

# ВИДОВОЙ СОСТАВ, сезонная динамика и морфоэкологические ОСОБЕННОСТИ ЦИЛИОФАУНЫ аэротенков ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

**Работа посвящена изучению видового состава, сезонной динамики и морфоэкологических особенностей цилиофауны активного ила аэротенков очистных сооружений г. Хабаровск. Впервые приводятся данные по сезонной динамике и видовому составу цилиат активного ила. Определены жизненные формы и трофические связи инфузорий.**

## Введение

**О**чистка промышленных и бытовых сточных вод биологическим способом становится все более распространенной, поскольку данный метод является экологически чистым, сравнительно дешевым и эффективным. В связи с этим биологический метод занимает первое место среди других способов очистки стоков. Увеличение объема стоков и постоянно меняющийся состав сточных вод усложняют процесс очистки. Однако деятельность гидробионтов, трофические связи, возникающие между видами, населяющими активный ил аэротенков, позволяют максимально снизить концентрацию загрязняющих веществ различного рода.

Для районов с суровыми климатическими условиями биологический метод очистки стоков также приемлем. Биоценоз активного ила находится в относительно постоянных условиях в течение всего года благодаря устройству аэротенков. Сравнительно стабильная температура в них обеспечивается глубиной погружения железобетонных конструкций в землю на 6-8 м и существенной толщиной насыпи на стены, выходящие на поверхность земли.

Состав сточных вод весьма разнообразен - это гетерогенные системы, представленные загрязненными веществами во всех состояниях (растворенном, коллоидном, нерастворенном). Можно выделить следующие основные загрязнители, присутствующие в сточных водах:

**Л.И. Никитина\***,

доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой «Химия и экология», Дальневосточный государственный университет путей сообщения

**А.В. Жуков,**

аспирант кафедры «Химия и экология», Дальневосточный государственный университет путей сообщения

**М.М. Трибун,**

аспирант кафедры «Химия и экология», Дальневосточный государственный университет путей сообщения



- ♦ органические вещества (жиры, белки, углеводы и др.),
- ♦ неорганические (ионы калия, натрия, кальция, магния, хлора, карбонаты, сульфаты и т.д.),
- ♦ биологические (бактерии, яйца гельминтов, дрожжевые и плесневелые грибы, мелкие водоросли, вирусы) и др.

В результате сточные воды представляют существенную эпидемиологическую опасность для человека, животных и растений [1]. Целью исследования было выявление морфоэкологических особенностей цилиофауны активного ила аэротенков очистных сооружений г. Хабаровск, в которых осуществляется очистка промышленных и бытовых сточных вод. В соответствии с целью были поставлены задачи:

1. выявление видового состава цилиат;
2. определение сезонной динамики инфузорий;
3. изучение индикаторной роли цилиат;
4. исследование трофической деятельности инфузорий;
5. выявление жизненных форм инфузорий активного ила.

\* Адрес для корреспонденции: [nikitinali@mail.ru](mailto:nikitinali@mail.ru)

## Материалы и методы исследования

**М**атериалом для исследования послужили гидробиологические пробы активного ила аэротенков очистных сооружений промышленных и бытовых сточных вод г. Хабаровск, расположенные в п. Берёзовый Хабаровского края. Отбор производился ежемесячно с июля 2009 г.

Цилиат изучали *in vivo* и *in vitro* с помощью микроскопа «Motic BA 300» при увеличении окуляра х 10-20, объектива – х 4, х 10, х 40. Инфузории фиксировали жидкостью Карнуа и Да-Фано. Для выявления общей морфологии клеток препараты окрашивали 0,1 % раствором метиленового синего, 0,2 % раствором эозина, 0,3 % раствором йода. Ресничные ряды проявляли 0,3 % раствором протаргола, ядра выявляли действием 0,1 % раствора ледяной уксусной кислоты. Определение инфузорий осуществляли по методам, описанным в [2-7]. Фотографирование производили при помощи камеры «Webbers».

Количество видов инфузорий от общего числа зарегистрированных, обилие которых составляет 20 % и более, относили к доминантным (+++), виды с обилием от 19 до 9 % (++) - к обычным, виды с обилием 8 % и менее – к редким (+) [8].

## Результаты и их исследований

**О**чистные сооружения промышленных и бытовых сточных вод г. Хабаровск введены в эксплуатацию в 1981 г.; максимальная производительность аэротенков 220000 м<sup>3</sup>/сут [9].

Основным компонентом аэротенков является активный ил - искусственно выращиваемый биоценоз. Аэрация антропогенно загрязненных вод способствует видовому разнообразию гидробионтов активного ила, которое представлено бактериями, простейшими, многоклеточными животными. Данные группы организмов трансформируют загрязняющие вещества и очищают сточные воды в результате биосорбции, биохимического окисления, выедания бактерий и простейших [10].

На данном этапе исследований в активном иле аэротенков определено 56 видов инфузорий (табл. 1), относящихся к 8 классам. Систематическое положение цилиат приводится согласно классификации Линна [6]. Виды *Aspidisca costata* и *Coleps hirtus* являются доминантными в течение всего года, а *Vorticella alba* и *V. convallaria*, соответственно, в летне-осенний и весенне-летний периоды.

Таблица 1

Сезонная динамика цилиат активного ила аэротенков 2009-2010 гг.

№	Виды инфузорий	Лето	Осень	Зима	Весна
1	2	3	4	5	6
Тип Ciliophora Doflein, 1901					
Подтип Postciliodesmatophora Gerasimova et Seravin, 1976					
Класс Heterotrichea Stein, 1859					
1	Blepharisma sp.	-	-	+	-
2	Spirostomum sp.	+	-	-	-
3	Stentor polymorphus Muller, 1773	-	-	+	+
4	S. roeseli Ehrenberg, 1835	+	+	+	+
Подтип Intramacronucleata Lynn, 1996					
Класс Spirotrichea B tschli, 1889					
5	Aspidisca costata Dujardin, 1842	+++	+++	+++	+++
6	A. lynceus Ehrenberg, 1838	-	-	-	++
7	A. turrita Ehrenberg, 1838	-	+	+	+
8	Codonella cratera Leidy, 1877	-	+	-	-
9	Oxytricha sp.	-	-	+	-
10	Strombidium sp.	-	-	+	-
Класс Armophorea Lynn, 2002					
11	Caenomorpha sp.	+	+	+	-
12	Metopus sp.1	+	-	-	-
13	Metopus sp.2	+	-	+	-
Класс Litostomatea Small et Lynn, 1981					
14	Hemiophrys pleurosigma Stokes, 1884	+	+	-	-
15	H. sp.	+	+	-	-
16	Litonotus carinatus Stokes, 1885	-	+++	-	++
17	Litonotus sp.	+	++	-	++
18	Spathidium spathula Muller, 1786	-	-	+	-
Класс Phyllopharyngea Puytorac et al., 1974					
19	Anarma sp.	-	-	+	-
20	Chilodonella sp.	-	-	+	-
21	Dendrosoma sp.	+	+	+	+
22	Misacineta sp.	+	-	-	+
23	Podophrya sp.	+	-	+	-
24	Prodiscophrya solaris (Stein, 1859)	+	+	-	+
25	Rhabdophrya sp.	+	-	-	-
26	Sphaerophrya sp.1	+	-	-	-
27	Sphaerophrya sp.2	-	+	-	-
28	Tokophrya quadripartita Claparede et Lachmann, 1858	+	++	+	+
Класс Colpodea Small et Lynn, 1981					
29	Colpoda sp.	+	-	-	-

**Таблица 1** (Окончание)

Сезонная динамика цилиат активного ила аэротенков 2009-2010 гг.

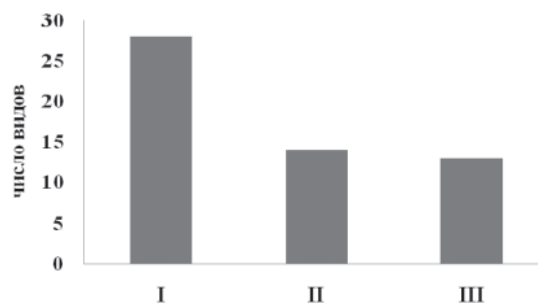
№	Виды инфузорий	Лето	Осень	Зима	Весна
1	2	3	4	5	6
Класс Prostometea Small et Lynn, 1985					
30	<i>Coleps hirtus</i> Nitzsch, 1817	+++	+++	+++	+++
Класс Oligohymenophorea De Puytorac et al., 1974					
31	<i>Carchesium batorligetiense</i> Stiller, 1953	++	+	+	+
32	<i>C. polypinum</i> Linnaeus, 1758	+	+	+	-
33	<i>Colpidium campylum</i> Kahl, 1931	+	+	+	+
34	<i>Colpidium</i> sp.	+	+	+	-
35	<i>Epistylis bimarginata</i> Nenninger, 1948	+	+	-	-
36	<i>E. epibioticum</i> Banina, 1983	-	+	-	-
37	<i>E. longicaudatum</i> Banina, 1983	-	+	-	-
38	<i>E. plicatilis</i> Ehrenberg, 1838	++	++	++	++
39	<i>E. polenici</i> Matthes, 1955	++	-	+	+
40	<i>E. polenici</i> Matthes, 1955 var. <i>saprobicum</i>	++	+	+	+
41	<i>E. thienemanni</i> Nenninger, 1948	+	+	++	++
42	<i>E. urceolata</i> Stiller, 1933	+	-	+	+
43	<i>Epistylis</i> sp.	++	+	++	++
44	<i>Opercularia phryganeae</i> Kahl, 1935	+	-	-	-
45	<i>Paramecium caudatum</i> Ehrenberg, 1838	+	+	+	+
46	<i>Paramecium</i> sp.	+	+	+	-
47	<i>Uronema marinum</i> Dujardin, 1841	++	+	-	+
48	<i>Vorticella alba</i> Fromentel, 1874	+++	+++	++	++
49	<i>V. convallaria</i> var. <i>elongate</i> Banina, 1983	+++	+	++	+++
50	<i>V. convallaria</i> var. <i>similis</i> Stokes, 1887	+++	+	+	+++
51	<i>V. microstoma</i> Ehrenberg, 1830	+	++	++	+
52	<i>V. nutans</i> O. F. Muller, 1773	+	+	+	++
53	<i>V. striata</i> var. <i>octava</i> (Stokes, 1885)	+	+	+	++
54	<i>V. supmicrostoma</i> Ghosh, 1925	-	+	+	-
55	<i>Vorticella</i> sp.	++	+	+	++
56	<i>Zoothamnium parasiticus</i> Stein, 1859	+	-	-	+
	ИТОГО:	<b>41</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>30</b>

Примечание: +++ - доминантные, ++ - обычные, + - редкие виды, - - вид отсутствует

Редкими видами были *Blepharisma* sp., *Spirostomum* sp., *Metopus* sp.1, *Spathidium spathula*, *Rhabdophrya* sp., *Sphaerophrya* sp.1, *Sphaerophrya* sp.2, *Colpoda* sp., *Epistylis epibioticum*, *E. longicaudatum*.

Нами было зарегистрировано угнетение численности видов цилиат в весенний период. Вероятно, это связано с повышением токсичности сточных вод, вызванным таянием снежного покрова. Талые воды содержат ионы тяжелых металлов (табл. 2), накапливающиеся за зиму в снежном покрове от автомобильного транспорта, ТЭЦ, организаций и заводов. В табл. 2 приведены концентрации некоторых металлов в сточной воде, поступающей на очистные сооружения п. Березовый в разные сезоны года.

Инфузории, обитатели аэротенков, различаются по типу питания. Нами были выделены три группы цилиат - бактериофаги, хищники и инфузории со смешанным типом питания (рис. 1), обеспечивающие более эффективный процесс биологической очистки. Употребляя в качестве пищи бактерии, жгутиковые, мелкие планктонные инфузории и др. организмы, цилиаты способствуют снижению мутности, улучшению органолептических, химических, санитарно-эпидемиологических свойств загрязняющих сточных вод.



**Рис. 1.** Численность видов инфузорий в трофических группах активного ила аэротенков: I. Бактериофаги; II. Смешанный тип питания; III. Хищники.

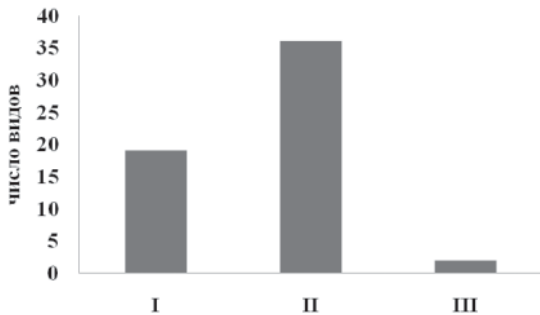
В связи с доминированием видового состава инфузорий со смешанным типом питания и бактериофагов (76 % от общего числа видов), сточная вода почти полностью очищается от болезнетворных бактерий [3].

Хищные инфузории играют огромную роль в осветлении сточных вод, поедая представителей протистофауны. По нашим наблюдениям, представители рода *Prodiscophrya* могут поймать и удерживать инфузорию в 8-10 раз превышающую её по размерам, а также удерживать одновременно до 5 жертв, общий размер которых в 15-17 раз превышает саму инфузорию. *Coleps hirtus*, питаясь

**Таблица 2**

Сезонная динамика концентрации тяжелых металлов в сточных водах очистных сооружений

Показатели	Концентрация, мг/л			
	Зима	Весна	Лето	Осень
Свинец	0,003	0,011	0,0015	0,0017
Железо	1,08	2,92	1,88	1,49
Цинк	0,18	0,13	0,09	0,1
Никель	0,0036	< 0,08	0,0029	0,0036



**Рис. 2.** Соотношение жизненных форм цилиат по количеству видов:

- I. Планктонные;
- II. Перифитонные;
- III. Эпибионтные.

остатками живых организмов, предотвращает массовое развитие бактерий, что также способствует осветлению сточных вод на завершающих этапах очистки.

Инфузории активного ила представлены планктонными, перифитонными и эпибионтными видами (рис. 2). Наличие различных жизненных форм инфузорий повышает процесс очистки сточных вод, т. к. охватывается вся толща стоков. Равномерное распределение гидробионтов по всему объему аэротен-

ка осуществляется благодаря энергичной и постоянной аэрации смеси активного ила со сточной водой.

В результате анализа видового состава цилиат было установлено явное преобладание в антропогенном биоценозе перифитонных форм, на долю которых приходится 63 % от общего числа видов. Это связано с хлопковидной структурой активного ила, который служит субстратом для прикрепленных видов цилиат, постоянной аэрацией аэротенков и обилием пищи в поступающей сточной воде. Нужно отметить, что особенности активного ила аэротенков, как среды обитания, повлияли на морфоэкологические показатели некоторых видов инфузорий и на их жизненные формы.




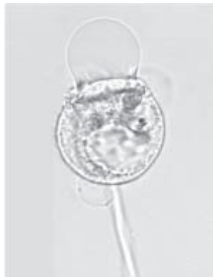

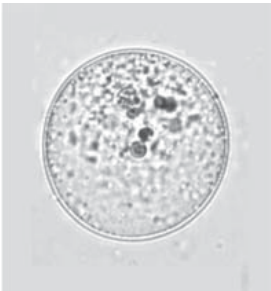




Исходя из литературных данных [3, 11, 12] некоторые виды родов *Vorticella* и *Epistylis* описываются как представители эпибионтных форм. Выявленные нами аналогичные виды из активного ила аэротенков ведут перифитонный образ жизни, что, вероятно, является морфофизиологической адаптацией, сложившейся в ходе экологической эволюции к обитанию цилиат в антропогенных биоценозах. Данная адаптация вызвана отсутствием животных (дафнии, циклопы и др.) и растений (водоросли), являющихся субстратом для этих видов инфузорий. Представители родов *Vorticella* и *Epistylis* прикрепляются к хлопьям активного ила, к стенам аэротенков и разветвленной системе труб, осуществляющих аэрацию.

При описании технологического процесса очистки морфофизиологическое состояние цилиофауны имеет существенное значение, так как инфузории очень чувствительны к изменению условий работы очистных сооружений и составу сточных вод.



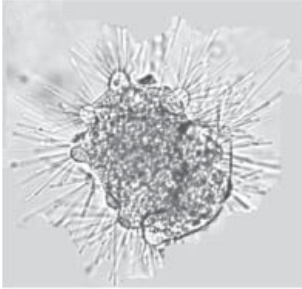
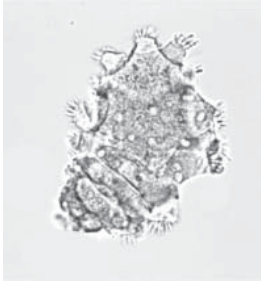


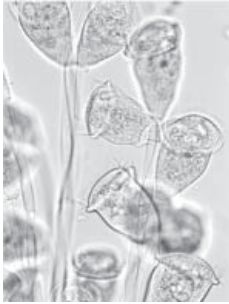

**Таблица 3**

Морфоэкологические изменения цилиат активного ила аэротенков

№	Морфоэкологические признаки	Причина возникновения	При благоприятном режиме работы аэротенков	При неблагоприятном режиме работы аэротенков
1	2	3	4	5
1	Втягивание перистомы	– недостаточная аэрация; – токсичность стоков		
2	Образование газового пузыря	– недостаточная аэрация		
3	Образование цист покоя	– недостаточная аэрация; – токсичность стоков; – недостаток питательных веществ; – кислотность среды		
4	Появление бродяжек	– токсичность стоков; – недостаток питательных веществ; – ухудшение аэробных условий		
5	Сморщивание цитоплазмы	– токсичность стоков		

**Таблица 3 (Окончание)**

Морфоэкологические изменения цилиат активного ила аэротенков

№	Морфоэкологические признаки	Причина возникновения	При благоприятном режиме работы аэротенков	При неблагоприятном режиме работы аэротенков
6	Редукция щупалец	– токсичность стоков; – кислотность среды		
7	Уменьшение размеров трофозоидов	– токсичность стоков; – недостаток питательных веществ		
8	Уменьшение количества зооидов	– токсичность стоков; – недостаток питательных веществ		

Основные морфофизиологические изменения цилиат при неблагоприятном режиме работы аэротенков представлены в *табл. 3*. В отличие от планктонных инфузорий, которые могут покинуть зону негативного воздействия сточных вод, перифитонные выработали ряд приспособительных реакций. Недостаточная аэрация сточных вод способствует закрытию перистомы, образованию газового пузыря, цист покоя. Защитная оболочка цист помогает пережить неблагоприятные условия обитания (токсичность сточных вод, изменение рН среды, нарушение режима аэрации, недостаток питательных веществ и др.).

Повышение токсичности стоков также вызывает закрытие перистомы, что позволяет уменьшить проникновение токсинов и способствует образованию «бродяжек» — свободно плавающих особей с венчиком ресничек

на каудальной части клетки, способных покинуть зону негативного воздействия.

У представителей сосущих инфузорий наблюдали сморщивание цитоплазмы, редукцию щупалец. При недостатке питательных веществ происходит значительное уменьшение размеров зооидов - длина снижается на 25-30 мкм, ширина на 12-16 мкм, высота перистомального валика на 1,5-2,5 мкм, высота диска на 8-14 мкм.

Своевременное выявление морфоэкологических изменений цилиофауны активного ила позволяет регулировать режим очистки, делая его максимально эффективным. К основным параметрам аэротенков, регулирующим работу очистных сооружений, относятся объем сточных вод, поступающих в аэротенки, время пребывания стоков в аэротенках, концентрация активного ила, режим аэрации сточных вод и т. д.

## Заклучение

За период исследования в активном иле аэротенков очистных сооружений в п. Березовый выявлено 56 видов инфузорий. Впервые для активного ила аэротенков Среднего Приамурья были зарегистрированы виды *Aspidisca turrita*, *Blepharisma sp.*, *Caenomorpha sp.*, *Colpoda steini*, *Epistylis longicaudatum*, *E. thienemanni*, *Dendrosoma sp.*, *Hemiophrys pleurosigma*, *Rhabdophrya sp.*, *Strombidium sp.*, *Vorticella nutans*. Установлено, что наибольшее видовое разнообразие цилиат в аэротенках отмечалось в летний период. Индикационная роль инфузорий проявляется в морфоэкологических изменениях клеток разных видов цилиат, вызванных действием токсичных сточных вод и нарушением режима работы очистных сооружений. Установленные трофические связи цилиат подтверждают их первоочередную роль в очистке и осветлении сточных вод. В ходе морфоэкологической эволюции изменения затрагивают и жизненные формы инфузорий, происходящие в результате адаптивной радиации таксонов.

## Литература

1. Карюхина Т.А. Контроль качества воды / Т.А. Карюхина, И.Н. Чурбанова. М.: Стройиздат, 1977. 135 с.
2. Константиненко Л.А. Кругоресничные инфузории (Ciliophora, Peritrichia) очистительных сооружений. Дис канд. биол. наук. Житомир, 2008. 217 с.
3. Банина Н.Н. Тип Инфузории / Н.Н. Банина, Л.А. Кутикова // Фауна аэротенков. Л.: Наука, 1984. С. 136–186.

## Ключевые слова:

сточные воды, очистные сооружения, аэротенки, активный ил, цилиофауна

4. Никитина Л.И. Почвенные инфузории Среднего Приамурья. Хабаровск: Изд-во ХГПУ, 1997. 102 с.
5. Приходько А.В. Морфо-экологические особенности инфузорий из природных и антропогенных биоценозов Амурской области. Дис. ... канд. биол. наук. Хабаровск, 2009. 150 с.
6. Протисты: Руководство по зоологии. СПб.: Наука, 2007. Ч. 1144 с.
7. Чорик Ф.П. Свободноживущие инфузории водоемов Молдавии. Кишинев, 251 с.
8. Тихомирова А.Л. Учет почвенных беспозвоночных // Методы почвенно-зоологических исследований. М, 1975. 65 с.
9. Коробко М.И. Аэротенки очистных сооружений канализации на Дальнем Востоке. Методическое пособие для курсового и дипломного проектирования / М.И. Коробко, Г.П. Чайковский. Хабаровск: ДВГАПС, 1995. 31 с.
10. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.: АКВАРОС, 2003. 512 с.
11. Бараусова О.М. Адаптивная изменчивость инфузорий рода *Vorticella* // Экология морских и пресноводных свободноживущих простейших. Л.: Наука. 1990. С. 93-97.
12. Дементьева Е.В. Морфофизиологические адаптации кругоресничных инфузорий к прикрепленному образу жизни / Е.В. Дементьева, С.Ф. Лихачев // Вестник ОГПУ. 2009. № 12. С. 85–90.

L.I. Nikitina, A.V. Zhukov, M.M. Tribun

# SPECIES COMPOSITION, SEASONAL DYNAMICS AND MORPHOLOGICAL AND ECOLOGICAL FEATURES OF AEROTENK CILIOFAUNA OF WATER TREATMENT PLANTS

Specific structure, seasonal dynamics and morfo-ecological features of ciliofauna active silt aerotanks treatment facilities of Khabarovsk have been studied. For the

first time the data on seasonal dynamics and specific structure ciliata active silt is cited. Vital forms and trophic communications of infusorians are defined.

**Key words:** sewage, treatment facilities, aerotens, active silt, ciliofauna