

**Поллютанты как пусковой механизм сукцессий альгоценозов
(модельные опыты)**

© 2009. Л.И. Домрачева¹, д.б.н., профессор, Ю.Н. Зыкова¹, аспирант,
Л.В. Кондакова², к.б.н., зав. кафедрой,

¹Вятская государственная сельскохозяйственная академия,

²Вятский государственный гуманитарный университет,
e-mail: nm-flora@rambler.ru

Показано, что наземные природные альго-цианобактериальные биоплёнки служат источником многовариантных путей протекания аутогенных сукцессий, вызванных антропогенными факторами. Под влиянием поллютантов из однородного первоначального пула клеток развиваются сообщества, резко различающиеся по структуре, плотности, доминирующим группировкам.

It is shown that above-ground algae-cyano-bacteria films serve as a source of many-variant sorts of autogenic successions that are anthropogenically caused. Under the influence of pollutants communities develop out of originally homogeneous pool of cells. These communities are various in structure, density and dominating groups.

Ключевые слова: водоросли, цианобактерии, микромицеты, дрожжи, поллютанты, биоплёнки

Существование микрофототрофов в почве протекает в двух фазах - глубинной, при которой водоросли и цианобактерии распространены в толще почвы диффузно, и наземной, связанной с формированием поверхностных разрастаний, получивших название «цветение» почвы. В отдельных случаях эти разрастания легко отделяются от субстрата и имеют вид плёнок или корочек. При «цветении» почвы возникают тесные классические типы отношений фототрофов с гетеротрофными партнёрами на уровне физических, трофических и аллелопатических контактов, во многом сходных с фитоценотическими. Как правило, количество видов, формирующих наземные альгоценозы, намного меньше их видового пула в почве. На поверхности в зависимости от конкретных условий размножается всего от 10 до 50% видов, выявленных в глубине [1]. Доминантами «цветения» почвы могут быть представители различных отделов водорослей и цианобактерий (ЦБ). Среди безусловных доминантов-космополитов, формирующих биоплёнки в любых регионах планеты, выделяется ЦБ *Nostoc commune* – вид, способный вступать в многообразие консортивных связей с другими ЦБ, водорослями, бактериями, грибами и беспозвоночными [2 – 6]. Данные биоплёнки представляют собой классические, длительно существующие микробные экосистемы с определённым складом трофических отношений и протеканием сезонных [6] и аутогенных [7, 8]

сукцессий. Поэтому представляется реальным использовать биоплёнки с доминированием *N. commune* для мониторинга состояния почвы в условиях непрекращающегося загрязнения окружающей среды.

Цель данной работы – изучить влияние различных поллютантов на ход альго-цианобактериальных сукцессий и структуру сообществ, формирующихся из биоплёнок *N. commune*.

Объекты и методы

В работе использовались биоплёнки с доминированием *N. commune*, собранные в городской среде на почве вдоль обочины дороги. В наших предыдущих исследованиях [8, 9] было установлено, что они содержат 20 видов фототрофов, в том числе – 12 ЦБ и 8 – зелёных водорослей. Численность фототрофов в биоплёнке составляет около 3 млрд. клеток/г сухой биомассы, а длина грибного мицелия – свыше 2 км/г плёнки.

При постановке опытов в стерильные чашки Петри вносили навески прокалённого речного песка по 40 г и увлажняли до 60% дистиллированной водой в контроле и растворами поллютантов – в остальных вариантах. В качестве поллютантов были выбраны следующие соединения: пиррофосфат натрия (ПФН), который может оказаться в почве в аварийных ситуациях при детоксикации

фосфорсодержащих отравляющих веществ, а также соли тяжёлых металлов (ТМ), бензин и NaCl, являющиеся основными загрязнителями городских почв. Для ПФН использовали концентрации 0,01 и 0,4 г/л. Измельчённые плёнки общей массой 0,5 г размещали на поверхности песка. Опыт снимали через 2,5 месяца после его закладки при появлении заметных налётов на поверхности песка. Для ТМ, взятых в виде солей $CuSO_4$, $Pb(CH_3COO)_2$, $Zn(CH_3COO)_2$, концентрация рассчитывалась, исходя из 5 ПДК для почвы; бензин и NaCl вносили в дозе, соответствующей 5% от массы песка. Сухие, растёртые в ступке биоплёнки массой 0,25 г смешивали со всей массой песка. На выровненную поверхность песка в каждую чашку раскладывали по 7 покровных стёкол. Опыты были заложены в 3-кратной повторности. Видовое определение альгофлоры, а также количественный учёт альго- и микрофлоры вели прямым микроскопическим методом. Наблюдения за ходом аутогенных сукцессий альгоценозов, развивающихся из природных биоплёнок, проводили через 3 и 5,5 месяца после постановки опыта.

Результаты и обсуждение

Влияние пирофосфата натрия на развитие альгоценозов.

Визуальное определение площади «цветения» и подсчёт материнских колоний, которые

развились на старых биоплёнках, показали, что под влиянием ПФН интенсивность «цветения» несколько снижена (табл. 1).

Прямое микроскопическое изучение поверхностных разрастаний показало, что эффект воздействия ПФН определяется его концентрацией: малая доза (0,01 г/л) стимулирует размножение фототрофов, в первую очередь, безгетероцистные формы ЦБ, а при большой (0,4 г/л) – практически не меняется плотность клеток фототрофов по сравнению с контролем (табл. 2), хотя общая численность популяции сохраняется за счёт перераспределения плотности клеток различных группировок.

Избирательность стимулирующего эффекта ПФН особенно очевидна при рассмотрении структуры фототрофных сообществ (табл. 3). Наиболее чувствительными к данному соединению оказываются гетероцистные ЦБ, их вклад в структуру сообщества падает с 48% в контроле до 13% в варианте с ПФН 0,4 г/л. В то же время все группы фототрофов, особенно ЦБ, начинают стремительно размножаться при внесении в песок дополнительного количества фосфора в виде ПФН в концентрации 0,01 г/л (табл. 2).

Подобный выход на лидирующие позиции безгетероцистных ЦБ при загрязнении почвы неоднократно отмечался нами ранее для природных почвенных альгоценозов [10].

Под влиянием ПФН меняются также количественные и структурные показатели популяций микромицетов (табл. 4).

Таблица 1

Влияние пирофосфата натрия (ПФН) на интенсивность «цветения» песка

Вариант	Площадь «цветения», %	Количество дочерних колоний
Контроль	80	40
ПФН 0,01 г/л	60	40
ПФН 0,4 г/л	40	15

Таблица 2

Влияние пирофосфата натрия на численность популяций фототрофов (тыс. кл./см²)

Вариант	Водоросли	Цианобактерии		Всего фототрофов
		бгц	гц	
Контроль	65,5	3567,5	2949,7	6942,7
ПФН 0,01 г/л	297,9	9390,0	6833,0	16520,9
ПФН 0,4 г/л	92,5	4375,0	684,7	5159,2

Примечание: бгц – безгетероцистные формы ЦБ; гц – гетероцистные формы ЦБ.

Таблица 3

Влияние пирофосфата натрия на структуру фототрофных сообществ (%)

Вариант	Водоросли	Цианобактерии	
		бгц	гц
Контроль	0,94	51,38	47,68
ПФН 0,01 г/л	0,18	56,83	42,99
ПФН 0,4 г/л	1,79	84,80	13,41

Таблица 4

Влияние пирофосфата натрия на микокомплексы поверхностных разрастаний

Вариант	Длина мицелия, м/см ²	Доля мицелия, %	
		окрашенного	бесцветного
Контроль	41,2	19,4	80,6
ПФН 0,01 г/л	67,6	65,8	44,2
ПФН 0,4 г/л	122,0	77,1	22,9

В отличие от популяций фототрофов, интенсивность развития микромицетов возрастает по мере увеличения концентрации ПФН с одновременным усилением вклада грибов с тёмноокрашенным (меланизированным) мицелием, что однозначно указывает на загрязнение среды [10, 11].

Таким образом, пирофосфат натрия выступает как регулятор структуры и плотности популяций фототрофов и микромицетов с акцентированием развития безгетероцистных цианобактерий и тёмноокрашенных форм микромицетов.

Влияние городских поллютантов на сукцессии альгоценозов

Как показал анализ группового состава и численности исследуемых микробных группировок, все испытываемые соединения являются токсикантами по отношению к фототрофам, угнетая развитие как водорослей, так и ЦБ (табл. 5). По отношению к водорослям в первый срок наблюдений наиболее токсичны цинк, медь, NaCl. Полное угнетение ЦБ происходит под влиянием цинка и NaCl, также для них ядовит свинец, в меньшей степени ЦБ чувствительны к бензину и меди.

Грибы не столь чувствительны, как фототрофы, а такой поллютант, как бензин, даже стимулирует размножение микромицетов с окрашенным мицелием. В целом наиболее угнетающее действие на протекание сукцессии в альго-микологическом комплексе

оказывает NaCl. Вероятно, это обусловлено высокой осмотической активностью данного соединения.

Манипулируя с поллютантами, мы установили интересный факт, связанный со специфическим действием цинка. В этом варианте обнаружено массовое размножение дрожжей, при котором их численность достигала свыше 3000 клеток/см². Чрезвычайно разнообразной оказалась микроморфология клеток дрожжей. Так, выявлены разные способы их вегетативного размножения: биполярное и многостороннее почкование, множественное почкование, энтеробластическое почкование, образование псевдомицелия и его фрагментация. Несомненно, требуются дополнительные исследования по установлению особой роли цинка в провокационном размножении дрожжей, входящих в состав изучаемых биоплёнок, тем более что при посеве на стандартные питательные среды дрожжи не были обнаружены, так же как и на стёклах обрастания в вариантах с внесением других поллютантов. Ранее отмечалась, что цинк усиливает образование у дрожжей ферментов синтеза цитохрома и цитохромоксидазы, будучи добавлен в количествах, в 1000 раз превышающих оптимальные для его роста. Кроме того, цинк сильно влияет на образование пигментов грибами, например, меланинов [12].

Через 5,5 месяца в структуре альго-микологических комплексов произошли существенные изменения (табл. 6). Полное ингибирование наземного развития микро-

Таблица 5

Влияние поллютантов на структуру альго-микологических сообществ (время экспозиции – 3 месяца, матричная основа – биоплёнки с доминированием *N. commune*)

Вариант	Фототрофы, клеток/см ²		Длина мицелия, мм/см ²		
	Водоросли	Цианобактерии	окрашенного	бесцветного	суммарная
Контроль	200	486425	10,1	7,5	17,6
Бензин	208	825	23,7	2,4	26,1
Свинец	156	40	4,0	2,4	6,4
Медь	0	0	4,0	8,9	12,9
Цинк	0	0	16,4	1,2	17,6
Хлорид натрия	0	0	2,1	0,9	3,0

Таблица 6

Влияние поллютантов на структуру альго-микологических сообществ
(время экспозиции – 5,5 месяца)

Вариант	Фототрофы, клеток/см ²		Длина мицелия, мм/см ²		
	Водоросли	Цианобактерии	бесцветного	окрашенного	суммарная
Контроль	23325	13855000	59,0	9,0	68,0
Бензин	7325	190000	10,6	52,8	63,4
Свинец	8150	1411750	7,0	31,0	38,0
Медь	58	282	10,0	12,0	22,0
Цинк	17	0	0,4	918,0	918,4
NaCl	0	0	0	0	0

Таблица 7

Изменение структуры поверхностных микробных комплексов под влиянием поллютантов (%)

Вариант	Фототрофы		Мицелий микромицетов	
	Водоросли	Цианобактерии	бесцветный	окрашенный
Контроль	0,17	99,83	86,8	13,2
Бензин	3,85	96,15	1,6	98,4
Свинец	5,75	94,25	18,4	81,6
Медь	16,91	83,09	45,4	54,6
Цинк	100	0	0,1	99,1

организмов по-прежнему вызывал NaCl. Продолжалось стремительное размножение дрожжей в варианте с цинком, численность которых достигла 16000 клеток/см². В целом в ходе сукцессии происходит возрастание обилия особей в поверхностных разрастаниях, что свидетельствует о снижении токсичности поллютантов в замкнутой системе, вероятно, в результате биосорбции определёнными группами организмов.

Изменение структуры альго-микологических сообществ под влиянием различных загрязняющих веществ проявляется не только на уровне количественных показателей (численность клеток фототрофов и длина мицелия микромицетов), но и в изменении соотношения водорослей и ЦБ, а также в перераспределении доли популяций микромицетов с бесцветным и окрашенным мицелием (табл. 7). В контроле в количественном плане наблюдается преобладание ЦБ над водорослями, такое же, как в материнской биоплёнке [9], а также наибольший вклад бесцветных микромицетов в структуру популяций.

Под влиянием токсикантов увеличивается вклад эукариотных водорослей в формирование альгоценозов, не существенный в случае бензина и свинца, более ощутимый под влиянием меди. И снова можно выделить особую роль цинка – полное торможение развития ЦБ. Среди наиболее устойчивых видов фототрофов выделены и водоросли, и ЦБ. Среди ЦБ в вариантах с внесением пол-

лютантов в массе развиваются *Phormidium formosum*, *Phormidium boryanum*, *Phormidium uncinatum*, *Leptolyngbya foveolarum*, доминантами среди зелёных водорослей являются *Chlorella vulgaris*, *Bractecoccus minor*, *Stichococcus shodatii*.

Реакция микромицетов на внесение поллютантов заключается в резком увеличении в структуре комплексов микромицетов вклада грибов с меланизированным мицелием, вплоть до 98% (бензин) – 99,1% (цинк).

Выводы

Установлено, что из единого первоначального пула клеток биоплёнок *N. commune* под влиянием увлажнения субстратов и применяемых поллютантов возникают сообщества, резко различающиеся по плотности популяций фототрофов и интенсивности развития грибного мицелия.

Меняется структура популяций микромицетов: и пирофосфат натрия (ПФН), и городские поллютанты способствуют преимущественному развитию грибов с окрашенным мицелием.

Действие поллютантов на фототрофный блок, в первую очередь, проявляется в перераспределении группировок ЦБ и выходе на доминирующие позиции их безгетероцистных форм.

Отмечена специфичность действия цинка, связанная с массовым размножением дрожжей и ингибированием развития ЦБ.

Выявлены виды фототрофов, устойчивые к действию поллютантов, которые в перспективе могут быть основой для получения биоремедиационных препаратов.

Литература

1. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар. 2005. 336 с.
2. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 143 с.
3. Дубовик И.Е. Водоросли эродированных почв и альгологическая оценка почвозащитных мероприятий. Уфа: Изд-е Башк. ун-та, 1995. 156 с.
4. Патова Е.Н. Почвенные синезелёные водоросли в фитоценозах воркутинской тундры // Биоиндикация состояния природной среды воркутинской тундры. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1996. № 143. С. 49-61.
5. Кузяхметов Г.Г. Водоросли зональных почв степи и лесостепи. Уфа: РИО БашГУ, 2006. 286 с.
6. Закирова З.Р. Синезелёные водоросли (цианобактерии) антропогенно нарушенных почв и их

консортивные связи: Дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2006. 208 с.

7. Киреева Н.А., Кузяхметов Г.Г., Мифтахова А.М., Водопьянов В.В. Фитотоксичность антропогенно-загрязнённых почв. Уфа: Гилем, 2003. 266 с.
8. Kondakova L.V., Domracheva L.I., Pegushina O.A., Fockina A.I. Disbalance Factors and *Nostoc commune* // Soil Contamination: New Research. New York Nova Science Publishers. 2008. P. 189-199.
9. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Пегушина О.А., Фокина А.И. Биоплёнки *Nostoc commune* – особая микробная сфера // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 1. С. 15-19.
10. Domracheva L.I., Dabakh E.V., Kondakova L.V., Varaksina A.I. Algal-mycological complexes in soils upon their chemical pollution // Eurasian Soil Science. 2006. Suppl. 1. P. 91-97.
11. Терехова В.А. Микромицеты в экологической оценке водных и наземных экосистем. М.: Наука, 2007. 215 с.
12. Беккер З.Э. Физиология грибов и их практическое использование. М.: Изд-во МГУ, 1963. 268 с.

УДК 303.6:623.459

Аксиологический подход как основа информационного сопровождения экологического мониторинга окружающей среды вблизи объектов хранения и уничтожения химического оружия

© 2009. Е.А. Новикова¹, инженер, Т.Я. Ашихмина², д.т.н., зав. кафедрой,
¹Региональный центр государственного экологического контроля
 и мониторинга по Кировской области,
²Вятский государственный гуманитарный университет,
 e-mail: Jelena_novikova@mail.ru

В статье изложены основные принципы информационного сопровождения экологического мониторинга окружающей среды вблизи объектов хранения и уничтожения химического оружия на основе аксиологического подхода. Отражены информационные потоки, формы подачи информации и результаты применения данного подхода.

The article deals with the main principles of informational support of ecological monitoring near chemical weapon storage and destruction objects on the basis of axiological approach. Information streams, ways of presentation and results of applying this approach are shown

Ключевые слова: аксиологический подход, информационные ресурсы, экологический мониторинг, уничтожение химического оружия

Одним из основных методологических подходов современной геоэкологии является аксиологический подход. Он отражает особенность научного геоэкологического знания,

для которого характерно единство научных и ценностных аспектов изучения. Система ценностей имеет многоуровневую структуру. Наиболее высокий уровень – это общечело-