божевественным (*Sphagnum magellanicum*), сфагнумом узколиственным (*Sph. angustifolium* (Russ.) C. Jens.), сфагнумом бурым (*Sph. fuscum* (Schimp.) Klinggr.).

В августе 1999 года на юго-западном склоне болотного массива Сосвятское произошел низовой торфяной пожар на площади 29 га, где опытная осушительная сеть, проложенная в 1972 г., имела различные расстояния между осушительными каналами (60—160 м) при глубине их ко времени пожара 1 м (рис. 1). Данные предыдущего исследования (Вомперский и др., 2007) показывают, что огонь продвигался внутри межканавья 160 м



Рис. 1. Схема расположения ПУ на территории, пройденной пожаром 1999 г. Условные обозначения: сплошные линии — осушительные каналы; пунктирная линия — граница пожара. ПУ 1а, 2а, 2б, 4а — приканальные полосы; ПУ 1, 2, 4 — середина между каналами; ПУ 3 — крайка болота.

Таблица 1. Характеристика пробных площадей, пройденных пожаром, на болотном массиве Сосвятское до пожара

ПП	ПУ	Расстояние между каналами, м	Общее количество деревьев до пожара		Древостой		
			шт/га	шт/ПУ	d, см	h, м	Возраст, лет
1	1	160	2958	355	11.9	9.4	90—110
	1а		3130	275	12.1	10.0	80—130
2	2	60	5123	292	12.0	10.2	70—100
	2а		5965	340	12.2	10.9	50—110
	2б		4000	228	12.5	10.4	70—80
3	3	Окрайка болота	2344	293	17.1	15.1	60—110
4	4	106	4720	354	12.9	10.6	100—130
	4а		3267	245	11.6	10.1	90—130

(пробная площадь 1, далее ПП 1) в обоих направлениях, но больше на восток. Позже низовой пожар перебросился через канаву, в соседнее с юга межканавье. Распространение огня на запад было приостановлено магистральным каналом, продвижение пожара на север продолжалось внутри межканавья 60 м (ПП 2). Пожар был локализован за 12 часов, но тление длилось еще сутки.

Согласно многолетним данным метеостанции Западной Двины (Тверская обл.), вегетационные периоды 1999—2004 гг. характеризовались более теплой погодой и малым количеством осадков. За май-июль 1999 г. осадков выпало на 33 % меньше нормы. Это вызвало понижение болотных вод к началу августа вблизи каналов на 69—72 см, а в середине — на 50—62 см (соответственно на ПП 1 и ПП 2). Прекратился сток по осушительной сети. Однако за неделю до пожара прошли три дождя и выпало 97.5 мм осадков, в результате которых уровень болотных вод между каналами поднялся до 18—31 см от поверхности почвы, а вблизи каналов — до 37—38 см (соответственно на ПП 4 и ПП 2). Пожар случился, когда уровень почвенно-грунтовых вод (УПГВ) был близок к среднегодовой норме. Замеры УПГВ осуществлялись полой алюминиевой трубкой диаметром 1 см и длиной 150 см с нанесенными по внешней стороне миллиметровыми рисками. Смотровые скважины (колодцы), в которых замеряли УПГВ, представляют собой полые, перфорированные по всей длине пластиковые трубы диаметром 3 см, один из концов которых закреплен в минеральном грунте или на значительной (до 2 м) глубине в торфе. До пожара на болотном массиве произрастали разновозрастные (40—130 лет) сосняки кустарничково-сфагновые III—IV классов текущего бонитета. В сосняках проводили переписательную таксацию по ступеням толщины с определением диаметра (d), высоты (h) и возраста древостоя. Древостой рассматривались как условно двухъярусные.

На территории, пройденной огнем, были заложены четыре ПП от 0.15 до 0.24 га в самых репрезентативных местах: учитывались интенсивность пожара (т. к. выгорание было неравномерным), степень

осушения — расстояние между каналами, УПГВ на каждой ПП в приканавных зонах и в середине межканавного пространства. ПП были разделены дополнительно на пробные участки (ПУ) в зависимости от положения в межканавном пространстве (рис. 1). ПП характеризовали участки с расстоянием между осушительными каналами 160 (ПУ 1, 1а), 106 (ПУ 4, 4а) и 60 м (ПУ 2, 2а, 2б). ПП 3 была заложена на пройденной огнем окрайке болота (табл. 1).

Сплошной пересчет проводили в 2001, 2002, 2004, 2014 гг., было посчитано и измерено 2382 дерева. При оценке послепожарного отпада учитывали погибшие при пожаре и жизнеспособные деревья, поврежденные огнем. В 2022 г. на ПП провели актуализацию данных прошлых лет, при сплошном пересчете посчитали и обмерили 108 живых деревьев.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

После пожара определяли высоту нагара на стволах и глубину прогорания торфа как основные критерии и показатели степени повреждения торфяным пожаром, фиксировали УПГВ (табл. 2).

В первые годы после пожара произошел основной отпад древостоя на болотном массиве (87—100 %) и на окрайке болота (79 %). Этот факт подтверждают и другие исследователи (Жила, 2013; Ковалева, 2014; Иванова и др., 2014; Архипов, Залесов, 2017). На ПП 1 деревья погибли от теплового удара, высота нагара на стволах достигала 2.8 м, огонь повреждал нижние ветви. Корни деревьев почти не пострадали, огонь бегло прошел по кустарничкам, поразив камбиальный слой стволов. При беглом низовом пожаре поражается напочвенный покров, иногда страдает подрост и подлесок (Щербов и др., 2015). Беглый огонь не затрагивает торфяную почву, и пожар не переходит в почвенный (Ефремова, Ефремов, 1994, 2006). На третий год после пожара на этой ПП живых деревьев не осталось (табл. 3).

Древостой на ПП 2 в равной мере пострадал от теплового удара и повреждения корней. На этой площади произошли сильные вывалы древостоя

Таблица 2. Характеристика послепожарных изменений на ПП

ПП	ПУ	Погибшие деревья, %	Средняя высота нагара на стволах, м	Средняя глубина прогорания торфа, см	УПГВ, см
1	1	99.4	2.8	1—2	31
	1a	98.9	2.5	2—2.5	42
2	2	96.6	0.7	7—8	31
	2a	95.0	0.8	10—12	38
	2б	89.5	1.0	10—12	38
3	3	78.8	1.0	12—15	62
4	4	98.0	1.7	5—7	18
	4a	100.0	3.7	8—10	37

Таблица 3. Динамика отпада древостоя после пожара по данным 2001—2022 гг.

ПП	ПУ	Абсолютное и относительное количество живых деревьев после пожара									
		2001		2002		2004		2014		2022	
		шт/ПУ	%	шт/ПУ	%	шт/ПУ	%	шт/ПУ	%	шт/ПУ	%
1	1	2	0.6	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	1a	3	1.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
2	2	39	13.4	37	12.7	34	11.6	29	9.9	29	9.9
	2a	17	5.0	16	4.7	16	4.7	11	3.2	11	3.2
	2б	24	10.5	20	8.8	20	8.8	15	7.0	15	7.0
3	3	62	21.2	52	17.7	49	16.7	48	16.4	48	16.4
4	4	7	2.0	7	2.0	7	2.0	5	1.4	5	1.4
	4a	0	0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

в приканальных полосах. Спустя 2—3 года после пожара сохранилось несколько десятков сосен.

На ПП 3, расположенной в облесенном кольце, на окрайке болота, низовой пожар местами переходил в почвенный. Здесь выгорел значительный слой торфа, иногда до 20—25 см, в среднем 12—15 см (табл. 2). Объясняется это тем, что структура сложения древесных корневых систем на болотах многоярусная (Иванов, 1979). Из-за этой ступенчатости образуются пустоты, обуславливающие при горении тягу, как в печке. Пламя быстро занимает это пространство. За счет высоких температур идет дополнительное подсушивание торфа и горение, а чаще тление, которое распространяется вглубь и по периферии. В результате выгорания торфяного горизонта обнажались и повреждались корневые системы древостоя и кустарничков. На 2—3 год на ПП 3 оставались живые деревья, но отпад их происходил более интенсивно, чем на ПП 2 (табл. 3).

На ПП 4 в приканальной полосе погиб весь древостой (табл. 3), сосны диаметром до 4 см сгорели вместе с кронами так, что при перечете было невозможно измерить их высоты. Известно (Архипов, Залесов, 2017), что при низовых пожарах слабой и средней интенсивности деревья диаметром менее 5 см погибают, в то время как деревья диаметром 16—18 см сохраняют жизнеспособность.

Наибольшая или полная гибель древостоя произошла в приканальных полосах, к которым примыкают ПУ 2a, 2b и 4a, интенсивнее осушенных, по сравнению с серединой между каналами на ПУ 2 и 4. Исключением из этих случаев стала ПП 1, откуда начался пожар и где сгорели все деревья, вне зависимости от расположения ПУ от края канавы (табл. 3).

Спустя 5 лет после пожара (2004 г.), несмотря на размножение соснового лубоеда, гибель уцелевших (живых) деревьев по сравнению со вторым годом была не столь значительной, как можно было ожидать (табл. 3). Оставшиеся после пожара деревья оказались вполне жизнеспособными, имеющими наибольшие диаметры и высоты, чем сгоревшие. Число живых деревьев сократилось на ПП 2 и ПП 3 в среднем на 13 и 21 % соответственно. На ПП 4 количество деревьев осталось прежним. Отпад деревьев на ПП 4 происходил в течение 15 лет (в среднем на 20 %). Таким образом, изучаемый пожар имел катастрофические последствия для более продуктивных, чем до осушения, сосняков. Отпад древостоя составил 80—100 %. Известно, что гидроресомелиорация является эффективным средством повышения производительности лесов, способствует увеличению покрытой лесом площади, увеличивает прирост и накопление запасов древесины (Саковец, 2005; Кудряшев, 2011). Через 10—25 лет после осушения на объектах исследования работали сотрудники (лесоводы) Западновинского лесоболотного стационара, которые показали

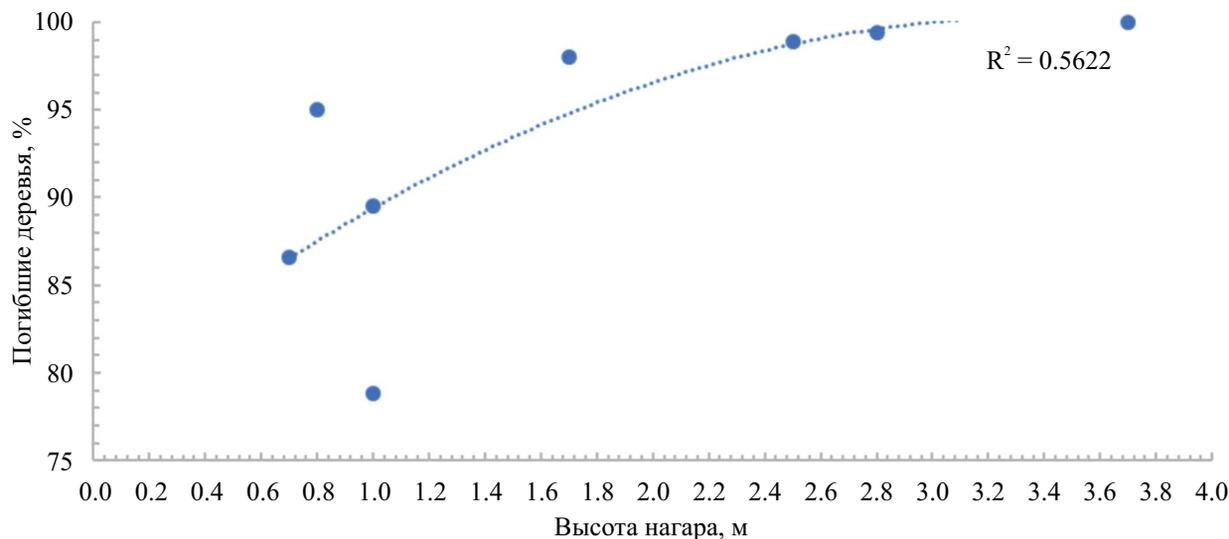


Рис. 2 Зависимость погибших деревьев от высоты нагара на стволах.

(Иванов, Бунин, 1986; Лебков, 2001), что в результате осушения в сосняках произошло увеличение суммы площадей сечения, запаса стволовой массы, полнот, повысился бонитет, т. е. древостой стал более продуктивным, чем до осушения.

Прослеживается зависимость погибших деревьев от высоты нагара на стволах (рис. 2). Чем выше нагар на стволах, тем больший процент погибших деревьев на ПП. При высоте нагара 2.8 и 3.7 соответственно на ПП 1 и ПП 4 процент погибших деревьев составил 100 % (табл. 2).

УПГВ также повлиял на интенсивность огня и соответственно на гибель древостоя. На каждой ПП, где в приканавных полосах УПГВ находился глубже, чем в середине между каналами, процент погибших деревьев был большим (95.0, 89.5, 100.0 % соответственно на ПУ 2а, 2б, 4а), кроме ПП 1, где уже на 3-й год погибли все деревья (табл. 3).

После 2004 г. отпад деревьев практически прекратился, и к 2014 году наибольшее количество деревьев сохранилось на ПП 3 (48 шт.) и ПП 2 (29 шт.) в межканавном пространстве (табл. 3). Это можно объяснить меньшей интенсивностью пожара на этих ПП, где высота нагара на стволах не превышала 1 м. Кроме того, древостой на ПУ 3 имел диаметр 17.1 см и высоту 15.1 м, в отличие от остальных ПУ (табл. 1).

Ряд авторов (Kasischke et al., 1995; Шубин, Залесов, 2013; Архипов, Залесов, 2017) отмечает, что устойчивость деревьев к огню, т. е. жизнеспособность, зависит от их диаметра на высоте 1.3 м и высоты нагара на стволах. Первый показатель характеризует размер дерева, от которого зависит пожароустойчивость, а второй — степень интенсивности пожара.

По данным перечета 2022 г. на ПУ 2 и 3 сохраняется 10 и 16 % живого древостоя соответственно от первоначального послепожарного.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследуемый пожар средней интенсивности имел катастрофические последствия для лесных насаждений. Гибель сосняков кустарниково-сфагновых составила 80—100 %. Погиб более продуктивный, чем до осушения, древостой даже при сравнительно небольшом прогорании торфа. Лесные экосистемы на осушенных болотах более ранимы при низовых торфяных пожарах, чем леса на минеральных почвах, где нет таких опасных проводников горимости в виде хорошо развитого яруса болотных кустарничков, способствующих воспламенению, и где пожар не переходит в почвенный.

С учетом снижения УПГВ при приближении к каналам создаются условия для большей пожароопасности. Последствия для древостоя оказались более сильными в относительно более осушенных местопроизрастаниях вблизи осушительных каналов (ПУ 2а, 2б, 4а), чем на удаленных от каналов участках (ПУ 2, 4). Лишь в самом высоком первом ярусе древостоя на окрайке болота они оказались меньше.

Показано наличие зависимости величины послепожарного отпада деревьев от высоты нагара на стволах ($R^2 = 0.5622$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архипов Е. В., Залесов С. В. Отпад деревьев после низовых лесных пожаров в сосняках Казахского мелкосопочника // Вестник БГАУ. 2017. № 4. С. 90—96.
- Вомперский С. Э., Иванов А. И., Цыганова О. П., Валяева Н. А., Глухова Т. В., Дубинин А. И., Глухов А. И., Маркелова Л. Г. Заболоченные органогенные почвы и болота России и запасы углерода в их торфах // Почвоведение. 1994. № 12. С. 17—25.

- Вомперский С. Э., Минаева Т. Ю., Сирин А. А.* Экосистемы болот. Глава 7 // Состояние биоразнообразия природных экосистем России. М.: НИИ-Природа, 2004. С. 103—113.
- Вомперский С. Э., Сирин А. А., Цыганова О. П., Валеева Н. А., Майков Д. А.* Болота и заболоченные земли России: попытка анализа пространственного распределения и разнообразия // Известия РАН. Серия географическая. 2005. № 5. С. 21—33.
- Вомперский С. Э., Глухова Т. В., Смагина М. В., Ковалев А. Г.* Условия и последствия пожаров в сосняках на осушенных болотах // Лесоведение. 2007. № 6. С. 35—44.
- Вомперский С. Э., Сирин А. А., Сальников А. А., Цыганова О. П., Валеева Н. А.* Оценка площади болотных и заболоченных лесов России // Лесоведение. 2011. № 5. С. 3—11.
- Жила С. В.* Трансформация фитомассы в светлохвойных насаждениях Нижнего Приангарья под воздействием пожаров: дис... канд. биол. наук: 06.03.02. Красноярск, 2013. 20 с.
- Зайдельман Ф. Р.* Проблемы защиты осушаемых торфяных почв от пожаров и ее решение // Почвоведение. 2011. № 8. С. 1000—1009.
- Ефремова Т. Т., Ефремов С. П.* Торфяные пожары как экологический фактор развития лесоболотных экосистем // Экология. 1994. № 5. С. 27—34.
- Ефремова Т. Т., Ефремов С. П.* Пирогенная трансформация органического вещества почв лесных болот // Почвоведение. 2006. № 12. С. 1441—1450.
- Иванов А. И.* Структура и первичная продуктивность сосняков болотного ряда: дис... канд. биол. наук: 03.00.05. М.: МГУ, 1979. 24 с.
- Иванов А. И., Бунин М. А.* Изменение структуры древостоев болотных сосняков в первые 10 лет после осушения // Лесоведение. 1986. № 2. С. 38—44.
- Иванова Г. А., Конрад С. Г., Макрае Д. Д.* Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков Сибири. Новосибирск: Наука, 2014. 232 с.
- Ковалева Н. М.* Послепожарное восстановление напочвенного покрова в сосняках Нижнего Приангарья // Сибирский экологический журнал. 2014. № 3. С. 439—447.
- Конев Э. В.* Физические основы горения растительных материалов. Новосибирск: Наука, 1977. 239 с.
- Кудряшев А. В.* Осушительная мелиорация как средство повышения продуктивности лесов // Повышение продуктивности, рациональное использование и охрана земель лесного фонда. Труды СПб НИИЛХ. 2011. Вып. 2 (25). С. 26—37.
- Лебков В. Ф.* Дополнительная продукция древесины ствола сосны, ели и березы при гидроресомелиорации // Лесные стационарные исследования: методы, результаты, перспективы. Тула: Гриф и Ко, 2001. С. 420—421.
- Саковец В. И.* Лесоводственная эффективность и биосферная роль осушенных лесоболотных экосистем в условиях Карелии // Болотные экосистемы севера Европы: разнообразие, динамика, углеродный баланс, ресурсы и охрана. Петрозаводск, 2005. С. 226—231.
- Сирин А. А., Медведева М. А., Макаров Д. А., Маслов А. А., Юстен Х.* Мониторинг растительного покрова вторично обводненных торфяников Московской области // Вестник СПбГУ. Наука о Земле. 2019. Том 65. № 2. С. 321—334. Doi: 10.2638/spbu.07.2020.206
- Сирин А. А., Макаров Д. А., Гуммерт И., Маслов А. А., Гульбе Я. И.* Глубина прогорания торфа и потери углерода при лесном подземном пожаре // Лесоведение. 2019. № 5. С. 410—422. Doi: 10.1134/S0024114819050097
- Сирин А. А.* Водообмен и структурно-функциональные особенности лесных болот: дис... докт. биол. наук: 03.00.16. М., 1999. 44 с.
- Шубин Д. А., Залесов С. В.* Послепожарный отпад деревьев в сосновых насаждениях Приобского водохранилища сосново-березового лесохозяйственного района Алтайского края // Аграрный вестник Урала. 2013. № 5 (111). С. 39—41.
- Щербов Б. Л., Лазарева Е. В., Журкова И. С.* Лесные пожары и их последствия (на примере сибирских объектов). Новосибирск: Гео, 2015. 154 с.
- Assessment on peatlands, biodiversity and climate change: main report / Eds. Parish F., Sirin A., Charman D., Joosten H., Minayeva T., Silivius M., Stringer L. Wageningen, Kuala Lumpur: Global Environment Centre and Wetlands International, 2008. 179 p.
- Benscoter B. W., Wieder K. K.* Variability in organic matter lost by combustion in a boreal bog during the 2001 Chisholm fire // Canadian Journal of Forest Research. 2003. V. 33. P. 2509—2513.
- Hu Y., Fernandez-Anez N., Smith T. E. L., Rein G.* Review of emissions from smouldering peat fires and their contribution to regional haze episodes // International Journal of Wildland Fire. 2018. № 27. P. 293—312. Doi: 10.1071/WF10784
- Huang X., Rein J.* Downward spread of smouldering peat fire: the role of moisture density and oxygen supply // International Journal of Wildland Fire. 2017. № 26. P. 907—918. Doi: 10.1071/WF16198
- Kasichke E. S., French N. H. F., Bourgeau-Chavez L. L., Christensen W. L.* Estimating release of carbon from 1990 and 1991 forest fires in Alaska // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 1995. V. 100. P. 2941—2951.
- Minayeva T., Sirin A. A., Stracher G. B.* The peat fires of Russia // Coal and peat fires: a global perspective. Amsterdam: Elsevier, 2013. P. 376—394.
- Turetsky M. R., Benscoter B., Page S., Rein G., van der Werf G. R., Watts A.* Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss // Nature Geoscience. 2015. V. 8. № 1. P. 11—14.
- Zoltai S. C., Morrissey L. A., Livingston G. P., de Groot W. I.* Effects of fires on carbon cycling in North American boreal peatlands // Environmental Reviews. 1998. V. 6. P. 13—24.

Forest Stands' Die-Off After a Peat Fire in Drained Sphagnum-Fructulose Pine Forests

M. V. Pokoeva^{1,*}, T. V. Glukhova¹, A. A. Sirin¹

¹Institute of Forest Science of the RAS

Sovetskaya st. 21, Uspenskoe, Odintsovsky District, Moscow Oblast, 143030, Russia

* E-mail: mpokoeva@yandex.ru

Presented here are the results of long-term observations of the tree die-off process in drained sphagnum-fructulose pine forests in the oligotrophic bog in the Zapadnodvinsky District, Tver Oblast, which was affected by a ground (peat) fire of medium intensity and resulted in the death of 80–100% of stands that were more productive, compared to the ones before the drainage. The effects on stands were more severe near the drainage canals (96% of dead trees) than in areas away from canals (87%). The pine forests at the edge of the bog were affected to a lesser extent. The dependence of the magnitude of post-fire tree die-off on the height of soot on trunks was shown ($R^2 = 0.5622$).

Keywords: oligotrophic bogs, peat soil, ground fires, precipitation, water table, soot on tree trunks.

Acknowledgements: The work has been carried out with the support from the RSF within the framework of the project No. 23-74-00067.

REFERENCES

- Arkhipov E. V., Zalesov S. V., Otpad derev'ev posle nizovykh lesnykh pozharov v sosnyakakh Kazakhskogo melkoso-pochnika (Altrition of trees after ground fires in pine forest of Kazakh uplands), *Vestnik BGAU*, 2017, no. 4, pp. 90–96.
- Assessment on peatlands, biodiversity and climate change: main report*, Kuala Lumpur: Global Environment Centre and Wetlands International, 2008, 179 p.
- Benscoter B. W., Wieder K. K., Variability in organic matter lost by combustion in a boreal bog during the 2001 Chisholm fire, *Canadian Journal of Forest Research*, 2003, vol. 33, pp. 2509–2513.
- Efremova T. T., Efremov S. P., Pyrogenic transformation of organic matter in soils of forest bogs, *Eurasian Soil Science*, 2006, vol. 39, no. 12, pp. 1297–1305.
- Efremova T. T., Efremov S. P., Torfyanye pozhary kak ekologicheskii faktor razvitiya lesobolotnykh ekosistem (Peat fires as an environmental factor of development of boggy forest ecosystems), *Ekologiya*, 1994, no. 5–6, pp. 27–34.
- Hu Y., Fernandez-Anez N., Smith T. E. L., Rein G., Review of emissions from smouldering peat fires and their contribution to regional haze episodes, *International Journal of Wildland Fire*, 2018, no. 27, pp. 293–312. DOI: 10.1071/WF10784
- Huang X., Rein J., Downward spread of smouldering peat fire: the role of moisture density and oxygen supply, *International Journal of Wildland Fire*, 2017, no. 26, pp. 907–918. DOI: 10.1071/WF16198
- Ivanov A. I., Bunin M. A., Izmenenie struktury drevostoev bolotnykh sosnyakov v pervye 10 let posle osusheniya (Changes in the structure of swamp pine forest stands in the first 10 years after drainage), *Lesovedenie*, 1986, no. 2, pp. 38–44.
- Ivanov A. I., *Struktura i pervichnaya produktivnost' sosnyakov bolotnogo ryada. Avtoref dis. kand. biol. nauk* (Structure and primary productivity of swamp pine forests. Extended abstract of Candidate's biol. sci. thesis), Moscow: MGU, 1979, 24 p.
- Ivanova G. A., Konard S. G., Makrae D. D., Bezkorovainaya I. N., Bogorodskaya A. V., Zhila S. V., Ivanov V. A., Ivanov A. V., Kovaleva N. M., Krasnoshchekova E. N., Kukavskaya E. A., Oreshkov D. N., Perevoznikova V. D., Samsonov Y. N., Sorokin N. D., Tarasov P. A., Tsvetkov P. A., Shishikin A. S., *Vozdeistvie pozharov na komponenty ekosistemy srednetaezhnykh sosnyakov Sibiri* (The effect of fires on ecosystem components in pine forests of the middle taiga in Siberia), Novosibirsk: Nauka, 2014, 232 p.
- Kasischke E. S., French N. H. F., Bourgeau-Chavez L. L., Christensen W. L., Estimating release of carbon from 1990 and 1991 forest fires in Alaska, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1995, vol. 100, pp. 2941–2951.
- Konev E. V., *Fizicheskie osnovy goreniya rastitel'nykh materialov* (Physical basis of combustion of plant materials), Novosibirsk: Nauka, 1977, 239 p.
- Kovaleva N. M., Poslepozharное vosstanovlenie napochvennogo pokrova v sosnyakakh Nizhnego Priangar'ya (Post-fire regeneration of ground vegetation in pine forests in Lower Angara region), *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 2014, no. 3, pp. 439–447.
- Kudryashev A. V., Osushitel'naya melioratsiya kak sredstvo povysheniya produktivnosti lesov (Hydromelioration as a tool of raising forest productivity), *Povyshenie produktivnosti, ratsional'noe ispol'zovanie i okhrana zemel' lesnogo fonda*

- (*Raising the productivity, rational use and protection of forest lands*), *Trudy SPb NIILKh*, 2011, Issue 2 (25), pp. 26—37.
- Lebkov V. F., Dopolnitel'naya produktsiya drevesiny stvola sosny, eli i berezy pri gidrolesomelioratsii (Additional production of pine, spruce and birch trunk wood during hydroforestry reclamation), In: *Lesnye statsionarnye issledovaniya: metody, rezul'taty, perspektivy* (Forest stationary research: methods, results, prospects), Tula: Grif i Ko, 2001, pp. 420—421.
- Minayeva T., Sirin A. A., Stracher G. B., The peat fires of Russia, In: *Coal and peat fires: a global perspective*, Amsterdam: Elsevier, 2013, pp. 376—394.
- Sakovets V. I., Lesovodstvennaya effektivnost' i biosfer-naya rol' osushennykh lesobolotnykh ekosistem v uslovi-yakh Karelii (Silvicultural efficiency and biosphere role of drained forest-swamp ecosystems in the conditions of Karelia), In: *Bolotnye ekosistemy severa Evropy: raznoobra-zie, dinamika, uglerodnyi balans, resursy i okhrana* (Swamp ecosystems of northern Europe: diversity, dynamics, carbon balance, resources and protection), Petrozavodsk: 2005, pp. 226—231.
- Shcherbov B. L., Lazareva E. V., Zhurkova I. S., *Lesnye pozhary i ikh posledstviya (na primere sibirskikh ob"ektov)* (Forest fires and their consequences (using the example of Siberian objects)), Novosibirsk: Geo, 2015, 154 p.
- Shubin D. A., Zalesov S. V., Poslepozharniy otpad derev'ev v sosnovykh nasazhdeniyakh Priobskogo vodookhrannogo sosnovo-berezovogo lesokhozyaistvennogo raiona Altaiskogo kraya (Post-fire tree attrition in pine plantations, in the Ob water protection pine-birch forest area of the Altai region), *Agrarnyi vestnik Urala*, 2013, no. 5 (111), pp. 39—41.
- Sirin A. A., Makarov D. A., Gummert I., Maslov A. A., Gul'be Y. I., Glubina progoraniya torfa i poteri ugleroda pri lesnom podzemnom pozhare (Depth of peat burning and carbon losses from an underground forest fire), *Lesovedenie*, 2019, no. 5, pp. 410—422.
- Sirin A. A., Medvedeva M. A., Makarov D. A., Maslov A. A., Yusten K., Monitoring rastitel'nogo pokrova vtorichno obvodnennykh torfyanikov Moskovskoi oblasti (Monitoring of vegetation cover of rewetted peatlands in Moscow oblast), *Vestnik SPbGU. Nauka o Zemle*, 2019, vol. 65, no. 2, pp. 321—334. DOI: 10.2638/spbu.07.2020.206
- Sirin A. A., *Vodoobmen i strukturno-funktsional'nye osobennosti lesnykh bolot. Avtoref. dis. dokt. biol. nauk* (Water exchange and structural and functional features of forest swamps. Extended abstract of Doctor's biol. sci. thesis), Moscow, 1999, 44 p.
- Turetsky M. R., Benschoter B., Page S., Rein G., van der Werf G. R., Watts A., Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss, *Nature Geoscience*, 2015, vol. 8, no. 1, pp. 11—14.
- Vomperskii S. E., Glukhova T. V., Smagina M. V., Koval'ev A. G., Usloviya i posledstviya pozharov v sosnyakakh na osushennykh bolotakh (The conditions and consequences of fires in pine forests on drained bogs), *Lesovedenie*, 2007, no. 6, pp. 35—44.
- Vomperskii S. E., Minaeva T. Y., Sirin A. A., Ekosistemy bolot (Wetland ecosystems), In: *Sostoyanie bioraznobraziya prirodnykh ekosistem Rossii* (Assessment of biodiversity of the natural ecosystems of Russia), Moscow: NIA—Priroda, 2004, pp. 103—113.
- Vomperskii S. E., Sirin A. A., Tsyganova O. P., Valyaeva N. A., Maikov D. A., Bolota i zabolochennyye zemli Rossii: popytka analiza prostranstvennogo raspredeleniya i raznoobraziya (Peatlands and Paludified Lands of Russia: Attempt of Analyses of Spatial Distribution and Diversity), *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2005, no. 5, pp. 39—50.
- Vomperskiy S. E., Ivanov A. I., Tsyganova O. P., Valyaeva N. A., Glukhova T. V., Dubinin A. I., Glukhov A. I., Markelova L. G., Zabolochennyye organogennyye pochvy i bolota Rossii i zapas ugleroda v ikh torfakh (Paludified soils and mires of Russia and carbon pool of their peat), *Pochvovedenie*, 1994, no. 12, pp. 17—25.
- Vomperskiy S. E., Sirin A. A., Sal'nikov A. A., Tsyganova O. P., Valyaeva N. A., Estimation of forest cover extent over peatlands and paludified shallow-peat lands in Russia, *Contemporary Problems of Ecology*, 2011, vol. 4, no. 7, pp. 734—741.
- Zaidel'man F. R., Problemy zashchity osushaemykh torfyanikh pochv ot pozharov i ee reshenie (The problem of protecting drained peat soils from fires and its solution), *Pochvovedenie*, 2011, no. 8, pp. 1000—1009.
- Zhila S. V., *Transformatsiya fitomassy v svetlokhvoinnykh nasazhdeniyakh Nizhnego Priangar'ya pod vozdeistviem pozharov. Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk* (Phytomass transformation in light coniferous stands of the Lower Angara region under the influence of fires. Extended abstract of Candidate's biol. sci. thesis), Krasnoyarsk: Institut lesa SO RAN, 2013, 20 p.
- Zoltai S. C., Morrissey L. A., Livingston G. P., de Groot W. I., Effects of fires on carbon cycling in North American boreal peatlands, *Environmental Reviews*, 1998, vol. 6, pp. 13—24.