

УДК 579.63

## ИСКУССТВЕННЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

*Н.Т. Джумагулова, В.И. Сметанин*

Приведены результаты работ по исследованию видового состава микроорганизмов в аэротенках-вытеснителях для интенсификации процессов минерализации загрязнений. Предложены способы непосредственного воздействия на метаболизм микроорганизмов активного ила для улучшения работы сооружений биологической очистки.

*Ключевые слова:* сооружения очистки сточных вод; видовой состав; расход сточных вод; качество очистки; аэротенки; интенсификация процессов очистки; микроорганизмы; биоценоз.

---

## ТАЗАЛООЧУ КУРУЛМАЛАРДЫН ЖАСАЛМА ЭКОСИСТЕМАСЫ

*Н.Т. Джумагулова, В.И. Сметанин*

Бул макала булганулардын минералдашуу процессин интенсификациялоо үчүн аэротенк-кыскычтарда микроорганизмдердин тектик курамын изилдөө боюнча эмгектин жыйынтыктары берилди. Биологиялык тазалоочу курулмалардын ишин жакшыртуу үчүн активдүү тунманын микроорганизмдеринин метаболизминде түздөн түз таасирин тийгизүү ыкмалар сунушталды.

*Түйүндүү сөздөр:* агынды сууларды тазалоочу курулмалар; тектик түрлөрү; агынды суулардын чыгымдалышы; аэротенк; тазалоо процессинин интенсификациясы; микроорганизмдер; биоценоз.

---

## ARTIFICIAL SEWAGE TREATMENT ECOSYSTEMS

*N.T. Dzhumagulova, V.I. Smetanin*

The results of works on investigation of species composition of microorganisms in aerotank-displacers for intensification of processes of contamination mineralization are presented. There are proposed methods of direct effect on metabolism of active sludge microorganisms to improve operation of biological purification structures.

*Keywords:* wastewater treatment plants; species composition; wastewater consumption; quality of treatment; aeration tanks; intensification of treatment processes; microorganisms; biocenosis.

**Введение.** Самым перспективным, и в то же время почти неисчерпаемым, можно считать путь интенсификации биологической очистки сточных вод за счет непосредственного воздействия на метаболизм микроорганизмов активного ила.

Переход биоценоза из одной стадии развития в другую связан с изменением количества питательных веществ в среде, т. е. в случае процесса с активным илом с нагрузкой по БПК на 1 г беззольного вещества. Она сопровождается включением в биоценоз все более совершенных видов. В зависимости от состава сточных вод биоценоз активного ила может характеризоваться высоким разнообразием – до 45 видов про-

стейших, с различным численным преобладанием отдельных видов [1].

Знание процессов, которые происходят в активном иле, позволяет оперативно выявлять воздействующие факторы, делать прогнозы в процессе очистки сточных вод и, следовательно, управлять этим процессом.

Во многих городах и поселках России очистные сооружения городской канализации построены в 60–70-е годы прошлого века. Они давно исчерпали свои ресурсы, морально и физически устарели и требуют реконструкции. Кроме того, в настоящее время к сбросу очищенных сточных вод предъявляются более жесткие

требования по природоохранному нормированию [2].

В процессе очистки бытовых и производственных сточных вод широкое применение находят реагентные и мембранные технологии. Данные технологии приводят к удорожанию процесса очистки сточных вод, кроме того, размещение образующихся химических отходов оказывают негативное воздействие на окружающую природную среду. Поэтому, по мнению авторов, предпочтение следует отдавать биологическому методу очистки сточных вод, как наиболее распространенному и экономически выгодному [3].

Управлять биохимическим процессом очистки сточных вод и значительно интенсифицировать его возможно лишь при условии знания роли определяющих его факторов: состава микроорганизмов и их биохимических свойств на разных стадиях очистки; взаимоотношений отдельных групп микробов как между собой, так и с более высокоорганизованными группами организмов; влияния условий среды (состава и концентрации сточных вод, температуры, pH), изменчивости среды и других факторов [4].

**Материалы и методы.** Для исследования были выбраны аэротенки-вытеснители для полной биологической очистки. Расход сточных вод составляет на аэротенк в среднем 50 тыс. м<sup>3</sup>/сут, средняя доза иловой смеси активного ила 1,5 мг/л, содержание растворенного кислорода – 2,7 мг/л, иловой индекс – 87.

В течение 21 дня ежедневно отбирали пробы в осветленной воде после механической очистки перед поступлением сточной воды в аэротенк. Время пребывания осветленной воды в аэротенке составляло 6–7 часов, поэтому отбор проб очищенной воды производили во второй половине дня. В очищенной воде кроме показателей очистки воды исследовали структуру и видовой состав активного ила. Для оценки качества очистки в осветленной и очищенной воде отбирали пробы по следующим показателям: взвешенные вещества, нефтепродукты, ПАВ, фосфаты и азот аммонийных солей. Результаты представлены ниже в форме графиков и таблиц.

Подсчет организмов производили с помощью микроскопирования. После подсчета всей микрофауны рассчитывали: количество видов, отношение прикрепленных микроорганизмов

к свободно плавающим (коэффициент К), процентное отношение чувствительных микроорганизмов к устойчивым, индекс С<sub>уба</sub> (в нем заложена информация, как о количестве видов, так и об их численном распределении по видам) и количество микроорганизмов на дозу ила [5]:

1) отношение прикрепленных микроорганизмов к свободно плавающим (коэффициент К):

$$K = A/B,$$

где А – прикрепленные микроорганизмы; В – свободно плавающие микроорганизмы;

2) процентное отношение чувствительных микроорганизмов к устойчивым;

3) количество микроорганизмов на дозу ила:

$$C = X/V_{\text{кап}} * m,$$

где С – количество организмов в пробе; Х – количество экземпляров; V – объем капли (0,01 мл); m – доза ила по массе.

$$\text{Индекс С}_{\text{уба}}: D = N+V,$$

где N – количество видов; V – единица равномерного распределения.

**Результаты и обсуждение.** Для оценки состояния биоценоза активного ила сначала проводили качественный учет разнообразия организмов. Затем в тщательно перемешанной пробе просчитывали их количество. Вели подсчет организмов с помощью микроскопирования. Сумма каждого отдельного вида микроорганизма в 1 капле (0,01 мл) заносилась в таблицу 1.

Большое разнообразие видов микроорганизмов, и в то же время неравномерное их количество зависит от расхода сточных вод, состава и концентрации сточных вод, температуры, pH. Из-за большого массива данных за каждый день, представлены экспериментальные данные за один день.

В ходе экспериментов было установлено, что если поддерживать основные параметры сооружений стабильными – это расход сточной воды и нагрузку по БПК, то сформируется определенный состав биоценоза активного ила.

В состав активного ила входят различные виды бактерий, инфузорий, колероватки, черви и т. д. В нашем случае преобладали следующие виды микроорганизмов:

➤ *простейшие Амаеба* – голые амебы. Низшие формы их лишены скелета и представляет собой голый комочек цитоплазмы;

Таблица 1 – Количественный и качественный состав биоценоза активного ила

Название	Кол-во	Название	Кол-во	Название	Кол-во
<i>Aspidiscacostata</i>	714	<i>Vorticellanutens</i>	143	<i>Mastigamaeba</i>	71
<i>Chilodoncuculus</i>	214	<i>Zoothamniumsp</i>	286	<i>Amaebaproteus</i>	143
<i>Amphileptusclap</i>	0	<i>Thuricolasimiles</i>	214	<i>Amaebamedium</i>	143
<i>Litonotuscarinatus</i>	0	<i>Podophriafixa</i>	0	<i>Colurellasp</i>	214
<i>Spirostomumambigu</i>	71	<i>Tokophryamollis</i>	0	<i>Rotariarotatoria</i>	357
<i>Colepshirtus</i>	214	<i>Arcellavulgaris</i>	857	<i>Philodinasp</i>	71
<i>Chaetonotusmax</i>	143	<i>Centropixisaculeat</i>	0	<i>Lecaneinermis</i>	143
<i>Epistylisrotens</i>	1500	<i>Centropixissp</i>	286	<i>Aeolosomahemprichi</i>	429
<i>Epistylisplacatilis</i>	429	<i>Pamphagushyalin</i>	71	<i>Zoogloeauva</i>	571
<i>Operculariacoarct</i>	0	<i>Euglyphaacanthop</i>	143	<i>Actinomycetes</i>	0
<i>Vorticellaalba</i>	71	<i>Bodoglobosus</i>	357	<i>Flamentous bacteria</i>	71
<i>Vorticellacovallaria</i>	357	<i>Flagellatasp</i>	571		

- *инфузории Vorticella covallaria* – одиночные инфузории. Они относятся к классу наиболее высокоорганизованных представителей простейших, органами движения которых являются реснички, короткие волосовидные выросты плазмы;
- *коловратки Rotaria rotatoria* – микроскопические многоклеточные животные. У большинства коловраток можно довольно четко выделить головной отдел, туловище и ногу;
- *грибы* – составляют обширную группу организмов с совершенно особой биологической организацией. Тело гриба состоит из тонких нитей – гифов, образующих разветвленную структуру, называемую мицелием. Гифы представляют собой жесткие трубочки, заполненные многоядерной цитоплазмой;
- *бактерии* – нитчатые бактерии, представляющие собой длинные нити из соединенных вместе палочковидных клеток, покрытых общим чехлом. В пределах нити клетки размножаются простым делением. Бактерии играют основную роль в процессах изъятия и окисления органических и некоторых неорганических соединений при очистке сточных вод и самоочищения природных водоемов.

В таблицах 2–4 представлены эффекты очистки на выходе из аэротенка взвешенных веществ, СПАВ и НП.

Как видно, качество очистки соответствует требованиям предельно-допустимого сброса, за исключением тех дней, когда в осветленной воде

сильно падает или сильно превышает содержание взвешенных веществ. В таких случаях биоценоз активного ила возможно испытывает недостаток либо избыток питательных веществ, что приводит к ухудшению качественных показателей.

Таблица 2 – Качество очистки взвешенных веществ

Дата	Взвеш. в-в (освет. вода)	Взвеш. в-в (очищ. вода)	НДС	Расход мз/сут
21.06.2017	121	6,6	10	55
22.06.2017	105	9,6	10	52
23.06.2017	117	8,2	10	52
26.06.2017	110	7,8	10	40
27.06.2017	92	6,8	10	38
28.06.2017	60	22	10	52
29.06.2017	178	8,6	10	52
30.06.2017	120	4,6	10	45
03.07.2017	97	9	10	43
04.07.2017	198	8,4	10	68
05.07.2017	209	11,2	10	76
06.07.2017	136	10	10	51
07.07.2017	286	15,2	10	89
10.07.2017	154	9	10	61
11.07.2017	74	11,2	10	53
12.07.2017	119	8,6	10	48
13.07.2017	186	5,4	10	49
14.07.2017	161	6,4	10	49
17.07.2017	96	6,8	10	49
18.07.2017	163	5,6	10	51
19.07.2017	54	15,4	10	48
20.07.2017	76	14,2	10	48

Таблица 3 – Качество очистки СПАВ

Дата / время	СПАВ (освет.вода)	СПАВ (очищ.вода)	НДС
21.06.2017 / 10-20	2,8	0,06	0,5
22.06.2017 / 10-00	2,4	0,046	0,5
23.06.2017 / 10-05	1,9	0,055	0,5
26.06.2017 / 10-00	2,5	0,067	0,5
27.06.2017 / 10-10	2	0,057	0,5
28.06.2017 / 10-20	2,4	0,069	0,5
29.06.2017 / 10-00	2,6	0,049	0,5
30.06.2017 / 10-15	2,2	0,051	0,5
03.07.2017 / 10-00	2,7	0,074	0,5
04.07.2017 / 10-00	1,9	0,045	0,5
05.07.2017 / 10-25	3	0,071	0,5
06.07.2017 / 10-40	2,3	0,064	0,5
07.07.2017 / 10-20	2,1	0,06	0,5
10.07.2017 / 10-30	2	0,073	0,5
11.07.2017 / 10-05	2,5	0,058	0,5
12.07.2017 / 10-15	2,1	0,068	0,5
13.07.2017 / 10-25	1,7	0,054	0,5
14.07.2017 / 10-05	2,6	0,055	0,5
17.07.2017 / 10-15	3,1	0,068	0,5
18.07.2017 / 10-10	2,2	0,059	0,5
19.07.2017 / 10-20	2,1	0,061	0,5
20.07.2017 / 10-25	2	0,063	0,5
21.07.2017 / 10-20	2,6	0,049	0,5

Качество очистки синтетических поверхностно-активных веществ при данном составе биоценоза активного ила значительно ниже нормативно допустимого сброса.

Для достижения таких же показателей для очистки нефтепродуктов, необходимо увеличить дозу активного ила и концентрацию растворенного кислорода на 15–20 %. Из данных таблицы 4 следует, что качественные показатели в очищенной воде по нефтепродуктам незначительно превышают нормативно-допустимые сбросы.

Проведенные исследования позволили выявить, что снятие загрязнений по аммонийному азоту и фосфору до нормативно-допустимых значений в аэротенках-вытеснителях без создания анаэробных зон недостижимо.

Для развития нитрифицирующих бактерий в аэротенках старой конструкции возможно применение прикрепленной микрофлоры с помощью различных загрузок, а также создание в одном из коридоров анаэробных зон,

Таблица 4 – Качество очистки нефтепродуктов

Дата/время	НП(ОСВ)	НП(Очищ)	НДС
21.06.2017 / 10-20	2,4	0,07	0,05
22.06.2017 / 10-00	1,7	0,07	0,05
23.06.2017 / 10-05	2,2	0,06	0,05
26.06.2017 / 10-00	2,4	0,09	0,05
27.06.2017 / 10-10	2,8	0,07	0,05
28.06.2017 / 10-20	2,6	0,06	0,05
29.06.2017 / 10-00	2,8	0,05	0,05
30.06.2017 / 10-15	1,9	0,08	0,05
03.07.2017 / 10-00	2,1	0,12	0,05
04.07.2017 / 10-00	2,4	0,09	0,05
05.07.2017 / 10-25	2,4	0,12	0,05
06.07.2017 / 10-40	2,6	0,11	0,05
07.07.2017 / 10-20	2,3	0,09	0,05
10.07.2017 / 10-30	2,7	0,08	0,05
11.07.2017 / 10-05	2,5	0,06	0,05
12.07.2017 / 10-15	2,3	0,07	0,05
13.07.2017 / 10-25	3,7	0,09	0,05
14.07.2017 / 10-05	2,9	0,07	0,05
17.07.2017 / 10-15	3,5	0,15	0,05
18.07.2017 / 10-10	3,4	0,08	0,05
19.07.2017 / 10-20	2,7	0,08	0,05
20.07.2017 / 10-25	2,3	0,09	0,05
21.07.2017 / 10-20	2,5	0,07	0,05

с устройством перемешивающего оборудования и рециркуляции иловой смеси в голову сооружения.

**Заключение.** Увеличивая или уменьшая приток загрязнений к активному илу, можно искусственно регулировать биоценоз активного ила, скорость его роста и изъятия загрязнений, т. е. количество избыточного ила и качество очищенной сточной жидкости.

Результаты исследования биоценозов активного ила по стадиям его развития позволяет определить доминирующие формы организмов в илах аэротенков, работающих с разными нагрузками на активный ил. При налаженной работе аэротенков в активном иле устанавливается постоянный биоценоз, соответствующий определенной стадии развития ила. Изменение этого биоценоза свидетельствует об изменении режима работы аэротенка.

Процесс биологической нагрузки будет протекать в той или иной стадии развития активного ила.

**Литература**

1. Рекомендации по проведению гидробиологического контроля на сооружениях биологической очистки с аэротенками: метод. пособие / Управление по охране окружающей среды Пермской области©. Пермь: ОГУ “Аналитический центр”, 2004. 52 с.
2. *Gogina E.* Research of biofilter feed properties / E. Gogina, O. Yantsen // International of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 24. С. 44070–44074.
3. *Гогина Е.С.* Интенсификация процессов удаления соединений азота из сточных вод на биофильтрах / Е.С. Гогина, О.В. Янцен, О.А. Ружицкая, В. Дабровски, Р. Жилка, Д. Боружко // Вода и экология. 2016. № 3. С. 35–46.
4. *Алексеев Е.В.* Физико-химическая очистка сточных вод: учеб. пособие / Е.В. Алексеев. М.: Изд-во ассоциации строит. вузов, 2007. 248 с.
5. Микробиологический контроль активного ила биореакторов очистки сточных вод от биогенных элементов / М.Н. Козлов, А.Г. Дорофеев, В.Г. Асеева. М.: Наука, 2012. 80 с.
6. *Жмур Н.С.* Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур. М.: АКВАРОС, 2003.