

Пирогенная трансформация почв сосняков средней тайги Красноярского края

И. Н. БЕЗКОРОВАЙНАЯ¹, Г. А. ИВАНОВА¹, П. А. ТАРАСОВ², Н. Д. СОРОКИН¹,
А. В. БОГОРОДСКАЯ¹, В. А. ИВАНОВ², С. Г. КОНАРД³, Д. ДЖ. МАКРАЕ⁴

¹Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН

²Красноярский государственный технологический университет

³Лесная служба Департамента сельского хозяйства США

⁴Канадская служба Министерства природных ресурсов Канады

АННОТАЦИЯ

Рассматривается влияние низовых пожаров разной интенсивности на основные физические, физико-химические, химические и биологические свойства почв в среднетаежных сосняках. Рассмотрено воздействие пожаров на микрофлору и комплексы беспозвоночных песчаных подзолов и процессы послепожарной трансформации почвенного населения.

Пожары – один из основных факторов коренных изменений естественной динамики бореальных лесов Сибири. Их влияние на лесные экосистемы многопланово и сложно. Пожары часто нарушают естественное равновесие между отдельными компонентами биогеоценозов, что существенно изменяет внешний облик лесов [1–3]. Почва как неотъемлемая составная часть лесного сообщества также испытывает на себе разностороннее влияние пожаров. Одной из первых среди почвенных компонентов на пирогенное воздействие реагирует педобиота, что проявляется в изменении ее видового состава и соотношения эколого-трофических групп [4–6].

Общей чертой пожаров в бореальных лесах Сибири является изменчивость интенсивности, следовательно, разрушительной силы в масштабе ландшафта. В лесах Средней Сибири 80 % пожаров – низовые. Интенсивность пожара определяет степень изменения отдельных компонентов лесного сообщества,

скорость и пути восстановления биологического разнообразия.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Оценка пирогенного воздействия на основные физические, химические и биологические свойства почв, а также их послепожарного восстановления проводится в сосняках лишайниково-зеленомошной группы типов леса средней тайги Приенисейской Сибири (60°38' с.ш., 89°41' в.д.).

Территория района исследований расположена на Сымской равнине, которая является дренированным участком восточной окраины Западно-Сибирской равнины. Климат этой зоны прохладный и влажный. Среднегодовая температура от –3,2° до –5,7 °С. Безморозный период длится 86–107 дней. Годовая сумма осадков – 450–500 мм [7]. Наибольшее количество осадков приходится на летние месяцы, тем не менее засушливые

периоды здесь часты, что обуславливает горимость лесов в летний период. Крупные пожары в это время года многочисленны, и горимость лесов территории определяется как высокая [8]. Общая лесистость территории – 73 %, заболоченность – 27 %. На сосновые леса приходится 42,5 % лесопокрытой площади [9].

Почвенно-биогеоценологические исследования проводили общепринятыми методами [10–20].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Экспериментальные участки расположены в сосняке кустарничково-лишайниково-зеленомошном. Состав древостоя на участках 10С, средний возраст – 200–250 лет, IV–V бонитета, со средним диаметром 30–35 см и высотой 22 м (табл. 1). Подрост 10С, разновозрастный, средний возраст 20–25 лет, высотой до 0,5 м. Подлесок редкий, представлены единично шиповник (*Rosa acicularis*), ива козья (*Salix caprea*). Напочвенный покров дифференцирован по условиям микросреды, общее проективное покрытие его определяется сомкнутостью крон. Синузиальная структура четко выражена и обусловлена микрорельефом, давностью и интенсивностью последнего пожара. Общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса от 15–20 до 40 %, высота 20–35 см. Доминируют кустарнички: в более дренированных экотопах преобладает брусника (*Vaccinium vitis idaea* L.), в мезотрофных – черника (*V. myrtillus*), на участках с повышенным увлажнением – багульник (*Ledum palustre* L.), в переувлажненных – болотные кустарнички.

Общие запасы травяно-кустарничкового яруса 68–75 г/м² (V = 24–46 %). Проективное покрытие мохового покрова составляет 60–100 %, доминирует плеуроциум Шребера (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.), запасы – 445–470 г/м². Лишайниковый покров развит повсеместно, проективное покрытие 20–100 %, запасы – 240–300 г/м².

Почвенный покров представлен иллювиально-железистым песчаным подзолом на аллювиальном мелкозернистом бескарбонатном песке. Почва характеризуется мощным профилем, отчетливо дифференцированным на следующие горизонты: О (0–5 см) – Е (5–13 см) – Вf1 (13–45 см) – Вf2 (45–75 см) – Вf2С (75–95 см) – С (глубже 95 см).

Подстилка (мощностью 4–5 см) по степени трансформации составляющего ее материала неоднородна и содержит мелкие угольки. Она резко сменяется сравнительно мало мощным (до 10 см) серовато-белесым подзолистым горизонтом, ясно переходящим в иллювиально-железистый. Последний уплотнен, имеет мощность >60 см и коричнево-охристую окраску с ржавыми пятнами и потеками в нижней части. Из-за этих морфологических особенностей данного горизонта он подразделяется на подгоризонты Вf1 и Вf2. Вследствие растянутого перехода в материнскую породу дополнительно выделен горизонт Вf2С. Все горизонты сложены мелкозернистым песком с характерным для подзолов распределением физической глины по профилю. Минимальное содержание ее частиц отмечается в подзолистом горизонте (4,3 %), максимальное – в верхней части иллювиально-железистого (8,4 %).

Т а б л и ц а 1

Таксационно-лесоводственная характеристика экспериментальных участков и параметры поведения пожаров на них

Тип леса	Состав древостоя	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Полнота	Скорость распространения огня, м/мин	Интенсивность кромки, кВт/м
Кустарничково-зеленомошный (контроль)	10С	22	30	0,6	–	–
Лишайниково-кустарничково-зеленомошный (участок № 13)	10С	22	32	1,0	2,0	828
Лишайниково-кустарничково-зеленомошный (участок № 14)	10С	22	35	1,0	9,0	6513

Физико-химическая характеристика песчаного подзола сосняка кустарничково-лишайниково-зеленомошного

Горизонт, см глубина, см	Гумус, %	Азот ва- ловой, %	С : N	pH	Гидроли- тическая кислот- ность	Сумма поглотен- ных оснований	Емкость поглощения почвы	Степень насыщенно- сти осно- ваниями, %	N-NH ₄ , мг/кг	Подвижные, мг/кг	
										водное	солевое
<i>Контроль</i>											
<i>Участок № 13, 2002 г.</i>											
О, 0-5	78,7*	—	—	3,63	2,80	14,49	—	—	105,0	250,0	163,0
Е, 5-10	0,31	0,015	12,0	4,59	3,69	1,34	3,07	4,41	6,5	5,5	9,0
Вf1, 10-20	0,52	0,020	15,1	4,91	4,05	1,71	3,35	5,06	—	—	—
Вf1, 20-30	0,45	0,024	10,9	5,33	4,46	1,89	3,83	5,72	—	—	—
<i>Участок № 14, 2002 г.</i>											
О, 0-5	78,1	0,69	56,6	4,44	3,03	11,80	—	—	—	71,0	537,0
Е, 5-10	0,35	0,062	5,6	4,78	3,78	2,18	1,44	3,62	4,4	3,2	26,1
Вf1, 10-20	0,21	0,043	4,9	5,28	4,64	1,79	6,81	8,60	4,6	46,9	41,3
Вf1, 20-30	0,22	0,028	7,9	5,23	4,48	1,56	6,37	7,93	3,8	32,0	51,0
<i>Участок № 14, 2002 г.</i>											
О, 0-5	91,3	1,34	34,1	4,75	3,45	10,77	—	—	—	169,0	833,5
Е, 5-10	0,36	0,028	12,9	5,10	3,95	1,02	1,35	2,37	3,8	3,3	42,4
Вf1, 10-20	0,32	0,028	11,4	5,25	4,60	1,82	6,65	8,47	6,3	64,1	82,5
Вf1, 20-30	0,16	0,023	7,0	5,63	4,80	1,45	5,95	7,40	4,6	45,9	82,8

*Потеря при прокаливании.

**Не определялось.

Численность азотмобилизующих микроорганизмов и коэффициенты минерализации и олиготрофности почв после пожаров разной интенсивности

№ участка	Глубина взятия образца, см	Бактерии		КАА/МПА	Грибы на СА*	Олиготро- фы на ПА*	ПА/МПА
		на МПА*	на КАА*				
2000 г.							
Контроль	Подстилка	984±81	1406±95	1,4	1848±96	2137±104	2,2
	0-10	477±87	496±74	1,2	846±21	721±91	1,9
	10-20	25±3	30±4	1,2	34±4	41±10	2,8
13	4-8	67±4	72±8	1,1	26±4	211±21	3,1
	9-15	27±4	46±5	1,7	37±5	250±25	9,2
	14-30	14±3	18±1	1,2	—	22±4	1,5
14	4-8	32±3	36±3	1,1	5±0,5	37±3	1,2
	9-15	39±4	46±5	1,1	44±4	170±12	4,3
	14-30	18±2	26±2	1,4	10±2	74±4	4,1
2002 г.							
Контроль	Подстилка	19 978±8722	22 238±2239	2,23	17 038±740	39 472±9992	0,40
	0-10	1209±564	184±43	0,15	84±45	962±804	0,80
	10-20	494±256	800±137	1,62	74±17	518±153	1,05
13	Подстилка	1496±712	2312±452	1,55	1088±58	7072±108	4,73
	0-10	152±41	346±75	2,28	62±11	305±75	2,00
	10-20	197±18	395±28	2,00	42±9	466±16	2,37
14	Подстилка	87 351±7973	42 020±509	0,48	16 935±594	101 357±1867	1,16
	0-10	407±43	50±10	0,12	50±10	114±19	0,28
	10-20	228±19	271±24	0,19	378±95	1955±195	8,57

*В колониобразующих единицах (КОЕ) · 1000/1 г абсолютно сухой почвы.

Песчаный подзол характеризуется низким содержанием гумуса (до 0,5 %) и доступными формами элементов питания, высокой актуальной и обменной кислотностью, заметно уменьшающейся вниз по профилю (табл. 2). Крайне малое содержание физической глины обуславливает низкую емкость поглощения подзола, что способствует быстрому перемещению вниз по профилю продуктов почвообразования.

Особенности гидротермических условий песчаных подзолов, повышенное содержание в растительном опаде труднорастворимых органических соединений, слабая обеспеченность почвы необходимыми питательными элементами и кислотность почвенных растворов обуславливают бедность микрофлоры и фауны этих почв.

Среди основных эколого-трофических групп микроорганизмов (ЭКТГМ) отмечено низкое содержание целлюлозоразрушающих и утилизирующих органический азот бактерий (посев на МПА), слабое развитие *Azoto-*

bacter и преобладание олиготрофной и олигонитрофильной группировок, что свидетельствует о низкой биологической активности песчаных подзолов (табл. 3). Активность минерализационных процессов в верхнем слое почв обусловлена доминированием численности прототрофных микроорганизмов (бактерии и грибы на КАА) над численностью аммонификаторов и подтверждается величиной коэффициентов микробиологической минерализации $K = \text{КАА/МПА} > 1$. Особенности физико-химических и химических свойств исследуемых почв определяют развитие преимущественно олиготрофных форм микроорганизмов, способных довольствоваться ничтожным содержанием элементов минерального питания и азота (рост на ПА). Слабая обеспеченность почв органическими компонентами предопределяет развитие олиготрофных и олигонитрофильных форм микроорганизмов, использующих элементы питания из “рассеянного” состояния (коэффициенты олиготрофности = $\text{ПА/МПА} > 2$).

Плотность основных групп почвенных беспозвоночных в сосняке кустарничково-лишайниково-зеленомошном

Группа	2001 г.			2002 г.		
	Контроль	Участок		Контроль	Участок	
		№ 13	№ 14		№ 13	№ 14
Мезоэдафон*						
Enchytraeidae	3,2	0	0	3,2	0	0
Lithobiomorpha	6,4	3,2	3,2	6,4	6,4	3,2
Diptera (I)	3,2	0	0	6,4	0	0
Coleoptera из них:	19,2	0	0	21,1	3,2	0
Carabidae (I+im)	3,2			3,2	0	
Elateridae (I+im)	16,0			14,7	0	
Staphylinidae (I+im)	0			3,2	3,2	
Arachnei	12,8	19,2	3,2	16,0	6,4	3,2
Formicidae	0	0	22,4	28,8	3,2	6,4
Hymenoptera из них:	0	3,2	6,4	3,2	0	0
Pentatomidae		3,2	0	3,2		
Miridae		0	6,4	0		
Сумма	44,8	25,6	35,2	85,1	19,2	12,8
Микроэдафон**						
Collembola	3,02	0,68	4,73	1,09	0,03	0,11
Acarina из них:	20,52	7,80	13,84	34,78	6,33	0,47
Oribatei	19,06	7,05	10,46	33,46	6,16	0,47
Gamasina	1,46	0,75	3,38	1,32	0,17	0
Сумма	23,54	8,48	18,57	35,87	6,36	0,58

*экз./м².**тыс. экз./м².

В микробных комплексах преобладают бактерии рода *Pseudomonas*: *Ps. herbicola*, *Ps. li-cuefaciens*, *Ps. desmolyticum*, *Ps. denitrificans*, *Ps. liciuida*. Среди спорообразующих форм доминируют виды: *Bac. filaris*, *Bac. virgulus*, *Bac. cereus*, *Bac. mycoides*, *Bac. mucelogenosus*. В составе микроскопических грибов наиболее часто встречаются *Penicillium*, *Mucor*, *Dematium*, *Aspergillus* и *Trichoderma*, дрожжи рода *Lipomyces*.

Почвенное население песчаных подзолов характеризуется крайне низкой плотностью (65 экз./м²) и разнообразием мезоэдафона (табл. 4). Доминантами являются Elateridae, Aranei и Formicidae. Недостаток в почве легкодоступного органического вещества обуславливает малую долю сапрофагов, основу комплекса составляют фитофаги и хищники. Практически все беспозвоночные сосредоточены в органогенном горизонте, и глубина их проникновения не превышает 10 см. Плотность микроэдафона – 28 тыс. экз./м². Его можно охарактеризовать как орибатойдный –

на Oribatida приходится до 90 % от всей плотности. Главным образом это обитатели подстилки и верхних слоев почвы (представители ориботритроидного, галлюмоидного и дамеоидного морфоэкологических типов) – 65–85 %. Немногочисленны поверхностно обитающие примитивные орибатиды и обитатели мелких почвенных скважин (опиоидный тип). Среди ногохвосток доминируют подстилочные и подстилочно-почвенные жизненные формы (82 % от всей плотности коллембол) (рис. 1).

С целью моделирования поведения лесных пожаров разной интенсивности и их влияния на экосистему в 2000 г. на участках проведены эксперименты, представляющие контролируемые выжигания, при которых горение распространялось фронтальной кромкой по ветру. Пожары во всех случаях были низовые разной интенсивности (см. табл. 1).

Наиболее сильному пирогенному воздействию подвержены живой напочвенный покров и лесная подстилка. Мощность органи-

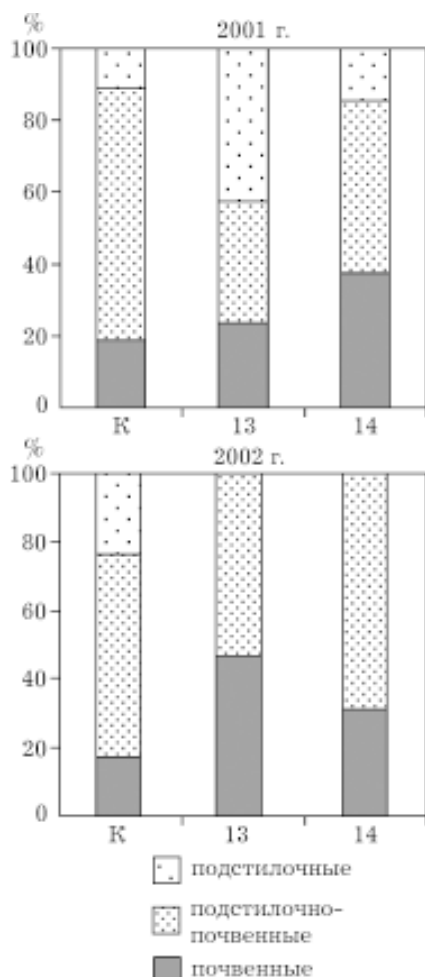


Рис. 1. Жизненные формы Collembola (%) на контрольном (К) и экспериментальных участках (№ 13, 14) сосняка кустарничково-лишайниково-зеленомошного.

генного горизонта уменьшилась на 30 %, при этом запасы снизились не более чем в 1,5–2 раза (табл. 5). За счет изменения структуры опада в первый год после пожара происходит изменение соотношений основных фрак-

ций и в органогенном горизонте. Так, до пожара основную часть опада составляют шишки (42,1 %) и хвоя (21,1 %). На кору и веточки приходится соответственно 15,5 и 9,8 %. После пожара высокой интенсивности доля хвои в опаде возрастает до 86,7 %, средней интенсивности – до 50,2 %.

За счет сгорания верхнего слоя подстилки увеличивается ее плотность. В ее составе появляются тяжелые компоненты в виде частиц угля и золы, происходит двукратное увеличение зольности. Пирогенная трансформация основных параметров подстилки сказывается и на таком ее важном водно-физическом свойстве, как влагоемкость, снижая ее в 1,5–2 раза.

Прохождение огня приводит к значительному (в 2–2,5 раза) уменьшению инфильтрационных характеристик почвы: коэффициент впитывания снизился с 11 до 4–6, коэффициент фильтрации – с 5 до 1,5–2 мм/мин. Причинами этого являются как пирогенное уплотнение подстилки, так и коагуляция почвенных пор мелкими продуктами горения.

Довольно заметное влияние пожары оказывают на температурный режим почвы. После прохождения огня ее альбедо уменьшается с 18 до 13 %. В дневные часы максимальная температура поверхности почвы на горях достигает 44–55 °С, что на 7,5–18,5 °С превышает аналогичный показатель контрольного участка. Столь высокие температуры могут негативно сказаться на развитии всходов сосны, в большом количестве появившихся на пройденных пожаром участках.

Колебания температуры на поверхности почвы и в минеральных горизонтах пройденных огнем участках отличаются гораздо большей в сравнении с контролем амплитудой.

Т а б л и ц а 5

Основные параметры подстилок сосняка до и после пожара

Синузия	Мощность, см	Плотность, г/м ³	Запасы, г/м ²	Зольность, %	Влагоемкость, % от абс. сух. в-ва
Моховая:					
до выжигания	4,9	0,072	3530	19,2	309,2
после выжигания	3,55	0,082	2870	48,6	212,4
Лишайниковая:					
до выжигания	5,0	0,083	4150	23,4	227,6
после выжигания	3,6	0,101	3590	44,3	137,6

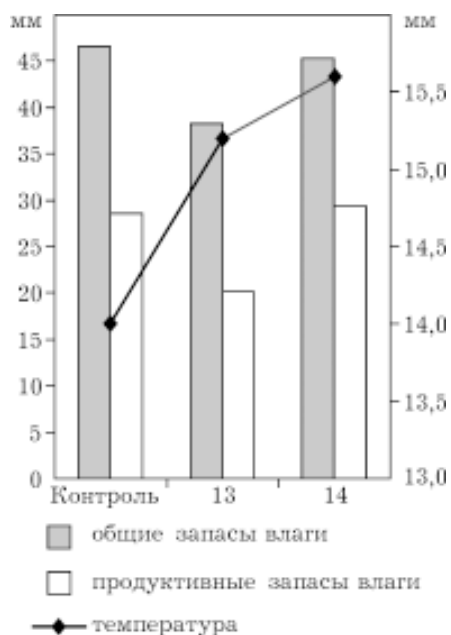


Рис. 2. Температура почвы (на глубине 20 см) и запасы влаги (в слое 0–50 см) на контрольном и экспериментальных участках (№ 13, 14) сосняка кустарничково-лишайниково-зеленомошного через два года после выжигания.

Средняя за период наблюдений температура почвы на глубине 20 см на экспериментальных участках на 1,5–2 °C выше, и наибольшее прогревание почвы наблюдается там, где глубина прогорания была самой высокой (участок № 14) (рис. 2).

Анализ запасов влаги верхней полуметровой наиболее корнеобитаемой почвенной толщи указывает на крайне низкие общие и продуктивные влагозапасы как на контроле, так и на участках, пройденных огнем (см. рис. 2). По шкале А. Ф. Вадониной и З. А. Корчагиной [15] запасы продуктивной влаги оцениваются как очень плохие (менее 30 мм) и плохие (30–45 мм), что обусловлено слабой водоудерживающей способностью минеральных горизонтов почвы. Влияние пожара на почвенные влагозапасы неоднозначно – на 13-м участке отмечено их снижение, на 14-м влагозапасы соответствуют контролю.

Экспериментальное выжигание привело к незначительному изменению химических свойств песчаного подзола (см. табл. 2). Через два года после выжигания за счет послепожарного отпада содержание органического вещества в пирогенно преобразованной подстилке участка № 13 практически вернулось

к исходному, а на участке № 14 более чем на 12 % превысило его. Благодаря поступлению из золы щелочных элементов произошло снижение кислотности.

Послепожарные изменения почвенно-экологических условий песчаных подзолов в итоге сказываются и на биологическом компоненте. Многочисленные исследования показывают, что послепожарная трансформация наземного растительного покрова способствует созданию на многолетних гарях более обильной и разнообразной кормовой базы для микроорганизмов и беспозвоночных [21– 23]. Наряду с некоторой оптимизацией гидротермических условий это способствует активизации почвенных биологических процессов. Однако в первые послепожарные годы последствия низовых пожаров не столь однозначны.

Низовые пожары слабой и высокой интенсивности резко изменяют соотношение основных групп микроорганизмов в микробных комплексах, особенно в верхнем (0–10 см) слое почвы. В первый год после выжигания в составе микробных ассоциаций практически исчезает вегетативный мицелий грибов. После пожара слабой интенсивности (участок № 13) в почве преобладают спороспособные формы микроорганизмов и бактерии, использующие в качестве источника роста минеральный азот. Наблюдается снижение численности аммонифицирующих и целлюлозоразрушающих микроорганизмов, возрастает олиготрофность почв ($K = \text{ПА/МПА} > 3$). Исчезновение мицелия микроскопических грибов в подстилке и верхнем (0–10 см) слое почвы сопровождается снижением их численности в нижележащем горизонте (10–20 см). Происходит обеднение качественного состава микрофлоры. Доминируют *Ps. desmolyticum*, *Ps. denitrificans*, *Ps. licuid*; спорообразующие *Bacillus cereus*, *Bac. mycoides*, *Bac. Mucelogenosus*; грибы *Penicillium*, *Mucor*, *Dematium*, дрожжи рода *Lypomyces*.

Воздействие пожара высокой интенсивности (участок № 14) приводит к уменьшению в 2 раза численности и биомассы всех эколого-трофических групп в 0–4-сантиметровом слое аккумулятивного горизонта по сравнению с таковыми при пожаре слабой интенсивности.

Через два года после выжигания на участке № 13 отмечено снижение численности всех

ЭКТГМ по сравнению с контролем (см. табл. 3). Однако в верхнем органическом слое почвы (0–10 см) намечается процесс стабилизации микробных комплексов по сравнению с первым годом, когда было зафиксировано резкое снижение численности всех ЭКТГМ (см. рис. 1). Численность прото- и олиготрофных микроорганизмов в почве существенно выше, чем аммонификаторов, что подтверждается высокими коэффициентами минерализации и олиготрофности.

Анализ состояния микробценозов подстилки и почвы через два года после выжигания на участке № 14 показывает возрастание численности микроорганизмов всех групп, за исключением микромицетов. Дополнительное поступление в почву зольных элементов и уменьшение кислотности подстилки снижают численность микроскопических грибов в результате усиления конкуренции со стороны бактериальной микрофлоры (см. табл. 3). В верхнем органогенном слое почвы количество микроорганизмов существенно ниже контроля. Особенно это касается группы аммонификаторов и олиготрофов – микроорганизмов, развитие которых в сильной степени зависит от присутствия органических веществ. В 10–20-сантиметровом слое почвы участка отмечена более низкая численность бактерий, утилизирующих органический и минеральный азот. Резкое повышение численности олиготрофов свидетельствует о дефиците легкодоступных элементов питания.

На фоне общего увеличения численности микроорганизмов минерализация органических соединений почвы низкая (КАА/МПА < 1). Преобладание аммонификаторов в группировке почвенных микроорганизмов свидетельствует о поступлении большого количества органики за счет опада хвои, веточек и обогащения почвы зольными элементами.

Временную динамику численности ЭКТГМ определяют не только способность микрофлоры к самовосстановлению и особенности послепожарной трансформации органогенных горизонтов, но и погодные условия года проведения учетов. Так, благоприятное сочетание тепла и влаги в 2002 г. привело к увеличению численности микроорганизмов изучаемых эколого-трофических групп как на контрольном, так и на экспериментальных уча-

стках по сравнению с годом проведения выжиганий (2000).

Учет беспозвоночных через год после выжигания показал, что прохождение огня, независимо от его интенсивности, привело к снижению плотности микро- и мезоэдафона в 1,5–2 раза по сравнению с контрольным участком (см. табл. 4). Причем на участке № 13 оно более существенно. Возможно, высокая скорость прохождения огня на 14-м участке снизила негативное влияние пожара на педобионтов. Из комплекса крупных беспозвоночных исчезают немногочисленные сапрофаги (Enchytraeidae, Diptera), снижается разнообразие растительноядных форм, сохраняется комплекс пауков. Об изменении гидротермических условий в подстилке гарей свидетельствует отсутствие проволочников (Elateridae), доминантов контрольного участка. Известно, что личинки щелкунов более активны во влажной среде [24].

Лесные пожары обусловили существенное изменение экологической обстановки: уничтожение живого напочвенного покрова и подстилки привело к увеличению инсоляции площади и создало дефицит влаги. В связи с этим комплекс орибатид однолетних гарей представлен главным образом мелкими обитателями почвенных пор с сильно скелетизированными покровами (на них приходится до 90 % от общей численности орибатид). Пирогенная трансформация фракционного состава подстилок обуславливает некоторое перераспределение в долевом соотношении жизненных форм ногохвосток – на участке № 13 увеличивается доля подстилочных за счет снижения подстилочно-почвенных коллембол, на участке № 14 наблюдается обратная тенденция (см. рис. 1).

Формирование новой экологической обстановки ведет к дальнейшему снижению плотности и разнообразия педобионтов на выжженных участках. Через два года после проведения эксперимента негативные последствия пожара продолжают сказываться на педобионтах, несмотря на значительное увеличение их плотности на контрольном участке, что свидетельствует о благоприятных гидротермических условиях этого года. Отмечена слабая зависимость состояния мезоэдафона от интенсивности пожара (см. табл. 4).

На микроэдафоне она проявилась более четко – по плотности микроартропод горевшие участки различаются между собой на порядок. Так, на участке № 14 плотность орибатид по сравнению с предыдущим годом снизилась в десятки раз, из комплекса практически исчезли гамазовые клещи. Сохраняются орибатиды, устойчивые к высушиванию и инсоляции и способные совершать интенсивные миграции. На 13-м участке изменения в комплексе клещей незначительны. При общем снижении плотности ногохвосток на обоих участках наблюдается исчезновение подстилочных форм и увеличение доли подстилочно-почвенных с 32–50 до 55–68 % (см. рис. 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, исследование воздействия пожаров в среднетаежных сосняках на основные свойства песчаных подзолов показало, что наиболее сильной пирогенной трансформации подвергается подстилка – главное звено, через которое осуществляется взаимодействие растительности и почвы, включая ее население. Происходит изменение фракционного состава подстилки, ее физических и физико-химических свойств. В первые два года после пожара наблюдаются повышение температур и некоторое снижение влагозапасов в верхнем корнеобитаемом слое почвы. Влияние пожаров на физико-химические и химические свойства минеральных горизонтов песчаного подзола проявилось не четко. Однако можно предположить, что по мере увеличения послепожарного периода экологическая обстановка будет меняться и приведет к более значительной трансформации свойств почвы.

Воздействие пожаров привело к обеднению количественного и качественного состава различных эколого-трофических групп микроорганизмов: из комплекса микроорганизмов практически исчезают активные деструкторы клетчатки в микробных экосистемах – микроскопические грибы. Через два года после пожара слабой интенсивности наметился процесс стабилизации микробных комплексов, а после пожара высокой интенсивности увеличилась численность почти всех групп микроорганизмов при доминиро-

вании аммонифицирующих бактерий, что свидетельствует о начальном этапе восстановления процессов трансформации азота в почве.

Пожары снизили плотность и разнообразие микро- и мезоэдафона песчаных подзолов. Обеднение педокомплексов произошло главным образом за счет уничтожения поверхностнообитающих и подстилочных форм. Влияние пирогенного фактора слабо проявилось на подвижных, способных совершать быстрые миграции членистоногих: среди крупных беспозвоночных это пауки, среди микроартропод – орибатиды оппидного типа.

Для более детального изучения воздействия пожаров разной интенсивности на свойства почв и ее биоту необходимо проведение дополнительных исследований.

Авторы выражают глубокую признательность за финансовую поддержку своих исследований Национальному управлению космических исследований (NASA), программе исследования изменений земных покровов и землепользования (LCLUC), Американскому Фонду гражданских исследований и развития (CRDF), Лесной службе Департамента сельского хозяйства США, Канадской лесной службе Министерства природных ресурсов Канады, Сибирскому отделению Российской академии наук, Российскому фонду фундаментальных исследований (грант № 01-04-49340).

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. П. Попова, Биологическая диагностика, М., Наука, 1976, 67–73.
2. Э. П. Попова, *Сиб. экол. журн.*, 1997, 4, 413–418.
3. С. Г. Прокушкин, Н. Д. Сорокин, П. А. Цветков, *Лесоведение*, 2000, 4, 16–21.
4. И. В. Гуняженко, *Лесоведение и лесное хозяйство*, Минск, Высшейш. шк., 1970, 3, 34–39.
5. З. И. Рубцова, *Проблемы почвенной зоологии*, Вильнюс, 1978, 267–268.
6. K. Fukuyama, A. I. Averensky, T. C. Maximov et al., *Proceedings of Sixth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1997*, Tsukuba, Japan, 1998, 107–111.
7. *Средняя Сибирь*, М., Наука, 1964.
8. Э. Н. Валендик, *Борьба с крупными лесными пожарами*, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1990.
9. Д. И. Назимова, С. П. Речан, Е. Н. Савин и др., *Леса СССР*, 4, М., Наука, 1969, 248–320.
10. J. K. Brown, *For. Sci.*, 1971, 17, 96–102.
11. D. J. McRae, M. E. Alexander, B. J. Stocks, Dept. Environ., Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, ON. Rep., 1979, O-X-287.

12. A. J. Simard, R. W. Blank, S. L. Hobria, *Fire Tech.* (May), 1989, 114–133.
13. C. E. Van Wagner, *For. Sci.*, 1968, 14, 20–26.
14. Е. В. Аринушкина, Руководство по химическому анализу почв, М., МГУ, 1970.
15. Почвоведение/под ред. И. С. Кауричева, М., Наука, 1989.
16. О. Г. Растворова, Физика почв (Практическое руководство), Л., ЛГУ, 1983.
17. Почвенно-биогеоценотические исследования в лесных биогеоценозах. М., МГУ, 1980.
18. В. Дунгер, Количественные методы в почвенной зоологии, 1987, 26–50.
19. М. С. Гиляров, Там же, 9–25.
20. Панцирные клещи, М., Наука, 1995.
21. Почвенно-экологические исследования в лесных биогеоценозах, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1982.
22. Г. Н. Ганин, Почвенные животные Уссурийского края, Владивосток–Хабаровск, Дальнаука, 1997.
23. И. В. Кудряшова, Л. М. Ласкова, *Изв. РАН, Биол. серия*, 2002, 1, 106–113.
24. G. Lafrance, *Quebec.-The Canad. Entomologist*, 1968, **100**: 8, 801–807.

Pyrogenic Transformation of Pine Stand Soil in Middle Taiga of Krasnoyarsk Region

I. N. BEZKOROVAINAYA, G. A. IVANOVA, P. A. TARASOV, N. D. SOROKIN,
A. V. BOGORODSKAYA, V. A. IVANOV, S. G. KONARD, D. J. McRAE

The impact of low fires of various intensity on the main physical, physicochemical, chemical and biological properties of soils in middle-taiga pine stands is considered. The influence of fires on the microflora and invertebrate complexes of sandy podzols and on the processes of post-fire transformation of the soil biota is studied.