

Специфика «цветения» почвы в техногенных зонах города (на примере г. Кирова)

© 2012. В. А. Ефремова¹, аспирант, Л. В. Кондакова^{1,3}, к.б.н., зав. кафедрой,
Л. И. Домрачева^{2,3}, д.б.н., профессор,

Т. С. Елькина², аспирант, Е. М. Вечтомов¹, д.ф.-м.н., зав. кафедрой,

¹Вятский государственный гуманитарный университет,

²Вятская государственная сельскохозяйственная академия,

³Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
e-mail: ecolab@vshu.kirov.ru

Приведены результаты по организации альго-циано-микологических комплексов «цветения» почвы в техногенных зонах г. Кирова. Показано, что в плёнках «цветения» вблизи биохимзавода и ТЭЦ наблюдается очень высокая плотность популяций фототрофов (70–90 млн клеток/см²) с различным набором доминирующих видов цианобактерий и практически полным отсутствием эукариотных водорослей. В сложении структуры биоплёнок принимают участие нитчатые формы цианобактерий и мицелий микромицетов. Среди микромицетов лидирующее положение занимают формы с окрашенным мицелием, что указывает на высокую степень загрязнения почвы изучаемых биотопов.

The results of algae-cyano-mycological soil «blooming» complexes organization in technogenic zones of Kirov City are presented. It is shown that in «blooming» films near the bio-chemical factory the density of phototrophic populations is very high (70–90 million cells/sm²), there are different sets of dominating cyanobacteria species and absolute absence of eukaryotic algae can be observed. In biofilms structure folding filamentous forms of cyanobacteria and mycelium micromycetes take place. Among micromycetes the forms with coloured mycelium take the leading position, this fact indicates high rate of soil pollution of the studies biotopes.

Ключевые слова: «цветение» почвы, популяции безгетероцистных и гетероцистных цианобактерий, микромицеты, видовое обилие

Keywords: «blooming» of soil, populations of unheterocytic and heterocystic cyanobacteria, fungi, species abundance

Феномен «цветения» почвы – явление, подробно описанное для целинных и сельскохозяйственных почв. Массовое размножение водорослей и цианобактерий (ЦБ) на поверхности происходит из года в год, имеет свои особенности в разных экотопах, формируется различными группировками фототрофов и играет определённую роль в жизни почвы. Закономерности организации альгоценозов «цветения» почвы определяются комбинацией трёх факторов: характером отношений между фототрофными партнёрами, активностью альгофагов и потоком биогенных элементов [1].

Урбоэкосистемы представляют собой специфическую среду, в которой организмы зависят в своём развитии от совокупности условий, складывающихся на городской территории. Это, в первую очередь, направленность и характер техногенного воздействия, его длительность, а также устойчивость почв городского ландшафта.

В последние годы всё больший интерес исследователи проявляют к почвенной микрофлоре городов. Достаточно подробно изучены

микоценозы [2], группировки гетеротрофных бактерий [3, 4], систематизируются данные о видовом составе фототрофных микроорганизмов [5 – 9]. Показано, что для микробных комплексов городских почв характерны следующие особенности: постепенное превращение некоторых сапрофитных форм микромицетов и бактерий в оппортунистические и паразитические формы; изменение морфотипов, появление уродливых форм; утрата зональных особенностей; измельчение клеток вплоть до наноразмеров и др.

Однако вне систематического изучения остаётся «цветение» почвы, урбанозёмов и субстратов на городской территории. В то же время «цветение» почвы является особым случаем формирования многовидовых биоплёнок, которые имеют ряд отличий от диффузных внутрипочвенных комплексов. В биоплёнках между партнёрами одного вида, разных видов и даже различных трофических уровней складываются отношения, позволяющие противостоять неблагоприятным действиям внешней среды более успешно, чем отдельным особям

[7, 10 – 12]. Сообщество микробных плёнок характеризуется сложной структурой и разнообразными клеточными взаимодействиями. Даже в простой биоплёнке, состоящей из клеток одного вида, каждая клетка занимает определённую экологическую «микронишу». Ещё большей сложностью обладает структура природных биоплёнок, содержащих различные виды микроорганизмов, которые взаимодействуют между собой, осуществляя кооперативное использование субстрата, межвидовой перенос электронов и др. процессы. Подобное «общественное» поведение бактерий получило название «чувство кворума» (quorum sensing, кворум-сенсинг). Чувство кворума позволяет микроорганизмам на популяционном уровне регулировать поведение и отвечать на изменения в окружающей среде. Большинство процессов, регулируемых с помощью чувства кворума, осуществляется не единичными клетками, а по достижении определённой плотности популяций, одновременно большим числом клеток. Таким образом, возникает некий аналог многоклеточного организма [10 – 12]. При механическом разрушении подобных структур через определённое время происходит самосборка биоплёнок с практически полным восстановлением видового состава и плотности популяций в данном микрокосме [13].

Цель нашей работы – сравнить специфику организации биоплёнок «цветения» почвы в промышленной зоне г. Кирова.

Объекты и методы исследования

Работа выполнена на территории г. Кирова в октябре 2011 г. Образцы «цветущей» почвы были отобраны по общепринятым методикам в южной (район ТЭЦ-5) и северной (район биохимзавода) частях города. Биоплёнки консервации не подвергались. В них сразу методом прямого микроскопирования определяли видовой состав водорослей и цианобактерий (ЦБ). Учёт численности клеток фототрофов и измерение длины грибного мицелия выполнены на мазках в 9-кратной повторности [1]. Модификация метода состояла в том, что плёнки перед работой не растирали, как обычно, в ступке, а разбивали 10 см² биоплёнки в гомогенизаторе до получения однородной суспензии, в которой колонии ЦБ разбивались до отдельных нитей. Применение данного приёма было обусловлено тем, что структура биоплёнок в обоих местообитаниях имела специфические особенности. Так, часть фототрофов плотно срасталась с почвенной поверхно-

стью и была неотделима от неё, придавая почве зеленовато-бурую окраску. На этом цианобактериальном покрове были хорошо заметны маленькие шаровидные отдельности – макроколонии ЦБ *Nostoc commune*.

В почву исследованных экотопов явно попадали различные поллютанты, так как профиль предприятий, в зоне которых отбирались биоплёнки, разный. Так, ТЭЦ-5 – предприятие, обеспечивающее теплоснабжение значительной части жителей города. Среди выбросов ТЭЦ, попадающих в атмосферный воздух, а следовательно, и на почву отмечаются следующие соединения: твёрдые частицы золы, сажи, сернистый ангидрид, оксид углерода (II), диоксид азота.

Биохимзавод, специализирующийся на выпуске кормовых дрожжей, фурфурола и спиртов, является одним из наиболее «активных» загрязнителей воздуха, в первую очередь, за счёт периодического возгорания накопившегося за многие годы лигнина, что неоднократно становилось причиной развивающегося в городе смога. Среди выбросов биохимзавода наиболее опасными являются формальдегид, фенол, аммиак, сероводород.

Результаты и обсуждение

В один и тот же период «цветение» почвы может резко различаться в промышленной зоне города. Проведение сравнительного анализа структуры биоплёнок, отобранных в конце октября 2011 г. около биохимзавода (северный район города) и около ТЭЦ-5 (южный район города), показало, что в один и тот же период «цветение» почвы различается как по видовому составу, так и по плотности популяций. Флористический состав комплексов «цветения» в обоих случаях представлен 8 видами: 7 видов ЦБ и 1 – диатомовая водоросль *Hantzschia amphioxys* (табл. 1), т. е. налицо цианофикация (цианофитизация) фототрофных комплексов. В биоплёнке около биохимзавода из трёх видов азотфиксирующих ЦБ 2 относятся к роду *Nostoc*, а из четырёх видов безгетероцистных форм три принадлежат роду *Phormidium* (ностоково-формидиевый ценоз). Биоплёнки в районе ТЭЦ-5 состоят из четырёх видов азотфиксирующих ЦБ, три из которых виды рода *Nostoc*. Безгетероцистные формы ЦБ принадлежат к разным родам. В обоих случаях наблюдается редчайший случай для почвенных альгоценозов – полное отсутствие зелёных и жёлтозелёных водорослей.

Работы по изучению биоплёнок «цветения» в районе ТЭЦ-5 выполнялись и ранее [14]. Так, в 2008–2009 гг. изучали особенности

Таблица 1

Видовой состав биоплёнок позднеосеннего «цветения» почвы

Группы фототрофов	Район биохимзавода	Район ТЭЦ-5
Гетероцистные ЦБ	1. <i>Nostoc commune</i> 2. <i>Nostoc punctiforme</i> 3. <i>Anabaena sp.</i>	1. <i>Nostoc commune</i> 2. <i>N. muscorum</i> 3. <i>N. punctiforme</i> 4. <i>Microchaeta tenera</i>
Безгетероцистные ЦБ	4. <i>Phormidium boryanum</i> 5. <i>Phormidium henningsy</i> 6. <i>Phormidium ambiguum</i> 7. <i>Leptolyngbya foveolarum</i>	5. <i>Phormidium sp.</i> 6. <i>Leptolyngbya foveolarum</i> 7. <i>Microcoleus vaginatus</i>
Водоросли	8. <i>Hantzschia amphioxys</i>	8. <i>Hantzschia amphioxys</i>

развития фототрофов на грунтах (опилки с наносным песком). Было показано, что в июльских пробах видовой состав менялся незначительно – 25 видов – в 2008 и 27 – в 2009 гг. Основной вклад в структуру популяций вносили ЦБ (15 видов в 2008 и 18 – в 2009 гг.). Доминирующее положение занимали гетероцистные ЦБ из рода *Nostoc* (*N. paludosum*, *N. punctiforme*, *N. linckia*). Развитие азотфиксаторов было вполне объяснимо характером грунта (опилки с песком), практически лишённого связанных соединений азота. Их развитие создавало условия для размножения как

безгетероцистных форм ЦБ, так и для многих видов зелёных (одноклеточных и нитчатых) и диатомовых водорослей.

Определение видового состава в плёнках «цветения» почвы вблизи ТЭЦ-5 проведено также в июне и июле 2011 г. [15]. Состав июльских наземных альгогруппировок был намного богаче, чем в октябре: 25 и 8 видов соответственно. Кроме ЦБ и диатомей, в июльских биоплёнках были представлены водоросли из отделов Xanthophyta, Eustigmatophyta, Chlorophyta, которые полностью исчезли при октябрьском «цветении». Следовательно, ход

Таблица 2

Сравнительная характеристика группировок «цветения» почвы в техногенных зонах г. Кирова

Показатель	Район биохимзавода	Район ТЭЦ-5
Численность клеток фототрофов, млн/см ²		
Гетероцистные ЦБ	32,2±6,0	19,7±2,6
Безгетероцистные ЦБ	28,8±0,8	72,2±4,4
Диатомей	1,8±0,2	1,22±0,027
Всего фототрофов	62,8±7,0	93,12±7,0
Длина нитей ЦБ, м/см ²		
Гетероцистные ЦБ	128,0	78,8
Безгетероцистные ЦБ	43,2	108,3
Суммарная длина	171,2	187,1
Структура популяций ЦБ, %		
Гетероцистные ЦБ	52,79	21,4
Безгетероцистные ЦБ	47,21	78,6
Структура популяций фототрофов, %		
ЦБ	97,13	98,7
Водоросли	2,87	1,3
Длина мицелия микромицетов, м/см ²		
Окрашенный	48,96±9,6	36,8±2,3
Бесцветный	32,0±3,2	14,4±0,6
Всего	80,96±12,8	51,2±2,9
Структура популяций микромицетов, %		
Окрашенный	60,47	71,87
Бесцветный	39,53	28,13
Суммарная длина нитей ЦБ и мицелия микромицетов, м/см ²		
	252,2	187,1

сезонной сукцессии поверхностных альгоценозов направлен на последовательную элиминацию из состава фототрофных популяций эукариотных водорослей, стремительное сокращение их видового разнообразия, насыщение биотопа представителями ЦБ.

Структурные особенности «цветения» почвы в позднесенний период в техногенных зонах города отражены в таблице 2. Общие признаки ценозов «цветения» в обоих экотопях следующие:

- необычайно высокая плотность популяций фототрофов (68–93 млн клеток/см²), которая ранее никогда не фиксировалась нами и другими исследователями в наземных разрастания;
- полное отсутствие зелёных и жёлтозелёных водорослей, которые, как правило, встречаются постоянно;
- абсолютное доминирование ЦБ (97–98%);
- значительная суммарная длина нитей ЦБ (171–187 м/см²);
- преобладание в структуре популяций микромицетов с окрашенным (меланизированным) мицелием (60–72%);
- существенное участие в формировании сетчато-нитчатой структуры биоплёнок нитей ЦБ и мицелия микрогрибов (187–252 м/см²).

Полученные результаты свидетельствуют о чрезвычайно благоприятных условиях даже в конце октября для развития ЦБ на поверхности. Сформированные цианобактериальные комплексы совместно с микромицетами создают плотный поверхностный покров, скрепляющий почвенные частицы. Однако преобладание окрашенных популяций микромицетов указывает на повышенный уровень загрязнения почвы.

Одновременно выявлены значительные различия в структуре комплексов микроорганизмов «цветения» почвы:

- плотность популяций фототрофов в районе ТЭЦ-5 примерно в полтора раза выше, чем в районе биохимзавода;
- преобладание в структуре популяций ЦБ гетероцистных форм в районе биохимзавода (52,79%) и явное доминирование (78,6%) безгетероцистных форм – в районе ТЭЦ-5;
- в районе ТЭЦ-5 наблюдается и более высокий процент участия меланизированных форм (почти 72%) в структуре популяций микромицетов.

Вероятно, в этих техногенных зонах характер развития ЦБ и микромицетов обуслов-

лен разницей в химическом составе попадающих в почву поллютантов.

Таким образом, нами установлено, что даже в позднесенний период происходит массовое развитие микрофототрофов на поверхности почвы в районе активно работающих городских промышленных предприятий. Биоплёнки «цветения» почвы сформированы преимущественно ЦБ с небольшой примесью диатомовых водорослей. Прочность структуры биоплёнок зависит не только от наличия нитчатых форм ЦБ, суммарной длиной 171–187 м/см², но и от участия в агрегации клеток мицелия микромицетов. Преобладание среди популяций микромицетов форм с окрашенным мицелием является индикаторным признаком на загрязнение почвы исследуемых экотопов. Вероятно, специфика выбросов загрязняющих веществ в атмосферу биохимзавода и ТЭЦ-5 определяет различия в видовом и групповом составе ЦБ. Чрезвычайно высокая плотность популяций ЦБ при «цветении» почвы в техногенных зонах города указывает на их высокий адаптационный потенциал к городским поллютантам.

Литература

1. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар. 2005. 336 с.
2. Марфенина О.Е. Антропогенная экология почвенных грибов. М.: Медицина для всех, 2005. 156 с.
3. Артамонова В.С. Микробиологические особенности антропогенно-преобразованных почв Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 225 с.
4. Лысак Л.В. Бактериальные сообщества городских почв: Автореф. ... дис. докт. биол. наук. М. 2010. 47 с.
5. Кабилов Р.Р. Почвенные водоросли техногенных ландшафтов: Дис. ... докт. биол. наук. Уфа. 1991. 345 с.
6. Суханова Н.В. Почвенные водоросли городских экосистем: Автореф. ... дис. канд. биол. наук. Уфа. 1996. 27 с.
7. Аксёнова Н.П. Урбанофлора эдафотрофных водорослей и цианопрокариот г. Ижевска: Дис. ... канд. биол. наук. Ижевск. 2010. 221 с.
8. Кондакова Л.В., Сравнительный анализ альгофлоры почв экологически опасных объектов на территории Кировской области // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 3. С. 52–59.
9. Кондакова Л.В., Домрачева Л.И. Относительное обилие альго- и микрофлоры в почвах луговых фитоценозов // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 3. С. 89–93.
10. Costerton J.W. Microbial interaction in biofilms // Microb. Physiol. and Gene Regul. Emerg. Princ. and Appl. 1995. P. 20–21.

11. Gross M. All together now // Chem. Brit. 2002. V. 38. № 9. P. 22.

12. Waters C.M., Bassler B.L. Quorum sensing: Cell-t-cell communication in bacteria // Annual Review of Cell and Developmental Biology. 2005. V. 21. P. 319–346.

13. Кондакова Л.В., Горностаева Е.А., Домрачева Л.И. Самосборка природных биоплёнок с доминированием *Nostoc commune* // Биологический мониторинг природно-техногенных систем: Матер. Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием. Часть 2. Киров: ООО «Лобань», 2011. С. 169–174.

14. Зыкова Ю.Н., Кондакова Л.В., Домрачева Л.И. Альгологическая и микологическая характеристика грунтов вблизи ТЭЦ-5 г. Кирова // Инновационные технологии – в практику сельского хозяйства: Матер. Всерос. научно-практ. конф., посвящённой 65-летию агрономического факультета. Киров: Вятская ГСХА, 2009. С. 148–152.

15. Ефремова В.А., Кондакова Л.В. Качественные и количественные характеристики «цветения» почв в районах промышленных предприятий г. Кирова // Биологический мониторинг природно-техногенных систем: Матер. Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием. Часть 2. Киров: ООО «Лобань», 2011. С. 174–177.

УДК 631.445.11:631.466.3:574.2 (234.851)

Влияние экологических факторов на формирование альгогруппировок горно-тундровых почв (Приполярный Урал)

© 2012. Е. Н. Патова, к.б.н., в.н.с., И. В. Новаковская, к.б.н., н.с.,
М. Д. Сивков, вед. инженер, А. Б. Новаковский, к.б.н., н.с.,
Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
e-mail: patova@ib.komisc.ru, novakovskaya@ib.komisc.ru

Исследовали влияние некоторых экологических факторов (высотная поясность, температура, влажность и кислотность почвы, содержание ряда биогенных элементов в верхних горизонтах) на формирование альгогруппировок в горно-тундровых почвах Приполярного Урала. Для исследованной территории среди изученных экологических факторов наибольшее влияние на число видов водорослей и их таксономическое разнообразие оказывают высота над уровнем моря, pH и содержание магния, кальция и калия в почве. Прослеживается уменьшение числа видов от гольцового пояса к горно-тундровому.

Influence of some ecological factors (height, temperature, humidity, soil acidity, maintenance of several nutrients in the upper soil layers) affecting algal communities in the mountain tundra soils of Subpolar Urals was investigated. Such factors as altitude, pH and content of Mg^{2+} , Ca^{2+} , K_2O in soils were found to be the most important for algae development on the investigated territory. There was also observed a decrease of algal diversity from the belt of mountain rocky deserts to the mountain tundra.

Ключевые слова: почвенные водоросли, температура, влажность и кислотность почвы, биогенные элементы, горно-тундровые почвы, Приполярный Урал

Keywords: soil algae, soils temperature, moisture and pH, nutrients, mountain-tundra ecosystems, Subpolar Urals

Почвенные водоросли являются важными фототрофными организмами, которые чутко реагируют на изменение почвенных условий. Эти микроорганизмы широко используются в биоиндикации почв, т. к. обладают сходной с высшими растениями реакцией на эдафические факторы и их изменения, но, в отличие от высших растений, имеют более короткий жизненный цикл и высокую скорость размножения [1]. Экологические факторы оказывают влияние на формирование видового состава водорослей в альгоценозах, основными из кото-

рых являются температура, влажность, содержание общего азота и углерода в почве, а также макро- и микроэлементов и др. [1, 2]. Для гольцового и горно-тундрового поясов Урала исследование влияния экологических факторов на разнообразие и распространение водорослей ранее не проводилось. Известны работы по влиянию экологических условий местообитаний на разнообразие и структуру водорослевых сообществ других горных систем [3, 4].

Цель работы – выявить влияние ряда экологических факторов с учётом высотной пояс-