

## БИОЛОГИЯ ПОЧВ

УДК 631.48

*Е. Ю. Максимова, Е. В. Абакумов*

### ЗОЛЬНЫЙ СОСТАВ ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТОВ И ОСНОВНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЧВ ТОЛЬЯТТИНСКОГО ОСТРОВНОГО БОРА И ИХ ИЗМЕНЕНИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕЙСТВИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ\*

Статья посвящена исследованию постпирогенных изменений почв по типам лесных пожаров и во времени. Целью работы было получение и анализ данных, характеризующих нарушения и изменения свойств почв и их послепожарной динамики в связи с пирогенным воздействием для объективной экологической оценки современного состояния почво-венного покрова лесных ландшафтов. Объектами исследования послужили постпирогенные серогумусовые почвы степных островных боров в районе г. Тольятти Самарской области, подвергшиеся катастрофическому пирогенному воздействию в условиях природной катастрофы в РФ в 2010 г. На основании содержания микробной биомассы и показателя базального дыхания было установлено, что в результате пожаров происходит угнетение микробного сообщества. Спустя один-два года после пожара наблюдается перемещение зоны активной деятельности микроорганизмов в сравнительно более глубокие почвенные горизонты. Кроме того, было отмечено увеличение метаболического коэффициента (доля эмиссии углекислого газа по отношению к биомассе микроорганизмов) в почвах, подверженных действию пожаров по сравнению с фоновой почвой. Элементный анализ выгоревших верхних горизонтов показал, что лесные пожары обогащают почвы зольными элементами питания. Однако, спустя 1–2 года после пожаров происходит потеря зольных элементов вследствие вымывания. Библиогр. 28 назв. Ил. 1. Табл. 3.

*Ключевые слова:* почвы, лесные пожары, постпирогенные сукцессии, пирогенные изменения почв, метаболический коэффициент, микробная биомасса, базальное дыхание, зольный состав.

#### ASH COMPOSITION OF UPPER SOIL HORIZONS AND THE BIOLOGICAL PARAMETERS OF THE TOLYATTI ISLAND PINE FORESTS' SOILS AND THEIR CHANGES IN RESULT OF ACTION OF FOREST FIRES

*E. Yu. Maksimova<sup>1,2</sup>, E. V. Abakumov<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> St. Petersburg State University, Universitetskaya nab., 7/9, St. Petersburg, 199034, Russian Federation; doublemax@yandex, e\_abakumov@mail.ru, e.abakumov@bio.spbu.ru

<sup>2</sup> Institute of Ecology of Volga basin RAS, ul. Komzina, 10, Tolyatti, 445003, Russian Federation; doublemax@yandex, e\_abakumov@mail.ru, e.abakumov@bio.spbu.ru

The article is devoted to research of postpyrogenic soil changes depending on type of forest fires and time. The aim of this work is to obtain and analyze data characterizing disturbances and changes in

---

Е. Ю. Максимова (doublemax@yandex.ru), Е. В. Абакумов (e\_abakumov@mail.ru, e.abakumov@bio.spbu.ru): Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9; Институт экологии Волжского бассейна РАН, Российская Федерация, 445003, г. Тольятти, ул. Комзина, 10.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов мол\_рф\_нр 13-04-90766, мол\_а\_вед 12-04-33017 и мол\_а 14-04-32132.

soil properties and their post-fire dynamics in relation to the pyrogenic effect in order to perform an objective ecological assessment of the current state of environmental soil forest landscape. The objects of the research are postpyrogenic pine forest soils of steppe island pine forests near Togliatti city in Samara region subjected to the catastrophic pyrogenic effects in the natural disaster in Russia in 2010. The soil unaffected by the fire is characterized by the greatest content of soil microbial biomass in the top horizon and, respectively, the bigger index of basal respiration, whereas a reduction of both parameters is noted in postfire soils. Thus, as a result of the fires there is a depression of microbial community. Furthermore, the increase of metabolic rate (the proportion of carbon dioxide emissions in relation to the microbial biomass) in the soils subjected to fires in comparison with the control soil was noted. Refs 28. Figs 1. Tables 3.

*Keywords:* soils, wildfires, postpyrogenic successions, post-fire soil properties changes, metabolic rate, soil microbial biomass, basal respiration, ash content.

## Введение

Мощным средством антропогенного воздействия на почву и почвенные режимы в лесных биогеоценозах являются пожары. Пожары — один из основных дестабилизирующих факторов естественной динамики лесных экосистем. Они вносят существенные изменения в структуру и динамику лесных сообществ. При воздействии пожаров коренным образом изменяются гидротермические и эдафические условия, микробиологические и биохимические процессы в почвах и, как следствие, биоразнообразие растительных сообществ [1]. Русский географ академик А. Ф. Миддендоф еще в XIX в. отметил, что «лесные пожары принадлежат к числу важнейших двигателей природы, посредством которых лесам сообщается известного рода разнообразие» (цит. по: А. Я. Гордягин [2]).

По масштабам разрушительного воздействия на леса России огонь был и остается доминирующим среди всех природных и антропогенных факторов. Потери лесного хозяйства от лесных пожаров ежегодно оцениваются миллиардами и десятками миллиардов рублей и составляют лишь часть общего экологического и социально-экономического ущерба [3]. В отдельных районах нашей страны лесные пожары являются серьезным народнохозяйственным бедствием. К сожалению, иногда они отмечаются и в Центрально-Черноземной зоне.

Интегральное воздействие пожаров заключается в перестройке всего биогеоценоза в целом, изменении его структурно-функциональной организации. Происходит количественная и качественная перестройка основных компонентов биогеоценоза. Это касается смены основных эдификаторов, животного населения и микроорганизмов. Такие изменения могут носить временной характер и различаться по масштабам воздействия [4].

Почва неоднозначно реагирует на изменения, происходящие в лесном биогеоценозе, поскольку в ней сочетаются и стабильные (консервативные), и динамичные компоненты. К первым относятся собственно минеральные горизонты, к последним — лесная подстилка и частично гумусовый горизонт. Эти горизонты к тому же являются самой благоприятной средой обитания почвенной фауны, грибной флоры, а также местом, где протекают микробиологические процессы [5].

Для объективной экологической оценки современного состояния лесных экосистем представляют интерес данные исследования послепожарного функционирования лесных почв в относительно однородных климатических и геолого-геоморфологических условиях, что имеет большое значение для понимания путей восстановительной динамики компонентов лесных экосистем и прогноза их состояния при разном воздействии пирогенного фактора [6].

Цель настоящей работы — проведение исследования некоторых параметров постпирогенных почв в ходе начальной стадии демулационной смены растительности. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи: 1) оценить влияние различных видов пожаров на параметры биологической активности слепожарных почв; 2) изучить элементный состав верхних выгоревших горизонтов постпирогенных почв; 3) исследовать динамику изменения параметров почв после пожаров в течение времени.

### Объекты и методы исследования

В связи с крайне высокими показателями сухости атмосферы, лесной подстилки и скорости ветра пожары 2010 г. на всей территории России отличались исключительно быстрым и сплошным распространением (включая как суходольные сосновые, так и заболоченные березовые леса). Они носили тотальный характер, охватывая все ярусы насаждений, лишь местами (ночью или при ослаблении ветра) переходя в интенсивный низовой пожар [7].

Аномальная жара 2010 г. в России — продолжительный период аномально жаркой погоды в последней декаде июня — первой половине августа 2010 г. Жаркая погода была установлена практически на всей европейской территории России, Украине, в Восточной Европе в середине июня. Настоящим бедствием Центральной части России явились лесные пожары, спровоцированные аномальной жарой и засухой.

Пожары отмечались в республиках Башкортостан, Татарстан, Марий Эл, Чувашия, Удмуртия и Мордовия, в Московской, Свердловской, Кировской, Тверской, Калужской, Оренбургской, Волгоградской, Самарской, Саратовской, Ульяновской, Челябинской и Курганской областях (рисунок). В 2010 г. только на территории Европейской России площадь лесных пожаров превысила 8 млн га [8]. По оценкам экспертов, убытки от пожаров и засухи составили десятки миллиардов рублей.

Обширные лесные пожары, полыхавшие на просторах Российской Федерации летом 2010 г., не только нанесли колоссальный материальный урон, но и обнажили бед-



Карта лесных пожаров в августе 2010 г. (материалы газеты Тольяттинского отделения Русского ботанического общества FLORA FOLIUMII, № 9, 2010)

ственное положение в сфере лесного хозяйства нашей страны, высветили множество социально-экономических, экологических проблем, прямо или косвенно связанных с использованием лесных ресурсов [3]. Вместе с тем катастрофические пожары по всей России обусловили необходимость проведения исследования процесса восстановления почв, подверженных пожарам.

В качестве объектов исследования были выбраны степные островные сосновые боры в районе г. Тольятти Самарской области, которые подверглись воздействию катастрофических лесных пожаров в 2010 г. На участках леса, пройденных верховым и низовым пожарами, древесно-кустарниковые насаждения выгорели и представляли собой в разной степени обугленные стволы деревьев, которые спустя 1–2 года либо были вырублены, либо остались нерасчищенными. Восстановление различных видов растений травяного и кустарникового яруса начиналось по-разному: из нижней части стволов деревьев и кустарников, почек возобновления вегетативных органов (луковицы, корневища), у малолетников (одно-, двулетников) — из семян. В лесах, где прошли низовые пожары, огонь частично повредил стволы деревьев, что ослабило их жизнеспособность и в дальнейшем приведет к постепенному выпадению, однако именно древесные растения являются ценозообразователями и определяют в будущем ход восстановительных сукцессий. В большей степени пострадали травяной и кустарниковый ярусы. В лесных сообществах, пройденных верховым пожаром, древесно-кустарниковые насаждения выгорели полностью, равно как травяной и кустарниковый ярусы [9].

Были изучены три участка: участок прохождения низового пожара в конце июля 2010 г., верхового пожара и фоновый участок (контроль). На постпирогенных участках были диагностированы серогумусовые супесчаные почвы (по Классификации и диагностике почв России, 2004) на древних аллювиальных волжских песках с признаками иллювирирования железистогумусовых комплексов без формирования подзолистого горизонта. В качестве фонового участка изучались идентичные серогумусовые почвы под сосняком, расположенные на удалении около 1 км от пирогенного воздействия. Под фоновыми почвами подразумеваются почвы, идентичные по строению и свойствам исследуемым, но не подвергавшиеся влиянию лесного пожара.

Описания почв, отбор проб и описание растительности площадок осуществлялись 3 раза: в сентябре 2010 г. после снятия с территории режима чрезвычайного положения, в августе 2011 г. и сентябре 2012 г. Точки отбора проб были постоянными. Образцы почвы для биологических анализов брали в трех точках на каждом послепожарном участке. Параллельно отбирали образцы на контрольном участке, не пройденном огнем.

Описания растительности и почвенных профилей, отбор проб проводили в соответствии с общепринятыми методическими рекомендациями. Все почвенно-химические и биологические параметры изучали в мелкозем. Биологические свойства почв определяли в соответствии с методиками из работы [10]. Определение элементного состава подстилки и верхних сгоревших горизонтов почв проводили согласно методическим указаниям А. В. Жигунова и В. П. Цыпленкова [11].

### Результаты исследований и их обсуждение

Изменение подвижности зольных элементов после пожаров отмечено многими авторами [12–16], при этом существенное значение имеет их дальнейшая судьба в ландшафте.

Таблица 1. Зольный состав верхних горизонтов почв (% от навески пробы)

Горизонт	Содержание сырой золы, %	SiO <sub>2</sub> и примеси, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	K <sub>2</sub> O, %	Na <sub>2</sub> O, %	CaO, %	MgO, %
<i>Низовой пожар (2010)</i>									
Выгоревшая подстилка	95,63 ± 1,23	86,21 ± 1,71	0,24 ± 0,03	2,17 ± 0,00	3,35 ± 0,06	0,25 ± 0,00	0,06 ± 0,01	1,87 ± 0,14	0,48 ± 0,09
»	94,61 ± 1,47	86,57 ± 2,10	0,18 ± 0,05	2,10 ± 0,17	2,99 ± 0,31	0,21 ± 0,03	0,05 ± 0,01	1,63 ± 0,31	0,47 ± 0,10
<i>Верховой пожар (2010)</i>									
<i>Фонсовая почва (2010)</i>									
Природная подстилка	68,56 ± 6,99	61,16 ± 1,19	0,15 ± 0,01	1,48 ± 0,06	2,62 ± 0,27	0,19 ± 0,02	0,05 ± 0,01	1,52 ± 0,02	0,72 ± 0,12
<i>Низовой пожар (2011)</i>									
Выгоревшая подстилка	88,03	79,71	0,21	2,25	3,44	0,26	0,05	1,31	0,49
<i>Верховой пожар (2011)</i>									
<i>Фонсовая почва (2011)</i>									
»	89,97 ± 1,58	82,08 ± 1,88	0,17 ± 0,02	1,92 ± 0,22	2,73 ± 0,48	0,20 ± 0,08	0,05 ± 0,01	1,35 ± 0,35	0,39 ± 0,07
Природная подстилка	68,96 ± 1,39	61,15 ± 1,41	0,15 ± 0,01	1,49 ± 0,04	2,24 ± 0,15	0,18 ± 0,01	0,05 ± 0,00	1,50 ± 0,01	0,49 ± 0,01

В пробах исследуемых почв определяли зольный состав верхних горизонтов (табл. 1). Следует отметить, что зольный анализ подразумевает выявление состава чистых от минеральных частиц растительных образцов. Что касается нашего исследования точно не установлено, что было на месте сгоревшего участка; верхний слой фоновой почвы представляет собой грубогумусовый материал, состоящий из механической смеси различных по степени разложенности органических остатков с минеральными компонентами, а зола — смесь минеральных частиц и сгоревших растительных остатков в виде грязно-серых угольков. Поэтому для проведения зольного анализа отбирались смешанные пробы поверхностных органогенных горизонтов почв на всех участках. Это уточнение объясняет столь высокое содержание сырой золы (т. е. золы, содержащей  $\text{CO}_2$  и минеральные примеси, после озоления навески растительного материала) во всех образцах, особенно в фоновой почве.

Лесные пожары изменяют химический состав подстилок и повышают их зольность. Содержание сырой золы, включающей минеральные компоненты, повышается в почвах пожарищ по сравнению с фоновым участком за счет увеличения некоторых элементов; по прошествии одного года с уменьшением содержания элементов уменьшается и сырая зола. Содержание кремния с примесями коррелирует с содержанием сырой золы, так как примеси составляют большую часть. Пожары приводят к увеличению содержания биофильных элементов в зольном горизонте — фосфора и калия, причем при низовом пожаре это увеличение более заметно, видимо, за счет того, что при этом происходит полное сгорание поверхности почвы. В 2011 г. содержание фосфора и калия незначительно, но уменьшилось в результате выноса с атмосферными осадками. Таким образом, зола, поступающая на поверхность почвы, при горении верхних горизонтов обогащает ее элементами питания.

Содержание натрия в золе не изменяется в результате послепожарной сукцессии.

В зольном составе выгоревших подстилок происходит увеличение содержания кальция, особенно при низовом пожаре, что приводит к щелочной реакции среды верхних горизонтов почв. Источниками кальция служат сгоревшие подстилка и органы растений. Реагируя с водой,  $\text{CaO}$  превращается в  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  — сильное основание, сорбирующее  $\text{CO}_2$  из воздуха; в итоге образуется  $\text{CaCO}_3$ . Этот процесс можно называть пирогенным карбонатообразованием [17].

Спустя год кальций вымывается вниз по профилю и его содержание в почвах пожарищ, не защищенных от эрозии, заметно уменьшается по сравнению с фоновым участком. Содержание же магния, напротив, уменьшается под воздействием разных видов пожаров в одинаковой степени, но на следующий год с поступлением растительного опада его содержание выравнивается с фоновым. Причину этого явления необходимо установить в процессе последующих исследований.

Статистически достоверных различий по зольному составу верхних горизонтов обнаружено не было ( $p \geq 0,15-0,80$ ).

Кроме того, были рассчитаны молекулярные отношения оксидов —  $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ;  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ . Предполагая, что содержание титана, меди, марганца и других микроэлементов в почвах пожарищ ничтожно, можно рассчитать содержание оксида алюминия как разность между содержанием полуторных оксидов и оксидов железа и фосфора. Полученные в результате отношения отражены в табл. 2.

Таким образом, из-за пожаров происходит накопление кремния с примесями относительно содержания полуторных оксидов, но спустя год относительное содержание

**Таблица 2. Молекулярные отношения элементов  
в золе органогенных горизонтов**

Горизонт	SiO <sub>2</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<i>Низовой пожар (2010)</i>			
Выгоревшая подстилка	105,94	123,85	57,10
<i>Верховой пожар (2010)</i>			
Выгоревшая подстилка	110,10	164,12	65,90
<i>Фоновая почва (2010)</i>			
Природная подстилка	113,55	94,74	51,65
<i>Низовой пожар (2011)</i>			
Выгоревшая подстилка	94,47	113,87	51,63
<i>Верховой пожар (2011)</i>			
Выгоревшая подстилка	113,80	173,70	68,76
<i>Фоновая почва (2011)</i>			
Природная подстилка	111,22	141,81	62,33

кремния уменьшается лишь при низовом пожаре. Обугленный материал растительных остатков, образовавшийся при верховом пожаре в больших количествах, вероятно, и является причиной относительного увеличения содержания кремния, поскольку негоревшие растительные остатки входят в состав примесей. В результате пожаров происходит и относительное накопление железа. Что касается алюминия, то здесь не наблюдаются четких закономерностей, возможно из-за неточности способа подсчета (содержание алюминия рассчитали как разность полуторных оксидов и оксидов железа и фосфора).

Существенные изменения в результате пожаров происходят в биологической активности почв (табл. 3). Лесные пожары коренным образом влияют на эдафические условия, а значит, микробиологические и биохимические процессы в почвах. Биологические показатели почв наиболее чутко реагируют на все изменения внешней среды, отражают напряженность и направленность современных почвообразовательных процессов.

К основным характеристикам функционирования микробных комплексов относят величину микробной биомассы и показатель активности функционирования микробоценозов — выделение углекислоты. Отношение этих показателей позволяет дать дополнительную оценку состояния микробных комплексов после различных нарушений [18].

Содержание общей микробной биомассы в подстилках и почвах лесных экосистем — показатель нестабильный и зависящий от многих факторов. На значение этого показателя в первую очередь оказывают влияние гидротермические условия и наличие в почве доступных органических веществ [18].

Способность продуцировать углекислоту — суммарный (обобщающий) показатель биологической активности почв. Скорость продуцирования углекислоты небогатенной почвой — базальное дыхание, или микробное дыхание, может служить показателем изменений состояния микробоценозов почв после различных нарушений [18].

Результаты определения параметров микробиологической активности почв свидетельствуют о том, что незатронутая огнем почва характеризуется наибольшим

Таблица 3. Биологические показатели изученных почв 2010–2012 гг.

Горизонт, глубина, см	Базальное дыхание, мг СО <sub>2</sub> на 100 г почвы / сутки			Микробная биомасса, мг/г			Метаболический коэффициент		
	2010	2011	2012	2010	2011	2012	2010	2011	2012
<i>Серогумусовая супесчаная на древних аллювиальных волжских песках, затронутая действием низового пожара</i>									
Выгоревшая подстилка 0–5	75,32 ± 3,34	73,00 ± 5,31	72,82 ± 6,24	0,006 ± 0,00	0,010 ± 0,02	0,120 ± 0,07	0,0343	0,0199	0,0016
АУ 5–14	64,98 ± 29,26	76,57 ± 11,23	75,33 ± 3,41	0,013 ± 0,01	0,030 ± 0,00	0,019 ± 0,04	0,0136	0,0070	0,0108
АС1 14–27	67,68 ± 10,20	55,38 ± 9,26	59,35 ± 4,39	0,013 ± 0,01	0,010 ± 0,01	0,010 ± 0,01	0,0142	0,0151	0,0162
<i>Серогумусовая супесчаная на древних аллювиальных волжских песках, подвергшаяся воздействию верхового пожара</i>									
Выгоревшая подстилка 0–3	76,13 ± 4,13	71,75 ± 6,45	69,85 ± 7,22	0,020 ± 0,01	0,025 ± 0,01	0,118 ± 0,09	0,0104	0,0078	0,0016
АУ 5–10	69,16 ± 7,35	72,52 ± 4,63	68,16 ± 3,55	0,028 ± 0,03	0,040 ± 0,00	0,013 ± 0,01	0,0067	0,0050	0,0143
АС1 10–15	64,55 ± 25,09	52,34 ± 5,32	55,82 ± 9,04	0,024 ± 0,03	0,013 ± 0,00	0,012 ± 0,00	0,0073	0,0110	0,0127
<i>Серогумусовая супесчаная на древних аллювиальных волжских песках (фоновая почва)</i>									
Природная подстилка 0–7	258,27 ± 27,09	254,3 ± 40,80	251,45 ± 6,3	0,130 ± 0,04	0,110 ± 0,02	0,121 ± 0,36	0,0054	0,0063	0,0057
АУ1 5–8	77,13 ± 37,80	76,33 ± 3,17	76,99 ± 7,64	0,121 ± 0,01	0,123 ± 0,01	0,121 ± 0,04	0,0018	0,0017	0,0018
АУ2 8–14	86,89 ± 48,22	80,91 ± 4,32	79,35 ± 4,98	0,103 ± 0,01	0,102 ± 0,01	0,101 ± 0,01	0,0024	0,0022	0,0022



содержанием микробной массы в верхнем горизонте и, соответственно, большим показателем базального дыхания, тогда как на послепожарных почвах отмечается заметное уменьшение обоих параметров (см. табл. 3). Причем в нижележащих слоях также наблюдается снижение содержания микробной массы. Таким образом, в результате пожаров происходит угнетение микробного сообщества. Негативное воздействие пирогенного фактора, которое приводит к депрессии биологической активности почв, отмечали многие исследователи, в частности И. Н. Безкоровайная и соавторы [19]. Послепожарное снижение микробной биомассы объясняется как снижением уровня влажности почвы, так и изменением структуры почвенного органического вещества, что также оказывает влияние на развитие микробной биомассы в почвах после пожаров.

Статистическая достоверность различий была обнаружена лишь для уровней микробной биомассы между почвами, подвергшимися верховому и низовому пожарам.

Заметное уменьшение микробной биомассы при низовом пожаре объясняется природой самого пожара, который как раз и затрагивает ту сферу, где обитают микроорганизмы. Таким образом, пожары приводят к перестройке микробного пула, при котором отмечается уменьшение активности микрофлоры и выделения  $\text{CO}_2$ .

Спустя один год ситуация несколько изменилась (см. табл. 3). Для верхних горизонтов все также характерно уменьшение микробиологической активности в результате пожаров, но в местах, пройденных пожарами, наблюдается как бы перемещение зоны активной деятельности микроорганизмов в сравнительно более глубокие почвенные слои. Очевидно, это связано с увеличением количества минеральных питательных веществ, которые постепенно вымываются в более глубокие слои, рН почвы и прочих химических изменений, связанных с горением.

Интенсивность выделения углекислоты в почвах обусловлена в основном двумя факторами — наличием доступных элементов питания и количеством микроорганизмов, причем важна не только численность, но и физиологическое состояние микробного сообщества. В данном случае при пожарах количество микроорганизмов падает, а содержание биофильных элементов возрастает, но это не значит, что они доступны биоте. Выявлено снижение выделения  $\text{CO}_2$  в почве после пожара, причем после верхового и низового пожаров в равной степени. Спустя 1–2 года после пожара область наиболее активного «почвенного дыхания» в постпирогенных почвах находится сразу под выгоревшей подстилкой. Уменьшение выделения углекислоты почвами после пожара можно объяснить снижением дыхания корней и микроорганизмов, которые погибают во время горения. В соответствии с исследованиями Н. Д. Сорокина [20] в почвах, подверженных пожарам средней интенсивности, происходит выделение углекислоты в больших количествах по сравнению с контролем, тогда как при сильных пожарах этот параметр меньше фона. Таким образом, можно предположить, что пожары в островном сосновом бору г. Тольятти имели высокую интенсивность.

Деградация микробного сообщества при пожарах подтверждается также отсутствием тесной корреляционной зависимости между содержанием углерода органического вещества и микробной биомассы, а также между микробной биомассой и базальным дыханием. Но все же прослеживается некоторая взаимосвязь биологической активности с содержанием в почвах органического вещества, которое является субстратом для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов: из-за пожаров оба показателя уменьшаются относительно фона.

Полученные результаты не совсем соответствуют некоторым литературным дан-

ным, где говорится о том, что под влиянием огня усиливается интенсивность микробиологических процессов за счет прогревания верхних горизонтов почв. Увеличение выделения  $\text{CO}_2$  почвами на отдельных участках связано с высокой интенсивностью микробиологических процессов, которые наблюдались в верхних минеральных слоях почвы при благоприятном сочетании трофических (благодаря повышению зольности) [21–24] и гидротермических условий (дождь и теплая погода в начале сентября). Кроме того, оставшиеся корни сгоревшей растительности также могут являться питательным субстратом для микрофлоры почв, обуславливая более высокое базальное дыхание [25]. Однако, видимо, температура при пожарах достигала таких высоких пределов, что происходило резкое ингибирование микробиологической деятельности и даже могла стать летальной для обитателей почвы.

Интегральным показателем состояния и устойчивости микробного сообщества почвы может служить микробный метаболический коэффициент, характеризующий удельное дыхание, т. е. долю  $\text{CO}_2$  на массу микроорганизмов [26, 27]. Величину метаболического коэффициента, значение которого не зависит от температуры и влажности почвы, вычисляют по отношению  $\text{мг CO}_2/\text{г почвы в сутки на биомассу микроорганизмов (мкг/г)}$ .

Между показателями метаболического коэффициента и содержанием микробной биомассы в изученных почвах отмечается обратная зависимость [28]. Верхние горизонты почв фонового участка с высоким содержанием микробной биомассы имеют низкие величины метаболического коэффициента, а в постпирогенных почвах с низким содержанием — высокие. Лесные пожары приводят к возрастанию в несколько раз величины микробного метаболического коэффициента по сравнению с фоновой почвой. Таким образом, данные, представленные в табл. 3, показывают, что метаболическая активность микробного сообщества снижается в ряду «фоновый участок → верховой пожар → низовой пожар», что также свидетельствует об определенных интенсивных изменениях в микробном сообществе.

### Заключение

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что первоначально после прохождения огня ведущую роль в изменении экологической обстановки играют почвенные факторы — активизация или ингибирование биологических процессов, изменение физико-химических и гидротермических свойств верхних почвенных горизонтов.

Пожары изменяют свойства почвы, нарушают жизнедеятельность естественной микрофлоры, в результате чего происходит изменение содержания и нарушение круговорота основных элементов почвы — углерода и азота. Кроме того, пожар значительно снижает уровень биологической активности, определенной по продуцированию  $\text{CO}_2$  и содержанию микробной биомассы. Но что характерно, в целом влияние пожаров на свойства в исследуемых почвах не распространяется на глубину более 10 см.

С течением времени все перечисленные изменения постепенно сглаживаются, окрепшие новые микробные и растительные ассоциации начинают вносить коррективы в процессы, происходящие в верхних горизонтах, и почва восстанавливается и начинает возвращаться к первоначальному состоянию.

Метаболический коэффициент как показатель экофизиологического статуса почвенных микроорганизмов, отражающий устойчивость микробного сообщества

почвы, в том числе и при различных антропогенных воздействиях [28], показывает, что более благоприятное и стабильное состояние микробного сообщества характерно для фоновой почвы, а наименьшая интенсивность микробиологических процессов наблюдается после низового пожара.

Лесные пожары обогащают почвы зольными элементами питания, которые в течение многих лет накапливались в растениях. Однако в условиях сравнительно медленного восстановления растительности на горях спустя 1–2 года возникает опасность вымывания значительной части элементов золы и вовлечения их в большой геологический круговорот. Многообразное факторное воздействие приводит к высокой неоднородности свойств почв, что подтверждается низкой степенью достоверности различий между выборками данных по результатам парного  $t$ -теста ( $p \geq 0,15–0,80$ ).

Обобщая вышеизложенное, можно сказать, что пирогенное влияние привело к деградации верхних слоев с точки зрения биологических свойств почвы, однако увеличило содержание основных элементов питания в верхних горизонтах постпирогенных почв. В результате пожаров 2010 г. в городских лесах г. Тольятти Самарской области произошло разрушение местообитаний островных сосновых боров и установление более ранних стадий экогенеза. Таким образом, это свидетельствует о том, что пожары привели к очень сильным нарушениям, которые можно назвать катастрофическими.

Уничтоженное сообщество будет восстанавливаться не сразу, а путем сравнительно быстрой последовательной смены нескольких недолговечных сообществ, образующих стадии демулационной сукцессии.

\* \* \*

Авторы выражают благодарность директору ИЭВБ РАН, чл.-корр. РАН, д-ру биол. наук, профессору Г. С. Розенбергу, замдиректора по научной работе ИЭВБ РАН, д-ру биол. наук, профессору С. В. Саксонову и канд. биол. наук, старшему научному сотруднику С. А. Сенатору за помощь в организации работы и поддержку исследования.

## Литература

1. Богданов В. В., Прокушкин А. С., Прокушкин С. Г. Влияние низовых пожаров на подвижность органического вещества почвы в лиственничниках криолитозоны средней Сибири // Вестн. КрасГАУ. 2009. № 2. С. 88–93.
2. Гордягин А. Я. Материалы для познания почв и растительности Западной Сибири // Тр. Об-ва естествоиспытателей при Имп. Казанском университете. 1900. Т. 34, вып. 2. 222 с.
3. Исаев А. С. Лес как национальное достояние России // Век глобализации. 2011. № 1. С. 148–158.
4. Добровольский Г. В. Деградация и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 2002. 654 с.
5. Сапожников А. П., Карпачевский Л. О., Ильина Л. С. Послепожарное почвообразование в кедрово-широколиственных лесах // Вестн. Моск. гос. ун-та леса — Лесной вестник. 2001. № 1. С. 132–165.
6. Краснощечков Ю. Н. Постпирогенная трансформация почв сосновых лесов в юго-западном Прибайкалье // Вестн. КрасГАУ. 2009. № 9. С. 60–65.
7. Леса в России в XXI веке: матер. Второй междунар. науч.-практ. интернет-конференции. Ноябрь 2009 г. / Федеральное агентство по образованию. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия имени С. М. Кирова». СПб., 2009. 249 с.
8. Бобровский М. В. Лесные почвы Европейской России: биогические и антропогенные факторы формирования. М.: Т-во науч. изданий КМК, 2010. 359 с.
9. Раков Н. С., Саксонов С. В., Сенатор С. А. Начальные стадии пирогенной сукцессии в городских лесах Тольятти (флористический аспект) // Сборник трудов III Международного экологического кон-

гресса (V Междунар. науч.-техн. конф.) «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов». Тольятти, 2011. Т. 2. С. 196–200.

10. Федорова Н. Н. Методические указания к курсу «Биологические методы исследования почв». СПб., 2004. 8 с.

11. Жигунов А. В., Цыпленков В. П. Проведение зольного анализа растительных образцов: методические указания. Л.: ЛенНИИЛХ, 1978. 35 с.

12. Vance E. D., Brookes P. C., Jenkinson D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C // *Soil Biology Biochemistry*. 1987. N 6. P. 703–707.

13. Васильевская В. Д., Иванов В. В., Богатырев Л. Г. Почвы севера Западной Сибири. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 286 с.

14. Кулагина М. А. Влияние низового пожара на режим минерального питания в сосняке разнотравно-брусничном // Охрана лесных ресурсов Сибири. Красноярск, 1975. С. 153–165.

15. Попова Э. П. Влияние низового пожара на свойства лесных почв Приангарья // Охрана лесных ресурсов Сибири. Красноярск: Изд-во Ин-та Леса СО АН СССР, 1975. С. 166–178.

16. Фирсова В. П. Лесные почвы Свердловской области и их изменения под влиянием лесохозяйственных мероприятий // Тр. ин-та биологии. Свердловск: УФАН СССР, 1969. Вып. 63. 151 с.

17. Александровский А. Л. Пирогенное карбонатообразование: результаты почвенно-археологических исследований // Почвоведение. 2007. № 5. С. 517–524.

18. Ананьева Н. Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука, 2003. 222 с.

19. Азотный фонд песчаных подзолов после контролируемых выжиганий сосняков средней Сибири / Безкорвайная И. Н., Тарасов П. А., Иванова Г. А., Богородская А. В., Краснощекова Е. Н. // Почвоведение. 2007. № 6. С. 775–783.

20. Сорокин Н. Д. Влияние лесных пожаров на биологическую активность почв // Лесоведение. 1983. № 4. С. 24–28.

21. Скрипникова Е. В., Скрипникова М. К. Особенности развития микробиоты почв после воздействия пирогенного фактора // Вестн. ТГУ. 2013. Т. 18, вып. 3. С. 905–909.

22. Baath E., Frostegård A., Penmanen T., Fritze H. Microbial community structure and pH response in relation to soil organic matter quality in wood-ash fertilized, clear-cut or burned coniferous forest soils // *Soil Biology and Biochemistry*. 1995. Vol. 25. P. 229–240.

23. 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.

24. Kutiél 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.

25. Soil respiration and soil microbial biomass after fire in a sweet chestnut forest in southern Switzerland / Wuthrich C., Schaub D., Weber M., Marxer P., Conedera M. // *Catena*. 2002. Vol. 48. P. 201–215.

26. Anderson T. H., Domsch K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state // *Biol. Fertil. Soils*. 1985. Vol. 1, iss. 2. P. 81–89.

27. Anderson T. H., Domsch K. H. Maintenance carbon requirements of actively-metabolizing microbial populations under *in situ* conditions // *Soil Biology and Biochemistry*. 1985b. Vol. 17. N 2. P. 197–203.

28. Умер М. И., Ванькова А. А. Микробиологическая активность на поверхности и внутри почвенных агрегатов // Известия ТСХА. 2011. Вып. 6. С. 78–83.

Статья поступила в редакцию 14 октября 2014 г.

#### Сведения об авторах

Максимова Екатерина Юрьевна — магистр почвоведения, соискатель  
Абакумов Евгений Васильевич — доктор биологических наук

Maksimova Ekaterina Yu. — Post-graduate student  
Abakumov Evgeny V. — Doctor of Biology