УДК 630×114.68:630×43

# МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ПОСЛЕ ПОЖАРОВ В СОСНОВО-ЛИСТВЕННИЧНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ НИЖНЕГО ПРИАНГАРЬЯ

А.В. Богородская, Г.А. Иванова

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН 660036 Красноярск, Академгородок, 50; e-mail: anbog@ksc.krasn.ru

Проведен микробиологический мониторинг состояния почв после пожаров разной интенсивности в сосноволиственничных насаждениях Нижнего Приангарья. Показано, что величина послепожарных изменений численности, биомассы и активности микроорганизмов бурозема темного оподзоленного, а также восстановление этих параметров зависят от степени прогорания подстилки и напочвенного покрова во время пожара. Наибольшему воздействию пожара подвергались микробоценозы подстилки и верхнего 5 см слоя темногумусового горизонта в зонах с сильным прогоранием. Анализ жирно-кислотного состава микроорганизмов подстилки после высокоинтенсивного пожара показал значительные изменения, как в структурном, так и таксономическом составе микробоценоза.

Ключевые слова: микробоценозы почв, пожары разной интенсивности, сосново-лиственничные насаждения

The microbiological monitoring of the soil after fires of various intensity in mixed pine-larch forests of the Angara region has been conducted. It was shown that post-fire changes in amount, biomass and microbial activity of soil microorganisms and the recovery of these parameters depend on the depth of burn of litter and ground cover. Microbial complexes of the litter and the upper 5-cm layer of soils in areas with deep burnout were subjected the greatest fire impact. Analysis of fatty acid composition of microorganisms of litter after high-intensity fire showed significant changes both in structural and taxonomic composition of microbial complexes.

Key words: microbial complexes of soils, fires of various intensity, pine-larch forests

#### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время при оценке состояния почв перспективной считается система микробиологического мониторинга, основанная на комплексе микробиологических исследований, которая дает возможность выявить определенные сдвиги и изменения еще на ранних стадиях нарушения экосистемы. При этом необходимо учитывать огромную рольмикроорганизмов, как самого большого по массе и энергии звена почвенной биоты, обладающих высокой чувствительностью к изменениям окружающей среды, а также адаптационной устойчивостью и полифункциональностью (Никитина, 1991; Сорокин, 2009).

Основное количество пожаров по числу и площади приходится на южнотаежные леса Средней Сибири (Иванова, Иванов, 2008). Одними из наиболее горимых являются леса Нижнего Приангарья, где до 22,6 % лесопокрытой площади приходится на насаждения с участием лиственницы (Попов, 1982).

Изучение структурно-динамических особенностей развития эколого-трофических групп микроорганизмов и функциональной активности микробных комплексов почв листвениичных насаждений, пройденных пожарами разной интенсивности, позволит оценить интенсивность азотного и углеродного циклов и направленность почвообразовательных процессов.

Цель исследования — микробиологический мониторинг состояния почв после пожаров разной интенсивности в смешанных сосново-

лиственничных насаждениях Нижнего Приангарья.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в смешанных сосново-лиственничных насаждениях Нижнего Приангарья (58°32' с.ш. и 98°57' в.д.). Лиственничник со II ярусом из темнохвойных пород мелкотравногозеленомошного типа леса занимает среднюю часть склона северо-восточной экспозиции с уклоном до  $5^{0}$ . Древостой сложный по структуре и составу, разновозрастный. Состав древостоя І яруса 6Л 3С 1П + Б, Oc; II яруса 3Е3Б2П1С1Оc + К. Верхний ярус полидоминантный, с явным доминированием Larix sibirica Ledeb. и Pinus sylvestris L., возраст которых до 300 лет. В составе второго яруса преобладают Abies sibirica Ledeb., Picea obovata Ledeb., Pinus sibirica (Du) Tour., возраст которых до 60 лет. Сомкнутость крон I яруса 0.3-0.5, II -0.7-0.9. Подрост темнохвойный, крупномерный более 3 тыс. шт./га. Подлесок как ярус не выражен, единично встречаются Salix caprea L., Rosa acicularis Lindl., Spiraea media Franz Schmidt, Lonicera tatarica L., Sorbus sibirica Hedl., Juniperus communis Burgsd. ива козья, шиповник, спирея, жимолость, рябина, можжевельник. Живой напочвенный покров хорошо развит. В травяно-кустарничковом ярусе доминирует таежное мелкотравье (Linnaea borealis L., Pyrola rotundifolia L., Viola uniflora L., Anemone altaica Fischer ex C. A. Meyer), виды лесного разнотравья (Lathyrus humilis (Ser.) Spreng., Rubus saxatilis L.), Carex macroura Meinsh., Vaccinium vites-idea L.. Всего около 30 видов. Общее проективное покрытие от 10 до 50 %. В составе мохового покрова до-

Работа поддержана ISTC (проект № 3695).

минирует *Pleurozium schreberi, Hylocomium splendens*, в примеси *Dicranum polysetum*. Общее проективное покрытие мхов 40-80 %. Лишайниковый покров не развит.

Почвенный покров смешанных лиственничных насаждений представлен буроземом темным оподзоленным маломощным глинистым на элювиальноделювиальной красноцветной мергелистой глине (Классификация.., 2004)..

С целью исследования поведения пожаров и их воздействия на компоненты экосистемы в 2006-2007 гг. в сосново-лиственничных насаждениях проведена серия экспериментов, представляющих собой контролируемые выжигания, максимально приближенные к естественным пожарам. Интенсивность горения на кромке пожара определялась исходя из теплотворной способности горючего материала, сгоревшего запаса и скорости распространения кромки огня (Вугат, 1959). Температура горения во время проведения экспериментов измерялась термопарами. Исследования свойств почв и микробоценозов проводили на контроле и двух экспериментальных участках, площадью 1 га каждый, пройденных пожарами разной интенсивности. На участке №2 развился пожар высокой интенсивности (более 4000 кВт/м) в 2006 году, а на участке №3 – низкой интенсивности (менее 2000 кВт/м) в 2007 году.

Образцы почвы были взяты стандартными методами в десяти точках на каждом участке до и через сутки после выжигания, а также в течение последующих трех лет в середине вегетационного периода (Методы.., 1977). Отбор почвенных образцов проводился по следующим горизонтам: О подстилка, AUe (темногумусовый) - 0-5 см, 5-15 см.

Изучали общую численность и структуру эколого-трофических групп микроорганизмов (ЭКТГМ) с использованием ряда диагностических сред (Методы.., 1991): мясо-пептонный агар (МПА) – для учета аммонификаторов, подкисленный сусло-агар (СА) – для микромицетов, крахмало-аммиачный агар (КАА) – для микроорганизмов, усваивающих минеральные соединения азота и актиномицетов, почвенный голодный агар (ПА) – для олиготрофов.

Для изучения параметров функциональной активности определяли содержание микробной биомассы ( $C_{\text{мик}}$ ) методом субстрат-индуцированного дыхания (СИД) (Anderson, Domsch, 1978; Ананьева, 2003). В стеклянные флаконы объемом 250 мл помещали 2 г свежей почвы, просеянной через сито с размером ячеек 3 мм, добавляли 0.2 мл глюкозоминеральной смеси (ГМС, мг/мл: глюкоза - 200;  $K_2HPO_4$  - 20;  $(NH_4)_2SO_4$  - 20), увлажняли при необходимости до 60 % от полной влагоемкости, герметично закрывали резиновыми пробками и инкубировали при 22°С в течение 3-4 часов, что соответствует лаг-периоду роста микробной популяции (Ананьева и др., 1993).

Концентрацию выделяющегося почвой CO<sub>2</sub> определяли с помощью газового хроматографа Agilent 6890N, снабженного метанатором и пламенно-ионизационным детектором (Hewlet-Packard,

США). С<sub>мик</sub> определяли путем пересчета скорости СИД по формуле (Anderson, Domsch, 1978): С<sub>мик</sub> (мкг г<sup>-1</sup> почвы) = (мкл  $CO_2$  г<sup>-1</sup> почвы час<sup>-1</sup>)×40,04+0,37.

Базальное (фоновое) дыхание (БД) почвы измеряли по скорости выделения  $CO_2$  почвой за 24 ч ее инкубации при 25°С. Определение  $CO_2$  проводили хроматографически, как описано для определения СИД, только вместо внесения раствора ГМС, вносили воду. Скорость базального дыхания выражали в мкг  $C-CO_2$ /  $\Gamma$  почвы в час.

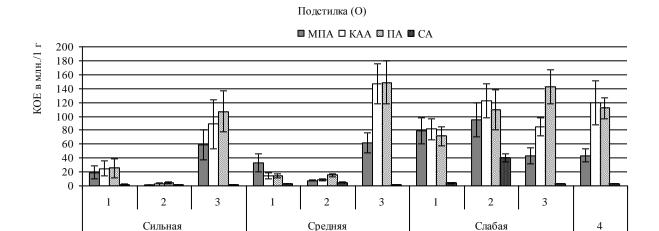
С целью определения качественного состава микробоценозов подстилок изучаемых насаждений Георгием Андреевичем Осиповым (Научный центр сердечно-сосудистой хирургии, Академическая группа академика РАМН Ю.Ф. Исакова) проведен анализ жирно-кислотного состава микроорганизмов использованием хромато-массспектрометрического анализа (ГХ-МС) (Осипов, 1995; Турова, Осипов, 1996). Метод массспектрометрии микробных маркеров разработан в России Г.А. Осиповым и с 1991 года используется для количественного анализа таксономического состава микробных сообществ в медицине, экологии и биотехнологии (Осипов, 1993). В его основе высокоточное определение кислотных маркеров клеточных липидов микроорганизмов, которые в последствии используются для хемотаксаномических целей (Eerola, Lehtonen, 1988; Осипов и др., 1994;). Применение расчетного метода, позволяет определить состав микробного сообщества не только качественно, но и количественно (Осипов, 1993, 1995; Турова, Осипов, 1996).

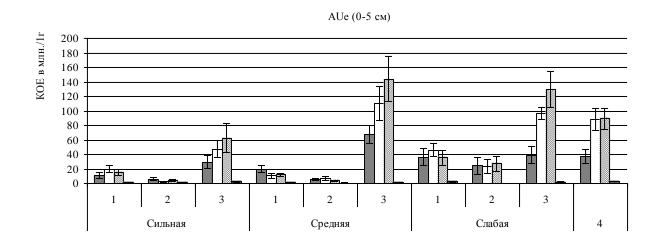
Все анализы проводили в трехкратной повторности. Статистическую обработку данных выполняли с использованием компьютерной программы Microsoft Excel 2002.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Биогенность почвы и вертикальная стратификация микробных комплексов почв определяется как свойствами почвы, так и качеством поступающего органического вещества (Звягинцев и др., 1993). Развитие разнотравья в составе живого напочвенного покрова, мягкий опад лиственных, слабокислая реакция среды верхних минеральных горизонтов почвы, высокое содержание гумуса предопределяют высокую численность гетеротрофной микрофлоры бурозема темного оподзоленного. Максимальная численность микроорганизмов расположена в подстилке и верхней части темногумусового горизонта и постепенно убывает вниз по профилю, что характерно для автоморфных почв (рис. 1). Преобладание микроорганизмов, усваивающих минеральные соединения азота над аммонификаторами (К<sub>мин</sub>=КАА/МПА) указывает на высокую интенсивность процессов микробиологической минерализации органических веществ. В то же время, численность олиготрофов, извлекающих мономерные соединения при низкой их концентрации в среде, достаточно высока, но чаще всего не превышает количество аммонификаторов, что свидетельствует об оптимальном количестве легкоминерализуемого органического вещества для поддержания пула гидролитической и копиотрофной группировок в микробном комплексе (рис. 1). В целом отмечена высокая вариабельность

численности микроорганизмов в подстилке и верхней части темногумусового горизонта смешанного насаждения, что объясняется мозаичностью напочвенного покрова и влиянием нано- и микрорельефа (рис. 1).





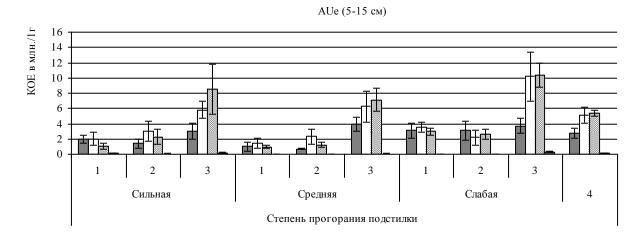


Рисунок 1 - Динамика численности микроорганизмов в почве сосново-лиственничного насаждения после высокоинтенсивного пожара (уч. №2)

1 – до пожара; 2 – через сутки после пожара; 3 - через год после пожара; 4 – контроль к 3

Анализ жирно-кислотного состава микроорганизмов подстилки смешанного сосноволиственничного насаждения с использованием ГХ-МС показал, что общая численность микроорганизмов в грамме почвы составляла 540 млн. клеток. В составе микробного сообщества доминируют грамположительные бактерии (до 35 % от суммарной биомассы), почти не уступают им грамотрицательные и до 22 % приходится на долю микроскопических грибов (рис. 2).

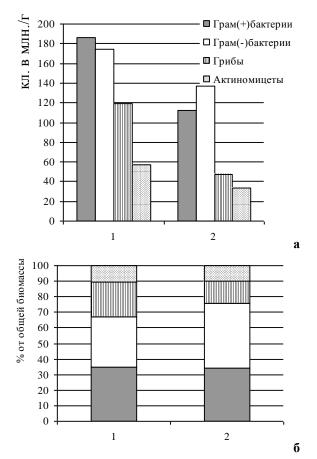


Рисунок 2 - Структура микробного сообщества подстилки сосново-лиственничного насаждения до высокоинтенсивного пожара (1) и через год после него (2)

Общее количество видов микроорганизмов -48, принадлежащих к 32 родам. Среди грамположительных микроорганизмов доминируют- аэробы и Arthrobacter факультативные анаэробы sp., Micrococcus sp., Corynebacterium sp., Bifidobacterium sp. и Bacillus sp., а также облигатные и факультативные анаэробы Clostridium pasterianum, C. propionicum, Ruminococcus, Butyrivibrio. Из грамотрицательных доминируют аэробы Caulobacter (7 % от общего количества клеток), а также Acetobacter sp., Sphingobacterium spiritovorum, Sphingomonas capsulata, Xantomonas sp., различные виды псевдомонад, среди которых доминирует Pseudomonas fruorescens и P. putida, а также целлюлозоразрушающие микроорганизмы Cytophaga и Sporocytophaga. Среди облигатных и факультативных грамотрицательных анаэрбов доминировали Aeromonas hydrophila (до 4 %), встречались Bacteroides fragilis и факультативные литоавтортофынитрификаторы Nitrobacter sp. Среди актиномицет доминировали представители из рода Streptomyces, также обнаружены Rhodococcus, Nocardia, Pseudonocardia sp., Mycobacterium sp., Actinomadura roseola.

Действие пожара высокой интенсивности на микробоценоз бурозема темного оподзоленного смешанного сосново-лиственничного насаждения неодинаково в пределах одного участка: изменение структуры и численности, а также функциональной активности микробоценоза зависит от степени прогорания подстилки с напочвенным покровом (НП) во время пожара, которая определяется неравномерным распределением горючих материалов, мозаичным характером НП и влажностью почвы, связанными с микрорельефом. Сильному прогоранию соответствовали зоны со значительным сгоранием подстилки и HП (4-5 cм), среднему -1,5-3 см, слабому - менее 1 см. Зоны слабого прогорания незначительны на участке 2 и приурочены к микропонижениям с более высоким увлажнением подстилки, которая слабо прогорела. Самые значительные изменения численности микроорганизмов после пожара происходят в подстилке, которая подвергается воздействию высоких температур во время пожара (около 1000°C на поверхности подстилки). Максимальное снижение численности аммонифицирующих, использующих минеральные соединения азота, олиготрофных микроорганизмов и микромицетов (на 50-80 %) отмечено в подстилке и верхней части темногумусового горизонта (0-5 см) в зонах с сильным прогоранием (рис. 1). В зонах со слабым прогоранием численность микроорганизмов изменялась незначительно по сравнению с допожарным уровнем, исключая количество грибных зачатков, возросшее в 10 раз (рис.1), что, вероятно, связано с созданием благоприятных гидротермических условий при прогревании достаточно влажной подстилки в совокупности с обогащением почвы легкогидролизуемым органическим веществом и зольными элементами (Dunn et. al., 1985; Fritze, Pietikainen, 1993; Vazquez et. al., 1993).

В верхней части темногумусового горизонта (0-5 см) после пожара во всех зонах количество аммонификаторов доминирует над численностью микроорганизмов, усваивающих минеральные соединения азота, что свидетельствует о снижении темпов микробиологической минерализации остаточного органического вещества. Доминирование аммонифицирующих бактерий сразу после пожаров в комплексе микрофлоры азотного цикла ранее уже отмечалось (Yeager et. al., 2005).

В нижней части того же горизонта (5-15 см) в зонах с сильным прогоранием подстилки и НП количество олиготрофов и прототрофов повышается в 1,5-2 раза, а в зонах со средним и слабым прогоранием не наблюдается значительных изменений структуры и численности ЭКТГМ (рис. 1), поскольку на данной глубине температура во время пожара не поднимается до критических для микрофлоры значений (Богородская, 2006; Богородская, Сорокин, 2006).

Параметры функциональной активности мик-

робоценозов почвы на участке №2 после высокоинтенсивного пожара также зависят от степени прогорания подстилки (рис. 3). Максимальное снижение углерода микробной биомассы наблюдается в подстилке в зонах с сильным прогоранием (на 85 %) и минимальное — в зонах со слабым прогоранием подстилки с НП (на 50 %). В зонах со средним прогоранием величина  $C_{\text{мик}}$  практически не меняется. В верхнем 5 см слое темногумусового горизонта содержание  $C_{\text{мик}}$  уменьшается в 2 раза в зонах с силь-

ным прогоранием подстилки и НП, в то время как в зонах со средней и низкой степенью прогорания - снижается незначительно. В нижележащей части того же горизонта (5-15 см) послепожарные изменения С<sub>мик</sub> менее выражены. Интенсивность БД в подстилке и темногумусовом горизонте через сутки после пожара практически не изменяется в зонах с сильным прогоранием, тогда как в зонах со средним и слабым прогоранием либо не меняется, либо увеличивается в 1,5 раза (рис. 3).

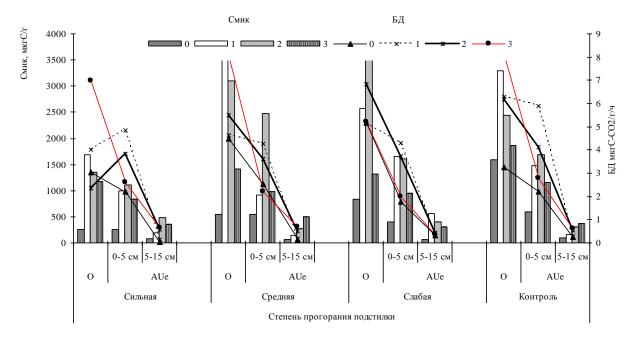


Рис. 3. Динамика содержания микробной биомассы (диаграммы) и интенсивности базального дыхания (графики) в бероземе темном оподзоленном сосново-лиственничного насаждения после высокоинтенсивного пожара 0, 1, 2, 3 – послепожарный период, лет.

Через сутки после низкоинтенсивного пожара (участок №3) в подстилке количество аммонификаторов и микроорганизмов, использующих минеральный азот, повышается в 1,5 раза, тогда как количество грибных зачатков уменьшается в 2 раза (рис. 4). В верхнем 5 см слое темногумусового горизонта отмечено незначительное снижение аммонификаторов и почти трехкратное уменьшение численности грибов. Ряд авторов указывает на большую по сравнению с бактериями чувствительность микромицетов к воздействию высоких температур (Dunn et. al., 1985; Certini, 2005; Rutigliano et. al., 2007). Летальными температурами для бактерий указываются 120°C в сухих почвах и 100°C во влажных, в то время как для грибов – 80°C и 60°C, соответственно (Dunn et. al., 1985). Основными причинами, влияющими на сокращение микромицетов после пожаров, отмечается изменение качественного состава органического вещества наряду с поступлением в почву токсических продуктов горения (Vazquez et. al., 1993; Pietikainen, Fritze, 1995).

Содержание  $C_{\text{мик}}$  и интенсивность БД в подстилке через сутки после низкоинтенсивного пожара практически не меняются, тогда как в верхнем 5 см слое темногумусового горизонта содержание  $C_{\text{мик}}$  увеличивается на 30%, а интенсивность БД возрастает почти в 2 раза (рис. 5). В нижней части темногумусового горизонта (5-15 см) содержание  $C_{\text{мик}}$  также незначительно увеличивается, а дыхание микроорганизмов возрастает более чем в 2 раза, что связано с активизацией микробиологических процессов при прогревании почвы при низкоинтенсивном пожаре.

#### ■ МПА □ КАА □ ПА ■ СА

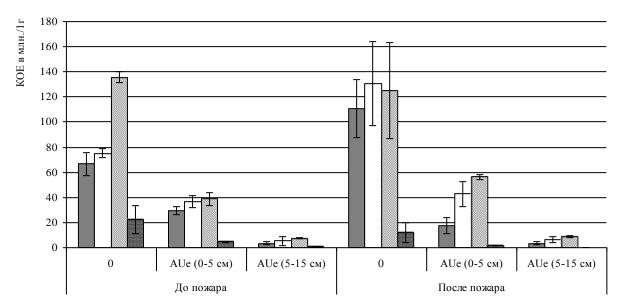


Рисунок 4 - Численность микроорганизмов в буроземе темном оподзоленном сосново-лиственничного насаждения после низкоинтенсивного пожара

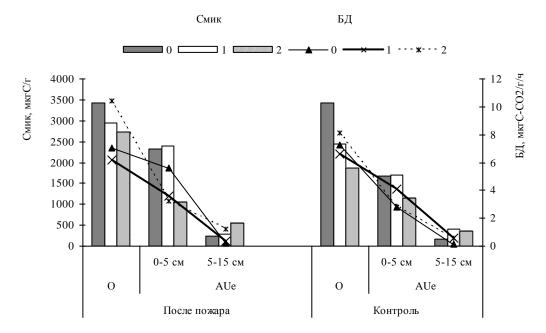


Рисунок 5 - Динамика интенсивности базального дыхания (графики) и углерода микробной биомассы (диаграммы) в буроземе темном оподзоленном сосново-лиственничного насаждения после низкоинтенсивного пожара 0,1,2 – послепожарный период, лет

Увеличение интенсивности микробного дыхания почвы после пожаров можно объяснить обогащением почвы зольными элементами и продуктами термического разложения органического вещества в окислительной среде, богатыми азотом, а также несгоревшим органическим веществом в благоприятных гидротермических условиях при тепловой мелиорации (Dunn et. al., 1985; Pietikainen, Fritze, 1995; Certini, 2005). Оставшиеся корни сгоревшей растительности также могут являться питательным субстратом для микрофлоры почв, обусловливая более высокое базальное дыхание (Wutrich et. al., 2002).

Дальнейшее послепожарное восстановление

структурно-функциональной активности микробоценозов будет зависеть от степени трансформации эдафических условий лесного биогеоценоза, а также последующих постпирогенных сукцессий напочвенного покрова.

Через год после высокоинтенсивного пожара на участке №2 происходит изменение видового состава напочвенного покрова: зарастание гари раннесукцессионными видами *Chamerion angustifolium* и *Calamagrostis arundinacea*. Общая биомасса травянистого яруса достигает 1,53±0,20 т/га, что почти в 6 раз превышает допожарные значения (0,27±0,05 т/га). Через два года после высокоинтенсивного пожара отпад деревьев І яруса составляет 37 %, а

деревьев ІІ яруса и подроста достигает 100 %.

Улучшение температурного режима почв в послепожарный период, снижение кислотности за счет поступления в подстилку образующихся при пиролизе зольных элементов, а также изменение количества и качества органического вещества оказывают влияние на развитие микрофлоры почв (Certini, 200; Попова, 1997; Безкоровайная и др., 2005; Тарасов и др., 2008). Восстановление микробиологической активности почв после высокоинтенсивного пожара на участке №2 зависело от степени прогорания подстилки во время пожара. Уже через год после высокоинтенсивного пожара в подстилке численность микроорганизмов сравнима с контролем в зонах со слабым прогоранием и даже несколько превышает контроль в зонах с сильным и средним прогоранием подстилки и НП (рис. 1), что свидетельствует об интенсивно идущих микробиологических процессах в подстилке, где расположена основная масса корней, активно выделяющих экзометаболиты. В верхнем 5 см слое темногумусового горизонта в зонах с сильным прогоранием численность прототрофов и олиготрофов несколько снижена по сравнению с контролем, тогда как в зонах со средним и слабым прогоранием количество микроорганизмов выше контроля в 1,5-2 раза. В слое 5-15 см того же горизонта во всех зонах наблюдается увеличение численности микрофлоры, что связано с благоприятными гидротермическими условиями почвы при прогревании почвы в сочетании с обогащением почвы дополнительным органическим веществом. Через год после высокоинтенсивного пожара на уч. №2 в подстилке численность клеток микроорганизмов, выявленная по содержанию жирных кислот, сократилась до 330 млн./г почвы, что почти на 40 % ниже допожарного состояния. При этом численность грибной микрофлоры сокращается более, чем в 2 раза (рис. 2), что согласуется с вышеизложенными данными и других авторов (Dunn et. al., 1985; Certini, 2005; Rutigliano et. al., 2007). Рассматривая послепожарное изменение структуры микробоценоза подстилки, отмечено почти двукратное сокращение грибной микрофлоры и незначительное увеличение процента грамотрицательных бактерий (рис. 2б). В то же время изменения численности микроорганизмов через год после пожаров более значительны (рис. 2а). Так, количество актиномицетов сокращается в 1,5-2 раза, исчезают микобактерии, но остается достаточно высокой численность Streptomyces, Rhodococcus и Nocardia. Среди бактериальной микрофлоры доминируют Acetobacter sp., Sphingobacterium spiritovorum, Sphingomonas capsulate, псевдомонады, Micrococcus sp., Bacillus sp., Butyrivibrio и значительно сокращается численность Clostridium sp. (в 6-10 раз), Arthrobacter sp., Bifidobacterium sp., Ruminococcus и Nitrobacter sp. Отмечено значительное увеличение количества Caulobacter, Aeromonas hydrophila и появление таксонов, не обнаруженных в подстилке ненарушенного лиственничника (грамположительные анаэробы Eubacterium sp., Acetobacterium carbinolicum ).

Содержание углерода микробной биомассы в

верхних органогенных слоях почвы сосноволиственничного насаждения через год после высокоинтенсивного пожара снижено в 1,5-2 раза только в зонах с сильным прогоранием подстилки и НП, тогда как в зонах со средним и слабым прогоранием содержание  $C_{\text{мик}}$  сравнимо с контролем (рис. 3). Интенсивность БД в подстилке и верхнем 5 см слое темногумусового горизонта участка №2 несколько меньше во всех зонах. В слое 5-15 см параметры  $C_{\text{мик}}$  и БД почти в 2 раза меньше контроля в зонах с сильным и средним прогоранием подстилки и НП.

Через два года после высокоинтенсивного пожара содержание  $C_{\text{мик}}$  в подстилке и верхнем 5 см слое темногумусового горизонта снижено почти в 2 раза только в зонах с сильным прогоранием, тогда как в зонах со средним и слабым прогоранием выше контроля в 1,5-2 раза. Интенсивность БД в подстилке и в верхнем 5 см слое темногумусового горизонта в зонах с сильным прогоранием ниже контроля в 2-3 раза, в зонах со слабым прогоранием интенсивность БД увеличивается, а в зоне со средним прогоранием - сравнима с контролем.

Через три года - содержание Смик в подстилке несколько снижено во всех зонах, но больше всего в зоне с сильным прогоранием (почти на 40 %). В верхней части темногумусового горизонта (0-5 см) величина Смик также ниже контроля на 20-50 % во всех зонах прогорания (рис. 3). Интенсивность БД через три года снижена в подстилке только в зонах с сильным и слабым прогоранием подстилки, тогда как в нижележащих слоях почвы сравнима с контролем. Вероятно, через три года после пожара высокой интенсивности процессы минерализации органических веществ превалируют над иммобилизацией углерода в микробной биомассе, но наиболее заметное послепожарное нарушение активности микробоценозов подстилки и верхнего слоя темногумусового горизонта бурозема темного оподзоленного отмечено в основном в зонах с сильным прогоранием. Основная потеря почвенного органического вещества наблюдается только в первый послепожарный год.

Низовые пожары низкой интенсивности в смесосново-лиственничных насаждениях Нижнего Приангарья не приводят к полной гибели древостоя, а повреждения травяно-кустарничкового яруса незначительны и его послепожарное восстановление происходит в рамках структур микрорельефа. В течение двух лет после низкоинтенсивного пожара отмечено незначительное увеличение параметров функциональной активности в подстилке (рис. 5), причем процесс минерализациииммобилизации органического вещества сбалансирован (высокая корреляция между Смик и БД). Следовательно, пожары низкой интенсивности в смешанных сосново-лиственничных насаждениях не приводят к нарушению функционирования микробоценозов почв.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Действие пожара высокой интенсивности на микробоценоз бурозема темного оподзоленного в

смешанном сосново-лиственничном насаждении Нижнего Приангарья неодинаково в пределах одного участка: величина послепожарных изменений численности, биомассы и активности микроорганизмов зависит от степени прогорания подстилки и напочвенного покрова во время пожара, которая сильно варьирует и определяется неравномерным распределением горючих материалов, мозаичным характером произрастания напочвенного покрова и микрорельефом. Наибольшему воздействию пожара подвергались микробоценозы подстилки и верхнего 5 см слоя темногумусового горизонта в зонах с сильным прогоранием: отмечено уменьшение на 50-80 % численности микроорганизмов изучаемых эколого-трофических групп, снижение на 85 % углерода микробной биомассы в подстилке и в 2 раза в верхнем слое темногумусового горизонта. Интенсивность микробного дыхания сразу после пожара либо не менялась, либо незначительно увеличивалась.

Анализ жирно-кислотного состава микроорганизмов подстилки после высокоинтенсивного пожара показал значительные изменения, как в структурном, так и таксономическом составе микробоценоза.

В последующие три послепожарных года восстановление структурно-функциональной активности микробоценозов зависит от степени трансформации эдафических условий лесного биогеоценоза, а также последующих постпирогенных сукцессий напочвенного покрова. Улучшение гидротермических и трофических условий почвы, обильное разрастание травянистой растительности оказывает благоприятное воздействие на функциональную активность микробоценоза бурозема темного оподзоленного в течение трех лет после пожара высокой интенсивности.

Восстановление микробиологической активности почв после высокоинтенсивного пожара определялось степенью прогорания подстилки во время пожара. Значительное нарушение процесса минерализации-иммобилизации органического вещества почвы отмечено только в зонах с сильным прогоранием подстилки и напочвенного покрова.

Пожары низкой интенсивности в первый год приводят к активизации микробиологических процессов минерализации органического вещества, но уже через год функциональная активность бурозема темного оподзоленного сравнима с контролем.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Орлинский Д.Б., Мякшина Т.Н. Методические аспекты применения скорости субстрат-индуцированного дыхания почвенных микроорганизмов // Почвоведение.1993. № 11. С. 72-77.
- Ананьева Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука, 2003. 222 с.
- Безкоровайная 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 почв сосняков средней тайги Красноярского края // Сибирский экологический журнал. 2005. № 1. С. 143-

152

- Богородская А.В. Влияние пожаров на микробные комплексы почв сосновых лесов Средней Сибири. Автореф.... канд. биол. наук. Красноярск: ИЛ СО РАН. 2006. 22 с.
- Богородская А.В., Сорокин Н.Д. Микробиологическая диагностика состояния пирогенно-измененных почв сосняков Нижнего Приангарья // Почвоведение. 2006. № 10. С. 1258-1266.
- Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Добровольская Т.Г., Зенова Г.М., Лысак Л.В., Мирчинк Т.Г. Вертикальноярусная организация микробных сообществ лесных биогеоценозов // Микробиология. 1993. Т.62. Вып.1. С. 256-278.
- Иванова Г.А., Иванов В.А. Зонально-географические особенности пожаров в сосновых лесах Средней Сибири // Пожары в лесных экосистемах Сибири. Красноярск: И.Л., 2008. С. 132-133.
- Классификация и диагностика почв России /авторы и составители: Шишов Л.С., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Звягинцева Д.Г. М: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
- Методы стационарного изучения почв. М.: Наука, 1977. 248 с.
- Никитина 3.И. Микробиологический мониторинг наземных экосистем. Новосибирск: Наука, 1991. 219 с.
- Осипов Г.А. Способ определения родового (видового) состава ассоциации микроорганизмов. Патент РФ № 2086642. C12N 1/00, 1/20, C12Q 1 /4. Приоритет от 24 дек.1993г.
- Осипов Г.А., Назина Т.Н., Иванова А.И. Изучение видового состава микробного сообщества заводняемого нефтяного пласта методом хромато-массспектрометрии // Микробиология.1994. Е.63. Вып.5. С.876-882.
- Осипов Г.А. Хромато-масс-спектрометрическое исследование микроорганизмов и их сообществ. Автореф. дисс. д. биол. наук. М.: ММА, 1995, 62 с.
- Попова Э.П. Пирогенная трансформация свойств почв Среднего Приангарья / Сибирский экологический журнал. 1997. №4. С.413-418.
- Попов Л.В. Южнотаежные леса Сибири. Иркутск: Изд-во Иркутского ун-та. 1982. 330 с.
- Сорокин Н.Д. Микробиологический мониторинг нарушенных наземных экосистем Сибири // Известия РАН. Сер. биол. 2009, №6. С. 728-733.
- Тарасов П.А., Иванов В.А., Иванова Г.А. Особенности температурного режима почв в сосняках средней тайги, пройденных низовыми пожарами // Хвойные бореальной зоны. №3-4. 2008. С. 300-304.
- Турова Е.С., Осипов Г.А. Изучение структуры микробного сообщества, активного в биотрансформации минералов железа в каолине. Микробиология, 1996, 65(5), 682-689.
- Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil biol. and biochem. 1978. V. 10. P. 314-322.
- Byram G.M. Forest fire: control and use. New York, Toronto, London, McGrow-Hill Book Co, 1959. P. 61-89.
- Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review // Oecologia. 2005. V. 143. P. 1-10.
- Dunn P.H., Barro S.C., Poth M. Soil moisture affects survival of microorganisms in heated chaparral soil // Soil biol. and biochem. 1985. V.17. P. 143-148.
- Eerola T., Lehtonen O.P. Optimal data processing procedure for automatic bacterial identification by gas-liquid chromatography of cellular fatty acids // J. Clin. Microbiol. 1988. Vol. 26. №3. P. 1745-1753.

- Fritze H., Pietikainen J. Recovery of soil microbial biomass and activity from prescribed burning // Can. J. Forest Research. 1993. V.23. P. 1286-1290.
- Pietikainen J., Fritze H. Clear-cutting and prescribed burning in coniferous forest: comparison of effects on soil fungal and total microbial biomass, respiration activity and nitrification // Soil biol. and biochem. 1995. V. 27. P. 101-109
- Rutigliano F. A., De Marco A., D'Ascoli R., Castaldi S., Gentile A., Virzo De Santo A. Impact of fire on fungal abundance and microbial efficiency in C assimilation and mineralisation in a Mediterranean marquis soil // Bi-
- ol. fertil. soils. 2007. V. 44. P. 377-381.
- Vazquez F.J., Acea M.J., Carhallas T. Soil microbial populations after wildfire // Microbiology ecology. 1993. V. 13. P. 93-104.
- 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. V. 48. P. 201-215.
- Yeager C.M., Northup D.E., Grow C.C., Barns S.M., Kuske C.R. Changes in nitrogen-fixing and ammonia-oxidizing bacterial communities in soil // Appl. environ. microbiol. 2005. V. 71. P. 2713-2722.

Поступила в редакцию 18 января 2010 г. Принята к печати 27 апреля 2011 г.