

УДК 630.114.68:630.43

## ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ МИКРОБИОТЫ ПОЧВ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПИРОГЕННОГО ФАКТОРА

© Е.В. Скрипникова, М.К. Скрипникова

*Ключевые слова:* лесные пожары; микробные комплексы почвы; прототрофы; олигонитрофилы; аммонификаторы.

Проведены исследования изменения количественного и качественного состава эколого-трофических групп микроорганизмов почв в лесах Центрально-Черноземного района после пожаров разной интенсивности. Установлено, что степень воздействия на микробные комплексы почвы зависит от интенсивности пожара. Пожары средней и, особенно, высокой интенсивности оказывают негативное воздействие на структуру и функциональную активность микробиоценозов почв.

### ВВЕДЕНИЕ

Лесные пожары в отдельных районах нашей страны являются серьезным народнохозяйственным бедствием. К сожалению, иногда они отмечаются и в Центрально-Черноземной зоне. В пожарном отношении крайне неблагоприятным выдалось лето 2010 г. В конце июля – начале августа наблюдалась жаркая сухая погода. В отдельные дни температура воздуха превышала рекордные значения предыдущих лет. По данным Тамбовской и Липецкой метеостанций, 28 июля 2010 г. воздух в Тамбове прогрелся до 41,1 °С, а 2 августа в Липецке – до 40,7 °С. При этом наблюдалась жестокая засуха. Это стало причиной высыхания растительности, и, как следствие, вызвало сильнейшие лесные пожары.

Пожары влияют на все компоненты биогеоценоза. Почва как неотъемлемая составная часть экосистемы также подвергается сложному и разностороннему пирогенному воздействию, приводящему к изменению ее гидротермических и трофических условий, а также биологических свойств. Изменения в почвах, происходящие после пожаров, в значительной степени зависят от интенсивности горения. В результате сильных пожаров почвы подвергаются значительной деградации, которая часто проявляется в нарушении ее биоты и некомпенсированной минерализации органического вещества.

*Целью нашего исследования* было выявление влияния высокотемпературного воздействия на микробиоту почв и особенности восстановления микробных комплексов почв на отдельных участках смешанных и хвойных лесов Центрально-Черноземного района после разных типов пожаров.

### УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Микробиоценозы почв изучали в Центрально-Черноземном районе в Липецкой и Тамбовской областях в 2010–2011 гг. Исследования послепожарной динамики микробных комплексов почв проводили на

участках, пройденных пожарами высокой, средней и низкой интенсивности, и на участках, не подвергавшихся горению (контроль): участок 1 – сосновый лес в Кривецком районе (верховой пожар высокой силы – полное выгорание всей растительности); участок 2 – сосновый лес в районе села Лаврово (низовой пожар средней силы – выгорание нижнего яруса с частичным повреждением древостоя); участок 3 – смешанный лес с преобладанием лиственных пород в районе села Лаврово (низовой пожар слабой силы – выгорание травы без повреждения древостоя). В качестве контроля использовали аналогичные участки леса с таким же типом почв, но не подвергавшиеся горению.

Образцы почвы для микробиологических анализов брали в пяти точках на каждом участке через неделю после пожара, затем в течение последующих двух месяцев осенью, а также весной, летом и осенью 2011 г. один раз в месяц. Параллельно отбирали образцы на контрольном участке, не пройденном огнем. Точки отбора проб были постоянными. Забор проб проводили по следующим слоям: 0–5 см, 10–20 см.

Также нами бы заложен модельный опыт по выявлению влияния высокотемпературного воздействия на микробиоту почвы. Для этого были выделены квадратные участки почвы размером 50×50 см. С них были взяты образцы почвы по трем слоям. Затем на этих участках разжигали костер. Интенсивное горение на разных участках поддерживали разное количество времени (15, 30, 60 мин.). Затем золу и угли убрали, и из остывшей почвы брали аналогичные образцы.

Почвенные образцы отбирали в соответствии с общепринятыми в микробиологии методическими рекомендациями [1].

Микробные сообщества почв характеризовали на основе изучения структуры и численности эколого-трофических групп микроорганизмов (ЭКТГМ). Количественный и качественный состав различных эколого-трофических групп в почвах изучали методом посева почвенной суспензии на диагностические среды. Численность ЭКТГМ выражали в КОЕ на грамм абсолютно сухой почвы. Численность аммонификаторов изучали на мясо-пептонном агаре (МПА), прототрофов, ис-

пользующих минеральные формы азота – на крахмало-аммиачном агаре (КАА), олигонитрофилов – на среде Федорова–Калининской и грибы – на агаре Чапека. Величину коэффициента микробной минерализации ( $K$ ) определяли как отношение суммы числа колоний прототрофов на КАА и колоний на грибном агаре Чапека к числу колоний аммонификаторов на МПА. Об активности минерализационных процессов в верхнем слое почв свидетельствует доминирование численности прототрофных микроорганизмов (бактерий и грибов на крахмало-аммиачном агаре КАА и грибов на агаре Чапека) над численностью аммонификаторов (посев на МПА). Величина коэффициента микробиологической минерализации  $K > 1$ .

Коэффициент олиготрофности ( $K_0$ ) рассчитывали по формуле: количество колоний на среде ФК к количеству колоний на МПА. Слабая обеспеченность почв органическими компонентами предопределяет развитие олигонитрофильных форм микроорганизмов, т. к. они способны довольствоваться ничтожным содержанием элементов минерального питания и азота (рост на среде Федорова–Калининской). Коэффициент олиготрофности  $K_0 > 2$ .

Дыхание почв определяли методами, предложенными Н.Г. Федорцев и М.В. Медведевой [2].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Почвенные микробные ценозы представлены многочисленными группами микроорганизмов, связанных сложными трофическими взаимоотношениями друг с другом, с другими представителями почвенной биоты и растениями. Почвенные микроорганизмы являются ключевым компонентом жизни почв, участвуя и в создании, и в разрушении органической составляющей. Их полифункциональность и высокая чувствительность к стрессам позволяют использовать их в качестве критерия состояния почв после различных нарушений [3].

В почвенном покрове исследуемых районов господствуют дерново-подзолистые почвы в комплексе с серыми лесными. Эти почвы характеризуются невысокой биогенностью, низким содержанием гумуса и доступных форм элементов питания, кислой реакцией среды и высоким содержанием в опаде трудноразлагаемых органических соединений.

Среди основных эколого-трофических групп микроорганизмов (ЭКТГМ) отмечено не очень высокое содержание целлюлозоразрушающих и утилизирующих органический азот бактерий (посев на МПА). Представители рода *Azotobacter* немногочисленны, но в целом олигонитрофильных форм значительно больше, чем в других типах почв. Споры и вегетативный мицелий грибов в значительном количестве содержится только в самом верхнем органогенном слое, их количество резко снижается с глубиной почвенного профиля (табл. 1, контроль). Величина коэффициента микробиологической минерализации  $K > 1$ , что свидетельствует об активности минерализационных процессов в верхнем слое почв.

В бактериальных комплексах преобладают преимущественно неспорозные формы. К числу часто встречающихся неспорозных бактерий относятся представители рода *Pseudomonas*. В несколько меньшем количестве высевались бактерии рода *Chromobacterium*. В почве также обнаружены пигментные бактерии, представленные кокковыми формами. Среди спорооб-

разующих доминировали бактерии рода *Bacillus*. Во всех образцах почв регистрировались дрожжи рода *Lyromyces*. В составе микромицетов в исследуемых почвах преобладали *Penicillium*, *Cladosporium*, *Mucor*, *Dematium*, *Monilia*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium* и *Trichoderma*.

Изучение структуры и численности эколого-трофических групп микроорганизмов, их разнообразия, биохимической активности почвы после пирогенного воздействия позволяет судить о степени выгорания органогенного горизонта, послепожарных изменений лесорастительных свойств почв и трофических условий почвенного ценоза. Отмечено, что действие высоких температур распространяется до глубины 10–20 см, где при высокой интенсивности огня микроорганизмы гибнут. Дополнительным буфером, предохраняющим почву от действия высоких температур, служит лесная подстилка [4].

Анализ состояния микробоценозов почв показал, что сразу после пожаров происходят изменения структуры и численности микроорганизмов азотно-углеродного цикла, степень которых связана с интенсивностью пожаров. При кратковременном действии открытого огня на глубине 10–20 см каких-либо значимых изменений вообще не происходило, что мы и наблюдали при анализе почвы с участка 3. В нижнем слое почвы количество микроорганизмов практически не снижалось. При посеве «глубинных» почвенных образцов на чашках вырастали многочисленные колонии различных бактерий. Среди них доминировали представители родов *Pseudomonas* и *Bacillus*, присутствовали грибы. В верхнем слое почвы доминировали спорообразующие формы, и исчез вегетативный мицелий грибов. По общему количеству микроорганизмов в верхнем слое почвы наблюдалось снижение всех групп микроорганизмов (табл. 1).

При более длительном воздействии огня происходит более сильное выжигание микробной составляющей поверхностного слоя почвы. В зависимости от почвенного покрова и структуры почвы, ее механического состава, неравномерного распределения горючих материалов, влажности почвы глубина прогорания может быть различной.

В хвойных лесах нашей зоны последствия низового пожара более существенны, нежели в широколиственных, т. к. в сосняках наряду с травой и мхом большую часть подстилки составляет хвоя. Горение более 10 мин. разогревает поверхностный слой почвы выше 80 °С, что вызывает гибель вегетативных форм всех групп микроорганизмов за исключением термофильных актиномицет и термоустойчивых спор бацилл. Это явление мы наблюдали на 2-м участке в хвойном лесу в районе села Лаврово, где низовой пожар средней силы привел к выгоранию нижнего яруса с частичным повреждением древостоя.

В слое глубже 10 см изменения численности микробов более заметны, чем на участке 3, однако микроорганизмы всех трофических групп сохраняются в достаточно большом количестве, что свидетельствует о влиянии огня средней и низкой интенсивности на почву только до этой глубины. Вегетативные формы грамотрицательных бактерий сохраняли жизнеспособность, поэтому наряду с бациллярными формами достаточно хорошо высевались на универсальных и диагностических средах.

Таблица 1

Численность микроорганизмов (в колониеобразующих единицах КОЕ Ч 1000/1г абсолютно сухой почвы  $\pm$  25) и коэффициенты минерализации и олиготрофности почв в зависимости от типа пожара (образцы взяты через неделю после пожара)

Глубина взятия образца, см	Бактерии		K	Грибы на агаре Чапека	Олигонитрофилы на среде ФК	K <sub>o</sub>
	на МПА	на КАА				
Контроль						
0-5	1200	1350	1,1	85	950	0,8
10-20	700	830	1,2	70	535	0,8
Участок 1						
0-5	0	0	0	0	0	0
10-20	35	30	0,9	10	25	0,7
Участок 2						
0-5	55	60	1,1	10	58	1,05
10-20	275	310	1,1	55	225	0,8
Участок 3						
0-5	580	610	1,05	45	320	0,6
10-20	710	815	1,1	70	515	0,7

В целом после пожара средней интенсивности наблюдалась тенденция по значительному снижению количества всех компонентов ЭКТГМ, исчезновению вегетативного мицелия грибов, обеднению качественного состава бактериальных комплексов.

Наибольшие изменения в микробных комплексах почв выявлены после пожара высокой интенсивности на участке 1 в Кривецком районе в сосняке. 2 августа в этом лесу прошел очень сильный верховой пожар, последствием которого стало полное выгорание всей растительности, подстилки и значительное прогорание почвы.

При верховых пожарах, длительных и интенсивных, происходит «выжигание» поверхностного слоя почвы, поэтому практически все группы аэробных микроорганизмов выгорают и сразу же после пожаров почва практически стерильна (табл. 1, участок 1). В нижнем слое почвы в значительно меньшем количестве по сравнению с контролем сохраняли жизнеспособность споры спорообразующих бактерий, грибов и термофильный актиномицет *Streptomyces thermoautotrophicus*.

На данном участке максимально снизилось количество всех ЭКТГМ, практически исчез вегетативный мицелий грибов даже в нижнем слое почвы. Отмечено также обеднение качественного состава бактериальных комплексов.

Аналогичные данные мы получили в модельном опыте при горении костровищ в течение часа. При анализе почвы с костровища в нижнем слое почвы обнаруживались *Streptomyces thermoautotrophicus*, споры *Bacillus*, грибов *Aspergillus* и *Penicillium*. Полностью исчезли споры гриба *Trichoderma*.

Спорообразующие бактерии высеваются на агаре, т. к. их споры выжили и могут нормально высеваться при благоприятных условиях. Но сама почва в это время не является благоприятной средой для жизни биоты. Хотя из-за миграции воздуха и попадания микроорганизмов из воздуха на почву происходит постепенное ее заселение разными группами микроорганизмов, способными развиваться в почвах, почвы в этот момент сильно минерализованы, и поэтому развиваются преимущественно те организмы, которые предпочитают использовать в пищу минеральный азот. Основу для

жизнедеятельности следующих групп создают прототрофы, прежде всего, олигонитрофилы. Затем постепенно начинает увеличиваться численность гетеротрофов и аммонификаторов. Следует отметить, что на некоторых чашках в 1-й месяц после пожара высевались колонии аммонификаторов.

Если сразу после пожаров средней и низкой интенсивности общее количество бактерий в почве уменьшилось в сравнении с аналогичной почвой, не подвергшейся горению, то постепенно их численность начала восстанавливаться благодаря быстрому росту. В мае 2011 г., проведя анализ почв на исследуемых участках, мы обнаружили, что после пожаров любой интенсивности отмечается снижение численности всех ЭКТГМ по сравнению с контролем. В верхнем органическом слое почвы намечался процесс стабилизации микробных комплексов, особенно в зонах пожаров низкой и средней интенсивности. Численность прототрофов и олиготрофных микроорганизмов в почве была существенно выше, чем аммонификаторов, что подтверждается высокими коэффициентами минерализации и олиготрофности (табл. 2).

В зоне пожара низкой интенсивности в результате слабого прогорания подстилки почва вследствие ее низкой теплопроводимости не нагревается до критической температуры, при которой гибнет микрофлора, а увеличение температуры почвы на несколько градусов способствует росту и размножению микроорганизмов и активизации микробиологических процессов. В верхнем слое почвы на фоне общего увеличения численности микроорганизмов минерализация органических соединений почвы низкая (КАА/МПА < 1). Преобладание аммонификаторов в группировке почвенных микроорганизмов свидетельствует о поступлении большого количества органики за счет опада хвои, листьев и обогащения почвы зольными элементами.

На участке 2 (пожар средней интенсивности) количество прототрофов, использующих минеральные формы азота, увеличивается и доминирует над численностью аммонификаторов. Возрастание численности прототрофов, очевидно, связано с вымыванием зольных элементов из подстилки в более глубокие слои почвы после пожаров.

Таблица 2

Численность микроорганизмов (в колониеобразующих единицах КОЕ Ч 1000/1г абсолютно сухой почвы  $\pm 25$ ) и коэффициенты минерализации и олиготрофности почв в мае 2011 г.

Глубина взятия образца, см	Бактерии		$K$	Грибы на агаре Чапека	Олигонитрофилы на среде ФК	$K_0$
	на МПА	на КАА				
Контроль						
0–5	1380	1450	1,05	120	645	0,5
10–20	750	835	1,1	73	400	0,5
Участок 1						
0–5	78	230	2,9	15	305	3,9
10–20	45	108	2,4	18	184	4,1
Участок 2						
0–5	235	320	1,4	10	344	1,5
10–20	215	300	1,4	70	275	1,3
Участок 3						
0–5	925	850	0,9	74	558	0,7
10–20	670	840	1,3	68	380	0,6

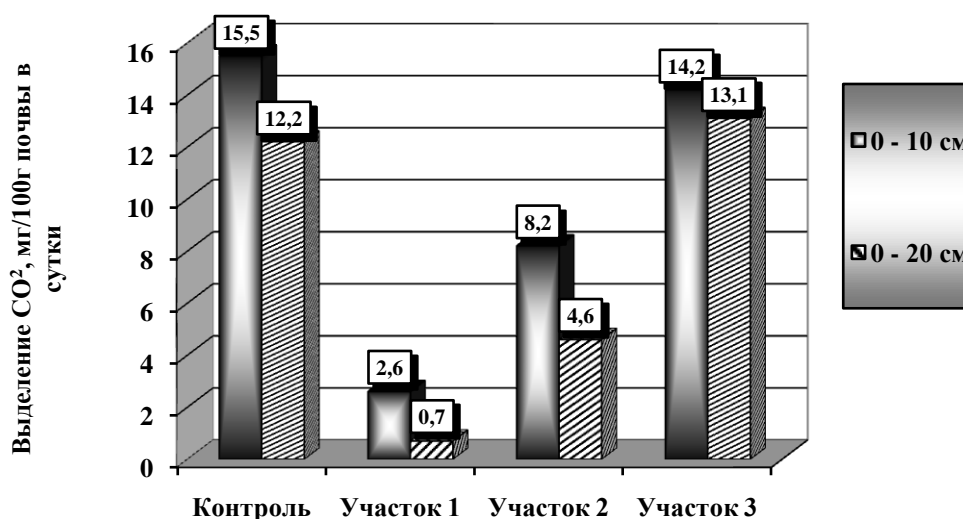


Рис. 1. Интенсивность выделения углекислого газа после пожаров разной интенсивности

В зоне пожара высокой интенсивности дополнительное поступление в почву зольных элементов и уменьшение кислотности подстилки снижают численность микроскопических грибов в результате усиления конкуренции со стороны бактериальной микрофлоры. В верхнем слое почвы количество микроорганизмов значительно ниже контроля. Особенно это касается группы аммонификаторов, развитие которых в сильной степени зависит от присутствия органических веществ. В 10–20-сантиметровом слое почвы отмечена низкая численность бактерий, утилизирующих органический и минеральный азот. Повышение численности олигонитрофилов свидетельствует о дефиците легкодоступных элементов питания для других групп бактерий ( $K_0 > 2$ ).

К основным характеристикам функционирования микробных популяций помимо численности разных эколого-трофических групп микроорганизмов можно отнести выделение почвой углекислоты («почвенное дыхание»). Интенсивность выделения углекислоты

дает достоверную информацию о напряженности микробально-биохимических процессов, о направленности трансформации органического вещества, а также позволяет судить о самоочищающей способности нарушенных почв [5].

Интенсивность выделения углекислоты в почвах исследовали через месяц после пожаров разной интенсивности. Выявлено, что наиболее низкое выделение  $CO_2$  в почве наблюдается после пожара высокой интенсивности: выделение углекислоты снижается в 6 раз в верхнем слое почвы. После пожара средней интенсивности (участок 2) «почвенное дыхание» снижено практически в 2 раза по сравнению с контролем. Пожар низкой интенсивности (участок 3) приводит к незначительному уменьшению выделения углекислоты верхним слоем почвы, в то время как в слое почвы на глубине 10–20 см этот показатель немного возрастает (рис. 1).

Уменьшение выделения углекислоты почвами после пожара можно объяснить снижением дыхания кор-

ней и микроорганизмов, которые погибают во время горения. Увеличение выделения CO<sub>2</sub> почвами на отдельных участках после низкоинтенсивного пожара связано с высокой интенсивностью микробиологических процессов, которые наблюдались в верхних минеральных слоях почвы при благоприятном сочетании трофических (за счет повышения зольности) и гидро-термических условий (дождь и теплая погода в начале сентября).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя влияние пирогенного фактора на микробиоценозы почв, можно отметить, что высокотемпературное воздействие оказывает достоверное влияние на численность и состав микробиоты. Степень воздействия на микробные комплексы почвы зависит от интенсивности пожара. Пожары средней и, особенно, высокой интенсивности оказывают негативное влияние на структуру и функциональную активность микробных комплексов. Снижается численность и биомасса микроорганизмов азотно-углеродного цикла, обедняется их качественный состав, уменьшается интенсивность микробного дыхания. После пожаров отмечается процесс постепенной стабилизации структуры микробных комплексов почв, активизируются микробиологические процессы, снижается олиготрофность, увеличивается видовое разнообразие микроорганизмов. Динамика и скорость восстановления микробиоты почв зависит от силы пирогенного воздействия. Чем сильнее пожар, тем медленнее идет восстановление.

УДК 379.8.095.3(470.324)

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОЗДУШНЫЙ БАССЕЙН УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

© Т.В. Хорпякова

Проведена сравнительная оценка роли различных вкладчиков в загрязнение воздушного бассейна территории Воронежской области. Определены приоритетные промышленные вкладчики и осуществлено ранжирование районов области по уровню воздействия промышленных предприятий на воздушный бассейн. Отмечено, что заболеваемость населения болезнями органов дыхания в определенной мере связана с выбросами загрязняющих веществ в атмосферу урбанизированных территорий.

*Ключевые слова:* загрязнение атмосферы; стационарные источники; передвижные источники; заболеваемость населения.

#### ВВЕДЕНИЕ

Экологическая ситуация любого региона интенсивного индустриально-аграрного освоения определяется, прежде всего, промышленно-транспортной инфраструктурой и загрязнением воздушного бассейна. Выявление и оценка вклада различных источников техногенного риска в загрязнение атмосферы позволяет определить зоны потенциального экологического риска и оценить вероятную опасность для населения урбани-

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
2. Федорец Н.Г., Медведева М.В. Методика исследования почв урбанизированных территорий. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 84 с.
3. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 341 с.
4. Богородская А.В. Влияние пирогенного фактора на микробные комплексы почв сосняков Средней Сибири // Лесоведение. М., 2005. № 2. С. 25-11.
5. Попова Э.Н. Изменение биологической активности лесных почв в результате воздействия огня различной интенсивности // Биологическая диагностика. М.: Наука, 1976. С. 67-73.

**БЛАГОДАРНОСТИ:** Исследования проводили при финансовой поддержке Управления образования и науки и Управления по охране окружающей среды и природопользованию Тамбовской области.

Поступила в редакцию 15 сентября 2012 г.

Skrpnikova E.V., Skripnikova M.K. FEATURES OF DEVELOPMENT OF SOIL MICROBIAL COMPLEXES AFTER PYROGENIC FACTOR INFLUENCE

The qualitative and quantitative composition of different physiological groups of soil microorganisms were studied after fires of different intensity in forests of Central Black-Earth region. It is established, that the impact on soil microbial complexes depends on the intensity of the fire. The fires of moderate and particularly high intensity had negative influence on the structure and functional activity of soil microbial complexes.

*Key words:* forest fire; soil microbial complexes; prototrophs; oligonitrophilous; ammonifiers.

рованных территорий. Это и определяет актуальность исследований по инвентаризации источников загрязнения атмосферы и риска аэрогенного загрязнения на территории крупных градопромышленных регионов, к которым относится и Воронежская область.

Проведенные ранее исследования на территории Воронежской области показали, что основными факторами загрязнения атмосферы являются компоненты выбросов стационарных и передвижных источников [1–2]. Соотношение вклада стационарных и передвиж-