

УДК 574.4:582.241(212.3)

ИЗМЕНЕНИЕ ОБИЛИЯ МИКСОМИЦЕТОВ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Е. Л. Воробейчик, Б. С. Плотников

Институт экологии растений и животных УрО РАН,
Екатеринбург, Россия, ev@ipae.uran.ru

ABUNDANCE OF MYXOMYCETES OF FOREST ECOSYSTEMS UNDER INDUSTRIAL POLLUTION

E. L. Vorobeichik, B. S. Plotnikov

Institute of Plant and Animal Ecology, Ekaterinburg, Russia, ev@ipae.uran.ru

Миксомицеты – амeboподобные простейшие, обитающие в разлагающихся растительных остатках – обязательный компонент любого наземного биоценоза; особенно велико их разнообразие в лесных сообществах умеренной зоны. До сих пор эта группа организмов остается малоизученной: фрагментарны данные, как по их физиологии, так и экологии, а большинство публикаций представляют собой «просто» списки видов для определенных территорий. Не вполне ясна функциональная роль миксомицетов в экосистемах, в частности в процессах разложения древесины. Исследования реакции миксомицетов на химическое загрязнение также весьма немногочисленны и ограничены описанием видового состава в крупных городах. Цель данной работы – выявить закономерности изменения обилия миксомицетов в градиенте промышленного загрязнения от крупного точечного источника эмиссии поллютантов.

Исследования проводили в окрестностях Среднеуральского медеплавильного завода (г. Ревда Свердловской области, Россия). Предприятие функционирует с 1940 г.; основные ингредиенты выбросов – сернистый ангидрид (более 130 тыс. т/г. на конец 1980-х, около 30 тыс. т/г. в настоящее время) и полиметаллическая пыль с сорбированными токсичными элементами, (Cu, Cd, Pb, Zn, As и др.). Сбор материала проводили на территориях, примыкающих к заводу с запада (направление против господствующих ветров) в четырех зонах нагрузки: фоновая (30 км от завода), буферная–2 (7 км), буферная–1 (4 км), импактная (1 км). Зоны существенно различаются как по уровню загрязнения, так и по структуре фитоценозов. В каждой зоне заложили по 5 пробных площадей размером 10x10 м в ельниках–пихтарниках разных растительных ассоциаций на дерново-подзолистых почвах. На каждой пробной площади учтены и закартированы все крупные древесные остатки (субстраты для обитания миксомицетов): разлагающиеся стволы или их фрагменты длиной не менее 1 м и диаметром не менее 10 см; учитывали также субстраты, частично расположенные на пробной площади и выходящие за ее пределы. Для каждого субстрата измерены длина и диаметр через 1 м, что позволило рассчитать площадь поверхности. Сбор миксомицетов проводили в 2006–2008 гг. с древесины и коры упавших разлагающихся стволов деревьев, а также со мхов и трутовых грибов, растущих на этих стволах. Для каждого разлагающегося ствола отмечали присутствие видов миксомицетов и подсчитывали количество спорофоров каждого вида. При небольшом количестве спорофоров (до 50 шт. в колонии) проводили прямой подсчет, при большем – колонию визуальнo делили на равные группы и подсчет проводили только для одной из них, с дальнейшей экстраполяцией на всю колонию. В общей сложности на 20 пробных площадях описано 125 разлагающихся стволов, на которых собрано 536 образцов миксомицетов; количество учтенных спорофоров составило около 85 тыс. Всего на данных пробных площадях обнаружено 100 видов миксомицетов (список видов для всего района на данный момент включает 136 видов).

По определению, плотность населения – это количество объектов в единице пространства. Для миксомицетов, как и для ряда других групп, например прикрепленных гидробионтов, при оценке плотности существует неопределенность, связанная с двумя аспектами. Во-первых, можно по-разному учитывать величину потенциально занимаемого пространства (то есть выражать плотность как количество объектов на учетной площадке, на одном субстрате, на единице площади поверхности субстрата и т. д.); во-вторых, при расчете плотности можно учитывать либо только заселенные субстраты, либо все субстраты, пригодные для заселения. Соответственно, комбинируя варианты снятия неопределенности можно получить разные варианты плотности.

Для миксомицетов обилие логично разложить на 3 составляющие: субстратная база (потенциал для заселения), экстенсивность заселения, интенсивность заселения. Субстратную базу характеризуют количество субстратов на пробную площадь (N_i) и средняя площадь поверхности одного субстрата (S_i). Экстенсивность заселения можно описать долей заселенных субстратов (f_n) или долей площади поверхности заселенных субстратов (f_s), интенсивность – средним количеством колоний на один заселенный субстрат (n_{col}) и средним количеством спорофоров на колонию (n_{sp}). Соответственно, в зависимости от способа нормирования и от того, учитывать или нет незаселенные субстраты, можно выделить 5 вариантов выражения плотности, формулы которых представлены табл. 1.

Таблица 1. Различные варианты расчета плотности миксомицетов

Способ нормирования плотности	Единица измерения	Учет пустых	Формула для расчета плотности
-------------------------------	-------------------	-------------	-------------------------------

		субстратов	
На пробную площадь	шт. спорофоров/ площадку	–	$D_1 = n_{sp} \cdot n_{col} \cdot f_n \cdot N_t$
На единицу субстрата	шт. спорофоров/ субстрат	да	$D_2 = n_{sp} \cdot n_{col} \cdot f_n$
		нет	$D'_2 = n_{sp} \cdot n_{col}$
На единицу поверхности субстрата	шт. спорофоров/ м ²	да	$D_3 = n_{sp} \cdot n_{col} \cdot f_n \cdot 1/S_t$
		нет	$D'_3 = n_{sp} \cdot n_{col} \cdot f_n \cdot 1/S_t$

С увеличением загрязнения плотность миксомицетов вначале возрастает, достигая максимума в буферной зоне, а затем резко снижается в импактной зоне (табл. 2). Тенденции изменения всех вариантов плотности одинаковы, однако контрастность различий между зонами и значимость разницы зависят от выбора варианта. Импактная зона сильнее всего отличается от фоновой территории при оперировании количеством спорофоров на учетную площадку (D_1) и количеством спорофоров на единицу субстрата при учете всех субстратов (D_2). Рассмотрение только заселенных субстратов (D'_2) и, особенно, количество спорофоров на единицу площади поверхности субстрата (D_3 и D'_3) резко снижает контрастность различий (в последнем случае разница даже перестает быть статистически значимой).

Таблица 2. Плотность миксомицетов в различных зонах нагрузки

Показатель плотности	Зона загрязнения				Критерий Краскелла–Уоллеса, H (3, 20)
	фоновая	буферная 2	буферная 1	импактная	
D_1	3683,7±1419,5	7865,6±1782,4	3520,2±1353,9	746,9±297,0	9,35, $p=0,02$
D_2	931,0±349,5	1315,4±238,8	336,6±137,1	145,9±66,8	11,09, $p=0,01$
D'_2	931,0±349,5	1637,2±243,5	444,9±180,3	243,6±101,0	11,22, $p=0,01$
D_3	172,6±77,3	275,2±38,9	76,9±31,5	77,7±37,0	7,94, $p=0,047$
D'_3	172,6±77,3	305,0±50,6	101,9±43,5	131,1±76,2	5,4, $p=0,14$

Примечание: здесь и в табл. 3 среднее значение ± ошибка, учетная единица – пробная площадь ($n=5$).

Поскольку все составляющие обилия входят в общую плотность как простые множители, возможно их прямое сопоставление друг с другом для выявления ведущего. Для наглядности сравнения параметров с фоновым значением их приводили в диапазон $[-1;1]$ по формуле: $RD = (X - X_{fon}) / (X + X_{fon})$, где RD – относительное различие, X – значение параметра для загрязненной зоны, X_{fon} – значение параметра для фоновой зоны.

В градиенте загрязнения разные составляющие обилия меняются разнонаправлено (табл. 3): количество колоний и количество спорофоров (то есть размер колонии), а также доля заселенных субстратов снижаются, тогда как количество субстратов на площадке – увеличивается. Разнонаправленность трендов изменения составляющих обилия (табл. 4) объясняет различия между разными вариантами плотности. Основной вклад в уменьшение D_1 и D_2 вносит снижение интенсивности заселения (прежде всего, количества колоний), а также экстенсивности заселения. Изменение субстратной базы (особенно S_t) на загрязненной территории нивелирует различия между зонами.

Таблица 3. Составляющие обилия в разных зонах нагрузки

Характеристика	Зона			
	фоновая	буферная 2	буферная 1	импактная
n_{col} , шт.	5,67±1,05	6,78±0,42	3,43±0,96	2,33±0,53
n_{sp} , шт.	144,44±32,73	240,51±30,20	96,26±30,72	104,80±40,41
N_b , шт.	3,80±0,20	5,80±0,58	9,00±2,19	6,40±1,29
f_n , доля	1,00	0,82±0,11	0,60±0,15	0,56±0,08
f_s , доля	1,00	0,92±0,05	0,62±0,16	0,68±0,09
S_t , м ²	6,95±1,50	5,16±1,01	4,21±0,27	2,01±0,37

Таблица 4. Относительное различие составляющих обилия между загрязненными и фоновыми участками

Зона загрязнения	n_{col} , шт.	n_{sp} , шт.	N_b , шт.	f_n , доля	f_s , доля	$1/S_t$, м ²
Буферная 2	0,09	0,25	0,21*	-0,10	-0,04	0,15
Буферная 1	-0,25	-0,20	0,41	-0,25*	-0,24*	0,25*
Импактная	-0,42*	-0,16*	0,25	-0,28*	-0,19*	0,55*

Примечание: * – значимые различия, критерий Манна Уитни, $p < 0,05$.

Таким образом, ответ на вопрос «изменяется ли плотность населения миксомицетов под действием загрязнения?» неоднозначен и зависит от выбора варианта плотности.