

Послепожарная трансформация микробоценозов и комплексов беспозвоночных в почвах сосняков Центральной Сибири

А. В. БОГОРОДСКАЯ, Е. А. КРАСНОЩЕКОВА, И. Н. БЕЗКОРОВАЙНАЯ, Г. А. ИВАНОВА

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок
E-mail: anbog@ksc.krasn.ru*

АННОТАЦИЯ

Изучены послепожарные изменения функциональных характеристик микробоценозов почв и комплексов почвенных беспозвоночных в среднетаежных сосняках Центральной Сибири. Выявлено, что пожары, независимо от их интенсивности, в первый год приводят к снижению численности и разнообразия почвенных беспозвоночных, а также оказывают негативное влияние на структуру и функциональную активность микробных комплексов песчаных подзолов. Послепожарное восстановление численности и структуры комплексов почвенных беспозвоночных и функциональной активности микробоценозов песчаных подзолов определяется как воздействием пирогенного фактора, так и особенностями динамики гидротермических и трофических условий почв сосняков.

Ключевые слова: микробоценозы, лесные пожары разной интенсивности, почвенная фауна, микроартроподы.

В Сибири ежегодно регистрируются тысячи лесных пожаров разной интенсивности, которые в отдельные годы охватывают площадь до 12–15 млн га [1]. В связи с этим пожары рассматриваются в качестве естественно-исторического фактора развития современных лесных сообществ и направленности процессов почвообразования [2–4].

Степень воздействия пирогенного фактора, а также последующее восстановление почвенной системы зависят от интенсивности пожара, времени, прошедшего после предыдущего пожара, а также от типа почвы и растительности [5, 6].

Воздействие пожаров на почву идет несколькими путями: непосредственное воздейст-

вие высоких температур на твердую фазу почв, единовременное поступление на поверхность почвы значительного количества золы, образовавшейся при минерализации подстилки и других горючих материалов, изменение структуры и качества органического вещества и смена одних растительных сообществ другими [2, 3]. Можно отметить, что в результате пожаров существенно изменяются физико-химические свойства, механический состав, водно-воздушный и гидротермический режимы почв, что оказывает непосредственное влияние на биологические свойства почв [4–9]. Изменения в почвах, происходящие после пожаров, в значительной степени зависят от вида и интенсивности пирогенного воздействия [5, 6, 10]. Однако исследования, касающиеся влияния пожаров разной интенсивности на почвенные микробоценозы и сообщества беспозвоночных, немногочисленны [7, 11–14].

Богородская Анна Викторовна
Краснощекова Евгения Николаевна
Безкорвайная Ирина Николаевна
Иванова Галина Александровна

Цель данной работы – изучение степени трансформации микробсообществ почв и комплексов почвенных беспозвоночных после пожаров разной интенсивности в сосняках средней тайги Центральной Сибири.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Территория проведения экспериментальных пожаров расположена на Сымской равнине, которая является дренированным участком восточной окраины Западно-Сибирской равнины [15]. Климат этой зоны прохладный и влажный. Среднегодовая температура колеблется от $-3,2$ до $-5,7$ °С. Годовая сумма осадков 450–500 мм. Безморозный период 86–107 дней.

Экспериментальные участки располагались в бассейне рек Дубчес и Сым в среднем течении р. Тугулан, левого притока р. Енисей ($60^{\circ}38'$ с. ш. и $89^{\circ}44'$ в. д.), и представлены сосняками кустарничково-лишайниково-зеленомошными. Состав древостоя 10С, разновозрастный, IV–V бонитета со средним диаметром 25–35 см, высотой 17–22 м. Подрост 10С, разновозрастный, высотой до 0,5 м. Подлесок редкий, представлены единично шиповник (*Rosa acicularis*), ива козья (*Salix caprea*). Напочвенный покров дифференцирован по условиям микросреды. Синузильная структура четко выражена. Общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса варьирует от 15–20 до 40 %, высота 20–35 см [16].

Почвы – иллювиально-железистые песчаные подзолы на иллювиальном мелкозернистом бескарбонатном песке [17]. Почва характеризуется мощным профилем, отчетливо дифференцированным на следующие горизонты: О (0–5 см) – Е (5–13 см) – Vf1 (13–45 см) – Vf2 (45–75 см) – С (глубже 95 см) [18].

С целью моделирования поведения лесных пожаров разной интенсивности и их влияния на экосистему в 2000–2003 гг. проведены низовые разной интенсивности контролируемые выжигания на восьми экспериментальных участках. К низкоинтенсивным отнесены пожары с интенсивностью кромки огня ≤ 2000 , к среднеинтенсивным – 2001–4000, к высокоинтенсивным – более 4001 кВт/м [19, 20].

Образцы почвы для микробиологических анализов взяты до и через сутки после выжигания, а также в течение пяти последующих лет в середине вегетационного периода. Параллельно отобраны образцы на контрольном участке, не пройденном огнем. Точки отбора были постоянными. Отбор образцов проводили по следующим слоям: подстилка (О), 0–10, 10–20 см.

Изучение структуры и численности эколого-трофических групп микроорганизмов (ЭКТГМ) почв до и после пожаров проводили общепринятыми методами [21, 22]. Идентификацию выделенных культур микроорганизмов осуществляли по рекомендациям работ [23, 24]. Содержание микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) определяли методом субстрат-индуцированного дыхания [25, 26]. Базальное дыхание (БД) исследовали по скорости выделения CO_2 почвой с использованием газового хроматографа (ЛХМ80-модификация “Хром 4”).

Учеты почвенных беспозвоночных проводили в подстилке и минеральном слое почв (0–5 см) стандартными почвенно-зоологическими методами [27, 28]. Выгонку мелких членистоногих осуществляли с помощью термоэлектродов Тулгрена. Качественный состав коллембол определяли по А. К. Бродскому и С. К. Стебаевой [29, 30], морфоэкологические группы клещей – по Д. А. Криволицкому [31], видовой состав – по “Определителю обитающих в почве клещей (Sarcoptiformes)” [32].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Почва характеризуется низким содержанием гумуса (до 0,5 %) и доступных форм элементов питания, высокой кислотностью (рН подстилки 3,6–4,4; почвы 4,6–5,2), заметно уменьшающейся вниз по профилю, широким соотношением С : N (от 15 до 32) и высоким содержанием в опаде трудноразлагаемых органических соединений [18], что отражается в их невысокой биогенности (см. таблицу). Микробные комплексы характеризуются преобладанием олиготрофных форм, слабым развитием актиномицетов, довольно высокой активностью минерализационных процессов, значительным количеством грибных пропагул только в самом верхнем органогенном слое и резким снижением с глубиной поч-

**Численность ЭКТГМ и коэффициенты минерализации и олиготрофности песчаного подзола
в сосняках сразу после пожаров**

Участок, год эксперимента, интенсивность пожара, кВт/м	Почвенный горизонт*	Аммонификаторы на МПА**	Прототрофы на КАА**	КАА/МПА	Грибы на СА**	Олиготрофы на ПА**	ПА/МПА
Контроль, 2000	О	984 ± 81	1406 ± 95	1,40	1848 ± 96	2137 ± 104	2,20
	Е	477 ± 87	496 ± 74	1,20	846 ± 21	721 ± 91	1,90
	Vf1	25 ± 3	30 ± 4	1,20	34 ± 4	41 ± 10	2,80
1) 2000, высокая, 5611	О	32 ± 3	36 ± 3	1,10	5 ± 0,5	137 ± 3	4,28
	Е	39 ± 4	48 ± 5	1,23	44 ± 4	170 ± 12	4,30
	Vf1	18 ± 2	26 ± 2	1,40	10 ± 2	74 ± 4	4,10
2) 2000, средняя, 2375	О	67±4	72±8	1,10	26 ± 4	211 ± 21	3,10
	Е	27 ± 4	46 ± 5	1,70	47 ± 5	98 ± 25	3,63
	Vf1	14 ± 3	18 ± 1	1,20	—	22 ± 4	1,50
Контроль, 2001	О	4750 ± 378	1525 ± 156	0,32	1843 ± 123	7518 ± 1872	1,58
	Е	934 ± 254	1500 ± 157	1,61	202 ± 41	274 ± 65	0,29
	Vf1	250 ± 16	665 ± 58	2,66	51 ± 5	2068 ± 199	8,27
3) 2001, низкая, 1016	О	1388 ± 580	482 ± 217	0,35	748 ± 274	2740 ± 915	1,97
	Е	968 ± 520	1390 ± 752	1,44	263 ± 82	375 ± 68	0,39
	Vf1	278 ± 68	540 ± 136	1,94	207 ± 78	1324 ± 280	4,76

* Глубина взятия образцов, см. : Е – 0–10; Vf1 – 10–20.

** КОЕ (колониеобразующие единицы), тыс./1 г абсолютно сухой почвы; МПА – мясо-пептонный агар, КА – крахмало-аммиачный агар, СА – сусло-агар, ПА – почвенный агар; прочерк – нет данных.

венного профиля. В бактериальных комплексах преобладают неспоросные виды.

Почвенное население песчаных подзолов характеризуется крайне низкой плотностью (65 экз./м²) и разнообразием мезоэдафона. Количественно преобладают паукообразные (Aranei), муравьи (Formicidae) и жесткокрылые (Coleoptera). В составе также обильны многоножки сем. Lithobiidae. Численность мелких членистоногих варьирует от 23 до 40 тыс. экз./м². Доминирующей группой являются панцирные клещи, доля которых составляет от 70 до 90 % от общей численности микроартропод. В составе орибатофауны выделяются несколько видов-доминантов: *Carabodes areolatus*, *Tectocepheus velatus* и *Autognata tragardhi*, остальные виды малочисленны (менее 4 %). На долю второй по значимости группы микроартропод, коллембол, приходится от 5 до 30 %. Всего обнаружено 6 семейств: Tomoceridae, Isotomidae, Hypogasturidae, Sminthuridae, Neanuridae и Onychiuridae. В спектре жизненных форм Collembola преобладают подстилочно-почвенные и почвенные обитатели. Гамазовые клещи также

немногочисленны и приурочены к наибольшим скоплениям орибатид и коллембол. Основная масса микроартропод сконцентрирована в органогенном горизонте, что обусловлено свойствами песчаных подзолов.

Пожары независимо от интенсивности вызывали деградацию лишайникового и мхового покрова, разную степень нарушения травяно-кустарничкового яруса и частичный пиролиз подстилки, которая глубже всего прогорала (в некоторых зонах до минерального горизонта) после высокоинтенсивного пожара (5611 кВт/м), где произошли максимальные изменения структуры и численности педобионтов (см. таблицу и рис. 4). Численность аммонификаторов, прототрофов, использующих минеральные формы азота, и олиготрофов снижается в подстилке в десятки раз, а в верхнем минеральном слое подзола – более чем в 4–12 раз. Исчезает вегетативный мицелий грибов, повышается олиготрофность почв в отношении азота в 1,5–4 раза. Для почв после пожара средней интенсивности характерны те же общие тенденции изменения структуры микробных комп-

лексов, что и для почв после высокоинтенсивного пожара, но численность основных ЭКТГМ в 1,5–2 раза выше. После низкоинтенсивного пожара (1016 кВт/м) в подстилке количество микроорганизмов изучаемых групп снизилось в 2–4 раза, тогда как в минеральном слое почвы 0–10 см – немного увеличилось (см. таблицу). В результате слабого прогорания подстилки почва вследствие низкой теплопроводности не нагревалась до критической температуры, при которой гибнет микрофлора, а увеличение температуры почвы на несколько градусов способствовало росту и размножению микроорганизмов и активизации микробиологических процессов. В слое почвы 10–20 см не наблюдалось заметных изменений численности микроорганизмов, что свидетельствует о влиянии огня средней и низкой интенсивности на почву только до глубины 10 см. Выявлено, что на поверхности напочвенного покрова при высокоинтенсивном пожаре температура поднималась до 1000 °С и более, под подстилкой она кратковременно достигала 190 °С и не превышала 40 °С при низкоинтенсивном пожаре. В почве на глубине 5 см при высокоинтенсивном пожаре температура могла на несколько секунд подниматься до 100 °С, но в основном не превышала 50 °С. Чаше она поднималась лишь на 2–3 °С.

Выявлена степенная зависимость изменения общей численности гетеротрофных микроорганизмов сразу после экспериментальных пожаров в подстилке с мохово-лишайниковым покровом от глубины ее прогорания, которая варьирует от 3,1–3,8 см при низкоинтенсивных пожарах до 5,6–6,4 см – при высокоинтенсивных (рис. 1, А). Зависимость численности гетеротрофов от глубины прогорания в минеральном слое почвы (0–10 см) ниже и выражена экспоненциальной функцией (рис. 1, Б), что объясняется буферным действием подстилки, которая, имея высокое влагосодержание, снижает термическое воздействие на почву [33].

В результате воздействия пожаров высокой и средней интенсивности происходит обеднение качественного состава микрофлоры. В бактериальных комплексах доминируют неспорообразующие бактерии рода *Pseudomonas* и исчезают бактерии родов *Achro-*

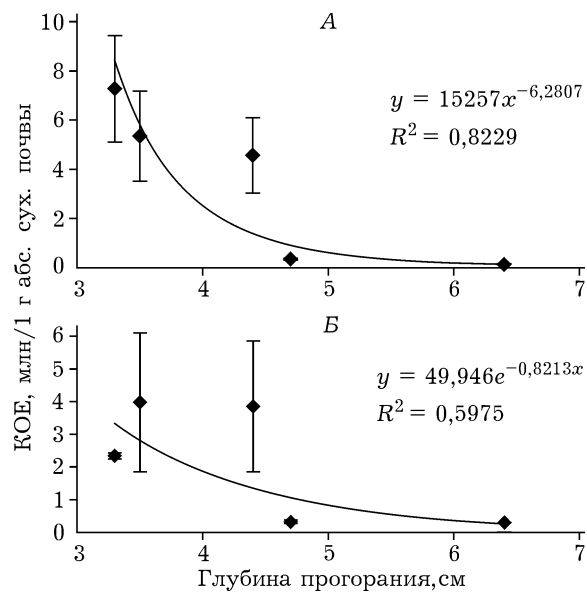


Рис. 1. Зависимость общей численности гетеротрофных микроорганизмов в подстилке (А) и минеральном слое почвы (0–10 см) (Б) от глубины прогорания подстилки в среднетаежных сосняках ($P = 0,05$)

tobacter и *Chromobacterium*. Из спорообразующих наиболее часто встречаются бактерии видов *Bacillus*. В подстилках после пожаров доминируют типичные для лесных экосистем сахаролитические грибы родов *Penicillium* и *Mucor* и исчезают грибы родов *Cladosporium*, *Dematiium* и *Trichoderma*. Во всех образцах присутствуют дрожжи рода *Lypomyces*.

Через год после пожаров на всех участках отмечено отсутствие мохово-лишайникового покрова. При пожарах низкой интенсивности повреждения травяно-кустарничкового яруса незначительны и послепожарное формирование происходит в рамках структур микрорельефа. Высокоинтенсивные пожары, при которых повреждается или уничтожается эдификатор, происходит значительное нарушение напочвенного покрова, изменяется его структура. Ведущая роль в структуризации принадлежит видам-эксплерентам (*Calamagrostis arundinacea*) или раннесукцессионным (*Chamerion angustifolium*) [17].

В последующие 2–3 года после пожаров в верхних слоях почвы отмечено смещение реакции почвенного раствора к слабокислой и нейтральной, сокращение отношения С : N, увеличение валового азота в 2–6 раз, а так-

же суммы обменных оснований и степени насыщенности ими [18, 34], что сказывается и на развитии микрофлоры песчаных подзолов. После пожаров высокой и средней интенсивности отмечается процесс постепенной стабилизации структуры микробных комплексов, активизируются микробиологические процессы минерализации опада, снижается олиготрофность, увеличивается видовое разнообразие микроорганизмов, восстанавливается активность функционирования гетеротрофного комплекса. При этом скорость послепожарного восстановления структуры и функциональной активности микробных комплексов почв определяется как первоначальной силой воздействия пирогенного фактора (рис. 2), так и особенностями динамики гидротермических и трофических условий почв изучаемых сосняков. Динамика общей численности гетеротрофных микроорганизмов в 2002–2003 гг. в значительной степени определялась влажностью почвы ($R^2 = 0,84–0,87$ при $P = 0,05$).

Через год после низкоинтенсивных пожаров отмечается положительная динамика биогенности и микробиологической активности почв, что благоприятно влияет на их лесорастительные свойства.

К основным функциональным характеристикам микробных комплексов можно отнести величину микробной биомассы и показатель активности функционирования микробоценозов – выделение углекислоты. Взаимосвязь этих показателей позволяет давать оценку состояния микробных комплексов после различных нарушений [25, 26]. Изменение величин микробной биомассы и базального дыхания в почвах после пожаров сред-

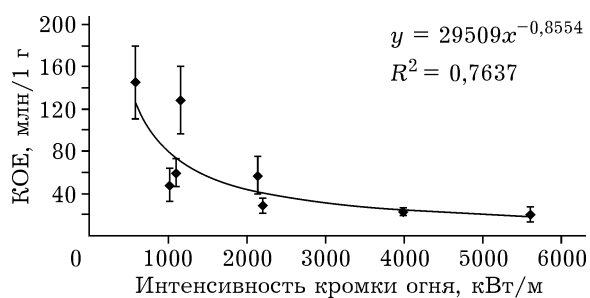


Рис. 2. Общая численность гетеротрофных микроорганизмов в подстилке сосняков через год после пожаров в зависимости от интенсивности кромки огня

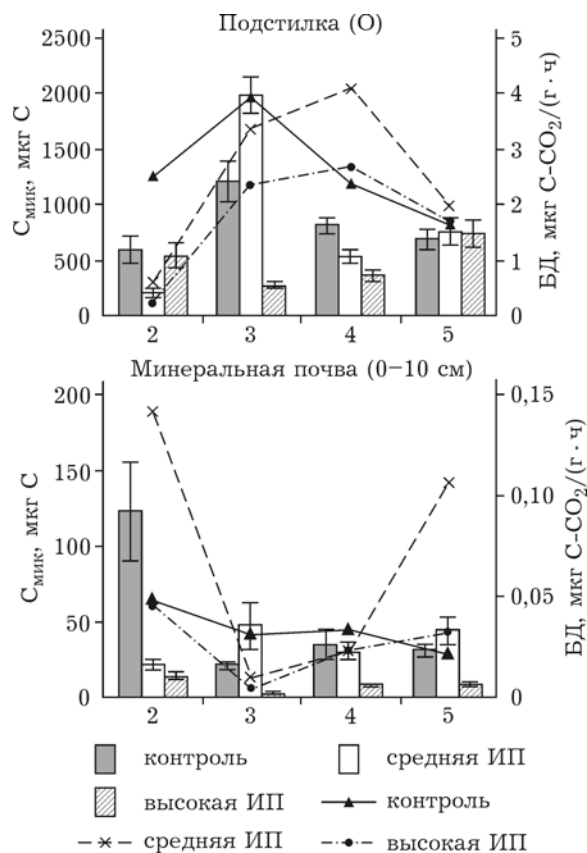


Рис. 3. Динамика базального дыхания (линии) и микробной биомассы (столбцы) в почве после пожаров разной интенсивности.

ИП – интенсивность пожара

ней и особенно высокой интенсивности свидетельствует о значительных и длительных нарушениях функционирования микробоценозов. Эти величины в подстилке среднетаежных сосняков восстанавливаются до уровня контроля на пятый год после воздействия огня, тогда как в минеральном слое почвы (0–10 см) величина $S_{\text{мик}}$ в 7 раз ниже контроля на участке после высокоинтенсивного пожара, а интенсивность БД имеет уровень в 10 и 3 раза выше контрольного после средне- и высокоинтенсивного пожара соответственно (рис. 3).

Послепожарное снижение $S_{\text{мик}}$ объясняется снижением уровня влажности почвы и изменением структуры и качества почвенного органического вещества [35]. Выявлено, что за счет изменения структуры опада через год после пожаров происходит изменение соотношений основных фракций и в органическом горизонте. Так, до пожара основ-

ную часть опада составляли шишки (42,1 %) и хвоя (21,1 %). После пожара высокой интенсивности доля хвои в опаде возросла в 2 раза и более, средней интенсивности – на 20 % [18]. Преобладание в хвое труднораствораемых смол и терпенов, их бактерицидные свойства оказывают отрицательное влияние на развитие микробной биомассы.

Увеличение интенсивности БД в почвах после пожаров происходит вследствие активной минерализации не полностью сгоревшего органического вещества растительного, животного и микробного происхождения и вымывания продуктов пиролиза в нижележащие почвенные слои [36, 37]. Оставшиеся корни сгоревшей растительности также могут быть питательным субстратом для микрофлоры почв, обуславливая более высокое базальное дыхание [13]. Педобионты песчаных подзолов тесно связаны с подстилочным горизонтом. Подстилка является для них не только источником пищи [38], но и основным местообитанием. Снижение ее запасов в 2 раза и мощности на 30 %, увеличение плотности и зольности в результате пожаров [18] отрицательно влияют на животных. Кроме того, одними из главных факторов, лимитирующих жизнедеятельность почвенной биоты, являются гидротермические условия – температура и влажность, которые существенно меняют свои характеристики в послепожарный период [3, 5, 6]. Выявлено, что в дневные часы максимальная температура поверхности почвы на выжженных участках достигает 44–55 °С, что на 7,5–18,5 °С превышает температуру контроля. Снижаются влагоемкость подстилки и почвенные влагозапасы [18].

Сразу после пожаров независимо от их интенсивности происходит значительное снижение численности крупных и мелких беспозвоночных. Численность микроартропод снизилась в десятки раз (рис. 4). Дальнейшее послепожарное изменение экологической обстановки и гидротермических свойств почвы привело к значительным перестройкам в комплексах почвенных беспозвоночных. Через год после экспериментальных пожаров общая численность крупных беспозвоночных была ниже в 1,5–2,5 раза. Среди них зафиксированы поверхностные обитатели – муравьи и пауки, мигрировавшие с близлежащих не-

нарушенных участков. В составе микроартропод при общем снижении их численности более 50 % приходилось на панцирных клещей и их преимагинальных особей. Прогревание почвы, наличие обильной пищи вследствие послепожарного отмирания растений и их корней создали благоприятные условия для развития и жизнедеятельности некоторых групп почвенных животных. Так, независимо от интенсивности пожара отмечено массовое размножение вида *Carabodes areolatus*, доля которого возросла в 2 раза по сравнению с контролем. За счет выпадения части видов наблюдалась смена доминирования: в послепожарном сообществе повысилось соотношение видов *Scheloribates latipes*, *Sc. laevigatus* и *Achipteria verrucosa*. Доля доминантного вида *Tectocepheus velatus* после пожара средней интенсивности сократилась в 2,5 раза, после высокой – осталась прежней. В составе коллембол присутствовали все семейства, характерные для данных биотопов. Наименьшая численность коллембол обнаружена после пожара низкой интенсивности (рис. 4, б). Пожар низкой интенсивности, но с устойчивым характером распространения привел к преобразованиям в комплексе беспозвоночных, сопоставимым по воздействию с высокоинтенсивным.

На данном сукцессионном этапе отмечены довольно высокие вариации гамазовых клещей. Через год после пожара высокой интенсивности отмечена тенденция увеличения их численности по сравнению с контролем (рис. 4, в). Через два года плотность крупных беспозвоночных, независимо от интенсивности пожара, не превышала 30 % от численности на контроле. Из комплекса полностью исчезли фитофаги, господствующее место принадлежало хищным формам – паукообразным и многоножкам. Минимальная плотность (менее 0,5 тыс. экз./м²) микроартропод зафиксирована после пожара высокой интенсивности. Структура сообщества орибатид значительно обеднена, обнаружена половина видов, при этом доля некоторых из них не превышала 1 %. В ее составе отмечены панцирные клещи эврибионты и обитатели верхних слоев подстилки. Единично встречались коллемболы сем. *Hypogastruridae*, обитающие на поверхности почвы и в подстилке. После пожара средней интенсивности

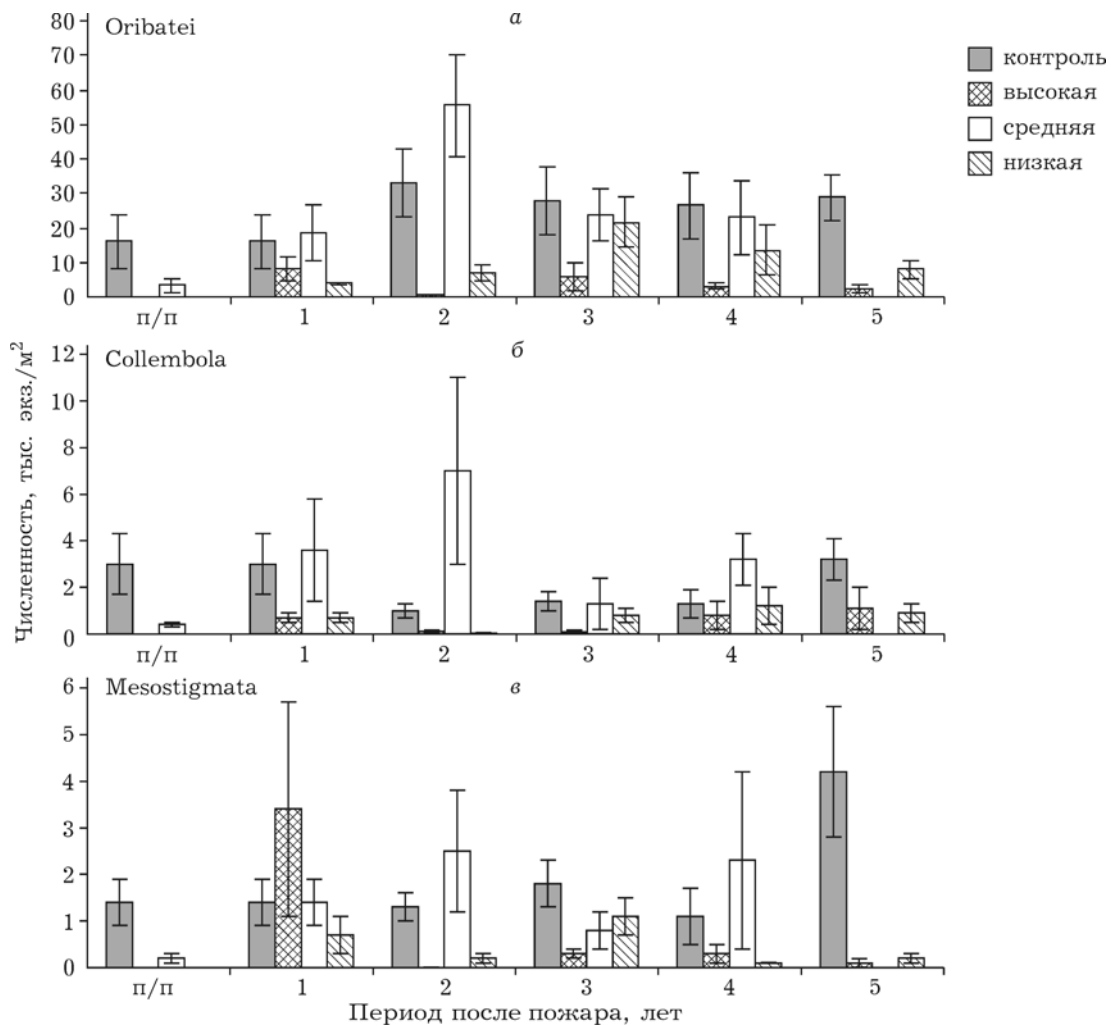


Рис. 4. Динамика численности панцирных клещей (а), коллембол (б) и мезостигматовых клещей (в) после пожаров высокой, средней и низкой интенсивности (п/п – сразу после пожара)

плотность микроартропод значительно превышала уровень численности на контроле (см. рис. 4), что, вероятно, обусловлено снижением доли хищников и увеличением доступного пищевого субстрата. В составе комплекса микроартропод доминировали подстильно-почвенные виды клещей и коллембол.

Через пять лет после пожаров по мере восстановления живого напочвенного покрова формируются новые сообщества почвенных беспозвоночных. Несмотря на различную степень воздействия пожаров, на всех участках численность и структура крупных беспозвоночных не восстанавливаются до исходных. На участке, пройденном пожаром высокой интенсивности, появляются единично

фитофаги отряда Hemiptera. Участки, пройденные пожарами средней и низкой интенсивности, заселяют группировки, присутствующие в ненарушенных сообществах (Coleoptera, Lithobiidae, Enchytraeidae). Признаки восстановления структуры исходного сообщества наблюдаются в составе микроартропод. На всех участках в составе орибатида отмечено появление поверхностных видов рода *Gymnodamaeus* и подстильных видов рода *Heminothrus*. Численность и разнообразие коллембол на пятый послепожарный год не восстанавливаются (см. рис. 4, б), причем это более выражено после пожаров высокой и низкой интенсивности. Из состава коллембол полностью исчезли поверхностные и подстильные обитатели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Степень трансформации биологических свойств песчаных подзолов определяется послепожарным изменением экологических условий в сосняках, которые, в свою очередь, зависят от силы пирогенного воздействия.

В первый год пожары независимо от их интенсивности приводят к снижению численности и разнообразия почвенных беспозвоночных, а также оказывают негативное влияние на структуру и функциональную активность микробных комплексов песчаных подзолов: снижаются численность и биомасса микроорганизмов азотно-углеродного цикла, обедняется качественный состав, уменьшается интенсивность микробного дыхания, повышается олиготрофность почв в отношении азота. Скорость послепожарного восстановления структуры и функциональной активности микробных комплексов почв определяется как силой воздействия пирогенного фактора, так и особенностями динамики гидротермических и трофических условий почв сосняков. Содержание микробной биомассы и интенсивность базального дыхания в почвах после пожаров средней и особенно высокой интенсивности свидетельствуют о значительных и длительных нарушениях функционирования микробоценозов песчаных подзолов.

Послепожарные изменения гидротермических свойств песчаных подзолов, снижение мощности органического горизонта и деградация травяно-кустарничкового покрова детерминируют дальнейшую динамику развития сообществ почвенных беспозвоночных. Наибольшие изменения отмечены после высокоинтенсивного пожара: через 5 лет численность мезо- и микроэдафона низкая, упрощена структура педокомплексов. После пожаров средней и низкой интенсивности через 4–5 лет численность крупных беспозвоночных остается низкой, в то время как микроартропод – восстанавливается до уровня контроля, при этом структура остается нарушенной.

Авторы выражают глубокую признательность за финансовую поддержку своих исследований Национальному управлению космических исследований (NASA), программе исследования изменений земных покровов и землепользования (LCLUC), РФФИ (№ 07–04–00562), МНТЦ (№ 3695).

ЛИТЕРАТУРА

1. Conard S. G., Ivanova G. A. Wildfire in Russian boreal forest – potential impacts of fire regime characteristics on emissions and global carbon balance estimates // *Environmental Pollution*. 1997. Vol. 98. P. 305–313.
2. Попова Э. П. Пирогенная трансформация свойств лесных почв Среднего Приангарья // *Сиб. экол. журн.* 1997. № 4. С. 413–418.
3. Краснощеков Ю. Н. Почвозащитная роль горных лесов бассейна озера Байкал. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 224 с.
4. Doerr S. H., Cerda A. Fire effects on soil system functioning: new insights and future challenges // *Int. J. Wildland Fire*. 2005. Vol. 14. P. 339–342.
5. Nearly D. G., Klopatek C. C., DeBano L. F., Ffolliott P. F. Fire effects on bellowground sustainability: review and synthesis // *Forest Ecology and Management*. 1999. Vol. 122. P. 51–71.
6. Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review // *Oecologia*. 2005. Vol. 143. P. 1–10.
7. Сорокин Н. Д. Влияние лесных пожаров на биологическую активность почв // *Лесоведение*. 1983. № 4. С. 24–28.
8. Гонгальский К. Б. Лесные пожары как фактор формирования сообществ почвенных животных // *Журн. общ. биол.* 2006. Т. 67. С. 127–138.
9. Мордкович В. Г., Любечанский И. И., Березина О. Г. Проблема лесных пожаров и пирогенных сукцессий сообществ почвенных членистоногих в Сибири // *Сиб. экол. журн.* 2007. № 2. С. 169–181.
10. Hungerford R. D., Harington M. G., Frandsen W. H. Proceedings: Management and productivity Western-Montane forest soils, USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-280. 1995. P. 32–50.
11. Fritze H., Pietikainen J. Recovery of soil microbial biomass and activity from prescribed burning // *Canadian J. For. Res.* 1993. Vol. 23. P. 1286–1290.
12. Choromanska U., DeLuca T. H. Microbial activity and nitrogen mineralization in forest mineral soils following heating: evaluation of post-fire effects // *Soil Biology and Biochemistry*. 2002. Vol. 34. P. 263–271.
13. Wuthrich C., Schaub D., Weber M., Marxer P., Conedera M. Soil respiration and soil microbial biomass after fire in a sweet chestnut forest in southern Switzerland // *Catena*. 2002. Vol. 48. P. 201–215.
14. Radea C., Arianoutsou M. Cellulose decomposition rates and soil arthropod community in a *Pinus halepensis* Mill. forest of Greece after a wildfire // *Eur. J. Soil Biol.* 2000. Vol. 36. С. 56–64.
15. Средняя Сибирь / под ред. И. П. Герасимова. М.: Наука, 1964. 480 с.
16. Перевозникова В. Д., Иванова Г. А., Иванов В. А., Ковалева Н. М., Конард С. Г. Видовой состав и структура живого напочвенного покрова в сосняках после контролируемых выжиганий // *Сиб. экол. журн.* 2005. № 1. С. 135–141.
17. Классификация и диагностика почв России / авторы и составители: Л. С. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
18. Безкорвайная И. Н., Иванова Г. А., Тарасов П. А., Сорокин Н. Д., Богородская А. В., Иванов В. А., Конард С. Г., Макрае Д. Дж. Пирогенная трансформация

- ция почв сосняков средней тайги Красноярского края // Сиб. экол. журн. 2005. № 1. С. 143–152.
19. Иванова Г. А. Зонально-экологические особенности лесных пожаров в сосняках Средней Сибири: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 2005. 40 с.
 20. McRae D. J., Conard S. G., Ivanova G. A. et al. Variability of fire behavior, fire effects and emissions in Scotch Pine Forests of Central Siberia // *Mitig. Adapt. Strategies for Global Change*. 2006. Vol. 11. P. 45–74.
 21. Schiner F. *Methods in soil biology*. Berlin: Springer-Verlag, 1996. 426 с.
 22. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
 23. Добровольская Т. Г., Скворцова И. Н., Лысак Л. В. Методы выделения и идентификации почвенных бактерий. М.: Изд-во МГУ, 1989. 71 с.
 24. Определитель бактерий Берги: в 2-х т. М.: Мир, 1997. 800 с.
 25. Anderson J. P. E., Domsch K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // *Soil Biology and Biochemistry*. 1978. Vol. 10. P. 314–322.
 26. Ананьева Н. Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука, 2003. 222 с.
 27. Гиляров М. С. Учет крупных беспозвоночных (мезофауна) // *Количественные методы в почвенной зоологии*. М.: Наука, 1987. С. 9–26.
 28. Дунгер В. Учет микроартропод (микрофауна) // *Количественные методы в почвенной зоологии*. М.: Наука, 1987. С. 26–50.
 29. Бродский А. К., Кипятков В. Е., Кузнецова И. А. Руководство по энтомологической практике. Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. 230 с.
 30. Стебаева С. К. Жизненные формы ногохвосток (*Collembola*) // *Зоол. журн.* 1970. № 10. С. 1437–1455.
 31. Криволицкий Д. А. Морфоэкологические типы панцирных клещей (*Acariformes, Oribatei*) // Там же. 1965. № 8. С. 1176–1190.
 32. Определитель обитающих в почве клещей (*Sarcoptiformes*) / под ред. Д. А. Криволицкого. М.: Наука, 1975. 491 с.
 33. Курбатский Н. Г. Классификация лесных пожаров // *Вопросы лесоведения*. Красноярск: ИЛИД, 1970. С. 384–407.
 34. Безкоровайная И. Н., Тарасов П. А., Краснощекова Е. Н. Экологическое состояние почв после пожара в сосняках средней тайги Красноярского края // *Вестник КрасГАУ*. Красноярск, 2006. № 13. С. 178–183.
 35. Pietikainen J., Hiukka R., Fritze H. Does short-term heating of forest humus change its properties as a substrate for microbes? // *Soil Biology and Biochemistry*. 2002. Vol. 32. P. 277–288.
 36. Diaz-Ravina M., Prieto A., Baath E. Bacterial activity in a forest soil heating and organic amendments measured by the thymidine and leucine incorporation techniques // *Soil Biology and Biochemistry*. 1996. Vol. 28. P. 419–426.
 37. Kutiel P., Shaviv A. Effects of simulated forest fire on the availability of N and P in Mediterranean soils // *Plant and soil*. 1989. Vol. 1. P. 57–63.
 38. Стриганова Б. П. Питание почвенных сапрофагов. М.: Наука, 1980. 244 с.

Postfire Transformation of Microbial Coenoses and the Complexes of Invertebrates in the Soil of Pine Forests of Central Siberia

A. V. BOGORODSKAYA, E. A. KRASNOSHCHKOVA,
I. N. BEZKOROVAYNAYA, G. A. IVANOVA

*V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok
E-mail: anbog@ksc.krasn.ru*

Post-fire changes of the functional characteristics of soil microbial coenoses and the complexes of soil invertebrates in the middle-taiga pine forests of Central Siberia were studied. It was revealed that the fire events, independently of their intensity, during the first year cause a decrease in the number of diversity of soil invertebrates, and also have a negative effect on the structure and the functional activity of microbial complexes of sandy podzol. The post-fire recovery of the number and structure of the complexes of soil invertebrates and the functional activity of microbial coenoses of sandy podzol is determined both by the action of the pyrogenic factor and by the features of the dynamics of hydrothermal and trophic conditions of soil in pine forests.

Key words: microbial coenoses, forest fires of different intensities, soil fauna, microarthropoda.