

О СТРУКТУРЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ЗНАЧЕНИИ ПРОТОЗОЙНОГО КОМПЛЕКСА АКТИВНОГО ИЛА АЭРОТЕНКОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ МАЛОГО ГОДА

И. В. Шарапова*, Л. Н. Хицова**

* *Борисоглебский педагогический институт,*

** *Воронежский государственный университет*

Обсуждаются результаты пятилетних исследований структуры и функционального значения микрофауны (протозойного компонента) активного ила из аэротенков очистных сооружений г. Борисоглебска (районного центра городского типа Воронежской области). Выявлены как индикаторы невысокой и хорошей очистки воды представители четырех трофических уровней.

Одним из эффективных методов очистки сточных вод является утилизация ингредиентов-загрязнителей живыми организмами — обитателями активного ила аэротенков — резервуарной системы очистных сооружений.

Структура очистных сооружений г. Борисоглебска и очистка стоков осуществляется по общепринятой схеме, ведется постоянный контроль за качеством и количеством химических ингредиентов, рН, температурой, БПК и ХПК на разных ступенях прохождения стоков. Соответствующее оборудование позволяет аэрировать и перемешивать сточные воды, что приводит к равномерному распределению организмов в аэротенках. Материал идентифицировался с помощью определителей путем приготовления временных препаратов и последующего микроскопирования (с подсчетом количества животных в каждом из 10 полей зрения. Определение протозойного компонента, особенно тестаций, проводилось с привлечением работ О.И. Чибисовой (1977), Г. А. Каргановой (1999, 2003), А.А. Боброва (2003), I. Alekperov et N. Snegovaya (2000).

Пробы для определения эукариот (преимущественно простейших) отбирались с 2001 по 2007 год посезонно и подекадно, что позволило проследить сезонный аспект избранной для наблюдения группы животных. Кроме простейших, предметом нашего исследования явились Тихоходки (*Tardigrada*), которые являются индикаторами удовлетворительной нитрификации и в целом высокого качества биологической очистки воды.

Характерной особенностью работы очистных сооружений г. Борисоглебска является следующее. Анализ сброса объема вод за период с 1986 по 2006

год показывает, что он уменьшился с 15 млн. до 3 млн. кубометров в сутки, что является вполне очевидной тенденцией: резко сократился объем источников промышленных стоков, их основу в настоящее время составляют бытовые сбросы микрорайонов частных застроек, персонального автопарка, бензозаправочных станций. Среди поступающих на очистные сооружения веществ преобладают хлориды, сульфаты и соли аммония. Достаточно весома доля взвешенных веществ (324 мг на кв.дм, табл. 1). На выходе количество указанных соединений снижается, но по-разному: если аммонийные соли утилизируются почти в 100-кратном размере, то сульфаты и хлориды остаются почти на том же уровне).

Активный ил — своеобразная биота искусственного происхождения. Его рассматривают как сообщество организмов прокариотической (бактерии), так и эукариотической природы (протозои, водоросли, черви, некоторые членистоногие). Слаженное функционирование сообщества обеспечивает очистку сточных вод поступающих на очистные сооружения. Сочлены сообщества характеризуются высоким уровнем метаболизма (подтверждается интенсивностью потребления кислорода), что прежде всего связано с особенностями пропорции их тела (соотношение поверхности к объему). Они высоко адаптивны к среде жизни (инцистирование при неблагоприятных условиях), легко утилизируют органические элементы. Специалистами («Гидробиологический контроль...»), обращается особое внимание на высокую способность бактерий к адаптации использования органических веществ. Они могут осуществлять и распад органики до промежуточных продуктов, и окислять промежуточные продукты распада до углекислого газа и воды. Одноклеточные эукариоты (протозои), пот-

Инфузорный «профиль» активного ила из аэротенков очистных сооружений г. Борисоглебска

ВИДЫ	2004 г.		2005 г.				2006 г.				2007 г.
	о	з	в	л	о	з	в	л	о	з	в
Класс Kinetophragminophora, Omp. Prostomatida											
<i>Coleps hirtus</i> Nutzs, 1817	3	4	5	4	4	3	3	1	2	1	1
<i>Chilodonella uncinata</i> Ehrenberg, 1838	—	—	—	4	—	—	—	2	—	2	—
<i>Ch.cucullulus</i> (Muller,1786)	—	—	—	2	3	—	3	2	—	2	—
<i>Litonotus lamella</i> (Ehrenberg)Schewiakoff, 1896	2	—	1	2	3	1	—	1	—	2	—
<i>Loxodes</i> sp.	—	—	—	—	—	1	—	1	—	—	—
<i>Prorodon ovum</i>	—	—	—	—	—	—	1	1	2	1	—
Класс Oligohymenophora, Omp. Hymenostomatida											
<i>Colpidium colpoda</i> (Ehrenberg, 1831)	1	—	3	—	—	1	1	—	—	—	—
<i>Paramecium bursaria</i> (Ehrenberg, 1831)	2	—	—	1	—	—	—	1	—	—	—
<i>P.caudatum</i> Ehrenberg,1833	1	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—
<i>P.aurelia</i> Ehrenberg,1838	—	—	2	—	2	—	—	—	—	—	—
Класс Peritricha, Omp. Sessilida											
<i>Epistylis bimarginata</i> (Nenninger, 1948)	5	8	6	3	2	3	3	3	2	3	3
<i>Vorticella campanula</i> (Ehrenberg, 1831)	3	5	3	4	2	2	1	6	2	5	1
<i>V. aerotenci</i> Banina,1983	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—
<i>Thuricola similis</i> (Bock,1963)	—	—	—	—	—	—	—	3	—	—	—
Класс Polihymenophora, Omp. Hypotrichida											
<i>Aspidisca costata</i> (Dujardin, 1842)	2	1	2	4	6	1	2	5	3	2	2
<i>Blepharisma lateritium</i>	—	—	—	—	1	—	—	—	—	2	—
<i>Metopus</i> sp.	1	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—
<i>Stentor polymorphus</i> (Muller,1773)	—	—	—	—	1	—	—	1	—	—	—
<i>Euplotes affinis</i> Dujardin,1842	—	—	—	—	—	3	—	1	—	—	—
<i>Oxytricha saprobia</i> Kahl	2	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—

Примечание: знак «—» обозначает отсутствие вида; * — приведенные цифры соответствуют количеству особей, обнаруженных в 0,15 мл; в — весна, л — лето, о — осень, з — зима.

ребля бактерий, размельченную органику, утилизируя соли тяжелых металлов способствуют осветлению и очищению воды. Черви (кольчатые, нематоды) и другие многоклеточные организмы обеспечивают минерализацию органических веществ. Кроме простейших, предметом нашего исследования явились Тихоходки (*Tardigrada*), которые являются индикаторами удовлетворительной нитрификации и в целом высокого качества биологической очистки воды.).

Обработка проб позволила установить достаточно большое разнообразие во времени протозойно-колловраточного компонента микробиоты аэротенков, смену состава представителей разных типов, классов, отрядов и видов. Как известно, активный ил — своеобразная экологическая система, структуру которой определяют компоненты разного трофического уровня и таксономической принадлежности. Важным физическим параметром активного ила является образование хлопьевидных структур (флокул) — следствие влияния полисахаридного геля, выделяемого бактериальной биотой. Работа аэротенков определяется видовым составом и численностью присутствующих здесь организмов. Наблюдения показывают, что эти параметры меняются от сезона к сезону и в течение сезона.

Обобщение материала позволило выявить комплексы протозойных и некоторых других беспозвоночных организмов, участвующих в процессах флокулообразования, регуляции микробной массы, утилизации вредных элементов (многие инфузории способны усваивать соли тяжелых металлов из окружающей среды). Эти комплексы определяют своеобразный посезонный «профиль», изменяясь при резком изменении химического состава сточных вод. «Профили» могут использоваться не только в качестве индикаторных показателей этих изменений, но и свидетельствовать о качественной характеристике сбросов. Приводим выделенные комплексы (в соответствии с качественным и количеством их преобладанием): инфузорный; инфузорно-саркодовый (амебоидный); саркодово (тестациевый); тасциево-инфузорно ротаторный; тасциево-амебоидный; инфузорно-тубифицидный; инфузорно-ротаторный; тасциево-инфузорно-нематодный; инфузорно-тардиградный; инфузорно-тестациево-тардиградный; инфузорно-амебоидно-тардиградный; амебоидно (лимаксодный)-инфузорный; амебоидно (лимаксодный)-тестациево-инфузорный; тестациево-лимаксодный; инфузорно-тестациево-тардиградно-тубифицидный; инфузорно-тестациево-тардиградный.

За время исследований выявилось, что наиболее часто в биоценозе активного ила очистных сооружений г. Борисоглебска встречаются представители двух групп простейших: раковинные амёбы и ресничные инфузории (табл. 1).

Общеизвестно, что организмы протозойной природы являются хорошими индикаторами работы активного ила, отдельные представители которых выделены рядом авторов в качестве особо значимых с биоиндикационной стороны (табл. 2). Анализируя результаты собственных исследований и сопоставляя их с лабораторными данными станции очистных сооружений, мы пришли к следующим выводам. Отмечаемое периодически накопление тестаций связано с увеличением органики в сточных водах. Эти же организмы служат предшественниками появления и последующего размножения тардиград. Появление и присутствие последних служит показателем «улучшения» качества очищаемых стоков. Что касается общей закономерности смены «профилей», отметим следующее. Особенностью осеннего состава (2004 г.) протозойной фауны аэротенков очистных сооружений явилось преобладание раковинных амёб, что инициировалось, по нашему предположению, с одной стороны поступлением фактора, способствующего их размножению, с другой (что взаимосвязано) — присутствием в поступающих стоках большого объема ионов аммония. Наблюдениями установлено, что в это время в аэротенках преобладали группы простейших, наличие которых может свидетельствовать о недостаточно высокой скорости трансформации органики и утилизации бактериальной среды. В летний период (сезон 2005 года) в аэротенках отмечены виды, свидетельствующие о невысокой нагрузке очистных сооружений (небольшое количество бентосных форм корненожек, присутствие *Vorticella campanula* — сигнальный вид некоторой недогрузки ила); умеренное количество колоний рода *Eprystylis* (признак хорошей нитрификации и достаточно высокой очистки). О том, что в летний период проводимого нами эксперимента аэротенки работали нормально, говорит и обнаружение в активном иле *Amoeba proteus* (до 5—6 клеток в поле зрения) и сосущих (прикрепленных) инфузорий (сукторий). Изменение в видовом составе протозойного планктона произошло в конце летнего сезона, начале сентября: появились мелкие виды амёб (группа *limax*) — показатели высокой нагрузки очистки сточных вод, заметно увеличилось количество двух видов *Chilodonella* (20—30 клеток в поле зрения). Хотя

Биондикационная значимость некоторых видов протозоев (по данным литературы)

Организмы	Состояние очистки	Ссылки
<i>Bodo</i>	<ul style="list-style-type: none"> плохая очистка (перегруженный ил) может развиваться и при хорошей очистке 	[8, 12] [8]
<i>Plagiopula nasuta</i>	плохая очистка (перегруженный ил)	[8]
<i>Colpidium colpoda</i>	плохая очистка (перегруженный ил)	[8, 14, 11]
<i>Litonotus lamella</i>	плохая очистка (перегруженный ил)	[8, 14, 9]
<i>Paramecium caudatum</i>	<ul style="list-style-type: none"> плохая очистка (перегруженный ил) высокие нагрузки по БПК 	[8, 14, 5] [17, 11, 2]
<i>Amoeba proteus</i>	хорошая очистка	[11, 2]
<i>Amoeba radiosa</i>	хорошая очистка	[6, 8, 13, 11]
<i>Amoeba limax</i>	<ul style="list-style-type: none"> нормальный ил плохая очистка 	[8] [3, 13, 6, 12, 11, 2]
<i>Coleps hirtus</i>	<ul style="list-style-type: none"> хорошая очистка низкие нагрузки по БПК 	[8, 14] [8]
<i>Epistylis</i>	хорошая очистка	[8, 11, 2]
<i>Metopus sp.</i>	плохая очистка, может встречаться при недостаточной аэрации	[15]
<i>Aspidisca costata</i>	<ul style="list-style-type: none"> хорошая очистка хорошая очистка при небольшом количестве выдерживает широкий диапазон нагрузок по БПК 	[8, 20, 1, 18, 12, 11, 2] [4, 13] [8]
<i>Paramecium aurelia</i>	плохая очистка, высокие нагрузки по БПК	[16, 2]
<i>Peranema trichophorum</i>	хорошая очистка, низкие нагрузки по БПК	[8, 2]
<i>Chilodonella cucullulus</i>	плохая очистка, высокие нагрузки по БПК	[16, 2]
<i>Chilodonella uncinata</i>	<ul style="list-style-type: none"> выдерживает широкий диапазон нагрузок хорошая очистка может встречаться и в перегруженном иле 	[8] [18, 20, 19] [2]
<i>Vorticella campanula</i>	<ul style="list-style-type: none"> хорошая очистка недогрузка ила широкий диапазон органических нагрузок 	[10, 19] [12, 11, 7]
<i>Coccyx инфузориум (Tokophrya)</i>	<ul style="list-style-type: none"> показатели глубокой очистки с нитрификацией перегруженный ил хорошая очистка 	[2] [11] [4, 13]
<i>Centropixis</i>	если представители этого рода присутствуют в небольших количествах, то показатели хорошей очистки	[11]
<i>Euplotes</i>	хорошая очистка	[11, 2, 4, 13]
<i>Euglipha</i>	если представители этого рода присутствуют в небольших количествах, то показатели хорошей очистки	[2, 13]
<i>Oxytricha</i>	<ul style="list-style-type: none"> хорошая очистка. но могут встречаться и при нарушениях очистки 	[4, 13, 18, 20] [11]
<i>Arcella</i>	если представители этого рода присутствуют в небольших количествах, то показатели хорошей очистки	[8, 14, 11, 13]
<i>Nematoda</i>	<ul style="list-style-type: none"> в незначительных количествах могут развиваться в хорошо работающем иле значительное количество указывает на залеживание, плохое перемешивание активного ила, недостаточную аэрацию 	[12, 2]
<i>Tardigrada</i>	хорошая очистка, показатели нитрифицирующего, низконагруженного ила	[12, 2]

инфузория *Aspidisca costata* как высоко пластичный вид встречается транссезонно, численность ее также к концу лета заметно возросла (сигнал об ухудшении условий в аэротенках).

В ходе нашего эксперимента в конце летнего сезона 2005 года отмечены инфузории *Stentor polymorphus* и *Vlepharisma lateritium* (вид имеет сходство с парамецией, но отличается меньшими размерами, розовой окраской, наличием и расположением пищеварительных вакуолей). В лабораторных условиях оба вида интенсивно размножаются в чашках Петри при наличии бактериальной пленки, образующейся за счет разложения риса.

Состав доминирующего комплекса видов инфузорий в течение всего периода наших наблюдений был относительно неизменным и включал следующие виды: *Coleps hirtus*, *Epistylis bimarginata*, *Vorticella campanula*, *Aspidisca costata*. При этом анализ химических данных сточных вод свидетельствует о достаточно широком диапазоне толерантности к разнообразным факторам среды у *Coleps hirtus*, *Aspidisca costata*, эти инфузории встречались при самых различных нагрузках на активный ил.

Наибольшее видовое разнообразие Ciliata отмечалось летом 2006 г. В этот период в биоценозе активного ила присутствовали представители всех трофических уровней

Первый уровень представлен инфузориями-седиментаторами, обладающими достаточно большой флокулирующей способностью (за счет выделения большого количества слизи, способствующей слипанию бактерий и других пищевых частиц): *Paramecium bursaria*, *Stentor polymorphus*, *Epistylis bimarginata*, *Vorticella campanula*. В этот же период впервые для активного ила данных очистных сооружений были обнаружены относящиеся к классу *Peritricha* инфузории *Thuricola similis*, имеющие домик в форме вытянутого бокала, ножка которого сильно сужена. В каждом таком домике достаточно четко различимы две особи различной длины, прикрепленные к его основанию одним коротким стебельком. В доступной нам литературе мы не нашли оценки индикаторной роли обнаруженной инфузории. Однако, если учесть химические показатели на момент взятия проб и состояние биоценоза в целом, можно (предположительно) связать ее присутствие с достаточно хорошей очисткой воды.

Второй трофический уровень был представлен инфузориями-«глотателями»: *Chilodonella uncinata*, *Chilodonella cucullulus*, *Aspidisca costata*.

Хищные инфузории *Euplotes affinis*, *Litonotus lamella* (третий трофический уровень) встречались единично.

Многолетние наблюдения позволили нам установить периодичность появления представителей последнего трофического уровня, таких многоклеточных организмов как тихоходки (*Tardigrada*) и коловратки. Особенно многочисленными в активном иле в июле и августе 2006 года были *Tardigrada* крупных и средних размеров (важно отметить при этом активное размножение — каждая вторая отмеченная особь содержала от двух — до 8 яиц).

На основании полученного материала по изученным группам животным можно сделать вывод, что в летний сезон 2005 года условия аэротенков очистных сооружений способствовали формированию тех видов, которые обеспечивают хорошее качество очистки и удовлетворительную нитрификацию. Рост органики в конце лета — начале сентября спровоцировал сукцессию протозойного компонента. Таким образом, летом 2006 г. активный ил очистных сооружений г. Борисоглебска (малого города) можно и в целом охарактеризовать как удовлетворительно работающий. Характерным является большое разнообразие простейших, особенно ресничных инфузорий, но с небольшим количественным преобладанием какого-либо из видов. Присутствовали представители четвертого трофического уровня, что положительно влияющие на степень очищения воды от органических загрязняющих веществ за счет повышения интенсивности обмена. Полагаем, что выявленная структура комплекса одноклеточных и многоклеточных организмов активного ила аэротенков указанных сооружений по очистке сточных вод может свидетельствовать об их эффективной реакционной способности, позволяющей обеспечивать достаточно хорошую очистку.

Полученные нами сведения представляют интерес для систем слежения станций очистных сооружений разных масштабов и вносят определенный вклад в теорию организации мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова Л.П. Работа опытной биологической станции при фабрике «Вискоза», Информационный бюллетень ВНИИ Водгео № 4—5, 1934.
2. Гидробиологический и бактериологический контроль активного ила. — (http://mnep.sura.ru/EI_utebnik/otistca_stotnih_vod/3_kontrol.htm.)
3. Захаров Н.Г. Немикробияльное население и некоторые внешние свойства активного ила. // Сб.: Аэротенк с механической аэрацией. — ОНТИ, 1938.
4. Калабина М. М., Роговская Ц.И. Биологический контроль за сооружениями. Биологическая очистка га-

зогенераторных бурогольных вод. Сборник ВНИИ Водгео «Исследования в области бурогольных и торфяных газогенераторных вод», Стройиздат Наркомстроя, 1934.

5. *Калабина М.М.* Применение биологического метода для оценки работы очистных сооружений. Материалы по очистке сточных вод кожевенной промышленности. Труды Института сооружений, вып. 3, 1930.

6. *Калабина М.М., Мудрецова-Висс К.А.* Образование биологической пленки на шлаке и распределение организмов в теле биологического окислителя. Информационный бюллетень ВНИИ «Водгео», № 4—5, 1934.

7. *Курдс Ц.Р.* Определитель простейших, найденных в активном иле. — М.: ВНИИПК Нефтехим, 1969.

8. *Литеровская Е.С.* Гидробиологические индикаторы состояния активного ила и их роль в биологической очистке сточных вод // В кн.: Общая экология. Биоценология. Гидробиология, т. 4. Итоги науки и техники. — М.: ВИНТИ АН СССР, 1977 — с. 169 — 208

9. *Литеровская Е.С., Исаева Л.А., Логунова О.Е.* Индикаторные организмы активного ила на сооружениях биологической очистки // Самоочищение и биоиндикация загрязненных вод. — М., 1980. — С. 149—154.

10. *Мамаева Н.В.* Динамика фауны организмов активного ила в процессе очистки промышленных сточных вод. Диссерт. на соискание ученой степени к.б.н. — Тула, 1970.

11. Методическое руководство по гидробиологическому контролю за работой сооружений биологической

очистки сточных вод. — (<http://www.intramail.ru/~vavinik/Reviews/gidrobiology.htm>)

12. Методы санитарно-биологического контроля. Методическое руководство к гидробиологическому и бактериологическому контролю процесса биологической очистки на сооружениях с аэротенками — М, 1966.

13. *Роговская Ц.И.* Биохимическая очистка сточных вод канифольно-экстракционных заводов. Сборник «Очистка промышленных сточных вод», Госстройиздат, 1957.

14. *Роговская Ц.И.* Биохимический метод очистки производственных сточных вод. — М., Стройиздат, 1967 — 140 с.

15. *Сладечек В.К.* К экологии инфузорий активного ила // в кн.: Очистка промышленных сточных вод. — М.: Госстройиздат, 1960.

16. *Curds C.R., Cockburn A.* Protozoa in biological sewage-treatment processes. 2. Protozoa as indicators in the activated sludge process. Acta hidrobiol., 1970, 4, № 3, P. 237—249.

17. *Klimowicz H.* Microfauna of activated sludge. Part 1. Assemblage of microfauna in laboratory models of activated sludge. Acta hidrobiol., 1970, 12, № 4, 357—376.

18. *Lackey J.B.* Stream Microbiology; in Phelps, Stream Sanitation. New York, 1944, 227 — 265.

19. *Liebmann H.* Handbuch der Frischwasser-und Abwasserbiologie, I. München, 1951, p.539.

20. *Sladeček V.* Studie o biologickem čištění městských odpadních vod aktivovaným kalem. Sbornik VSChT, odd. FTPV I, Praha, 1957, 165—248.