

УДК 628.353.153

**М.В. ШУВАЛОВ**

кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения, декан факультета инженерных систем и природоохранного строительства  
Самарский государственный архитектурно-строительный университет

**А.К. СТРЕЛКОВ**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения и водоотведения, директор ООО НПФ «ЭКОС»  
Самарский государственный архитектурно-строительный университет

**Р.М. ШУВАЛОВ**

кандидат технических наук, начальник отдела геолого-геодезической службы Департамента строительства и архитектуры  
г.о.Самара

## ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВСТРЕЧАЕМОСТИ ГИДРОБИОНТОВ В БИОПЛЕНКЕ ДИСКОВЫХ БИОФИЛЬТРОВ ПРИ ОЧИСТКЕ БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

RESEARCH ON FREQUENCY OF OCCURENCE OF HYDROBIONTS IN BIOFILMS OF ROTATING BIOLOGICAL CONTRACTORS DURING SEWAGE TREATMENT

*Приведены результаты экспериментальных исследований частоты встречаемости гидробионтов в биопленке в дисковых биофильтрах, применяемых на станциях полной биологической очистки бытовых сточных вод малых населенных пунктов. Установлено присутствие в биопленке на этих сооружениях девятнадцати видов организмов, из которых нитчатые бактерии и черви Nematoda встречаются очень часто или в массовом количестве.*

**Ключевые слова:** сточные воды, малые населенные пункты, станция полной биологической очистки сточных вод, дисковые биофильтры, биопленка, гидробиологические исследования, видовой состав биоценоза биопленки, частота встречаемости, гидробионты.

В составе многостадийных процессов биологической очистки принято выделять три основные стадии:

- адсорбция на поверхности биоценоза активного ила или биопленки растворенных, коллоидных и тонкодисперсных органических и минеральных веществ, содержащихся в сточных водах;
- процессы биохимического окисления и восстановления органических и некоторых минеральных веществ с образованием активной биомассы;
- распад активной биомассы с образованием автолизата и инертной части биомассы.

В основе биологической очистки сточных вод лежит способность микроорганизмов потреблять в качестве источников питания разнообразные органические и некоторые неорганические вещества, а также образовывать колонии и скопления в виде свободноплавающих в воде хлопьев активного ила

*There is research on frequency of occurrence of hydrobionts in biofilms of rotating biological contractors, which are used in stations of biological cleaning in small settlements. There are 19 types of organisms, among them are filamentary bacteria and Nematoda worms.*

**Key words:** sewage water, small settlements, rotating biological contractors, biofilm, station of biological purification of sewage, hydrobiological research, species composition of biocenosis, frequency of occurrence, hydrobionts.

или биопленки на поверхности различных наполнителей, размещаемых в биореакторах. Активный ил и биопленка, культивируемые в сооружениях биологической очистки, – это два специфических вида так называемых биоорганоминеральных комплексов, которые представляют собой искусственно (антропогенно) созданные экосистемы [1]. Биоценоз этих биоорганоминеральных комплексов – это сложный комплекс микроорганизмов, формирующийся под влиянием состава и концентрации загрязняющих веществ в обрабатываемой воде, ее pH и температуры, концентрации растворенного в воде кислорода и гидродинамической обстановки в биореакторе.

В биоценозах активного ила аэротенков присутствуют представители семи отделов микрофлоры (бактерии, грибы, актиномицеты, диатомовые, зеленые, эвгленовые, вольвоксовые микроводоросли), а также девяти таксонометрических групп

микрофауны (жгутиконосцы, саркодовые, инфузории, первичнополостные, вторичнополостные и брюхооресничные черви, коловратки, тихоходки, паукообразные) [1].

Биоценоз активного ила аэротенка и биопленки биофильтра при очистке одной и той же воды идентичен, но при этом отмечается различие в соотношении количества различных видов микроорганизмов [2]. В книге [3, с. 206] отмечается, что на биофильтрах биоценоз более разнообразен.

Доминирующую роль в биохимических процессах деструкции и потребления органических загрязняющих веществ играют бактерии.

Изучение биоценозов показало, что грибы составляют до 30 % биомассы биопленки в биофильтрах, а в активных илах доля их незначительна [2]. На основании вышеизложенного, С.В. Яковлевым и Т.А. Карюхиной был сделан вывод, что в этом заключается наиболее существенное различие в микрофлоре биофильтров и аэротенков.

Микроводоросли (диатомовые, зеленые, эвгленовые, вольвоксовые) периодически встречаются в биоценозах активного ила, и поэтому разные авторы характеризуют участие водорослей в процессе очистки сточных вод в аэротенках достаточно противоречиво [1, с. 327]. Общеизвестно, что во вторичных отстойниках эти микроводоросли значительно размножаются и нарастают на поверхности стен отстойников и водопереливных лотков. Микроводоросли при поступлении в аэротенк с возвратным активным илом не находят в нем удовлетворительные условия для своего существования. В биофильтрах микроводоросли обитают в больших количествах.

Представители микрофауны (простейшие и многоклеточные организмы) составляют приблизительно 5–10 % от общей биомассы активного ила [1]. Функциональная роль простейших заключается в осветлении очищенной воды за счет потребления бактерий, разрушенных зооглейных скоплений, грибов и водорослей. Наряду с этим простейшие усваивают и органические загрязнения, находящиеся во взвешенном состоянии. Следует особо отметить, что простейшие выделяют в воду экзоферменты, оказывающие стимулирующее действие на физиологическую активность бактерий [1, 2]. На основании этого было установлено, что вся биота активного ила в целом принимает участие в биодеградации загрязняющих веществ.

Многоклеточные животные, такие как клещи и мушки, развиваются только в биопленке, а в илах

аэротенков они отсутствуют [2]. Роль их в процессах очистки воды не установлена.

Объектами экспериментальных исследований являлась биопленка в дисковых биофильтрах на действующих станциях очистки бытовых сточных вод, расположенных в поселках Солнечная Поляна и Восточный соответственно в Ставропольском и Красноярском районах Самарской области.

При выполнении гидробиологических исследований использовался бинокулярный микроскоп для морфологических исследований МИКАМЕД-1. Отбор проб биопленки производился на канализационных очистных сооружениях в пос. Восточный (1-я серия опытов) и пос. Солнечная Поляна (2–6-я серии опытов). Перед отбором проб вращение ротора дискового биофильтра останавливали, отключив электропитание мотора-редуктора. В дисковом биофильтре с продольным расположением вала ротора по отношению к направлению движения очищаемой сточной воды (станция очистки в пос. Восточный) первая проба биопленки отбиралась с первых двух дисков в начале корпуса дискового биофильтра, а вторая – с последних двух дисков в конце корпуса. В дисковом биофильтре с поперечным расположением вала ротора (станция очистки в пос. Солнечная Поляна) отбор проб биопленки осуществлялся с разных дисков пакета, состоящего из пятидесяти дисков в конкретной камере биофильтра. Корпус дискового биофильтра на этой станции очистки представляет собой две камеры (ванны) через которые проходит обрабатываемая сточная вода. Биопленка снималась с поверхности диска с помощью металлического пинцета. Каждая проба биопленки представляла собой смесь образцов биопленки, снимаемых с поверхности дисков в пяти диаметрально противоположных участках его поверхности. Пробы биопленки помещали в стеклянную банку и добавляли сточную воду, взятую соответственно в начале или конце корпуса дискового биофильтра. Исследования биопленки, взятой на станции очистки в пос. Солнечная Поляна, выполняли в местной лаборатории сразу после отбора проб. Биопленку, взятую на станции очистки в пос. Восточный, анализировали в лаборатории СГАСУ на следующий день. До выполнения анализов эти пробы хранили в холодильнике.

Относительную численность гидробионтов в биопленке определяли методом учета по девятибалльной шестиступенчатой шкале частоты

встречаемости организмов индикаторов [4]. Идентификацию организмов осуществляли с помощью фотографий и рисунков гидробионтов, представленных в книгах [3, 4]. При микроскопировании каждой пробы просматривали до 40 полей.

Анализ результатов исследования состава гидробионтов в биопленке на станции очистки в пос. Восточный в период проведения на ней пуско-наладочных работ (табл. 1) показывает, что в начале корпуса дисковых биофильтров в биопленке наблюдался предельно низкий индекс видового разнообразия<sup>1-3</sup>. Основной вид обнаруженных микроорганизмов – это нитчатые бактерии *Cladohrrix dichotoma*. Очень редко встречались круглые черви *Nematoda*. В единичных пробах также редко встречались брюхоресничные инфузории *Aspidisca costata* и серобактерии – *Beggiatoa alba* и *Thiothrix nivea*. Очень низкое видовое разнообразие указывает на перегрузку биопленки, что соот-

ветствует реальным условиям, так как эта проба биопленки была отобрана в самом начале корпуса дискового биофильтра. Следует отметить, что нитчатые бактерии *Cladohrrix dichotoma*, обнаруженные в большом количестве в биопленке, хорошо усваивают азот из любых соединений, включая минеральные (нитраты) [3].

В биопленке, отобранной в конце корпуса дискового биофильтра, также отмечался очень низкий уровень видового разнообразия: было обнаружено только шесть видов организмов с численным преобладанием двух видов – круглые черви *Nematoda* и колониальные прикрепленные инфузории *Opercularia coarctata*. Как показали наши наблюдения, у инфузорий *Opercularia coarctata* ресничные зоны были закрыты. Это указывает на то, что в период пусконаладочных работ происходила перегрузка биопленки по органическим загрязнениям.

Таблица 1

**Частота встречаемости гидробионтов в секции № 1 дисковых биофильтров второй ступени очистки (1-я серия опытов 17.05.2005 г.)**

В баллах

Виды организмов индикаторов	Место отбора биопленки в дисковом биофильтре											
	в начале камеры № 1					в конце камеры № 2					Среднее арифметическое значение	
	Номер пробы											
	1	2	3	4	5	Среднее арифметическое значение	1	2	3	4		5
<i>Cladohrrix dichotoma</i>	9	9	9	9	9	9	7	7	7	3	3	5,4
<i>Nematoda</i>	0	5	0	0	0	1	7	7	7	9	9	7,8
<i>Beggiatoa alba</i>	0	1	0	0	0	0,2	1	2	1	1	1	1,2
<i>Aspidisca costata</i>	0	1	0	0	0	0,2	1	1	1	1	1	1
<i>Thiothrix nivea</i>	0	0	0	0	1	0,2	1	0	0	1	1	0,6
<i>Opercularia coarctata</i>	0	0	0	0	0	0	9	9	9	0	9	7,2
<i>Opercularia glomerata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	1,8
<i>Arcella vulgaris</i>	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0,8

<sup>1</sup> Шувалов М.В. Гидробиологические исследования биопленки дисковых биофильтров при проведении пусконаладочных работ канализационных очистных сооружений в поселке Восточный // Совершенствование систем водоснабжения и водоотведения по очистке природных и сточных вод: межвузовский сборник научных трудов / СГАСУ. Самара, 2005. С. 339–342.

<sup>2</sup> Стрелков А.К. Исследование состава биоценоза биологической пленки на дисковых биофильтрах // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: материалы 63-й Всероссийской науч.-техн. конф. по итогам НИР за 2005 г. / СГАСУ. Самара, 2006. С. 320–321.

<sup>3</sup> Шувалов Р.М. Обработка результатов исследований биологической пленки на канализационных очистных сооружениях // Современные методы анализа многомерных данных: материалы пятого международного симпозиума по хемометрике (18–23 февраля 2006 г.) / СамГТУ. Самара, 2006. С. 31–32.

Результаты гидробиологических исследований биоценоза биопленки в дисковых биофильтрах на канализационных сооружениях в пос. Сол-

нечная Поляна (табл. 2, 3) показали, что в ее составе присутствуют в большом количестве (7–9 баллов) нитчатые бактерии и черви Nematoda.

Таблица 2

**Частота встречаемости гидробионтов в секции №1 дисковых биофильтров (2-я серия опытов 27.09.2006 г.)**

В баллах

Виды организмов индикаторов	Место отбора биопленки в дисковом биофильтре												
	в камере № 1					в камере № 2					Среднее арифметическое значение		
	Номер пробы												
	1	2	3	4	5	Среднее арифметическое значение	1	2	3	4		5	
<i>Cladohrix dichotoma</i>	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
<i>Nematoda</i>	7	7	5	5	7	6,2	7	7	7	9	5	7	7
<i>Aspidisca costata</i>	3	3	0	3	0	1,8	2	3	2	3	2	2,4	2,4
<i>Thiothrix nivea</i>	7	7	5	7	5	6,2	7	7	7	7	7	7	7
<i>Opercularia coarctata</i>	7	7	5	5	5	5,8	9	9	9	9	9	9	9
<i>Callidina vorax</i>	0	2	2	2	0	1,2	3	0	2	2	2	1,8	1,8
<i>Notommata ansata</i>	0	2	0	0	2	0,8	2	0	2	2	0	1,2	1,2
<i>Stylonychia pustulata</i>	2	0	2	2	0	1,2	2	0	0	0	2	0,8	0,8
<i>Colpidium colpoda</i>	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0,8	0,8
<i>Cathypna luna</i>	2	0	0	2	0	0,8	0	0	2	0	0	0,4	0,4

Таблица 3

**Частота встречаемости гидробионтов в секции № 3 дисковых биофильтров (3-я серия опытов 27.09.2006 г.)**

В баллах

Виды организмов индикаторов	Место отбора биопленки в дисковом биофильтре												
	в камере № 1					в камере № 2					Среднее арифметическое значение		
	Номер пробы												
	1	2	3	4	5	Среднее арифметическое значение	1	2	3	4		5	
<i>Cladohrix dichotoma</i>	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
<i>Nematoda</i>	7	9	7	7	5	7	7	5	7	9	9	7,4	7,4
<i>Aspidisca costata</i>	3	2	2	1	0	1,6	2	3	3	1	3	2,4	2,4
<i>Thiothrix nivea</i>	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
<i>Opercularia coarctata</i>	7	7	7	7	5	6,6	5	5	5	5	5	5	5
<i>Callidina vorax</i>	2	0	0	3	2	1,4	0	3	3	3	2	2,2	2,2
<i>Notommata ansata</i>	2	2	3	3	3	2,6	3	3	2	0	0	1,6	1,6
<i>Litonotus lamella</i>	0	2	0	2	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 4

Частота встречаемости гидробионтов в секции № 4 дисковых биофильтров (4-я серия опытов 1.06.2008 г.)

В баллах

Виды организмов индикаторов	Место отбора био пленки в дисковом био фильтре											
	в камере № 1					в камере № 2					Среднее арифметическое значение	
	Номер пробы											
	1	2	3	4	5	Среднее арифметическое значение	1	2	3	4		5
<i>Cladohrix dichotoma</i>	9	9	9	9	9	9	7	7	7	7	7	7
<i>Nematoda</i>	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
<i>Aspidisca costata</i>	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
<i>Thiothrix nivea</i>	7	5	7	7	5	6,2	3	5	5	5	5	4,6
<i>Callidina vorax</i>	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
<i>Vorticella convallaria</i>	9	7	9	7	9	8,2	9	9	7	7	7	7,8
<i>Oxytricha pellionella</i>	0	3	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0
<i>Psichoda</i>	0	0	0	0	0	0	3	3	3	0	0	1,8
<i>Cathypna luna</i>	7	7	7	7	7	7	9	9	9	9	9	9
<i>Paramecium caudatum</i>	0	0	0	0	1	0,2	0	0	0	0	0	0

Таблица 5

Частота встречаемости гидробионтов в секции № 4 дисковых биофильтров (5-я серия опытов 29.03.2009 г.)

В баллах

Виды организмов индикаторов	Место отбора био пленки в дисковом био фильтре											
	в камере № 1					в камере № 2					Среднее арифметическое значение	
	Номер пробы											
	1	2	3	4	5	Среднее арифметическое значение	1	2	3	4		5
<i>Cladohrix dichotoma</i>	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
<i>Nematoda</i>	7	7	9	7	9	7,8	9	9	9	9	9	9
<i>Aspidisca costata</i>	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
<i>Thiothrix nivea</i>	2	2	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0
<i>Callidina vorax</i>	3	3	2	2	2	2,4	7	7	7	7	7	7
<i>Arcella vulgaris</i>	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	2,4
<i>Philodina roseola</i>	1	0	2	2	0	1	7	7	7	7	7	7

Таблица 6

Частота встречаемости гидробионтов в секции № 3 дисковых биофильтров (6-я серия опытов 29.03.2009 г.)

В баллах

Виды организмов индикаторов	Место отбора биопленки в дисковом биофильтре											
	в камере № 1					в камере № 2					Среднее арифмети- ческое значение	
	Номер пробы											
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
<i>Cladohrix dichotoma</i>	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
<i>Nematoda</i>	5	7	5	9	9	7	9	9	9	9	9	9
<i>Aspidisca costata</i>	7	5	7	5	5	5,8	7	7	7	7	7	7
<i>Callidina vorax</i>	0	2	0	2	1	1	7	7	7	7	7	7
<i>Arcella vulgaris</i>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<i>Philodina roseola</i>	0	0	3	2	0	1	5	7	7	7	7	6,6
<i>Psichoda</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,2

Исследования показали, что видовой состав биоценоза биопленки в дисковых биофильтрах, работающих в режиме полной биологической очистки бытовых сточных вод с БПК<sub>5</sub> до 100 мг/л, характеризуется не таким богатым видовым разнообразием, которое наблюдается в классических аэротенках. В отдельных пробах было обнаружено по 7–10 видов организмов. Учитывая присутствие в биопленке двигающихся и свободноплавающих в процессе жизнедеятельности организмов и особенно таких крупных по размерам, как черви *Nematoda* (длина до 5–10 мм), можно предположить, что они вносят заметный вклад в процесс перемешивания воды непосредственно в границах слоя биопленки.

По результатам исследования биоценоза биопленки в шести сериях опытов (см. табл. 1–6) было зафиксировано присутствие в ней следующих девятнадцати видов организмов:

а) нитчатые хламидобактерии: *Cladohrix dichotoma*, *Beggiatoa alba*, *Thiothrix nivea*;

б) простейшие:

– ресничные инфузории: *Opercularia coarctata*, *Opercularia glomerata*, *Aspidisca costata*, *Litonotus lamella*, *Stylonychia pustulata*, *Vorticella convallaria*, *Oxytricha pellionella*, *Colpidium colpoda*, *Paramecium caudatum*;

– саркодовые: амебы *Arcella vulgaris*;

в) многоклеточные беспозвоночные организмы:

– коловратки: *Callidina vorax*, *Philodina roseola*, *Cathypna luna*, *Notommata ansata*;

– черви *Nematoda*;

– личинки насекомых *Psichoda*.

Полученные данные дополняют имеющиеся сведения о биоценозе биопленки и представляют практический интерес, так как в научнотехнической литературе имеются данные только о видах гидробионтов, присутствующих в биопленке, при очистке промышленных сточных вод. Например, в монографии<sup>4</sup> приводятся данные, что в биопленке на дисковых биофильтрах наблюдалось около 25 видов гидробионтов, при этом из них выделены следующие виды микроорганизмов: *Nematoda* – как мало встречаемые, а виды – *Vorticella*, *Convallaria*, *Opercularia glomerata*, *Amphileptus carchesi* – как много и массово встречаемые организмы. По данным Л.А. Фортученко<sup>5</sup>, на дисковых биофильтрах в биопленке, представляющей скопление *Zooglea ramigera*, присутствует огромное количество простейших *Paramecium caudatum*, *Colpidium colpoda*, *Lionotus lamella*, а также других свободноплавающих организмов и червей *Nematoda*.

Своеобразие видового состава биоценоза биопленки в дисковых биофильтрах, применяемых на станции полной биологической очистки бытовых сточных вод в пос. Солнечная Поляна, обусловлено тем, что концентрация биопленки в этом виде биореакторов превышает в 4–6 раз концентрацию ила в классических аэротенках.

<sup>4</sup> Таварткиладзе И.М. Сорбционные процессы в биофильтрах. М.: Стройиздат, 1989. С. 73.

<sup>5</sup> Фортученко Л.А. Очистка сточных вод предприятий бродильной промышленности на примере дрожжевых и спиртовых производств: автореф. дис. ... канд. тех. наук / Одес. инж.-строит. институт. Одесса, 1973. 31 с.

**Выводы.** При исследовании биоценоза биопленки в дисковых биофильтрах, применяемых на станциях полной биологической очистки бытовых сточных вод, было зафиксировано присутствие в ней девятнадцати видов организмов, из которых нитчатые бактерии и черви *Nematoda* встречаются очень часто или в массовом количестве.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками [Текст] / Н.С. Жмур. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.
2. Яковлев, С.В. Биохимические процессы в очистке сточных вод [Текст] / С.В. Яковлев, Т.А. Карюхина. – М.: Стройиздат, 1980. – 200 с.
3. Методика технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации [Текст]. – М.: Стройиздат, 1977. – 299 с.
4. ПДН Ф СБ 14.1.77-96. Методическое руководство по гидробиологическому и бактериологическому контролю процесса биологической очистки на сооружениях с аэротенками [Текст]. – М.: Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации, 1996. – 61 с.

© Шувалов М.В., Стредков А.К.,  
Шувалов Р.М., 2011