

УДК 582. 288:631.466. 1/2

Ф.М. Хабибуллина, Т.А. Творожникова, И.А. Лиханова

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Хабибуллина Флюза Мубаракровна родилась в 1952 г., окончила в 1975 г. Московский государственный университет, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, докторант Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет около 80 печатных работ в области микологии и фитопатологии.
E-mail: directorat@ib.komisc.ru



Творожникова Татьяна Александровна родилась в 1983 г., окончила в 2005 г. Сыктывкарский государственный университет, аспирант Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет 2 печатные работы в области ботаники, экологии.
E-mail: directorat@ib.komisc.ru



Лиханова Ирина Александровна родилась в 1978 г., окончила в 2000 г. Сыктывкарский государственный университет, кандидат биологических наук, научный сотрудник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет 20 печатных работ в области лесной рекультивации нарушенных земель на Крайнем Севере.
E-mail: directorat@ib.komisc.ru



ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА МИКРОБИОТЫ В ХОДЕ РАЗЛОЖЕНИЯ ОПАДА ПОСТТЕХНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

Изучены микромицеты опада и органогенного слоя почвы двух посттехногенных сообществ – травянистого и ольшаника, сформировавшихся на техногенном суглинистом субстрате. Установлено, что численность всех физиологических групп микроорганизмов как в растительном опаде, так и в органогенных слоях почв обоих сообществ увеличивалась в весенний период и уменьшалась в осенний.

Ключевые слова: микробиота, микромицеты, деструкция растительного опада, физиологические группы микроорганизмов.

Ежегодное возрастание площади земель, нарушенных в результате хозяйственной деятельности человека, требует изучения основных компонентов посттехногенных экосистем, в том числе микробоценоза. Основная роль микробного комплекса – деструкция поступающего органического вещества, существенная доля которого приходится на растительный опад. Первичными колонизаторами растительного опада в биогеоценозах Севера являются грибы. Успешно осуществлять деструкцию растительного вещества позволяет их мощный и разнообразный ферментативный аппарат; высокая радиальная скорость роста; способность утилизировать трудноминерализуемые вещества при низких температурах [4, 7]. В связи с тем, что мик-

ромицеты, разлагающие растительный опад, изучены недостаточно, необходимы исследования в данном направлении.

Цель настоящей работы – изучить состав и количество микроорганизмов, участвующих в разложении опада; определить состав микробиоты в органогенном слое; рассмотреть сезонную сукцессию микромицетов, участвующих в минерализации растительных остатков в посттехногенных экосистемах среднетаежной зоны Республики Коми.

Исследования проводили в 2002 – 2004 гг. на стационарном участке лаборатории проблем природовосстановления Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Участок находится в 17 км к юго-западу от г. Сыктывкара, в верхней части пологого склона водораздельного возвышения. Объекты исследования – два сообщества, расположенные вдоль автодороги и образованные в процессе самозарастания техногенного суглинистого субстрата (покровные отложения, вскрытые при прокладке дороги).

Первое сообщество – ольшаник. Древостой представлен ольхой серой. Возраст 20 ... 25 лет, высота 5 ... 8 м, сомкнутость крон 0,9 ... 1,0. Единично встречается береза пушистая. Напочвенный покров представлен 33 видами сосудистых растений, среди которых преобладают хвощ лесной и звездчатка ланцетолистная. Новообразованная лесная (неоподзоленная) суглинистая почва характеризуется наличием рыхлой подстилки, в нижней части гумусированной до 5 см. Под подстилкой буровато-коричневый суглинок.

Второе сообщество – разнотравно-злаковое. В нем доминируют полевица гигантская, тимофеевка, щучка дернистая, вейники седеющий и пурпурный. В последние десять лет участок начали колонизировать древесные растения – березы пушистая и повислая, ива козья, осина, сосна обыкновенная. Высота их варьирует от 0,5 до 3,0 м. Под воздействием разнотравно-злакового травостоя сформировалась одернованная суглинистая новообразованная почва, характеризующаяся выраженным дерновым слоем мощностью до 10 см.

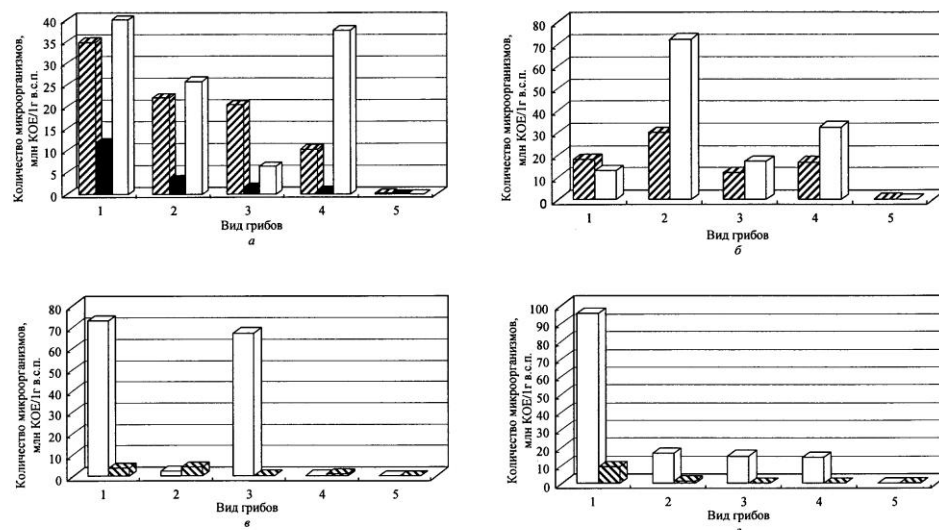
В данных сообществах изучали микобиоту растительного опада и органогенного слоя почвы. Образцы опада закладывали осенью 2002 г. и отбирали поэтапно: весной 2003, осенью 2003 и весной 2004 г. в трех повторностях. Пробы почвы отбирали в весенний и осенний периоды 2004 г. также в трех повторностях. Микробиологический анализ образцов проводили с помощью общепринятых методов [1, 2, 6], идентификацию микромицетов – по определителям таксономических групп грибов.

Микробиота опада и почв ольшаника. В ольшанике количество ежегодно поступающего растительного опада колебалось от 165 до 285 г/м², причем в нем преобладала листовая фракция. Видовой состав микромицетов, разлагающих опад, в зависимости от степени его деструкции и сезонных условий сильно различался. Так, весной 2003 г. (через 9 мес. разложения) в опаде выделено 7 видов микромицетов, принадлежащих к 6 родам из 3 классов. Класс *Zygomycetes* представлен родом *Mucor*, класс *Coe-*

lomycetes – родом *Phoma*, класс *Hyphomycetes* – родами *Penicillium*, *Trichoderma*, *Aureobasidium*, а также *Mycelia sterilia*. По мере разложения видовое богатство микромицетов в опаде повышалось. Осенью 2003 г. (через 11 мес. после закладки опыта) выделено 11 видов микромицетов, принадлежащих к 8 родам класса *Hyphomycetes*: *Chrysosporium*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Diheterospora*, *Cephalosporium*, *Aureobasidium*, *Fusarium*, весной 2004 г. (через 17 мес. разложения опада) – 16 видов микромицетов, относящихся к 11 родам из 2 классов. Класс *Zygomycetes* представлен родом *Mortierella*, класс *Hyphomycetes* – 10 родами из 2 семейств: *Moniliaceae*, *Tuberulariaceae*, а также темно- и светлоокрашенным стерильным мицелием из порядка *Mycelia sterilia*.

По мере разложения опада существенно изменялось обилие микромицетов. Весной 2003 г. в разлагающемся опаде ольшаника наиболее обильными являлись роды *Phoma* (64 %), *Penicillium* (6 %), а также *Mycelia sterilia* (24 %). К осени этого же года высокое развитие получают рода *Chrysosporium* (41 %), *Aspergillus* (30 %), *Trichoderma* (8 %), а также *Mycelia sterilia* (10 %). При последующем разложении весной следующего года отмечено преобладание родов *Sepedomium* (45 %), *Stachybotris* (35 %), *Fusarium* (12 %), которые активно участвовали в разложении лигнина, уменьшалось обилие *Mycelia sterilia* (0,4 %) и *Penicillium* (3 %). Эту закономерность изменения видов микромицетов при переходе от сезона к сезону подтвердили В.И. Билай и др. [3]. В весенний период на опавших листьях и хвое в лесах Крыма и Карпат преобладали виды родов *Stachybotris*, *Penicillium* и др., в осенний – *Trichoderma* и др.

Анализ изменения количества микроорганизмов в разлагающемся опаде показал их высокую численность в образцах, отобранных весной 2003 г., причем максимум отмечен у аммонификаторов (см. рисунок). В этой группе микроорганизмов выделено 3 вида микромицетов: *Aspergillus ochraceus* Wilhelm, *Chrysosporium merdarium* (Link) Carmichael, *Ch. pannorum* (Link) Hughes. Также наблюдалась высокая численность сахаролитиков и олигонитрофилов. Сахаролитические микромицеты представлены *Penicillium purpurogenum* Stoll, *Chrysosporium meridianum*, *Ch. pannorum*, *Fusarium oxysporum* Schlecht. emend. Snyder et Hansen, *Mycelia sterilia*, *Aspergillus* sp. Целлюлозолитики были в меньшем количестве и представлены *Chrysosporium pannorum* – видом с широкой экологической амплитудой, растущим на разнообразных источниках питания. В данных образцах, разлагавшихся в течение 9 мес., численность аммонификаторов превосходила численность нитрификаторов, что свидетельствует о незначительной степени минерализации растительных остатков.



Количественный и качественный состав микроорганизмов в разлагающемся опаде (а, б) и органогенном слое почвы (в, г): а, в – ольшаник; б, г – травяное сообщество; 1 – аммонификаторы, 2 – олигонитрофилы, 3 – сахаролитики, 4 – нитрификаторы, 5 – целлюлозолитики; □ – весна 2003 г., ◻ – осень 2003 г., ◻ – весна 2004 г., ◻ – осень 2004 г.

К осени 2003 г. количество микроорганизмов значительно уменьшилось (см. рисунок). При этом также преобладали аммонификаторы. Примерно одинакова численность олигонитрофилов и нитрификаторов. Целлюлозолитиков было меньше всего. Среди гетеротрофов выделены *Penicillium* sp., *P. velutinum* J.F.H. Beuma, *Trichoderma viride* Persoon ex Fries., *Aureobasidium pullulans* (d. By) Arn., *Mucor globosus* P. Micheli, *Mycelia sterilia*, среди сахаролитиков – *Phoma* sp., целлюлозолитиков – *Mycelia sterilia*.

В отобранных весной 2004 г. образцах опада, период разложения которых был свыше 17 мес., в отличие от предыдущих образцов с меньшим сроком разложения, наблюдалось значительное увеличение численности нитрификаторов. Это подтверждает высокую к этому времени степень минерализации растительных остатков. Значительно увеличилось количество целлюлозолитиков и олигонитрофилов. Среди микроорганизмов, употребляющих минеральные формы азота, выделены *Penicillium jensenii* K.M. Zalessky, *Aureobasidium pullulans*, *Monilia grisea* Daszewska, *Fusarium* sp., *Mycelia sterilia*, среди аммонификаторов – *Stachybotrys parvispora* Hughes, *Sepedonium albo-griseum* Balfour-Browne, *Mycelia sterilia*, *Fusarium* sp.; олигонитрофилов – *Penicillium velutinum* Terui & Shibas, *Aspergillus tamari* Kita, *Mycelia sterilia*, *Monilia koningii* Oudem., *Chrysosporium pannorum*, *Ch. merdarium*; сахаролитиков – *Oospora sulphurea*, *Rhizoctonia* sp., *Mycelia sterilia*; целлюлозолитиков – *Mortierella ramanniana* (A. Moller) Linnem., *M. verticil-*

lata Linnem., *Sepedonium albo-griseum*, *Penicillium canescens* Sopp, *Mycelia sterilia*.

В органогенном слое почвы ольшаника по сравнению с опадом выделено значительно меньшее количество грибов, всего 13 видов микромицетов из 3 классов – *Zygomycetes*, *Ascomycetes* и *Hyphomycetes*, из них 10 видов – в весенних образцах 2004 г., 6 – в осенних образцах этого же года.

В весенних образцах почвы были выделены виды, принадлежащие родам *Aspergillus*, *Penicillium*, *Phoma*, *Chaetomium*, *Cladosporium*. Среди типичных часто встречаемых микромицетов можно отметить *Chaetomium globosum* Kunze и *Cladosporium herbarum* (Pers.) Link, которые являются активными целлюлозолитиками [8]. Наиболее обильными в почве ольшаника весной 2004 г. были грибы, принадлежащие родам *Penicillium* (55 %), *Paecilomyces* (27 %). В осенний период преобладали грибы рода *Penicillium* (92 %), их обилие значительно возросло по сравнению с весенними образцами почвы.

Анализ численности основных физиологических групп микроорганизмов показал, что наибольшее количество микроорганизмов в весенний период наблюдалось в группе аммонификаторов и сахаролитиков, микромицеты которых представлены в основном родом *Penicillium*. Численность олигонитрофилов и целлюлозолитиков была невысокой, причем микромицеты этих физиологических групп были соответственно представлены *Penicillium jensenii*, *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson, *Aspergillus ochraceus* G. Wilh. и *Chaetomium globosum*, *Chrysosporium pannorum*, *Cladosporium foecundisimum* Link., *Phoma* sp.

В осенних образцах максимальная численность отмечена у олигонитрофилов, немного меньшая – у аммонификаторов, низкая – у нитрификаторов: *Penicillium simplicissimum* (Oud.) Thom, *Mycelia sterilia*, *Cladosporium herbarum*. Количество сахаролитических и целлюлозолитических микроорганизмов самое низкое, микромицеты этих групп соответственно представлены *Mycelia sterilia*, *Penicillium expansum* Link и *Mortierella alpina* Peyronel.

При сравнении изменения численности почвенных микромицетов 2 необходимо отметить значительное снижение в осенний период численности аммонификаторов и сахаролитиков и возрастание численности олигонитрофилов, целлюлозолитиков и нитрификаторов. Это свидетельствует о преимущественном использовании органических форм азота и, следовательно, о более активном разложении опада в весенний период [3].

Результаты исследований в травяном сообществе. По сравнению с ольшаником количество опада в данном сообществе было немного больше и составляло 323 ... 445 г/м² за год. Через 9 мес. после закладки опыта в деструкции опада принимали участие 5 видов микромицетов, относящихся к 4 родам класса *Hyphomycetes* – *Chrysosporium*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Torula*, а также *Mycelia sterilia*. В образцах опада, отобранных весной 2004 г. (на 17-й месяц после разложения), выделено всего 2 вида микромицетов, принадлежащих к 2 родам класса *Hyphomycetes* –

Stachybotris, *Rhinocladium*, а также темноокрашенный *Mycelia sterilia*. При этом наибольшее обилие весной как 2003 г., так и 2004 г. (свыше 90 %) наблюдалось у *Mycelia sterilia*.

Таким образом, по мере разложения видовое богатство микромицетов травяного сообщества в отличие от сообщества ольшаника уменьшилось, однако, как и в ольшаннике, общая численность микроорганизмов увеличилась. При этом динамика численности основных физиологических групп различна. Так, численность сахаролитиков, олигонитрофилов, целлюлозолитиков и нитрофилов в образцах, отобранных весной 2004 г., была выше, чем в образцах весны 2003 г., а численность аммонификаторов – наоборот. Уменьшение количества аммонификаторов свидетельствует о разложении большей части органики к 17-му месяцу после закладки опыта.

Среди физиологических групп в опаде травяного сообщества как через 9 мес., так и через 17 мес. его разложения по численности преобладали олигонитрофилы. Наименьшее количество микроорганизмов наблюдалось у группы целлюлозолитиков. Отношение численности нитрификаторов к аммонификаторам больше 1, что свидетельствует об активной минерализации растительных остатков в травяном сообществе.

Среди микромицетов в группе сахаролитиков присутствовали *Chrysosporium pannorum*, *Aspergillus ochraceus* G. Wilh., *Aureobasidium pullulans* (de Bary) G. Arnaud, целлюлозолитиков – *Stachybotrys alternans* Bonord, нитрификаторов – *Rhinocladium* sp.

При исследовании образцов органогенного горизонта почв выделено 11 видов микромицетов, принадлежащих к 8 родам из 2 классов: *Zygomycetes* и *Hyphomycetes*. В весенний период 2004 г. выделено 6 видов микромицетов из 4 родов: *Chrysosporium*, *Penicillium*, *Monilia*, *Paecilomyces*, а также *Mycelia sterilia*, в осенний период этого же года – 5 видов, принадлежащих к родам *Monilia*, *Trichoderma*, *Mortierella*, *Cladosporium*, а также *Mycelia sterilia*.

В органогенном слое почвы травяного сообщества наибольшая численность среди всех групп микроорганизмов была отмечена в образцах, отобранных весной 2004 г., причем максимальная – у аммонификаторов. Более равномерное распределение по численности обнаружено у остальных физиологических групп, кроме целлюлозолитиков, количество которых минимально. Среди нитрификаторов выделен *Penicillium jensenii*, сахаролитиков – *Monilia koningii*, олигонитрофилов – *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson, *Paecilomyces* sp., *Penicillium jensenii*, целлюлозолитиков – *Chrysosporium pannorum*.

В осенних пробах почвы количество микроорганизмов сильно уменьшилось. Среди физиологических групп преобладали аммонификаторы, численность остальных групп мала. Микромицеты были выделены среди нитрификаторов (*Mortierella alpina*, *Trichoderma atroviride* P. Karsten, *Monilia geophila* Oudem.) и олигонитрофилов (*Mortierella alpina*, *Cladosporium cladosporioides* (Fresen.) G.A. de Vries, *C. herbarum*).

В почвенных образцах в весенний период 2003 г. наблюдалось преобладание *Penicillium* (43 %) и *Paecilomyces* (49 %). В осенний период наиболее обилён род *Mortierella* (92 %), кроме того, появился род *Trichoderma* (1 %).

Таким образом, можно отметить относительную бедность видового состава микромицетов в опаде и почве травяного сообщества, преобладание большого количества стерильных форм. Наличие повышенного содержания в разлагающемся опаде и органогенном слое почвы темноокрашенных гифомицетов свидетельствует о некоторой загрязнённости данного сообщества [5], что, вероятно, связано с близким расположением автодороги.

Анализ видового состава микромицетов показал значительное превышение видового богатства грибов в ольшанике по сравнению с травяным сообществом. Так, в разлагающемся опаде ольшаника выделено 30 видов грибов из 17 родов, в травяном сообществе – всего 7 видов, относящихся к 6 родам, в органогенном слое почвы ольшаника – 13 видов микромицетов, принадлежащих к 8 родам, в травяном сообществе – 11 видов из 8 родов.

Численность всех физиологических групп микроорганизмов как в растительном опаде, так и органогенных слоях почв обоих сообществ увеличивалась в весенний период и уменьшалась в осенний. Причем как осенью, так и весной в опаде травяного сообщества наибольшей численности достигали олигонитрофилы – основные микроорганизмы северных регионов [2], а в опаде ольшаника – аммонификаторы, которые являются основными микроорганизмами лесных подстилок. Наибольшая численность в органогенных слоях почв обоих сообществ отмечена у аммонификаторов. Как в опаде, так и в почвах, среди всех физиологических групп, наименьшей оказалась численность целлюлозолитиков.

Численность аммонификаторов в ольшанике превышала численность нитрификаторов, что свидетельствует о незначительной скорости процесса минерализации, а в травяном сообществе – наоборот: численность нитрификаторов превышала численность аммонификаторов, т. е. здесь наблюдалась довольно активная минерализация. По-видимому, это связано с тем, что растительные остатки травяного сообщества разлагаются легче по сравнению с ольшаником.

Анализ видового состава микромицетов по физиологическим группам показал, что среди целлюлозолитиков в опаде и почве преобладали *Chaetomium globosum*, *Chrysosporium pannorum*. Олигонитрофилы были представлены *Aureobasidium pullulans*, разными видами родов *Penicillium* и *Aspergillus*, нитрификаторы – видами родов *Aspergillus*, *Mucor*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Mortierella*. Наибольшим видовым разнообразием обладали сахаролитические микромицеты, представленные родами *Aspergillus*, *Mucor*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Mortierella*.

Общими видами в разлагающемся опаде травяного сообщества и ольшаника являются *Mycelia sterilia*, *Aspergillus ochraceus*, *Chrysosporium pannorum*, *Aureobasidium pullulans*. Специфичные для ольшаника виды – *Cephalosporium charticola*, *Diheterospora catenulata*, *Fusarium oxysporum*, *Monilia grisea*, *M. koningii*, *Mortierella ramanniana*, *M. verticola*, *Oospora sul-*

phurea, *Penicillium canescens*, *P. velutinum*, *Phoma* sp., *Rhizoctonia* sp., *Sepe-donium albo-griseum*, *Stachybotrys parvispora*, для травяного сообщества – *Stachybotrys alternans*.

Общими видами для органогенного слоя почв травяного сообщества и ольшаника являются *Chrysosporium pannorum*, *Penicillium jensenii*, *Mortie-rella alpine*, *Paecilomyces lilacinus*, а также *Mucelia sterilia*. Специфичные для ольшаника виды – *Aspergillus ochraceus*, *Chaetomium globosum*, *Clador-rinum foecundisimum*, *Penicillium glauco-lanosum*. Только в травяном сообществе встречаются *Monilia koningii*, *Paecilomyces variotii*, *Trichoderma virna-ceae*, *Mucor racemosum*.

Сравнение по видовому составу микромицетов, разлагающих растительные остатки, показало низкую степень сходства исследованных сообществ (9,8 %), что связано с составом опада и условиями его разложения. При исследовании органогенного слоя почвы также отмечена незначительная степень сходства сообществ (34 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аникеев, В.В. Руководство к практическим занятиям по микробиологии [Текст] / В.В. Аникеев, К.А. Лукомская. – М.: Просвещение, 1977. – С. 66–80
2. Аристовская, Т.В. Микробиология подзолистых почв [Текст] / Т.В. Аристовская. – М.: Наука, 1965. – 345 с.
3. Билай, В.И. Микромицеты почв [Текст] / В.И. Билай, И.А. Элланская, Т.С. Кириленко. – К.: Наук. думка, 1984. – 264 с.
4. Гришкан, И.Б. Микобиота и биологическая активность почв верховий Колымы [Текст] / И.Б. Гришкан. – Владивосток: Дальнаука, 1997. – 136 с.
5. Гузев, В.С. Техногенные изменения сообщества почвенных микроорганизмов [Текст] / В.С. Гузев, В.С. Левин // Перспективы развития почвенной биологии: всерос. конф., 22 февр. 2001. – М.: МАКС Пресс, 2001. – С. 178–220.
6. Добровольская, Т.Г. Структура бактериальных сообществ почв [Текст] / Т.Г. Добровольская. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 282 с.
7. Хабибуллина, Ф. М. Почвенные микромицеты ельника чернично-зеленомошного средней тайги [Текст] / Ф.М. Хабибуллина // Лесоведение. – 2001. – № 1. – С. 43–48.
8. Частухин, В.Я. Биологический распад и ресинтез органических веществ в природе [Текст] / В.Я. Частухин. – Л.: Наука, 1969. – 326 с.

Поступила 18.05.07

F.M. Khabibullina, T.A. Tvorozhnikova, I.A. Likhanova

Institute of Biology of Komi Research Centre, Ural Branch of RAS

Change of Microbiota Composition in Process of Tree Waste Decay in Post-anthropogenic Ecosystems of Middle Taiga

Micromycetae of tree waste and organic soil layer of two post-anthropogenic cenoses – grassy and alder forest formed on anthropogenic loamy substrate are studied. It is found

out that number of all physiological groups of microorganisms both in plant waste and organic soil layers of both cenoses increased in the spring period and decreased in the autumn one.

Keywords: microbiota, micete, destruction of plant waste, physiological groups of microorganisms.
