

## Роль перифитона в очистке сточной воды от бактерий и минерализации органического вещества

© 2012. О. В. Трифонов, к.б.н., в.н.с.,  
Белорусский государственный университет,  
e-mail: avorim@mail.ru

Изучалась роль перифитона в очистке сточной воды от бактерий и минерализации органического вещества. Доминирующей группой организмов были кругоресничные инфузории (*Peritrichia*). Средняя скорость потребления бактерий в расчёте на 1 г сухого вещества составила 1305 млн клеток в минуту, а кислорода – 0,273 мг O<sub>2</sub>/г в минуту. На основании полученных результатов была оценена роль перифитона в доочистке сточной воды от остаточного загрязнения.

The role of periphyton in sewage purification from bacteria and mineralization of organic substance was studied. Peritrichia prevailed in quantitative relation. The intensity of bacteria consumption by periphyton per 1 g of dry substance is in average 1305 million cells per minute, while the intensity of oxygen consumption (at 20°C) is 0,273 ml O<sub>2</sub> • min<sup>-1</sup>. Based on the received results periphyton role in additional purification of sewage from residual pollution has been estimated.

Ключевые слова: Перифитон, инфузории, *Peritrichia*, потребление кислорода, потребление бактерий, сточные воды, очистка, биологический способ.

Keywords: Periphyton, ciliates, *Peritrichia*, oxygen consumption, bacteria consumption, sewage, purification, biological method

Сточные воды, прошедшие биологическую очистку в аэротенках, как правило, содержат остаточные количества загрязняющих веществ. Хотя концентрации этих веществ невелики, тем не менее, массовые сбросы таких вод могут привести к эвтрофикации и последующему загрязнению водоёмов. Для предотвращения этих явлений, на очистных сооружениях в ряде случаев осуществляется третичная очистка (доочистка), которая, дополняя традиционную схему двухступенчатой очистки (механическую и биологическую в аэротенках), позволяет получить воду требуемого качества. Третичная очистка осуществляется как физико-химическими (фильтрация, адсорбция, коагуляция, флотация, электролиз, ионный обмен и др.), так и биологическими методами (доочистка в биологических прудах и др.).

Однако на крупных станциях по очистке городских сточных вод внедрение третьей ступени очистки несёт за собой огромные материальные затраты, требует больших земельных площадей и представляет значительные трудности в эксплуатации из-за большого объёма поступающих сточных вод. Поэтому представляется важным разработка относительно дешёвых и простых в эксплуатации методов доочистки городских сточных вод.

На наш взгляд, наиболее перспективен в этом плане метод биологической фильтрации, основанный на способности сообщества микроорганизмов, населяющих твёрдые субстраты (перифитона), изымать из воды практически все виды загрязнений (как химических, так и биологических), минерализовать их или аккумулировать в собственной биомассе. На станциях по биологической очистке сточных вод перифитон развивается во всех гидротехнических сооружениях: первичных и вторичных отстойниках, аэротенках, водоотводных каналах. Если увеличить площади обрастания в этих сооружениях, то перифитон может работать в качестве «биологического фильтра» и изымать из окружающей воды загрязняющие вещества, что, несомненно, будет способствовать повышению эффективности очистки воды.

Целью настоящей работы является экспериментальная оценка роли перифитона, формирующегося на стенках водоотводных каналов вторичных отстойников Минской очистной станции, в доочистке воды от бактериального загрязнения и минерализации органического вещества.

Доминирующей группой организмов перифитона водоотводного канала являются кругоресничные инфузории (подкласс

*Peritrichia*). Их доля в перифитоне достигала 98%. Инфузории этой группы широко распространены в природных экосистемах и, активно питаясь бактериями, участвуют в очистке воды. Именно у кругоресничных инфузорий отмечены наиболее высокие скорости потребления бактерий. Установлено, что в благоприятных условиях одна особь *Vorticella convallaria* потребляет около 23 тыс. бактериальных клеток в час, а доминирующий вид исследуемого перифитона – *Carchesium polypinum* – до 25 тыс. кл./особь в час [1].

### Материал и методы исследования

В проведённых нами экспериментах была определена величина потребления бактерий перифитоном, а также интенсивность дыхания гидробионтов перифитона, как главный показатель их роли в процессе трансформации вещества и энергии. Эксперименты выполнены в лабораторных условиях на перифитоне 3–4 суточного возраста. В качестве субстрата образования использовали предметные стёкла 77x26 мм. Воду для эксперимента отбирали из канала в том месте, где были установлены субстраты, фильтровали через бумажный фильтр «жёлтая лента» (для удаления остаточного активного ила и других взвешенных частиц) и насыщали кислородом воздуха. Установка, в которой проводили эксперимент, представляла собой пря-

моугольную, герметично закрывающуюся камеру, в боковых стенках которой были сделаны углубления для фиксации стёкол с обрастанием. Воду в камеру подавали с помощью насоса. Величину потребления кислорода и бактерий определяли по разности их содержания на входе и на выходе из системы.

Всего было проведено 4 серии экспериментов. В каждой серии ставили от 1 до 3 опытов, с тем расчётом, чтобы их общая продолжительность не превышала 1,5–2 часов. За это время изменение численности бактерий в исходной воде (табл.) и прирост массы перифитона в камере были незначительными и в расчёт не принимались. Скорости протока воды в камере выбирали таким образом, чтобы разность между содержанием бактерий и кислорода на входе и выходе из системы достоверно определялась использованными нами методами. Температуру, при которой ставили опыты, поддерживали на уровне температуры воды в канале в момент отбора проб.

### Результаты и их обсуждение

Результаты проведённых экспериментов представлены в таблице.

**Потребление бактерий.** Анализ полученных данных показывает, что интенсивность поглощения перифитоном бактерий практически не зависела от исходного их содержания в воде: в серии № 2, где концен-

Таблица

Потребление перифитоном бактерий и растворенного кислорода

№ серии	Время водообмена, мин	Интенсивность поглощения кислорода, мг O <sub>2</sub> ·мин <sup>-1</sup> ·г <sup>-1</sup> сухого вещества перифитона	Интенсивность поглощения бактерий, млн кл.·мин <sup>-1</sup> ·г <sup>-1</sup> сухого вещества перифитона
1	15,7	–	1101,6 **
	10,5	0,284 (0,250)*	1224,8
	7,3	0,284 (0,250)	1141,9
Исходные данные: T–21,3°C; ХПК–48,4 мг O <sub>2</sub> /л; масса перифитона–225,50 мг; содержание бактерий–9,68±0,27 млн/мл			
2	16,8	0,358 (0,284)	1712,0
	10,5	0,353 (0,280)	1332,0
	6,2	0,355 (0,282)	1082,0
Исходные данные: T–22,5°C; ХПК–47,8 мг O <sub>2</sub> /л; масса перифитона–292,05 мг; содержание бактерий–27,35±0,83 млн/мл			
3	50,2	0,354 (0,279)	1127,0
Исходные данные: T–22,6°C; ХПК–53,3 мг O <sub>2</sub> /л; масса перифитона–18,10 мг; содержание бактерий–10,90±0,34 млн/мл			
4	28,0	0,350 (0,276)	1212,3
	15,8	0,356 (0,280)	1811,6
Исходные данные: T–22,6°C; ХПК–49,4 мг O <sub>2</sub> /л; масса перифитона–161,35 мг; содержание бактерий–11,74±0,33 млн/мл			

Примечания: \* Интенсивность дыхания при 20°C; \*\* Масса 1 млрд бактерий – 78,45×10<sup>-3</sup> мг сухого вещества.

трация бактерий составила 27,35 млн/мл и в серии № 1, где этот показатель равнялся 9,68 млн/мл, интенсивность потребления в пересчёте на сухое вещество перифитона была приблизительно одинаковой. Не наблюдалось связи интенсивности потребления бактерий с величиной биомассы перифитона. В серии № 3 масса перифитона была почти в 16 раз меньше, чем в серии № 2, однако, интенсивность потребления бактерий была практически одинаковой.

Наибольшее влияние на питание беспозвоночных оказала скорость потока. Увеличение времени пребывания воды в камере увеличивало и степень её очистки от бактерий, однако при очень малой проточности отмечено торможение интенсивности потребления микроорганизмов, что наблюдалось в опытах серий № 1 и 4. Во всех экспериментах средняя интенсивность потребления бактерий в расчёте на 1 г сухого вещества перифитона составила  $1305 \pm 271$  млн кл. в минуту.

**Потребление кислорода.** На величину газообмена гидробионтов оказывала влияние только температура воды: при 24,3 °C интенсивность потребления кислорода составила 0,284 мг  $O_2$ /г в минуту (серия № 1), а при 22,5–22,6 °C – 0,354 мг  $O_2$ /г в минуту (серии № 2–4). При расчёте на 20 °C (с использованием «нормальной кривой» Крога), интенсивность поглощения кислорода составила  $0,273 \pm 0,014$  мг  $O_2$ /г в минуту.

Поскольку состав перифитона очистных сооружений складывался главным образом из колониальных кругоресничных инфузорий, то именно их можно считать основными потребителями кислорода. Такое допущение дало возможность сравнить интенсивность дыхания сообщества *Peritrichia*, полученную в наших экспериментах, с данными Ф. П. Чорика [2], приведёнными для этой же группы инфузорий. Если предположить, что вся масса перифитона состоит из особей *Peritrichia*, и в ней полностью отсутствует инертная составляющая, то получаем, что 1 мг инфузорий биоценоза (при 20 °C) потребляет  $1,638 \cdot 10^{-3}$  мг  $O_2$ /ч. В экспериментах Ф. П. Чорика [2], величина газообмена этих же видов инфузорий составила  $5,86 \cdot 10^{-3}$  мг  $O_2 \cdot ч^{-1} \cdot хмг^{-1}$ , что выше всего в 3,5 раза. По литературным данным, показатели интенсивности дыхания одних и тех же видов инфузорий могут иметь более существенные отличия. Например, Р. Сароджини и Р. Нагабушанам [3] отмечают, что одна особь *Spirostomum ambiguum* потребляет  $0,192 \cdot 10^{-3}$  мг  $O_2$ /ч, в то время как по данным Т. В. Хлебович [4], при той же температуре эта инфузория потребляет  $12,7 \cdot 10^{-3}$  мг  $O_2$ /ч, т. е. показатели отличаются более чем в

65 раз. Вероятно, это связано не только с методическими погрешностями, но и с экологическими условиями, в которых находились простейшие и их физиологическим состоянием во время проведения опытов [2].

У колониальных *Peritrichia* [2], с увеличением числа особей в колонии интенсивность газообмена, в пересчёте на одну особь, уменьшается. Однако мы не получили какой-либо зависимости интенсивности дыхания от величины массы перифитона, хотя уровни биомасс в различных сериях экспериментов, как уже было отмечено выше, отличались друг от друга довольно значительно.

Используя величину потребления кислорода и бактерий, а также массу перифитона, полученные в наших экспериментах, можно оценить роль перифитона в доочистке воды от бактериального загрязнения и минерализации органического вещества. Поскольку 1 м<sup>2</sup> субстрата удерживает 440 г перифитона (по сухому веществу), то за сутки в воде, прошедшей биологическую очистку, дополнительно потребляется около  $800 \times 10^{12}$  кл. (63 г сухого вещества) бактерий на 1 м<sup>2</sup>, и минерализуется около 52 г/м<sup>2</sup> углерода, что является достаточно высокой величиной.

Таким образом, высокая интенсивность потребления бактерий и высокие показатели минерализации органического вещества позволяют рассматривать перифитон как перспективный объект в системе доочистки сточной воды от остаточного загрязнения. Такая доочистка может производиться в специальных бассейнах или каналах с невысокой скоростью течения воды, путём установки в них искусственных субстратов с большой площадью поверхности. Данный метод высокоэффективен и экологически выгоден, при минимальных вложениях он позволит в ряде случаев, обойтись без дорогостоящих сооружений по доочистке сточных вод как крупных городов, так и мелких населённых пунктов.

## Литература

1. Шубернецкий И. В. Кругоресничные инфузории основных типов водоёмов Молдавии: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 1984. 16 с.
2. Чорик Ф. П., Шубернецкий И. В. Интенсивность газообмена у некоторых видов инфузорий // Протозология. Л.: Наука, 1978. Вып. 3. С. 66–76.
3. Sarojini R., Nagabhusanam R. Effect of metabolic inhibitors on the respiration of the Ciliates, *Coleps hirtus* and *Spirostomum ambiguum* // Broteria. 1966. – V. 35. P. 75–80.
4. Хлебович Т. В. Интенсивность дыхания у инфузорий разного размера // Цитология. 1974. Т. 16. № 1. С. 103–105.