

УСЛОВИЯ И ПОСЛЕДСТВИЯ ПОЖАРОВ В СОСНЯКАХ НА ОСУШЕННЫХ БОЛОТАХ*

© 2007 г. С. Э. Вомперский, Т. В. Глухова, М. В. Смагина, А. Г. Ковалев

*Институт лесоведения РАН
143030 Успенское, Одинцовский р-н, Московская обл.*

Поступила в редакцию 23.04.2007 г.

Исследованы распространение и следствия низового почвенного пожара (29 га) в сосняке на различно осушенном сфагновом болоте, являющимся объектом длительных стационарных биогеоценологических наблюдений (Западнодвинский р-н, Тверская обл.). Водно-физические свойства торфа и гидрологический режим лесных осушенных болот анализируются в сравнении с объемной теплопроводной способностью торфа и возможностью его выгорания. Оценивается огневое поражение по площади в связи с нанорельефом и синузальной структурой растительности. Сделано заключение о сравнительно малом реальном увеличении угрозы пожаров, обусловленных собственно мелиорацией, которая в редких случаях может на 10–20 см углубить выгораемый слой торфа по сравнению с пожаром на естественном болоте. Показаны катастрофические для древостоев на мелиорированных болотах следствия даже несильных низовых почвенных пожаров.

Низовые почвенные пожары, разрушение древостоев, выгорание торфа, степень осушения.

Пожары в мелиорированных лесах на торфяниках характеризуются рядом мало исследованных особенностей по сравнению с лесными пожарами на минеральных землях и естественных болотах. О пожарах на естественных болотах существует много литературы [1, 11, 16, 20, 24, 27, 30], но неизвестны специальные (непосредственные) исследования пожаров на осушенных лесных болотах, при этом суждения о возможности горения на них торфа часто слабо обоснованы и противоречивы.

Недостаток знаний об условиях и следствиях пожаров в связи с лесосушением поддерживает неверные стереотипы отношения к гидромелиорации вообще. В засушливое лето 2002 г. массовые лесные и болотные пожары, особенно на заброшенных торфоразработках в центре Европейской части России, привлекли большое внимание средств массовой информации. В частности, звучали и односторонние высказывания о неотвратимости пожаров, обусловленных гидромелиорацией болот, неверные суждения о ее осушающем действии и некоторые неоправданные рекомендации по способам предупреждения таких пожаров.

Настоящая публикация содержит анализ последствий пожара на болоте с участками, по-разному осушенными и постоянно изучаемыми в те-

чение многих лет до него (Западнодвинский лесоболотный стационар Института лесоведения РАН). Эти сведения помогли выявить фитоценологические, почвенные, гидрологические и физические условия распространения огня по площади и в глубь торфа, учесть другие лесозоологические следствия, а также уточнить представления о потенциальной опасности пожаров, связанной с осушением лесных болот.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Изучению был подвергнут пожар и его последствия, который произошел 25–26 августа 1999 г. на различно осушенном сосновом (выпуклом, центрально-олиготрофного хода развития) болотном массиве Сосвятское с глубиной торфяной залежи около 4 м. Многие годы (с 1973 г.) этот массив, как и другие соседние с ним, наблюдается в рамках комплексных исследований Западнодвинского лесоболотного стационара Института лесоведения РАН [6]. Авторы участвовали в тушении пожара и были свидетелями особенностей его распространения. Причина пожара – небрежное обращение с огнем сборщиков голубики. Огонь охватил 29 га юго-западного склона болота, где опытная осушительная сеть, заложенная в 1972 г., имела различные расстояния между канавами при глубине ко времени пожара 1.0 м (рис. 1). Местом возникновения огня был кв. 29, вблизи пр. пл. 1. Огонь продвигался внутри межканавья (160 м) в обоих направлениях, но больше на во-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (02-04-48387, 05-04-49198).

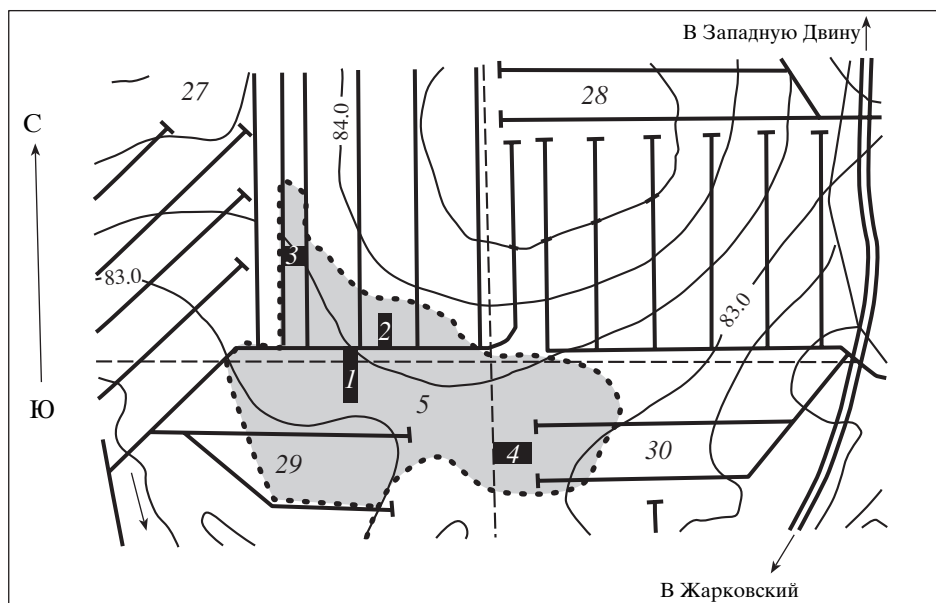


Рис. 1. Фрагмент плана опытно-осушенного (1972 г.) соснового болота: 1, 2, 3, 4 – серии пробных площадей; 5 – площадь, пройденная в 1999 г. пожаром; 27–30 – номера кварталов Велесского лесничества.

сток. Позже низовой пожар перебрался через канаву в кв. 27, где заложены пр. пл. 2 и 3, а также в соседнее с юга межканавье кв. 29. Распространение огня на запад в кв. 27 было приостановлено каналом, продвижение пожара на север продолжалось внутри межканавья 60 м. Приблизительно через 5–7 ч пожар стали тушить: сначала по южной кромке (кв. 29, 30), позже – по северной и восточной. Часть южной границы пожарища в кв. 29 также проходит по осушительной канаве (рис. 1). За 10–12 ч пожар был локализован, в очагах внутри пожарища еще сутки продолжалось тление.

Здесь на торфянике произрастали разновозрастные (40–130 лет) сосняки кустарничково-сфагновые III–IV классов текущего бонитета. В нижних ярусах на участках с различным соотношением видов преобладали среди кустарничков: голубика, багульник, болотный мирт, брусника, подбел, клюква и др.; в травяно-моховом покрове: пушица влагалищная, сфагновые мхи (*Sphagnum angustifolium* (Russ.) C. Jens., *Sph. magellanicum* Brid., *Sph. fuscum* (Schmp.) Klinggg. и др.).

Методика работы предусматривала закладку на пожарище четырех серий пробных площадей (пр. пл.) (0.15–0.24 га) в местах разной интенсивности пожара и степени дренажа (рис. 1) при расстоянии между канавами 160, 106, 60 м и на окрайке болота, соответствующие номера: 1, 1а; 2, 2а; 3, 3а, 3б и 4 (буквы а, б – пробные площади вблизи канав, без буквы – в середине между канавами). Древостои рассматривались как условно двухъярусные. Проводилась перечислительная таксация, определялись возраст деревьев, высота нага-

ра стволов, состояние деревьев через год после пожара (табл. 1) и спустя 5 лет.

Неравномерность воздействия пожара оценивали по степени повреждения синузий напочвенного покрова по площади и глубине выгорания торфа. Зольность торфа определяли как индикатор массы выгоревшего торфа [29] в самом поверхностном (0–2 см) слое и на глубине 5, 10 и 15 см, по 10–15 колонкам с каждой пробной площади.

Поскольку пожар случился на опытно осушенном болоте, на котором 15–20 лет наблюдалась динамика почвенно-грунтовых вод, гидрофизические свойства и другие экологические характеристики, при анализе использовались ранее опубликованные данные по этому объекту.

Послепожарное восстановление напочвенного покрова, кустарничков и самосева древесных пород определялось на площадках 1.0 × 1.0 м по 10–13 шт. на каждой пробной площади, семенное возобновление травяных растений (пушицы) и плотность дерновин зеленого и сфагнового мхов – на площадках 0.2 × 0.2 м по 20 шт. В следующие после пожара годы в летне-осенний период еженедельно на пожарище и в контроле измеряли почвенное дыхание. С помощью метода камер (площадь камеры 0.102 м², объем 31 дм³, экспозиция 20 мин) концентрацию CO₂ определяли посредством инфракрасного газоанализатора.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Погодные условия и глубина почвенно-грунтовых вод. Состояние погоды, изменение условий

Таблица 1. Характеристика мелиорированных кустарничково-сфагновых сосняков, пройденных пожаром

Пр. пл.	Глубина торфа, м	Расстояние между каналами, м	Древостой						Нагар стволов от поверхности почвы, м
			ярус	d, см	h, м	возраст, лет	число деревьев после пожара		
							общее число, шт. га ⁻¹	% погибших	
1	2.8	160	I	11.9	9.4	90–110	708	98	2.8
			II	4.5	5.0	50–90	2250	100	2.2
1a		160	I	12.1	10.0	80–130	826	96	2.5
			II	4.8	5.5	50–80	2304	100	2.0
2	3	106	I	12.9	10.6	100–130	1013	92	1.7
			II	5.8	7.5	60–90	3707	100	1.4
2a		106	I	11.6	10.1	90–130	907	100	3.7
			II	5.3	7.0	40–70	2360	100	2.3
3	3	60	I	12	10.2	70–100	1386	63	0.7
			II	5.5	7.3	50–70	3737	95	0.8
3a		60	I	12.2	10.9	50–110	1211	83	0.8
			II	5.0	6.9	40–60	4754	98	0.6
3б		60	I	12.5	10.4	70–80	1088	69	1.0
			II	5.4	5.9	50–70	2912	97	0.8
4	0.8	Окрайка болот	I	17.1	15.1	60–110	680	53	1.0
			II	5.9	7.0	40–60	1664	89	0.8

тепло- и влагообеспеченности влияет на динамику почвенно-грунтовых вод в мелиорированных лесах. Согласно многолетним данным метеостанции г. Западная Двина (Тверская обл.), среднесуточная температура воздуха за май–октябрь +12.3°C, а количество выпадающих осадков за эти 6 месяцев – 463 мм. Вегетационные периоды 1999–2002 гг. характеризовались более теплой погодой, а также существенно меньшим количеством осадков, кроме 2000 г. В год пожара (1999), за май–июль выпало на 79 мм (33%) меньше нормы. Это вызвало понижение уровня почвенно-грунтовых вод к началу августа до 69–72 см в зависимости от густоты сети вблизи канав, а в середине между ними – до 50–62 см (рис. 2). Прекратился сток по осушительной сети. Однако с 11 по 18 августа, за неделю до пожара, прошли три дождя, осадки при которых в сумме составили 161.5 мм. Уровень почвенно-грунтовых вод резко поднялся. В день пожара на пр. пл. 2 и 3 он был в середине между канавами и вблизи них на глубине 18 и 38 см, 31 и 37 см соответственно (рис. 2). Тем не менее вода в канавах едва проступала, и “добыть” ее для тушения было невозможно. Следующий, 2000 г., был мокрым и прохладным, а 2002 г. – сухим и жарким, когда за полугодие выпало лишь 20% осадков. Как известно, засуха в Европейской части страны летом 2002 г. обусловила большое число пожаров в лесах и на болотах, но на мелио-

рированных (с 1973 г.) болотах стационара (около 3 тыс. га) их, кроме исследованного, не было.

Особенности распространения низового пожара по площади осушенного лесного болота. Визуальные наблюдения во время тушения пожара и последующие исследования свидетельствовали, что огонь по силе пламени и скорости распространения поражал поверхность площади неравномерно, соответственно микрорельефу, наличию и плотности кустарничковых синузий, куртин мелких сосен, обходя сфагновые микропонижения или замедляясь на них. Главными агентами быстрого захвата площади огнем оказались синузии болотных кустарничков, богатых горючими высококалорийными эфирными маслами, которые выделяются и загораются раньше разложения растительных тканей и выделения газообразных продуктов, требующихся для воспламенения [13]. Теплотворная способность листьев багульника заметно выше, чем хвои и древесины сосны: 5800, 5190, 4837 кал г⁻¹ соответственно [2, 23]. Заросли багульника с голубикой быстро охватывались огнем, высота пламени которого во время нашего визуального наблюдения была 1–2 м, но, судя по нагарам стволов на других участках, пройденных пожаром раньше, иногда превышала 3 м (табл. 1). Кустарнички выгорали до основания, их корневища погибали, лишь в более влажных микроучаст-

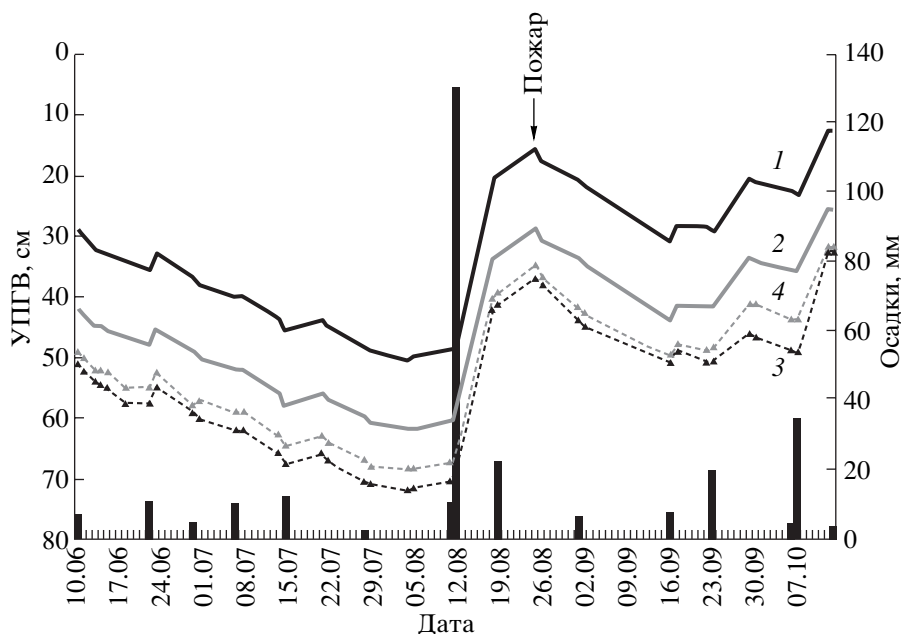


Рис. 2. Динамика уровня почвенно-грунтовых вод (УПГВ) в сосняках на осушенном верховом болоте в год пожара: 1, 2 – УПГВ в середине между канавами, 3, 4 – вблизи них соответственно при расстоянии между ними 106 и 60 м и глубине 1 м.

ках оставались пенечки и корневая система сохранялась.

Способствовали распространению огня также мелкие (низкие) сосны. Хвоя нижних ветвей (вследствие конвективного переноса тепла), подобно кустарничкам, быстро воспламенялась. В поясе облесенного кольца болот центрального олиготрофного типа обычно имеется сухостой старых толстых сосен. Оказавшись в зоне пожара, такие деревья, подгорая у подножия, падали и догорали на земле, создавая дополнительный энергоресурс тепла.

Положительные элементы нанорельефа выгорали полностью. Небольшие кочки, образованные корневищами пушицы и кустарничков, сгорали раньше. Сравнительно большие, образуемые деревьями I яруса, прикомлевыми бугры площадью 0,5–2,0 м² и более горели глубже и дольше. Последние обычно армированы несколькими ярусами опорных корней сосен предыдущих генераций [12], они и теперь заняты деревьями I яруса. Вследствие осадки торфа после гидромелиорации относительная высота и локальный дренаж таких бугров увеличиваются. В них много пустот, обуславливающих при горении тягу, как в печке. Торф и мелкие старые корни, заполняющие объем микроповышений, выгорали под основаниями растущих деревьев. Крупные опорные корни обугливались и оказывались после пожара над поверхностью почвы.

Ровные и особенно пониженные местоположения в нанорельефе характеризуются большей

влажностью. Они заняты преимущественно сфагновым покровом и мелкими редкими сосенками, непосредственно огнем поражались значительно реже, либо с меньшей силой. Имеются данные, что сфагновые микропонижения выгорают больше, чем кочки, отчего сделано предположение, что последние в засуху теряют меньше воды [27]. В наших условиях этого не наблюдалось.

Степень осушения – расстояние между канавами – не оказывала особого влияния на скорость и площадь распространения огня внутри межканавного пространства. Как отмечалось выше, осушительные канавы ограничивали распространение огня на западе и на юге пожарища (рис. 1), но в активной фазе низового пожара с ветром горючий материал перебрасывался через канаву из кв. 29 в кв. 27. Имели значение наличие яруса кустарничков и порывы ветра, приносившие тепло с уже охваченной пожаром площади. Низовой пожар на болотах может переходить в почвенно-торфяный различной степени развития. Линейное распространение горения торфа очень медленное, порядка 1,0 м сут⁻¹ [16]. В нашем случае на всех межканавных около 10–25% поверхности почвы оказалось либо очень слабо, либо совсем не затронуто почвенным пожаром. Примерно 40–70% площади выгорело на 5–10 см вглубь по ровным участкам и микроповышениям, 10–20% – по прикомлевым буграм до глубины 20 см относительно ровных мест.

Условия и выгораемый поверхностный слой торфа. Любая стадия пожара (возгорание, рас-

пространение по поверхности и в глубь торфяника, погасание) зависит от теплообмена в местах контакта органического материала с огнем. Баланс теплотокмов разной физической природы (конвекция, излучение, другие виды переноса тепла) как внешних, так и освобождаемых горящим материалом, определяет горение [13].

В природной обстановке встречается самое разное сочетание условий и факторов тепло- и влагообмена. Они носят вероятностный характер, затрудняя прогноз развития конкретного пожара и надежность его моделирования [9, 13]. Вот почему устанавливаемая по частным случаям полевых наблюдений “критическая” влажность торфа на болоте дает противоречивые результаты для начала его горения: 400% [15], 230 [3], 152–274 [10], 235 [28], 200% для наземного горения и 400–500% для подземного [20]. Согласно лабораторным данным, возгорание растительного материала происходит при влажности, близкой к гигроскопической 26–40% [17, 25].

Специфика гидрофизических свойств торфяных почв сильно ограничивает их выгорание вглубь прежде всего содержанием в них влаги и ее капиллярным потоком от уровня почвенно-грунтовых вод (УПГВ) к границе горения. Для верхних 0–10 см сфагновых и кустарничково-сфагновых торфяников характерны рыхлость сложения, очень большая влагоемкость, малая объемная масса, низкая высота капиллярной каймы, но большой расход влаги даже на поверхности каймы. Она в сфагновом очесе не превышает 15–20 см [19]. В слаборазложившихся растительных остатках существенную часть влагозапасов составляет внутриклеточная вода, не подверженная силам гравитации (не связана с УПГВ) и расходуемая только на испарение [19]. В глубоких слоях торф становится более плотным, нередко с большей степенью разложения, а некапиллярная порозность значительно уменьшается, возрастает действие менисковых сил, увеличивающих высоту подъема воды от УПГВ.

Каково в единице объема поверхностного слоя почвы соотношение влаги и горючего материала на осушенных лесных болотах? Какой влагозапас может испарить собственная энергия торфа и какова возможная глубина выгорания торфа, соответствующая типичному УПГВ и влажности осушенных лесных болот?

Теплотворная способность воздушно-сухого торфа (40% влажности) оценивается в 2650–3120 ккал кг⁻¹ [21]. Преобладающие на наблюдаемом нами пожарище комплексные верховые и сфагновые, слабо разложившиеся торфяные отложения относятся к пониженно энергоемким, и середина приведенного интервала (2885 ккал кг⁻¹) заведомо не занижает их теплотворную способность, что в пересчете на абсолютно сухое состо-

яние дает 4808 ккал кг⁻¹. Почти такая же цифра (разница 2%) может быть получена расчетом через теплоту сгорания горючей массы верховых торфов [14].

Заметим, что хотя осушение ведет к уплотнению торфа, объемная масса последнего остается низкой. В нашем случае спустя 25 лет после мелиорации она была в слоях 0–5, 6–10, 11–20 см от поверхности соответственно в пределах 0.050–0.068; 0.060–0.080 и 0.075–0.087 г см⁻³ абсолютно сухого торфа. Следовательно, удельное по объему выделение энергии при сгорании торфа в этих слоях в среднем составляет 283–389 ккал см⁻³. Этой энергии хватило бы для испарения 0.47–0.65 г воды, соответствующей 800% влажности торфа, если бы не было других ее затрат. Расход на кондукцию увеличивается при росте влажности от 68 до 98% на сырую массу, теплопроводность возрастает более чем в 3 раза [22].

Согласно ранее проведенным 10-летним рядам наблюдений за УПГВ на различно осушенных болотах Западновинского стационара, включая впоследствии пораженное пожаром, была построена математическая модель связи вероятности тех или иных уровней почвенно-грунтовых вод со степенью осушения [7]. Как видно из рис. 3, положение УПГВ в интервале 20–40 см (близкое к моменту пожара) при расстоянии между канавами 106 м имеет вероятность более 0.5, а при 60 м – около 0.7, т.е. довольно часто случающееся. Подъем уровней выше $z_{\max} = 20$ см – явление довольно редкое при расстоянии между канавами 60 м, как и выше $z_{\max} = 10$ см при 106 м (рис. 3). Но особенно редко УПГВ может опускаться (даже при 60 м между канавами) до глубины 50–70 см с вероятностью (P) лишь 0.05 и меньше (рис. 3). Тем не менее это случается, так было в начале августа 1999 г. до пожара (рис. 2).

Из этих данных следует, что в среднемноголетнем ряду выгорание осушенных торфяников более 10 см вглубь при расстоянии между канавами 106 м и более 20 см – при 60 м маловероятно, так как глубже 7–8 см находится УПГВ, а затопленный торф на 95–97% объема состоит из воды. Однако при понижении УПГВ на 40–60 см и более влажность поверхностного 0–20 см слоя может колебаться в течение сезона в очень широких пределах: от 200 до 1000% и более [5, 6]. Возможное при сгорании освобождение энергии единицей объема торфа нередко может превышать ее расход на испарение при влажности поверхностного слоя менее 800%. Процесс далее регулируется капиллярным расходом воды от УПГВ. Этот поток влаги над уровнем (порядка 10 см) значительно превышает обычный, естественный расход ее на испарение и сопровождается понижением УПГВ [19]. Важно, чтобы УПГВ присутствовал в торфяной залежи, тогда вертикальное

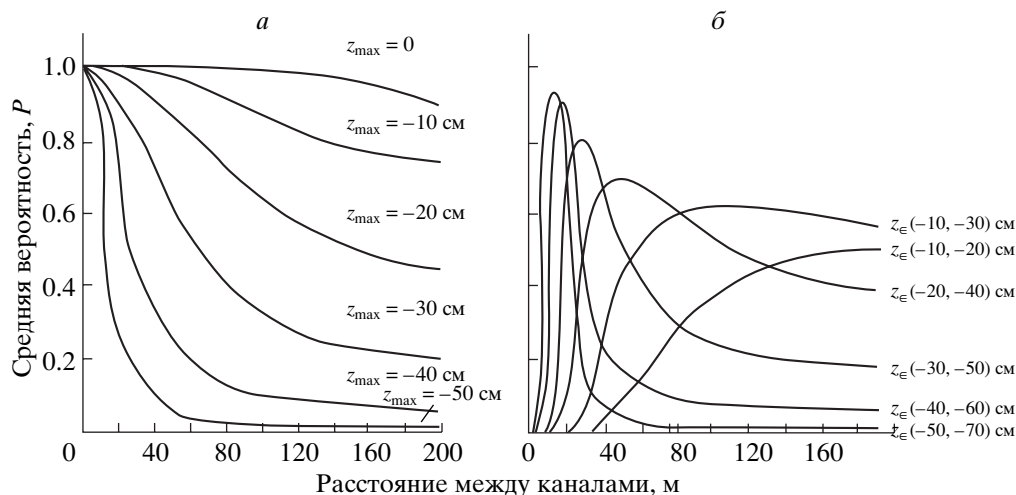


Рис. 3. Средняя вероятность (P) нахождения почвенно-грунтовых вод на уровне не выше $-z_{\max}$ (а) или в заданном интервале $-z_c$ (б) при разном расстоянии между канавами глубиной 1 м в сосняках на осушенных верховых болотах [6].

распространение огня вглубь становится невозможным.

Выше отмечалось, что прохождение низового пожара по площади мало зависело от степени осушения, а больше от наличия кустарничкового яруса и условий наземного переноса тепла с уже горячей территории. В определенной мере это влияло и на развитие торфяного пожара. Его интенсивность в данном исследовании определялась по избыточной зольности современного поверхностного слоя в профиле почвы выгоревших участков. Вследствие пространственно-временных различий условий горения избыточная зольность в расчете на всю пробную площадь оценена лишь приблизительно (табл. 2). Тем не менее заметна тенденция большего выгорания в приканавных полосах по сравнению с серединой между ними (пр. пл. 2, 3). В среднем расчетная глубина выгоревшего слоя оценивается от 1–2 см (160 м

между канавами) до 7–11 см (при 60 м). На окрайке болота (пр. пл. 4) по очагам выгорание было глубже, но в среднем по всей площади таким же. На этом объекте были отчетливо видны выгоревшие на 5–7 см вглубь и 1.5–3.0 м вокруг деревьев участки, где расположены скелетные опорные корни. Раскачивание деревьев ветром отрывает над корнями поверхностный слой, капиллярная связь нарушается, и он сильнее просыхает, легче выгорает. Сами корни не обязательно обнажаются, если огонь был беглым.

Иногда высказывается мнение о возможности беспламенного выгорания верховой залежи на 2–3 м вглубь при высокой влажности торфа (400–500%) и недостатке кислорода [20]. Нам неизвестны экспериментально обоснованные натурные исследования условий таких пожаров, механизмов и скорости их распространения.

Таблица 2. Сгоревшее органическое вещество и слой торфа в расчете на всю площадь

Пр. пл.	Расстояние между канавами, м	Зольность торфа, %		Сгоревшие	
		до пожара	на выгоревших участках	органическое вещество, кг м ⁻²	слой торфа, см
1	160	5.0	7.4	1.56	2.4
1а	160	5.1	6.5	0.81	1.3
2	106	4.1	9.7	3.68	5.7
2а	106	4.0	8.2	4.84	7.5
3	60	3.8	4.9	1.57	3.1
3а	60	4.6	6.7	2.53	5.2
3б	60	4.6	9.8	3.69	7.7
4	Окрайка болот	3.9	8.7	5.42	10.6

Согласно канадским данным, выгорание поверхностного слоя торфа отмечается лишь на 18% площади всех болотных пожарниц [30]. Эта закономерность, можно полагать, ослабляется гидролесомелиорацией, однако не отменяется, и трудности “поджигания” торфа сохраняются; превращение любого низового пожара на осушенном болоте в почвенно-торфяной совсем необязательно. Как отмечалось, в нашем случае в межканавьях 10–25% площадей не было затронуто выгоранием.

Свойственная осушенным болотам большая во времени изменчивость влажности торфа в слоях 0–5, 5–10 см отражает их рыхлое сложение и слабую зависимость от УПГВ. Влажность дневного горизонта почвы в переменчивую погоду с небольшими осадками или в засуху может совершенно не отличаться от естественных болот. В эти периоды возгораемость естественных и осушенных болот одинакова. В относительно устойчивые “средние” погодные условия, когда влагораспределение в зоне аэрации приближается к равновесному, возгораемость осушенных болот может быть большей, хотя есть точка зрения, что она вообще не отличается от естественных болот [1].

Гидролесомелиорация во всех северных странах базируется на относительном понижении уровня болотных вод всего на 20–30 см. Поэтому увеличение выгорания собственно за счет пожарной опасности может выражаться лишь в возможно большем (в пределах 20–30 см) слое выгоревшего торфа. Вероятность таких пожаров очень мала. Скорее типичным можно считать исследованный случай с незначительным выгоранием (в среднем не более 10 см вглубь), которому на естественных болотах соответствовал бы только низовой пожар без перехода в стадию почвенно-торфяного. Что же касается крайне засушливых периодов, когда почвенно-грунтовые воды опускаются очень глубоко, то выгорание торфа естественных и осушенных для лесного хозяйства болот не отличается и может распространяться на всю глубину залежи.

Некоторые лесоэкологические последствия пожаров на осушенных болотах. Эти следствия связаны прежде всего с гибелью более продуктивных, чем до осушения, древостоев. В отличие от сравнительно небольшого в исследованном случае ущерба в потерях массы торфа пожар имел катастрофические последствия для лесных насаждений (табл. 1). Они оказались несколько более сильными в относительно менее осушенных местопроизрастаниях (пр. пл. 1а, 2а). Гибель деревьев в обоих ярусах приближалась к 100%, лишь в самом высоком I ярусе древостоя на краю болота с очаговым выгоранием (пр. пл. 4) она оказалась меньшей – 53%. Во всех случаях причины гибели деревьев были очевидны: ожог или

сгорание камбиального слоя стволов и хвои тонкомера, выгорание мелких корней деревьев в поверхностном слое торфяной почвы и повреждение (отмирание) камбия толстых корней у оснований стволов. Значительная часть древостоя оказалась пораженной уже на стадии собственно низового пожара до его перехода в стадию почвенно-торфяного.

В самом общем виде можно считать лесные экосистемы на осушенных торфяниках более ранними, чем на естественно дренированных минеральных землях, где низовой пожар не переходит в почвенный. К тому же в сосняках на олиготрофных и мезоолиготрофных осушенных болотах часто имеется хорошо развитый ярус болотных кустарничков, опасных агентов горимости.

Спустя 5 лет после пожара, несмотря на размножение соснового лубоеда, гибель уцелевших (живых) деревьев оказалась не столь значительной, как можно было ожидать. Число живых деревьев сократилось максимум на 20%, что по массе стволовой древесины составляло уменьшение на 0.1–1.0 кг м⁻² (рис. 4). Наибольшая масса засохших сразу после пожара около 11 кг м⁻² на пр. пл. 2. Сухостой постепенно падает, пополняя запас валежа, максимальная масса которого оказалась несколько больше (6 кг м⁻²) на пр. пл. 2 и 3. Большинство упавших деревьев зависли на корневых лапах. Они представляют определенную пожарную угрозу, поэтому необходимы их уборка и складирование.

Послепожарное восстановление кустарничкового яруса в зависимости от степени выгорания разнится, но в целом происходит довольно быстро. Это случается, даже если полностью выгорели их надземные части, остались пенечки и корневища. Уже в первый год после пожара вегетативно, из спящих почек и корневищ багульника, голубики, болотного мирта, образуются новые побеги. Голубика на третий год дает обильный урожай. Процесс возобновления замедляется, если выгорают корневища с поверхностным торфом. Но сначала от оставшихся частей корневищ, а затем семенным путем кустарнички полностью восстанавливаются.

Из травянистых растений более успешно вегетативное восстановление, рост, цветение, семеношение и распространение осуществляет пушица влагалищная, для возобновления которой благоприятно повышение зольности торфа после пожара. Уже через месяц после пожара (в сентябре) пушица обильно образует новые стебли и полностью воссоздает надземную часть, если ее корневища сохранились. Лучше всего семенное восстановление происходит в выгоревших пониженных влажных участках. Плотность всходов в 2001 г. в таких местоположениях была 80–280 шт. на площадке 20 × 20 см. Засуха 2002 г. обусловила зна-

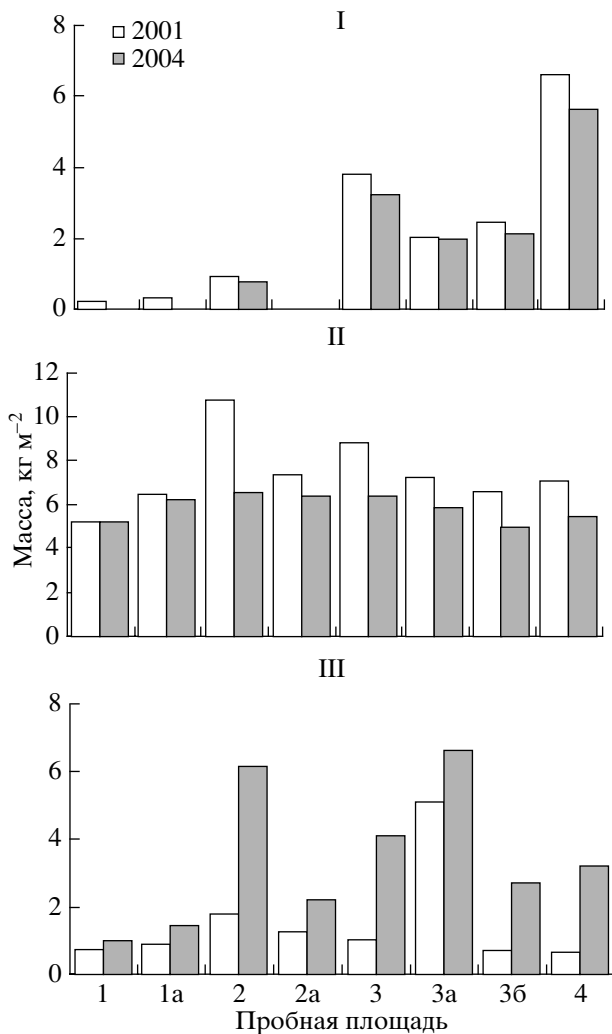


Рис. 4. Масса стволовой древесины в осушенных сосняках спустя 2 и 5 лет после пожара. I – живые деревья; II – сухостой; III – валеж. Пробные площади 1, 2, 3 – в середине между канавами при расстоянии между ними соответственно 160, 106 и 60 м; 1а, 2а, 3а и 3б – вблизи каналов; 4 – окрайка болота.

чительное усыхание молодой пушицы, но ее позиции в ценозе нижнего яруса явно усилились после пожара.

Марьянник возобновляется после пожара плохо, отмечено присутствие ожики волосистой, молинии, иван-чая, а также вереска. Высота растений иван-чая не более 10 см, что говорит о неблагоприятных для него условиях на горячих осушенных олиготрофных болотах в первые 2–3 года.

Моховый покров в первые 3 года после пожара представлен более всего зелеными мхами, получающими на осушенных верховых болотах большее участие в покрове, чем до пожара. Обильное развитие после пожара *Polytrichum commune* Hedw. – хорошо известный факт [18]. Сфагнум появлялся единично среди зеленых мхов – *Polytrichum strictum*

Brid., *Dicranum rugosum* Brid., *Pleurozium schreberi* Mott., что также отмечалось на горячих олиготрофных болотах в Канаде [26].

Возобновление древесных пород на горячих осушенных болотах в первые годы идет аналогично естественно дренированным местопроизрастаниям. Лиственные (береза и осина) в первый после пожара год дают обильные всходы по выгоревшим участкам, но хороший прирост показывают лишь по микропонижениям. Возобновление сосны, зависящее от семенных лет, пока задерживается. В нашем случае даже на выгоревших местоположениях ее всходы единичны.

Среди других экологических характеристик приведем результаты трехлетних наблюдений за почвенным дыханием различно пораженных пожаром участков осушенного сосняка. Послепожарная эмиссия CO_2 относится к очень слабо исследованным процессам функционирования биогеоценозов. Медленным и длительным считается продуцирование CO_2 за счет разложения образовавшегося сухостоя и его крупных корней, более быстрым – за счет несгоревшего мелкого опада ветвей, хвои, коры, тонких корней, напочвенного покрова, а также упавших стволов. К последствиям пожара могут относиться и изменения в активности биологических деструкторов в поверхностном слое торфа, и, конечно, уменьшение автотрофного источника дыхания из-за гибели растений.

Камеры – накопители CO_2 были установлены в варианте осушения с расстоянием между канавами 106 м в серии пр. пл. 2 в четырех разных по воздействию пожара местах. Непосредственно у канавы, на берме (2а), не осталось растительности, торф выгорел вглубь на 5–10 см; в середине между канавами травяно-моховый покров сохранился на 20–50%, торф местами выгорел до 3–5 см, древесной усьох (2_1), а также там, где напочвенный покров пострадал меньше, сохранился на 60–70% площади, древесной частично остался живым (2_2); и на участке, не затронутом пожаром (контроль).

Как видно из рис. 5, эмиссия по вариантам в сезонной динамике не всегда сохраняет согласованность, однако отчетливо заметно по разным срокам более частое преобладание (примерно на треть) потока CO_2 в контроле, где растительность не нарушена по сравнению с различно пораженными участками ($2а$, 2_1 , 2_2). Меньшие значения эмиссии CO_2 свойственны выгоревшей берме ($2а$). Эти данные согласуются с некоторыми литературными сведениями об оценке вклада автотрофной эмиссии CO_2 в почвенное дыхание [4]. Максимальные значения эмиссии характерны для середины лета, минимальные – для конца вегетационного периода, но по годам существуют различия вследствие колебания погодных условий. Проведенная в 2001 г. на этой пробной пло-

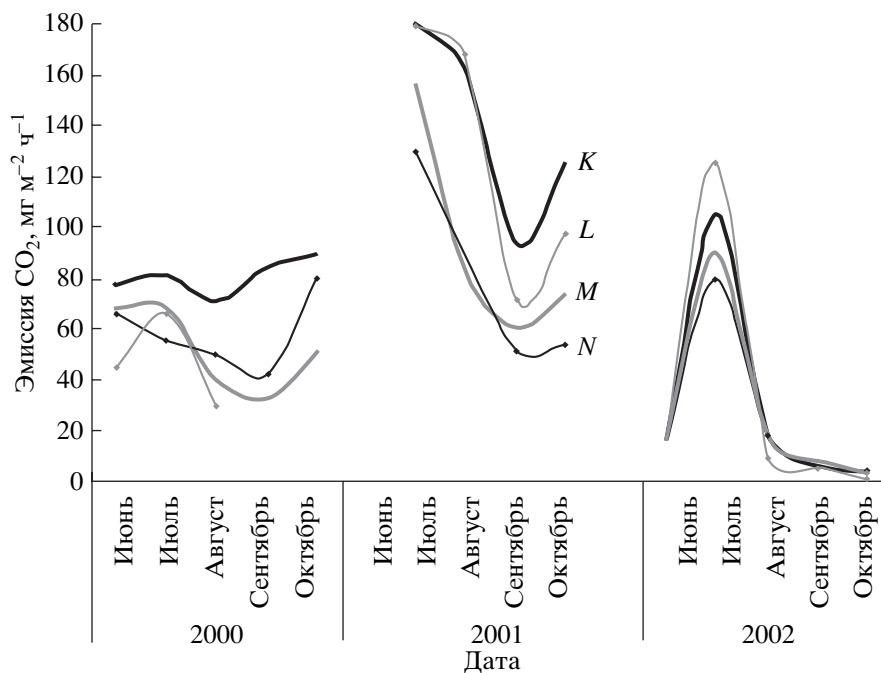


Рис. 5. Послепожарная эмиссия CO_2 с поверхности почвы (расстояние между канавами 106 м). Места измерения по нарастанию степени воздействия пожара: K – контроль; L, M, N – 2₂, 2₁ и 2а соответственно (пояснения в тексте).

щадя оценка состояния микроицетных комплексов на берме канала и в середине межканавного пространства показала [8], что даже верхний под пеплом слой торфа 0–5 см не остался полностью простерилизованным, и содержание грибной биомассы составляло 5–5.5 мг г^{-1} по сравнению с контролем – 14.5–22.7 мг г^{-1} . Этим объясняется сохранение, хотя и значительно меньшей гетеротрофной эмиссии из слоя торфа, непосредственно примыкающего в профиле торфяной залежи к границе выгорания.

Заключение. Степень осушения сосняков на торфяниках не оказала своего влияния на скорость и площадь распространения низового пожара. Главными его агентами были ярус болотных кустарничков и порывы ветра. При стихании ветра или его отсутствии осушительная сеть локализует пожар в пределах межканавья.

Положительные элементы нанорельефа с кустарничками, а также прикомлевые бугры становятся очагами возникновения почвенно-торфяного пожара. Его вероятность с осушением болот, по-видимому, увеличивается. Вследствие того, что влажность поверхностного слоя (0–5 см) больше зависит от погодных условий, чем от глубины почвенно-грунтовых вод, возгораемость торфа естественных и осушенных болот в большинстве случаев аналогичны.

Независимо от степени осушения не затронутая почвенным пожаром площадь составляла 10–25%. Глубина выгорания торфа, несколько меньшая в середине между канавами, чем вблизи них,

составляла в среднем 1–2 см при 160 м между канавами и 7–11 см – при 60 м.

Невысокая объемная теплопроводная способность торфа (280–390 кал см^{-3}), большие влажность и капиллярный подток ограничивают возможность распространения огня вглубь. Выгорание торфа до 10 и 20 см соответственно при расстоянии между канавами 106 и 60 м возможно, глубже – маловероятно. Гидролесомелиорация базируется на относительном понижении болотных вод на 20–30 см. Осушенные болота в редких случаях предельно выгорают на эту глубину в отличие от естественных болот. В крайне засушливые годы, когда уровни болотных вод опускаются глубоко, ниже дна канав или всей торфяной залежи, торфяник может выгореть на значительную глубину независимо от гидромелиорации.

Лесные экосистемы на осушенных болотах более ранимы низовыми пожарами, чем леса на минеральных землях, где не развивается почвенный пожар. Гибель продуктивных мелиорированных сосняков приближается к 100% от сгорания или повреждения камбиального слоя деревьев, хвои, тонкомера и корней даже при сравнительно несильном пожаре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арцыбашев Е.С. Проблема пожаров на оторфованных лесных землях // Лес. хоз-во. 2006. № 5. С. 36–38.
2. Амосов Г.А. Некоторые закономерности горения при лесных пожарах. Л.: ЛенНИИЛХ, 1958. 30 с.

3. Белов С.В. Лесная пирология. Уч. пособие для с.-х. факультетов. Л.: ЛТА, 1976. 64 с.
4. Благодатский С.А., Ларионов А.А., Евдокимов И.В. Вклад дыхания корней в эмиссию CO₂ из почвы // Дыхание почвы. Сб. научн. ст. Пущино. ОНТИ ПНЦ РАН, 1993. С. 26–32.
5. Вомперский С.Э., Сабо Е.Д., Формин А.С. Лесоосушительная мелиорация. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 295 с.
6. Вомперский С.Э. Биогеоэкологическое изучение осушаемых лесов в Калининской области (Западновинский стационар) // Стационарные исследования Лаборатории лесоведения АН СССР. М.: Наука, 1984. С. 24–35.
7. Вомперский С.Э., Рубцов В.В., Дудоров А.В. Модель динамики почвенно-грунтовых вод в межкаванном пространстве // Использование математического моделирования в экологических исследованиях лесов и болот. Саласпилс: НПО "Силава", 1984. С. 100–105.
8. Головченко А.В., Иванова А.О., Глухова Т.В., Смагина М.В. Состояние микроицетных комплексов в верховых торфяниках, пройденных низовым пожаром // Проблемы лесной фитопатологии и микологии. Матер. 5-й Междунар. конф. Москва, 7–13 октября 2002. М.: ВНИИЛМ, 2002. С. 66–71.
9. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск: Наука, 1992. 407 с.
10. Гундар С.В. Почвенные пожары в бассейне Нижнего Амура, их профилактика и тушение: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.01. Красноярск, 1978. 24 с.
11. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П. Торфяные пожары как экологический фактор развития лесоболотных экосистем // Экология. 1994. № 5. С. 27–34.
12. Иванов А.И. Структура и первичная продуктивность сосняков болотного ряда: Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.03.03. М.: МГУ, 1979. 24 с.
13. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов. Новосибирск: Наука, 1977. 239 с.
14. Король Н.Т. Характеристика химических, физико-химических и технических свойств главнейших видов торфа Северо-Западного района // Природа болот и методы их исследований. Л.: Наука, 1967. С. 165–168.
15. Курбатский Н.П. Определение степени пожарной опасности в лесах // Лесн. хоз-во. 1957. № 7. С. 52–57.
16. Курбатский Н.П., Красавина Н.Н., Жданко В.А. Лесные почвенные пожары и борьба с ними. Л.: ЛенНИИЛХ, 1957. 31 с.
17. Мелехов И.С. Влияние пожаров на лес. М.; Л.: Гос. лесотехническое изд-во, 1948. 126 с.
18. Пьявченко Н.И. Лесное болотоведение. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 192 с.
19. Романов В.В. Гидрофизика болот. Л.: Гидрометеоздат, 1961. 360 с.
20. Софронов М.А., Волокитина А.В. Лесные почвенно-торфяные пожары на юге Западной Сибири // Лесное хоз-во. 1986. № 5. С. 56–58.
21. Торф БСЭ. 1977. Т. 26. С. 117–120.
22. Тюремнов С.Н. Торфяные месторождения и их разведка. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1949. 464 с.
23. Уткин А.И. Теплота сгорания как экологическая мера // Вопросы биогеоэкологии и географии: доклады на III ежегодных чтениях памяти В.Н. Сукачева. М.: Наука, 1986. С. 13–60.
24. Фуряев В.В. Влияние уровня грунтовых вод на пожарное созревание заболоченных и болотных лесов Кеть-Чулымского междуречья // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: Красноярский рабочий, 1970. С. 286–219.
25. Шешуков М.А. Исследование природы лесных пожаров в основных лесных формациях Нижнего Приамурья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.562. Хабаровск, 1970. 20 с.
26. Benschoter B.W., Brian W. Post-fire bryophyte establishment in a continental bog // J. Vegetation Sci. 2006. V. 17. P. 647–652.
27. Benschoter B.W., Wieder R.K. Variability in organic matter lost by combustion in a boreal bog during the 2001 Chisholm fire // Can. J. Forest Res. 2003. V. 33. P. 2509–2513.
28. Chistjakov V.I., Kuprijanov A.I., Gorshkov V.V., Artsybashev E.S. Measures for fire-prevention on peat deposits // The Role of Fire in Northern Circumpolar Ecosystem / Eds. Wein R.W. et al. Chichester: J. Wiley & Sons Ltd., 1983. P. 259–271.
29. Turetsky M.R., Wieder R.K. A direct approach to quantifying organic matter lost as a result of peatland wildfire // Can. J. Forest Res. 2001. V. 31. P. 363–366.
30. Zoltai S.C., Morrissey L.A., Livingston G.P., de Groot W.J. Effects of fires on carbon cycling in North American boreal peatlands // Environ. Rev. 1998. V. 6. P. 13–24.

The Conditions and Consequences of Fires in Pine Forests on Drained Bogs

S. E. Vomperskii, T. V. Glukhova, M. V. Smagina, A. G. Kovalev

The distribution and consequences of a ground fire on a differently drained sphagnum bog (29 ha) – an object of long-term biogeocenological studies (Zapadnodvinskii district, Tver oblast) – were investigated. The water-physical properties and hydrological regime of drained forest bogs are analyzed related to the volumetric calorific value of peat and potentialities of its burning out. The fire damage is assessed in relation to the nanorelief and sinusium structure of vegetation. An increase in the real threat of fires due to the amelioration itself is insignificant. In rare cases, ameliorative burning can deepen the peat layer only by 10–20 cm as opposed to the depth of the burned layer formed after fire on a natural bog. The catastrophic consequences for forest stands on ameliorated bogs even after weak ground fires are shown.