

ОРИГИНАЛЬНЫЕ
СТАТЬИ

УДК 631.466:504.054:630.182

**ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВЕННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ И ГРИБОВ
В СМЕШАННОМ ДРЕВОСТОЕ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ВЫБРОСАМИ
НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

© 2011 г. Н. А. Киреева, М. Д. Бакаева, И. П. Климина, И. Е. Дубовик

Башкирский государственный университет

450074 Уфа, ул. З. Валиди, 32

E-mail: vodop@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.03.2010 г.

Дана сравнительная характеристика таксономической структуры сообществ аэрофитных и почвенных микроскопических грибов и водорослей в промышленной и рекреационной зонах г. Уфа. Показаны общие тенденции в изменении видовой структуры сообществ микроскопических грибов, обитающих как в почве, так и на коре деревьев, под воздействием комплексного загрязнения среды.

Промышленная зона, рекреационная зона, комплекс микромицетов, эпифитные водоросли, кора деревьев.

В настоящее время озеленение служит простым и универсальным средством улучшения состояния природных экосистем возле городов и промышленных предприятий. Лесные массивы в зоне промышленных городов аккумулируют загрязняющие вещества. Важным направлением исследований в этой области является изучение отдельных компонентов лесных экосистем для выяснения механизмов неблагоприятного влияния на них антропогенных факторов. Микроскопические грибы (микромицеты) и фототрофные микроорганизмы (водоросли и цианобактерии) – постоянные и активные компоненты лесных экосистем, преобладающие по своей биомассе в почве и осуществляющие противоположные функции: редукцию и первичный синтез органического вещества [10].

В современной научной литературе имеются публикации, посвященные исследованиям динамики возобновления древостоев [12] или изменений в составе, численности и активности микробного сообщества лесных почв в зависимости от химического загрязнения [4, 10, 14, 19, 27]. Некоторые исследователи указывают на снижение видового разнообразия фототрофных почвенных микроорганизмов в зоне влияния промышленных предприятий [16, 27]. Сделаны предложения об использовании водорослей в ка-

честве диагностической группы степени загрязненности почв [2, 3, 13, 15].

Аэротехногенное загрязнение в значительной степени влияет на видовой состав, разнообразие микроскопических грибов и биомассу грибных гиф в почве [6, 11, 25]. Степень и характер изменения микологических показателей, по-видимому, зависит от почвенно-климатических условий и дозы загрязнителя. Показано, что антропогенное загрязнение почв влияет на способность грибов к продукции ферментов и биологически активных веществ [8, 18, 20].

Ассоциированная с надземной частью деревьев аэрофильная биота, возможно, в большей степени, чем почвенная, подвержена действию загрязненного воздуха, температурных аномалий и иных неблагоприятных факторов городской среды. Микологические исследования древесной коры, как правило, посвящены узкоспециализированной группе ксилотрофных грибов и не затрагивают микроскопические грибы других физиологических групп [7, 30]. Показано, что рекреация и загрязняющие вещества меняют их видовое богатство и деструктивную активность. Немногочисленны и данные по влиянию техногенного загрязнения на эпифитные водоросли [21, 28]. Не раскрыты вопросы связи между поч-

венной и аэрофильной микробиотой на загрязненных территориях.

Целью данной работы явилось изучение влияния выбросов нефтеперерабатывающих предприятий на некоторые показатели альгомикологического комплекса почв и древесной коры и возможности использования этих показателей для оценки состояния изучаемых субстратов в смешанном древостое.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2005–2008 гг. на стационарных участках, расположенных на расстоянии 1 км от нефтехимического производства. Средний уровень загрязнения воздушной среды на этих участках различными углеводородами составил 2.8 ПДК. Древостой на участках смешанный березово-липовый (8Л2Б) с примесью ели сибирской, рябины обыкновенной и тополя черного. В качестве объекта для сравнения была выбрана закрытая для свободного посещения территория региональной фоновой метеостанции, расположенная в рекреационной зоне в 50 км к югу от г. Уфа, с практически аналогичными стационарным участкам древостоями. (6Л4Б). Для микологического и альгологического анализа были отобраны образцы почв из гумусового горизонта в радиусе 1.5 м от стволов древесных растений “методом конверта” в 10-кратной повторности для деревьев каждого вида.

Почва участка в рекреационной зоне серая лесная с содержанием гумуса – $5.1 \pm 0.2\%$; $pH_{\text{водн.}}$ – 6.1 ± 0.3 ; содержание углеводов – $0.4 \pm 0.1\%$, плотность – $1.22 \pm 0.07 \text{ г/см}^3$. Почва участков в промышленной зоне – урбанизированная серая лесная почва с содержанием гумуса – $2.6 \pm 0.3\%$; $pH_{\text{водн.}}$ – 7.1 ± 0.5 ; среднее содержание углеводов – $6.0 \pm 0.1\%$, плотность – $1.27 \pm 0.04 \text{ г/см}^3$. На этих же участках на высоте ствола 100–150 см от поверхности почвы отбиралось по 5 образцов коры древесных растений: хвойных (ель сибирская *Picea obovata* Ledeb.) и лиственных (береза повислая *Betula verrucosa* Ehrh., тополь черный *Populus nigra* L., липа мелколистная *Tilia cordata* Mill., рябина обыкновенная *Sorbus aucuparia* L.).

Выделение и количественный учет микромицетов проводили общепринятыми методами посева почвенной суспензии или суспензии измельченной в стерильных условиях коры на подкисленную агаризованную среду Чапека не менее чем в 10-кратной повторности [26]. Идентификацию видов грибов проводили по соответствующим определителям [5, 35–37]. Видовые названия микроскопических грибов уточняли по пополняемым спискам опубликованных видов в базе данных “Species fungorum” (www.speciesfungorum.org). Целлюлозолитическую активность микромицетов оценивали по способности к разложению геля Na-КМЦ (натрий карбоксиметилцеллюлозы) в пробирках на

Таблица 1. Типичные таксоны микромицетов, выделенные из почвы и коры древесных растений промышленной и рекреационной зон г. Уфа

Таксон	Почва		Кора	
	Промышленная зона	Рекреационная зона	Промышленная зона	Рекреационная зона
*, ** <i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl.			ТЧ	ТР
*, ** <i>Aspergillus fumigatus</i> Fresen.	ТЧ	ТР	ТР	
*, ** <i>A. niger</i> var. <i>niger</i> Tiegh.	ТЧ	ТЧ	ТР	
*, ** <i>Fusarium</i> sp.	ТР	ТР		
<i>Paecilomyces farinosus</i> (Holmsk.) A.H.S. Br. & G. Sm.	ТЧ	ТР		
<i>Penicillium albocinerascens</i> Chalab.		ТР		
<i>P. canescens</i> Sopp.		ТР		ТР
*, ** <i>P. citrinum</i> Thom.		ТР		ТР
** <i>P. decumbens</i> Thom.	ТР	С		
<i>P. duclauxii</i> Delacr.		Д		
** <i>P. lanosum</i> Westling		ТР	ТР	ТР
** <i>P. restrictum</i> J.C. Gilman & E.V. Abbott				ТР
<i>P. spinulosum</i> Thom.	ТЧ			
*, ** <i>T. koningii</i> Oudem.	ТР			

Примечание. * – оппортунистические таксоны, ** – фитотоксичные таксоны микромицетов. В табл. 1 и 2: Д – доминантный таксон, ТЧ – типично частый таксон, ТР – типично редкий таксон, С – случайный таксон.

Таблица 2. Доминантные и типичные таксоны водорослей, выделенные из почвы и коры древесных растений промышленной и рекреационной зон г. Уфа

Таксон	Почва		Кора древесных растений	
	Промыш- ленная зона	Рекреацион- ная зона	Промыш- ленная зона	Рекреацион- ная зона
<i>Aphanocapsa incerta</i> (Lemm.) Cronberg et Kom.		ТР	ТЧ	Д
<i>Synechocystis parvula</i> Perf.			ТР	ТР
<i>Microcystis pulverea</i> f. <i>minor</i> (Lemm.) Hollerb.	ТЧ		ТЧ	Д
<i>Leptolyngbya angustissima</i> (W. et G.S.West) An. et Kom.	ТЧ	Д	ТР	
<i>L. foveolarum</i> (Mont. ex Gom.) An. et Kom.		ТЧ	ТР	ТЧ
<i>Phormidium autumnale</i> (Ag.) Gom.	Д	Д	ТР	ТР
<i>Ph. ambiquum</i> Gom.	ТР	ТЧ		
<i>Nostoc punctiforme</i> (Kutz.) Hariot	ТЧ	ТЧ	ТР	
<i>N. humifusum</i> Carmichael ex Bornet & Flahault		ТР	ТР	
<i>N. muscorum</i> Kutz. ex Born. et Flah.	ТР		ТР	
<i>Cylindrospermum licheniforme</i> (Bory) Kutz. f. <i>licheniforme</i>	Д	Д		
<i>Chlorosarcinopsis minor</i> (Gern.) Herndon.		ТЧ	ТР	Д
<i>Desmococcus olivaceus</i> (Persoon ex Acharius) J.R.Laundon			Д	Д
<i>Trentepohlia umbrina</i> (Kutz.) Bornet			Д	Д
<i>Tetracystis aggregata</i> Brown et Bold.		ТР	ТР	ТР
<i>Ulothrix variabilis</i> Kutz.	ТР	ТР		
<i>Stichococcus minor</i> Nag.	ТР	ТЧ	ТЧ	ТР
<i>Klebsormidium nitens</i> (Menegh.) Lokhorst		ТР	ТЧ	ТР
<i>Chlamydomonas minutissima</i> Korsch.			ТР	ТЧ
<i>Chl. atactogama</i> Korsch.	ТР			
<i>Trebouxia arboricola</i> Puym.			Д	Д
<i>Chlorococcum infusionum</i> (Schrank) Menegh.	ТЧ	ТЧ	ТР	ТР
<i>Dictyochloris fragans</i> Visch. ex Starr.	ТР			
<i>Bracteacoccus minor</i> (Chodat) Petrova	ТР	Д	ТР	ТР
<i>Mychonastes homoshaera</i> (Skuja) Kalina et Punc.	ТР	Д	Д	Д
<i>Chlorella vulgaris</i> f. <i>vulgaris</i> Beijer.	ТР	ТР	ТЧ	ТЧ
<i>Navicula mutica</i> Kutz. var. <i>mutica</i>		ТР		
<i>Pinnularia borealis</i> Ehr.	ТР	ТР		
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehr.) Grun.	Д	Д		
<i>Pleurochloris magna</i> Boye-Pet.		ТР		
<i>Botrydiopsis eriensis</i> Snow.	ТЧ	Д		ТР
<i>Bumilleriopsis terricola</i> Matv.		ТЧ		
<i>Gloeobotrys chlorinus</i> Pasch.	ТР	ТР		
<i>Heterothrix bristoliana</i> Pasch.		ТР		
<i>Chloropedia plana</i> Pasch.	ТР	ТР		

пятый-шестой день инкубации. Для определения значимости вида (оценки его типичности и положения в структуре доминирования) применяли критерий пространственной и временной частоты встречаемости микромицета [26]. Данная методика была применена и по отношению к водорослям. В табл. 1 и 2 приведены основные представители альгомикологического комплекса.

Видовой состав почвенных водорослей определяли, используя “стекла обрастания”, а эпифит-

ных – методом чистых и накопительных культур в колбах Эрленмейера с жидкой средой Громова № 6 и прямым микроскопированием разрастаний [32]. Идентификацию видов водорослей проводили по соответствующим определителям и таксономическим сводкам [1, 9, 34]. Рассмотренный спектр экобиоморф соответствовал [32]. Оценку разнообразия сообществ микромицетов и водорослей проводили с помощью индекса разнообразия Шеннона и Серенсена [26].

Статистическую обработку данных осуществляли с применением программы Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что основным резервуаром микроскопических мицелиальных грибов является почва. В то же время микромицеты хорошо переносятся воздушными потоками, всегда присутствуют в воздухе и распространяются в почве и сопредельной с нею среде [23].

Высокий уровень аэротехногенного загрязнения оказывал значительное влияние на длину живого мицелия, обитающего на коре древесных растений (табл. 3). Отмечена тенденция к её увеличению в 2–5 раз на коре древесных растений, растущих в промышленной зоне, по сравнению с корой древесных растений, находящаяся в зоне рекреации. Это четко прослеживалось для таких видов, как береза повислая (в 4.9 раза) и тополь черный (в 3.8 раза), в то время как на коре ели сибирской длина грибного мицелия даже несколько уменьшилась. Возможно, наблюдаемые отличия связаны с наличием в коре хвойных видов биологически активных веществ, способных влиять на рост и размножение микроорганизмов [29]. Аналогичным образом происходило и увеличение биомассы эпифитных микромицетов.

Анализ образцов древесной коры позволил выявить 41 вид микромицетов, относящихся к 8 родам: *Alternaria*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Mucor*, *Penicillium*, *Phoma*, *Rhizopus*, *Trichoderma*. Таксономический состав микобиоты характеризовался преобладанием пенициллиев и аспергиллов.

Обнаруженные виды микроскопических грибов по частоте их встречаемости возможно условно разделить на две группы. К первой отнесены виды грибов, встречающиеся на коре разных видов деревьев – *Alternaria alternata*, *Aspergillus fumigatus*, *A. niger*, ко второй – виды

грибов, встречающиеся на коре лишь отдельных видов. Первая группа представлена эврибионтными видами, выделяемыми из различных местообитаний и часто обнаруживаемыми в деградированных и химически загрязненных почвах [31]. Вид *Alternaria alternata* также хорошо известен как эпифитный. Микроскопические грибы этой группы не были обнаружены или редко наблюдались на стволах древесных растений, произрастающих в загородной рекреационной зоне (табл. 1). Частота их встречаемости в зоне влияния промышленных выбросов была гораздо выше, например, вид *Alternaria alternata* был обнаружен на 8% обследованных лип и 32% тополей.

Четкое обособление доминантной группы грибов среди других аэрофильных видов позволяет использовать *Alternaria alternata*, *Aspergillus fumigatus*, *A. niger* в качестве биологических индикаторов суммарного загрязнения городской среды. С другой стороны, накопление мицелия и спор этих видов грибов в местах постоянного контакта с людьми может нести в себе потенциальную опасность. По литературным данным все три вида могут выступать в качестве аллергенов, *Aspergillus fumigatus* вызывает микозы у больных с ослабленной иммунной системой, а *Alternaria alternata* – известный фитопатоген [5, 36].

Невысокая частота встречаемости видов грибов второй группы не позволила оценить степень влияния на них промышленного нефтехимического загрязнения. Однако стоит отметить рост доли грибов родов *Aspergillus* и *Trichoderma* относительно микромицетов рода *Penicillium* и появление темноокрашенных грибов, большинство которых известны как аллергены [23], в зоне влияния промышленных предприятий. Подобные изменения ранее наблюдались и другими авторами в комплексах микромицетов городских почв [24]. Это, возможно, указывает на тесную связь почвенных микроскопических грибов и микромицетов, обитающих на коре

Таблица 3. Длина гиф и биомасса грибного мицелия, выделенного с коры деревьев, произрастающих в промышленной и рекреационной зонах г. Уфа.

Вид	Длина мицелия, м г ⁻¹		Биомасса, мг г ⁻¹	
	Промышленная зона	Рекреационная зона	Промышленная зона	Рекреационная зона
Ель сибирская	0.44 ± 0.02	0.72 ± 0.04	0.09 ± 0.004	0.15 ± 0.01
Липа сердцелистная	1.33 ± 0.07	0.63 ± 0.03	0.27 ± 0.01	0.13 ± 0.01
Береза повислая	1.17 ± 0.06	0.24 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.05 ± 0.002
Тополь черный	1.29 ± 0.06	0.34 ± 0.02	0.26 ± 0.01	0.05 ± 0.002
Рябина обыкновенная	0.71 ± 0.03	0.47 ± 0.02	0.14 ± 0.01	0.03 ± 0.001

древесных растений. С другой стороны, увеличение меланинсодержащих грибов, устойчивых к антропогенным воздействиям, свидетельствует о неблагоприятном экологическом состоянии изучаемого объекта [22]. Было показано, что культуры доминирующих на деревьях видов грибов были способны к интенсивному разложению целлюлозы (например, целлюлазная активность у *Alternaria alternata* равна 0.042 г сут^{-1} , у *Aspergillus fumigatus* – 0.019 г сут^{-1} , у *A. niger* – 0.03 г сут^{-1} , у *Trichoderma* sp. – 0.035 г сут^{-1}), что свидетельствует о принципиальной возможности использования ими древесной коры в качестве источника питания.

С целью проверки предположения о связи почвенных микромицетов с микроскопическими грибами, обитающими на наружных покровах растений, было проведено микологическое исследование почвенных образцов, отобранных под деревьями с одновременным взятием образцов древесной коры.

Несмотря на отличия в видовом составе, видовое разнообразие комплекса микромицетов, оценивавшееся с помощью коэффициента Шеннона, было близко для экосистемы почв и поверхности древесной коры. В рекреационной зоне были отмечены чуть более высокие значения коэффициента (3.2 для почвенных, 3.0 для аэрофитных грибов), чем в зоне промышленных предприятий (3.0 для почвенных, 2.7 для аэрофитных грибов).

В процессе анализа грибной биоты почвенных образцов исследованных участков было выделено 34 вида микромицетов, относящихся к 6 родам: *Aspergillus*, *Fusarium*, *Mucor*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Trichoderma*. В табл. 1 перечислены представители типичного комплекса грибов. В составе грибных сообществ большую часть видов составляли представители рода *Penicillium* (54% от общего числа видов). Почвенные грибы из зоны нефтехимического завода были представлены 17 видами, а в рекреационной зоне города – 23 видами.

Сообщества микроскопических грибов, выделенные из почв промышленной и рекреационной зон города, а также с разных древесных растений, различались по своему видовому составу. Общих видов грибов почвенного и наземного ярусов обследованных экосистем было обнаружено мало. По-видимому, занос спор и частиц мицелия из почвы не является решающим фактором при формировании состава обитающих на коре сообществ грибов. В то же время одной из особенностей комплексов микроскопических

грибов урбанизированных территорий, по мнению О.Е. Марфениной с соавт. [24], является нивелирование различий видового состава в разных компонентах городской среды (в почвах, на наружных покровах растений и др.).

Почвы под посадками тополей, лип и берез имели более схожий видовой состав микромицетов в пределах одной (промышленной или рекреационной) зоны. Общими часто встречающимися видами в рекреационной зоне были *Penicillium duclauxii*, *P. lanosum*, *P. canescens*, *Aspergillus niger*. Однако виды *P. duclauxii* и *P. canescens* не были обнаружены в почвах вблизи нефтехимического завода. Для этих почв была характерна более высокая частота встречаемости представителей родов *Aspergillus*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Paecilomyces*, а также вида *Penicillium spinulosum*. Отдельные виды известны как условно патогенные для человека (группа BSL 2) – *Aspergillus niger*, *A. fumigatus*, виды рода *Fusarium*.

Аналогичным образом высокие уровни загрязнения почв нефтью приводят к увеличению встречаемости потенциально опасных видов в почве [17].

Как в почве, так и на коре древесных растений загрязнение воздушными выбросами способствовало увеличению доли фитопатогенных микромицетов, которая составляла 31 и 33% на коре деревьев и в почве промышленной зоны соответственно. Число фитопатогенных видов микромицетов в рекреационной зоне составляет 25% на коре деревьев и 27% в почве. Схожие данные получены Е.В. Лебедевой с соавт. [22] при изучении влияния газообразных выбросов Батумского нефтеперерабатывающего завода на микромицеты почвы и нами при изучении загрязнения почв различными концентрациями нефти [17].

Исследования показали, что загрязнение воздушными выбросами способствовало снижению биомассы почвенных водорослей. В рекреационной зоне биомасса составляла 0.076 мг г^{-1} , а в промышленной – 0.051 мг г^{-1} .

Сравнение эпифитной альгофлоры с почвенной выявило общие черты: доминирующие позиции занимали представители отделов Chlorophyta и Cyanobacteria, второе место – Xanthophyta, третье место – представители отдела Bacillariophyta.

Ведущая роль среди эпифитных водорослей как в рекреационной, так и в промышленной зоне принадлежала семействам Chlorococcaceae,

Таблица 4. Таксономическая структура эпифитных и почвенных водорослей в промышленной и рекреационной зонах г. Уфа

Таксономическая единица	Отдел								Всего	
	Cyanobacteria		Chlorophyta		Xanthophyta		Bacillariophyta		Промышленная зона	Рекреационная зона
	Промышленная зона	Рекреационная зона	Промышленная зона	Рекреационная зона	Промышленная зона	Рекреационная зона	Промышленная зона	Рекреационная зона		
Число	Эпифитные водоросли									
классов	1	1	1	1	2	2	1	1	5	5
порядков	3	4	4	4	2	3	2	1	11	12
семейств	5	5	10	11	3	3	3	1	21	20
родов	11	12	20	22	5	6	4	2	40	41
видов, внутривидовых таксонов	23	26	26	32	5	6	4	2	58	66
Число	Почвенные водоросли									
классов	1	1	1	1	2	2	2	2	6	6
порядков	3	3	4	4	3	3	3	3	12	13
семейств	5	6	7	7	3	7	4	6	19	28
родов	7	10	15	16	3	11	6	8	30	45
видов, внутривидовых таксонов	15	27	19	24	3	14	8	10	44	75

Pseudanabaenaceae, Nostocaceae, Microcystaceae, Trentepohliaceae, Chlorococcaceae. Однако при альгологическом анализе в загрязненной зоне, по сравнению с зоной рекреации, обнаружено меньшее видовое разнообразие как почвенных (44 и 75), так и эпифитных водорослей (58 и 66 видовых и внутривидовых таксонов соответственно) (табл. 4). Снижение видового разнообразия эпифитных водорослей на загрязненных участках отмечалось ранее Е.А. Прошкиной [28] при изучении влияния полиметаллического загрязнения на эпифитные альгогруппировки. Тенденция к уменьшению числа выделенных видов отчетливо прослеживалась на коре деревьев в рамках отдела Chlorophyta, а в почве особенно ярко для представителей отделов Xanthophyta и Cyanobacteria. Высокая чувствительность желто-зеленых водорослей к загрязнению ранее также отмечалась при исследовании почв [33].

Для определения сходства видового состава водорослей разных биотопов был рассчитан индекс Серенсена. Показатель индекса между эпифитными водорослевыми группировками промышленной и контрольной зон незначительно колебался для разных древесных пород (на коре тополя черного – 0.45, ели сибирской – 0.47, рябины обыкновенной – 0.52, липы сердцелистной – 0.55, березы повислой – 0.57).

Обнаруженные виды аэрофильных и почвенных водорослей по частоте их встречаемости также возможно условно разделить на две группы. К первой отнесены виды водорослей, часто встречающиеся на коре или в почве контрольной и промышленной зон. Среди аэрофильных представителей это эврибионтные виды, типичные эпифиты: *Desmococcus olivaceus*, *Trentepohlia umbrina*, *Trebouxia arboricola*. Среди почвенных водорослей это *Cylindrospermum licheniforme* и *Hantzschia amphioxys*. Данные виды не могут быть использованы для биомониторинга. Показано, что число доминирующих и часто встречающихся видов водорослей в промышленной зоне меньше, чем в зоне рекреации. Упрощение комплекса происходит в первую очередь за счет сокращения числа редких для рекреационной зоны видов.

В спектре экобиоморф альгоценозов исследуемых почв и коры древесных растений явно преобладали представители *ch*-формы – виды-убииквисты, устойчивые к перенесению неблагоприятных условий.

Заключение. Загрязнение среды, обусловленное деятельностью объектов нефтехимической промышленности, приводит к изменениям в альгомикологическом комплексе коры древесных растений и почвы. Оно может способство-

вать накоплению на коре грибного мицелия с перераспределением доминирования в сторону небольшого числа устойчивых видов, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека. Несмотря на принципиальное отличие видового состава сообществ почвенных и аэрофитных грибов, в почве также растет частота встречаемости потенциально патогенных представителей рода *Aspergillus*. Это, очевидно, указывает на единый механизм воздействия антропогенных факторов на микроскопические грибы почвенного и надпочвенного ярусов городской экосистемы. Загрязнение атмосферного воздуха способствует изменению в альгомикологическом комплексе в сторону возрастания биомассы грибов и снижения биомассы и видового разнообразия почвенных и эпифитных водорослей. Наибольшую чувствительность к загрязнению проявили желтозеленые водоросли. При сравнении встречаемости водорослей на двух участках наиболее показательным является состав почвенной альгофлоры. Хотя нами в рекреационной зоне обнаружено большее видовое разнообразие эпифитных водорослей, они не являются четкими индикаторами аэротехногенного загрязнения. Группа почвенных водорослей более информативна. Обращает внимание повышенное разнообразие желтозеленых водорослей в рекреационной зоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева В.М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли (*Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales*). СПб.: Наука, 1998. 351 с.
2. Ашихмина Т.Я., Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Дабах Е.В., Кантор Г.Я., Калинин А.А., Вараксина А.И., Огородникова С.Ю. Эколого-аналитический мониторинг антропогенно-нарушенных почв // Вестник ВятГУ. 2006. № 14. С. 153–169.
3. Бережнова Н.В., Трухницкая С.М. Использование методов альгоиндикации для изучения почв урбоэкосистем // Почвы – национальное достояние России: Матер. IV съезда Докучаевского общества почвоведов. Новосибирск: Наука, 2004. Кн. 1. С. 600.
4. Берсенева О.А., Саловарова В.П., Приставка А.А., Мелентьев В.А. Видовая структура почвенных микоценозов в серых лесных почвах Прибайкалья, подверженных воздействию аэропромвыбросов алюминиевого производства // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. “Экология и безопасность жизнедеятельности”. 2010. № 1. С. 24–29.
5. Билай В.И., Гвоздяк Р.И., Скрипаль И.Г., Краев В.Г., Элланская И.А., Зирка Т.И., Мураш В.А. Микроорганизмы – возбудители болезней растений. Киев: Наукова думка, 1988. 552 с.
6. Вальков В.Ф., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Тащев С.С. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на микроскопические грибы и *Azotobacter* чернозема обыкновенного // Экология. 1996. № 5. С. 388–390.
7. Волчатова И.В., Александрова Г.П., Хамитуллина Е.А., Медведева С.А. Микогенный ксилолиз в условиях антропогенного загрязнения // Лесоведение. 2007. № 5. С. 27–31.
8. Воробейчик Е.Л. Сезонная динамика пространственного распределения целлюлозолитической активности почвенной микрофлоры в условиях атмосферного загрязнения // Экология. 2007. № 6. С. 427–437.
9. Дедусенко-Щеголева Н.Т., Голлербах М.М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Желтозеленые водоросли. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. Вып. 5. 272 с.
10. Домрачева Л.И., Дабах Е.В., Кондакова Л.В., Вараксина А.И. Альго-микологические и фитотоксические комплексы при химическом загрязнении почвы // Экология и почвы: Лекции и доклады XIII Всероссийской школы. Пущино, 2006. Том 5. С. 88–98.
11. Евдокимова Г.А., Корнейкова М.В., Лебедева Е.В. Сообщества микромицетов в почвах в зоне воздействия алюминиевого завода // Микология и фитопатология. 2007. Т. 41. № 1. С. 20–28.
12. Залесов С.В., Луганский Н.В., Толкач О.В. Лесовозобновление в пригородных лесах среднего Урала с учетом градиента техногенного загрязнения почв // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2007. № 8. С. 11–13.
13. Кабиров Р.Р. Альгоиндикация с использованием почвенных водорослей (методологические аспекты) // Альгология. 1993. Т. 3. № 3. С. 73–83.
14. Кабиров Р.Р. Роль почвенных водорослей в антропогенных экосистемах // Фундаментальные исследования. 2004. № 6. С. 22–24.
15. Кабиров Р.Р. Почвенные водоросли в системе экологического нормирования // Актуальные проблемы современной альгологии: Тезисы докл. III междунар. конф. Харьков, 2005. С. 64–65.
16. Кабиров Р.Р., Шилова И.И. Сообщества почвенных водорослей на территории промышленных предприятий // Экология. 1994. № 6. С. 16–20.
17. Киреева Н.А., Бакаева М.Д., Галимзянова Н.Ф. Влияние различных способов биоремедиации нефтезагрязненных почв на характеристику комплекса

- микромикетов // Прикладная биохимия и микробиология. 2008. Т. 44. № 1. С. 63–68.
18. Киреева Н.А., Водопьянов В.В., Мифтахова А.М. Влияние нефтяного загрязнения на целлюлазную активность почв // Почвоведение. 2000. № 6. С. 748–753.
 19. Киреева Н.А., Рафикова Г.Ф., Кузяхметов Г.Г. Микробиологическая активность загрязненных нефтепродуктами лесных почв // Лесоведение. 2009. № 3. С. 52–58.
 20. Киреева Н.А., Мифтахова А.М., Бакаева М.Д., Водопьянов В.В. Комплексы почвенных микромикетов в условиях техногенеза. Уфа: Гилем, 2005. 360 с.
 21. Кузяхметов Г.Г. Ярусное распределение водорослей в лесных сообществах лесостепи Предуралья // Бот. журн. 2007. Т. 92. № 4. С. 469–477.
 22. Лебедева Е.В., Каневская И.Г., Трилесник Г.И. Влияние нефтехимических загрязнений на микромикеты почвы // Вестник ЛГУ. Сер. 3. 1988. Вып. 4. С. 31–35.
 23. Марфенина О.Е., Фомичёва Г.М. Потенциально патогенные мицелиальные грибы в среде обитания человека. Современные тенденции // Микология сегодня / Под ред. Ю.Т. Дьякова, Ю.В. Сергеева. М.: Национальная академия микологии, 2007. Т. 1. С. 235–267.
 24. Марфенина О.Е., Каравайко Н.М., Иванова А.Е. Особенности комплексов микроскопических грибов урбанизированных территорий // Микробиология. 1996. Т. 65. № 1. С. 119–124.
 25. Медведева М.В., Бахмет О.Н., Яковлев А.С. Микробиологическая и биохимическая индикация состояния почв Карелии, подверженных воздействию аэротехногенного загрязнения // Почвоведение. 2006. № 1. С. 72–76.
 26. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 304 с.
 27. Новаковская И.В., Патова Е.Н. Изменение сообществ почвенных водорослей еловых фитоценозов под влиянием аэротехногенного загрязнения // Почвоведение. 2007. № 5. С. 635–642.
 28. Прошкина Е.А. Влияние тяжелых металлов на сообщества почвенных и эпифитных водорослей: Автореф. дис. ...канд. биол. наук: 03.00.05. Уфа: БашГУ, 1997. 19 с.
 29. Смирнов В.Ф., Кузьмин Д.А., Смирнова О.Н., Трофимов А.Н. Действие терпеноидов на физиолого-биохимическую активность грибов-деструкторов промышленных материалов // Химия растительного сырья. 2002. № 4. С. 29–33.
 30. Станкявичене Д., Урбонас В. Разнообразие агариковых грибов и эктомикоризы в градиенте антропогенного загрязнения в лиственном лесу // Микология и фитопатология. 2006. Т. 40. № 2. С. 108–116.
 31. Терехова В.А. Микромикеты в экологической оценке водных и наземных экосистем. М.: Наука, 2007. 215 с.
 32. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 144 с.
 33. Штина Э.А., Зенова Г.М., Манучарова Н.А. Альгологический мониторинг почв // Почвоведение. 1998. № 12. С. 1449–1461.
 34. Anagnostidis K., Komarek J. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3. Oscillatoriales // Arch. Hydrobiol. Algol. Stud. 1988. Suppl. 80. № 1–4. P. 327–472.
 35. Domsh K.H., Gams W., Andersen T.H. Compendium of soil fungi. London: Acad. Press, 1993. V. 1. 859 p.
 36. Hoog de G.S., Guarro J., Gene J., Figueras M.S. Atlas of clinical fungi. Second Edition. Boarn: Centraalbureau voor Schimmelcultures, 2000. 1126 p.
 37. Watanabe T. Pictorial atlas of soil and seed fungi: Morphologies of cultured fungi and key to species. Boca Raton: CRC Press, 2000. 411 p.

Characteristics of Soil Algae and Fungi in a Mixed Forest Stand under Pollution by Wastes of Oil-Refining Enterprises

N. A. Kireeva, M. D. Bakaeva, I. P. Klimina, I. E. Dubovik

In the industrial and recreational zones of Ufa, soil communities of microscopic fungi and algae are compared. Common trends in changing the species structure of the microscopic fungus communities both in the soils and tree bark under the influence of complex environment pollution are shown.