

# АНТРОПОГЕННАЯ НАГРУЗКА НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ И ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Проанализированы объемы антропогенной нагрузки на водные объекты Республики Татарстан. Рассмотрены проблемы эвтрофикации поверхностных вод природных водных объектов. Обсуждены направления повышения эффективности функционирования биологических очистных сооружений.

*Ключевые слова:* сточные воды, биологические очистные сооружения, эвтрофикация водоемов, иммобилизация биоценозов, комбинированные схемы очистки.

## Водоотведение в Республике Татарстан

Качество поверхностных вод в Республике Татарстан в большой мере определяется эффективностью работы биологических очистных сооружений, объемами сбрасываемых в объекты окружающей среды загрязненных (неочищенных и недостаточно очищенных) сточных вод.

По данным государственного доклада «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2009 году» (Государственный доклад..., 2010) в республике в настоящее время эксплуатируется более 120 сооружений по очистке сточных вод общей мощностью около 800 млн. м<sup>3</sup> сточных вод в год и около 40 объектов производительностью до 90 млн. м<sup>3</sup>/год находится в стадии проектирования и строительства.

Суммарный объем сбрасываемых в поверхностные водные объекты сточных вод в последние годы имеет тенденцию к снижению и в 2009 г. по республике составил 565,27 млн. м<sup>3</sup>, что ниже, чем в предыдущие годы (Рис. 1).

Зафиксированное в 2009 году уменьшение общего объема сточных вод, сбрасываемых без очистки, произошло за счет сокращения объемов производства продукции на ряде предприятий (например, ОАО «Казанский завод синтетического каучука») и реализации проекта реконструкции системы промливневой канализации и заведения сточных вод в цикл на филиале ОАО «Генерирующая компания» «Казанская ТЭЦ-1».

Уменьшение общего объема сброса недостаточно очищенных сточных вод связано, в первую очередь, с более эффективной работой таких предприятий, как ОАО «Нижнекамскнефтехим», ЗАО «Челныводоканал», МУП «Водоканал» г. Казань, УПТЖ для ППД ОАО «Татнефть».

Представленные в таблице 1 показатели водоотведения сточных вод (СВ) в поверхностные водоемы республики показывают, что, в целом, объемы сбрасываемых СВ определяются промышленным развитием региона.

Основная доля сбрасываемых в поверхностные водоемы республики сточных вод приходится на Центральный (более 48%), Прикамский (17,8%), Приикский (14,6%) и Закамский (11,9%) регионы (Рис. 2). В республике лидерами по объемам загрязненных сточных вод, сбрасываемых без очистки в поверхностные водоемы, являются Центральный (64,9 %) и Заволжский (15,5%) регионы (Рис. 3), по сбросу недостаточно очищенных сточных вод – Центральный (49,4%), Прикамский (23,1%) и Закамский (15,5%)

регионы. Показатели водоотведения по городам приведены в таблице 2.

Хотя за счет сокращения объемов сточных вод, сбрасываемых в поверхностные водоемы в 2009 году, масса сброшенных загрязняющих веществ сократилась на 7,63 тыс. т, это не привело к кардинальному изменению экологической ситуации в водоемах республики.

В поверхностные водоемы РТ в 2009 г. сброшено: органических соединений (по показателю биологического потребления кислорода (БПК)) – 4,67 тыс. т, нефтепродуктов – 20 т, взвешенных веществ – 4,01 тыс. т, сульфатов – 46,64 тыс. т, хлоридов – 32,54 тыс. т, фосфатов – 0,67 тыс. т, цинка – 3,61 т, меди – 0,82 т, хрома – 0,31 т, марганца – 4,93 т.

В 2009 году сокращение массы сброса поллютантов составило: хрома – 79,1%, фенолов – 53,2%, цинка – 32,6%, никеля – 26,6%, меди – 17,2%, нитрит-ионов – 16,7%, СПАВ – 15,8%, фосфора общего – 14,3%, хлорид-ионов – 12,8%, сульфат-ионов – 8,4%, в первую очередь, за счет улучшения качества сточных вод сбрасываемых МУП «Водоканал» г. Казани, ОАО «Нижнекамскнефтехим» и рядом других промышленных предприятий.

За последние пять лет (2005-2009 гг.) наблюдается определенная стабилизация массы сбрасываемых в водоем нитрит-ионов, фосфат-ионов и ионов аммония, при наличии тенденции к снижению массы сброса взвешенных и органических веществ (по БПК). Прослеживается динамика увеличения сброса нитрат-ионов (Рис. 5).

## Эвтрофикация водоемов

Немаловажным показателем, позволяющим определить состояние природных водоемов, является уровень их эвтрофикации, которая наблюдается при избыточном поступлении в водоем «биогенных элементов», в первую очередь соединений азота и фосфора.

Хотя процесс эвтрофикации является естественным природным процессом, связанным с постоянным поступлением с талыми и дождевыми водами с водосборной территории биогенных элементов, отрицательное действие которых на водоем нивелируется его самоочищающей способностью, в настоящее время на урбанизированных территориях, в местах интенсивного ведения сельского хозяйства, функционирования предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности, в акваториях, прилегающих к крупным и средним населенным пунктам, интенсивность эвтрофикации водоемов многократно возросла.

При повышении содержания биогенных элементов в поверхностных горизонтах водоема происходит активное развитие фитопланктона (сине-зеленых и зеленых водорослей), следствием которого является снижение прозрачности воды и гибель донных растений из-за недостатка света. В результате отмирания донных водных растений происходит гибель гидробионтов, для которых они являлись местом обитания и/или звеном трофической пищевой цепи.

Массовое развитие, в первую очередь одноклеточных водорослей, характеризующихся большой суммарной поверхностью и биомассой, приводит к лимиту кислорода в поверхностных слоях воды в предутренние часы, что влечет «летний замор» в результате гибели требовательных к содержанию кислорода (облигатных аэробов) организмов.

Разложение сапрофитными микроорганизмами погибших и опустившихся на дно гидробионтов способствует быстрому расходу кислорода, снижению окислительно-восстановительного потенциала водной среды, гибели менее требовательной к кислороду донной и придонной фауны, а в зимнее время – к явлению, которое называется «зимним замором».

В результате анаэробного распада отмерших организмов образуются такие ядовитые вещества, как фенолы и сероводород, выделяются метан и углекислый газ, появление которых в водной среде приводит к гибели гидробионтов, деградации экосистемы. Результатом вышесказанного является ухудшение санитарно-гигиенического качества воды, вплоть до ее полной непригодности для хозяйственно-бытового использования и питьевого водоснабжения.

Прогнозирование последствий вторичного загрязнения водоемов является одним из факторов, обеспечивающих принятие правильных управленческих решений при разработке природоохранных мероприятий в Татарстане.

Анализируя качество поверхностных вод Куйбышевского водохранилища с точки зрения их «эвтрофирующего потенциала», который определялся как кратность превышения содержания водорослей *Scenedesmus quadricauda* в исследуемой воде относительно контроля при биотестировании, проведенном в соответствии с ФР. 1.39.2007.03223 (Методика определения токсичности..., 2007), можно сказать следующее (Рис. 6; Табл. 3):

- поверхностные воды во всех обследованных точках водохранилища характеризуются повышенным содержанием биогенных элементов, способствующим эвтрофикации;
- высоким «эвтрофирующим потенциалом» характеризуются воды Куйбышевского водохранилища в районе г. Зеленодольск, ниже г. Казань, р. Свияга и р. Казанка;

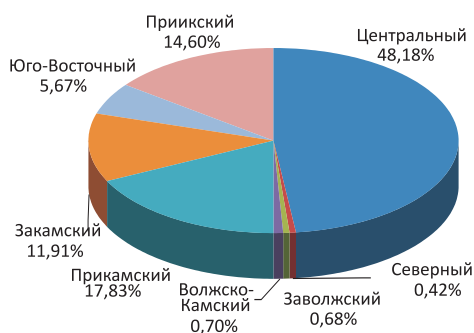


Рис. 2. Соотношение объемов сточных вод, сброшенных в поверхностные водоемы по регионам Республики Татарстан в 2009 г.

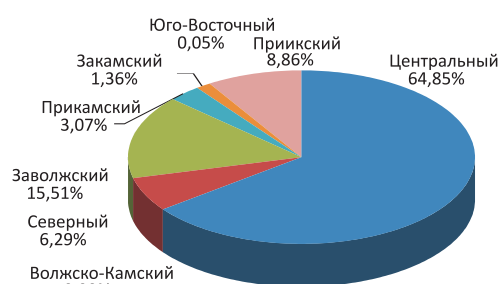


Рис. 3. Соотношение объемов сточных вод по регионам РТ, сброшенных в поверхностные водоемы без очистки в 2009 г.

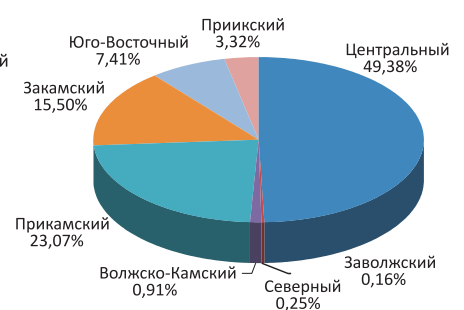


Рис. 4. Соотношение по регионам объемов загрязненных недостаточно очищенных сточных вод, сброшенных в поверхностные водоемы РТ в 2009 г.

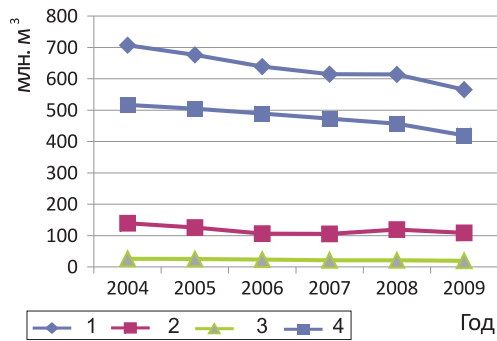


Рис. 1. Динамика водоотведения сточных вод в поверхностные водные объекты Республики Татарстан в 2004-2009 гг. 1 – Водоотведение, всего; 2 – Нормативно-чистые, без очистки; 3 – Загрязненные, без очистки, 4 – Загрязненные, недостаточно очищенные.

– на участке Куйбышевского водохранилища от г. Зеленодольск до г. Казань за счет самоочищающейся способности водоема «эвтрофирующий потенциал» в среднем снижается в 3,2 раза;

– вода реки Казанка характеризуется высоким «эвтрофирующим потенциалом», что может оказывать отрицательное воздействие на качество воды в районе водозабора г. Казань;

– сброс сточных вод с Казанских городских очистных сооружений повышает «эвтрофирующий потенциал» воды Куйбышевского водохранилища;

– с точки зрения снижения «эвтрофирующего потенциала» (удаления из воды биогенных элементов) акватория Куйбышевского водохранилища от г. Казань до г. Тетюши обладает слабой самоочищающейся способностью;

– средний «эвтрофирующий потенциал» поверхностных вод Куйбышевского водохранилища в русле р. Волга и в русле р. Кама практически не отличается.

Достаточно высокий «эвтрофирующий потенциал» сточных вод, сбрасываемых с биологических очистных сооружений в водоемы и водотоки республики, требует разработки мероприятий по повышению эффективности изъятия из них биогенных элементов, и, в первую очередь, соединений азота и фосфора.

### Биологические очистные сооружения и эффективность их работы

Биологические очистные сооружения (БОС), по своей сути, являются барьером, защищающим водоемы от поступления в них загрязняющих веществ, способствующим сохранению природных гидробиоценозов. Это мощный защитный биологический экран, ограждающий природные водоемы от поллютантов – компонентов сточных вод

(Жмур, 1997).

Именно поэтому состояние водоемов в решающей мере определяется эффективностью работы очистных сооружений, что подтверждает актуальность развития систем экоаналитического контроля состояния водных объектов и источников антропогенного воздействия на них (Шагидуллин, 2007).

Биоценозы очистных сооружений способны быстро и эффективно утилизировать образующиеся в процессе жизнедеятельности общества большие объемы загрязняющих веществ в искусственно созданных условиях аэротенков,

биотенков, других сооружений.

В настоящее время, практически во всех городах и крупных населенных пунктах и районных центрах Республики Татарстан имеются сооружения биологической очистки сточных вод перед сбросом в объекты окружающей среды.

В 2009 году суммарная масса сброшенных с биологических очистных сооружений коммунальных предприятий РТ загрязняющих веществ снизилась более чем на 5 тыс. т (7,4%) за счет уменьшения количества сброса ионов аммония на 2,7%, железа на 4,4%, нитрит-ионов на 9,0%, нефтепродуктов на 27,0%, СПАВ на 19,0%, сульфатов на 13,3%,

фосфора общего на 17,3%, хлоридов на 9,4%. Снижение массы сброшенных вышеуказанных загрязняющих веществ было связано и с сокращением на 38,45 млн. м<sup>3</sup> (5,8%) объема сбрасываемых сточных вод. Вместе с тем было зафиксировано увеличение содержания нитрат-ионов на 10,1% (связано с активизацией процессов нитрификации на очистных сооружениях гг. Казань, Буинск, Зеленодольск, Тетюши, Чистополь), взвешенных веществ на 6,2% (увеличение их содержания в сточных водах БОС гг. Казань, Альметьевск, Бугульма, Буинск, Елабуга, Зеленодольск, Тетюши, Чистополь) (Государственный доклад..., 2010).

Анализ работы биологических очистных сооружений показывает, что если эффективность очистки от органических веществ достаточно высока и их содержание (по БПК<sub>5</sub>) в сточных водах, сбрасываемых в объекты окружающей среды РТ, приближается к нормативным значениям, то концентрация ионов аммония практически во всех случаях значительно (в десятки-сотни раз) превышает установленные нормативы. Последнее, в первую очередь, связано с низкой активностью нитрифицирующих микроорганизмов активного ила, нарушениями технологического режима обработки сточных вод.

Процесс нитрификации заингибирован на очистных сооружениях МУП «Рыбная Слобода», ОАО «Лаишевские коммунальные сети», ООО РСК «Инженерные технологии» г. Лаишево, ОАО «Лаишевские коммунальные сети», н.п. Нармонка, ОАО «Керамика-Синтез», ОАО «Кошачковские коммунальные сети», ОАО «Балтасинское МПП ЖКХ», ОАО «Апастовское МПП ЖКХ», ОАО «Арские коммунальные сети».

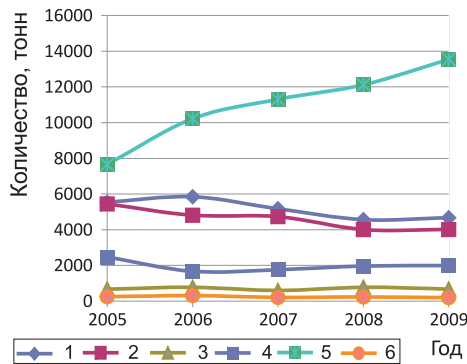
Для большинства биологических очистных сооружений характерно высокое остаточное содержание фосфатов, что также способствует активизации процесса эвтрофикации.

В Татарстане, в основном, эксплуатируются очистные сооружения, построенные в 60-80 гг. прошлого века, которые проектировались на глубину очистки до 10-20 мг БПК<sub>5</sub>/дм<sup>3</sup> и не рассчитаны на бо-

Регион, муниципальное образование	Сброс сточных вод		В т.ч. в поверхностные водоемы			
	2008 г.	2009 г.	Всего	Загрязненные		Нормативно чистые
				без очистки	недостаточно очищенные	
<b>Центральный</b>	<b>282,05</b>	<b>265,61</b>	<b>264,14</b>	<b>12,88</b>	<b>207,21</b>	<b>44,05</b>
г. Казань	267,25	252,03	251,75	11,97	195,74	44,05
Верхнеуслонский	0,32	0,25	0,17	0,04	0,13	0,00
Высокогорский	1,49	1,46	1,07	0,29	0,78	0,00
Зеленодольский	10,51	10,08	9,82	0,53	9,29	0,00
Лаишевский	0,45	0,36	0,25	0,00	0,25	0,00
Пестречинский	0,74	0,65	0,63	0,00	0,63	0,00
Рыбно-Слободской	0,81	0,33	0,15	0,04	0,11	0,00
Сабинский	0,36	0,32	0,28	0,01	0,26	0,00
Тюлячинский	0,12	0,13	0,02	0,00	0,02	0,00
<b>Северный</b>	<b>3,64</b>	<b>3,58</b>	<b>2,31</b>	<b>1,25</b>	<b>1,06</b>	<b>0,00</b>
Арский	1,89	1,91	1,46	1,25	0,21	0,00
Атнинский	0,16	0,11	0,01	0,00	0,01	0,00
Балтасинский	0,23	0,35	0,12	0,00	0,12	0,00
Кукморский	1,36	1,21	0,72	0,00	0,72	0,00
<b>Заволжский</b>	<b>7,72</b>	<b>6,63</b>	<b>3,74</b>	<b>3,08</b>	<b>0,67</b>	<b>0,00</b>
Апастовский	0,62	0,41	0,04	0,00	0,04	0,00
Буинский	2,13	1,54	0,48	0,12	0,36	0,00
Дрожжановский	0,54	0,47	0,03	0,02	0,02	0,00
Кайбицкий район	3,04	3,02	2,94	2,94	0,00	0,00
Камско-Устьинский	0,42	0,33	0,09	0,00	0,09	0,00
Тетюшский	0,97	0,86	0,16	0,00	0,16	0,00
<b>Волжско-Камский</b>	<b>5,04</b>	<b>5,39</b>	<b>3,82</b>	<b>0,00</b>	<b>3,82</b>	<b>0,00</b>
Аксубаевский	0,34	0,31	0,10	0,00	0,10	0,00
Алексеевский	0,39	0,43	0,40	0,00	0,40	0,00
Альшеевский	0,08	0,35	0,03	0,00	0,03	0,00
Новошешминский	0,37	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00
Спасский	0,18	0,16	0,11	0,00	0,11	0,00
Чистопольский	3,68	3,67	3,18	0,00	3,18	0,00
<b>Прикамский</b>	<b>126,26</b>	<b>99,78</b>	<b>97,75</b>	<b>0,61</b>	<b>96,81</b>	<b>0,33</b>
г. Набережные Челны	112,50	88,03	88,03	0,21	87,82	0,00
Агрызский	0,96	0,89	0,79	0,00	0,79	0,00
Актанышский	0,67	0,64	0,17	0,00	0,17	0,00
Елабужский	6,05	4,84	4,76	0,40	4,36	0,00
Мамадышский	1,90	1,58	0,85	0,00	0,85	0,00
Менделеевский	3,23	2,90	2,74	0,00	2,41	0,33
Мензелинский	0,54	0,57	0,41	0,00	0,41	0,00
Тукаевский	0,41	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Закамский</b>	<b>68,27</b>	<b>66,66</b>	<b>65,28</b>	<b>0,27</b>	<b>65,02</b>	<b>0,00</b>
Заинский	4,23	4,77	3,77	0,22	3,56	0,00
Нижнекамский	62,74	60,69	60,58	0,05	60,53	0,00
Сармановский	1,30	1,20	0,93	0,00	0,93	0,00
<b>Юго-Восточный</b>	<b>37,22</b>	<b>34,15</b>	<b>31,09</b>	<b>0,01</b>	<b>31,08</b>	<b>0,00</b>
Альметьевский	19,53	17,46	17,00	0,00	17,00	0,00
Бугульминский	11,00	10,05	9,99	0,00	9,99	0,00
Лениногорский	4,18	4,01	3,13	0,01	3,12	0,00
Нурлатский	1,68	1,67	0,87	0,00	0,87	0,00
Черемшанский	0,83	0,96	0,10	0,00	0,10	0,00
<b>Приикский</b>	<b>83,97</b>	<b>83,56</b>	<b>80,05</b>	<b>1,76</b>	<b>13,93</b>	<b>64,37</b>
Азнакаевский	4,67	4,32	3,59	0,00	3,59	0,00
Бавлинский	1,93	1,60	0,68	0,02	0,66	0,00
Муслюмовский	0,37	0,32	0,08	0,00	0,08	0,00

Табл. 1. Показатели водоотведения по регионам, муниципальным районам, городским округам и городам РТ, (млн. м<sup>3</sup>) (Государственный доклад..., 2010).

Рис. 5. Динамика сбросов загрязняющих веществ в водоемы РТ в 2005-2009 гг. 1 – БПК; 2 – Взвеш. вещества; 3 – Фосфор общий; 4 – Азот аммонийный; 5 – Нитраты; 6 – Нитриты.



лее качественную очистку.

Имеющиеся данные показывают, что только около 50% из действующих очистных сооружений удаляют из сточных вод 90 % и более процентов органических загрязняющих веществ. Очищенная вода более 30% очистных сооружений токсична для фауны водоемов. И в абсолютном большинстве случаев качество воды на выпуске в объекты окружающей природной среды не соответствует установленным нормативам, процессы нитрификации на многих очистных сооружениях заингибированы.

В республике в основном эксплуатируются биологические очистные сооружения, в которых окисление загрязняющих веществ осуществляется в аэротенках биоценозом активного ила. Используются и альтернативные технологии – биофильтры (санаторий «Крутушка», Мамадышский масло-сыродельный завод, ООО «Лениногорск-Водоканал»), поля фильтрации (Свияжский мясокомбинат), многоступенчатые аэробные схемы очистки (Казанская городская туберкулезная больница, Балтасинский маслодельно-молочный комбинат), комбинированные анаэробно-аэробные биотехнологии (Усадский, Мамадышский спиртзаводы, ОАО «Алексеевск-Водоканал»).

Эффективность работы биологических очистных сооружений в первую очередь определяется состоянием биоценоза – основного агента очистки сточных вод.

Биологическая очистка сточных вод – это единственная биотехнология, в которой не создаются специальные условия, обеспечивающие оптимальное функционирование биоценоза. На очистку подаются самые разнообразные сточные воды, содержащие различные поллютанты, во многих случаях без учета их возможного комбинированного воздействия на окислительную активность микробиоценоза, иловые характеристики активного ила.

Именно поэтому основной задачей при эксплуатации очистных сооружений является создание наиболее благоприятных для функционирования активного ила условий.

В принципе биоценоз очистных сооружений – это достаточно устойчивая, самонастраивающаяся система, которая при поддержании определенных стабильных условий со временем обеспечит в той или иной мере устойчивую очистку сточных вод.

Что касается очистных сооружений большой мощности, то их эф-

фективная эксплуатация (с учетом реальных возможностей используемой технологической схемы) определяется оперативным управлением процессом, основанном на своевременном контроле качества воды на последовательных этапах очистки, оценке состояния активного ила. Проводимый на крупных очистных сооружениях производственный контроль обеспечивает возможность принятия правильных решений по стабилизации и интенсификации процесса очистки сточных вод.

Соблюдение технологического регламента обеспечивает эффективную очистку сточных вод от веществ, на удаление которых и рассчитана используемая биотехнология. В первую очередь, это взвешенные вещества, органические вещества природного происхождения и определенная часть фосфор- и азотсодержащих соединений, ряд иных компонентов. Поступление на очистные сооружения производственных, минерализованных сточных вод снижает эффективность работы очистных сооружений. В лучшем случае они транзитом проходят через очистные сооружения, в худшем – ингибируют окислительную активность ила, приводят к увеличению илового индекса.

На сегодняшний день в республике наиболее сложная ситуация сложилась на «малых» очистных сооружениях, очищающих от ста до нескольких тысяч кубических метров сточных вод в сутки.

Анализ причин нестабильности, низкой эффективности очистки и аварий на очистных сооружениях показывает, что основными их причинами являются халатное отношение, низкий уровень подготовленности персонала, отсутствие или неэффективный производственный контроль, неумение своевременно и правильно определить причины снижения эффективности очистки.

Из года в год причины недостаточно эффективной работы малых биологических очистных сооружений практически не меняются и приведены ниже:

- недоработки проектировщиков, строительные недостатки;
- перегрузки по загрязняющим веществам и гидравлике;
- периодическое или залповое поступление сточных вод в аэротенки;
- несвоевременное проведение профилактических и ремонтных работ;
- нарушения технологии подготовки и очистки сточ-

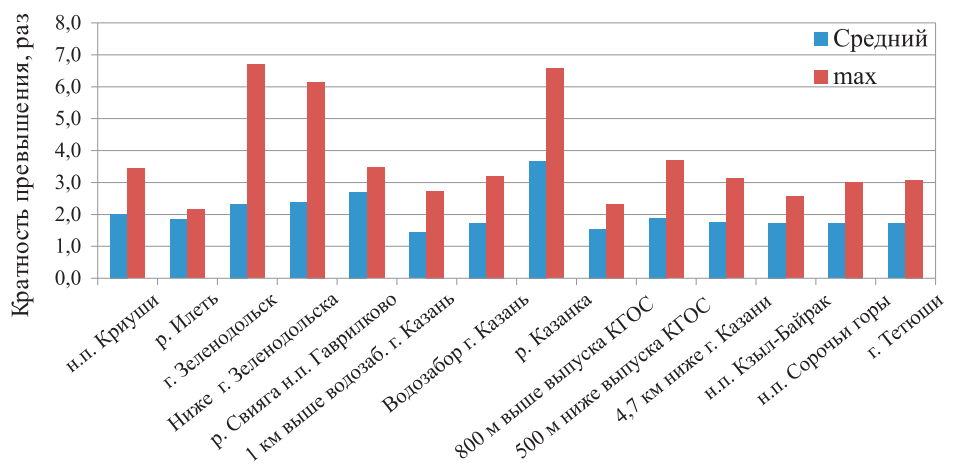


Рис. 6. Эвтрофирующий потенциал воды Куйбышевского водохранилища (кратность превышения относительно контроля, раз). КГОС – Казанские городские очистные сооружения.

- ных вод;
- отсутствие или периодическое отсутствие активного ила в аэротенках;
  - использование малоэффективных, ненадежных систем аэрации;
  - повышенные нагрузки по загрязняющим веществам на активный ил;
  - ветхость оборудования;
  - низкий уровень подготовки персонала очистных сооружений.

Серьезной проблемой очистных сооружений является нерегулируемый сброс на очистные сооружения жижи из выгребных ям.

Сброс жижи, при отсутствии в технологических схемах сливных станций первичных отстойников, сводит на нет все усилия персонала очистных сооружений, т.к. аэротенки не рассчитаны на очистку жижи, характеризующейся активным протеканием процессов гниения и брожения, высокими концентрациями взвешенных веществ, что резко отрицательно сказывается на состоянии активного ила, приводит к его перерождению и гибели.

Данная проблема характерна практически для всех поселковых, районных очистных сооружений.

На малых очистных сооружениях не редкостью являются факты отключения воздуходувок. При этом не учитывается, что концентрация кислорода в аэротенке в придонной его части уже через 30–40 минут снижается практически до нулевых значений. В условиях лимита по кислороду активный ил вспухает и выносятся из очистных сооружений. Восстановление активного ила требует продолжительного времени (Петров и др., 2010).

Практически все используемые в республике биотехнологии очистки воды, при соблюдении технологического режима, могут обеспечить эффективную нитрификацию сточных вод. Но только на единичных объектах имеется техническая возможность изъятия из сточных вод соединений азота (процесс денитрификации) и фосфатов.

### Направления повышения эффективности и глубины очистки сточных вод на биологических очистных сооружениях

Город	Сброс сточных вод		В т.ч. в поверхностные водоемы			
	2008 г.	2009 г.	Всего	Загрязненных без очистки	Недостаточно очищенных	Нормативно чистых
Азнакаево	3,57	3,41	2,90	0,00	2,90	0,00
Альметьевск	18,21	17,03	16,87	0,00	16,87	0,00
Бавлы	0,91	0,66	0,66	0,00	0,66	0,00
Бугульма	10,56	9,67	9,65	0,00	9,56	0,00
Буинск	1,85	1,26	0,48	0,12	0,36	0,00
Елабуга	0,57	0,40	0,40	0,40	0,00	0,00
Занинск	3,83	4,08	3,66	0,22	3,45	0,00
Зеленодольск	10,08	9,67	9,67	0,53	9,14	0,00
Казань	267,25	252,03	251,75	11,97	195,74	44,05
Лениногорск	3,18	3,02	3,02	0,01	3,01	0,00
Наб. Челны	112,5	88,03	88,03	0,21	87,82	0,00
Нижекамск	61,86	59,90	59,89	0,00	59,89	0,00
Нурлат	1,13	1,18	0,81	0,00	0,81	0,00
Чистополь	3,09	3,14	3,14	0,00	3,14	0,00
Всего:	498,59	453,48	450,93	13,46	393,35	44,05

Табл. 2. Показатели водоотведения по городам РТ (млн. м<sup>3</sup>) (Государственный доклад..., 2010).

Точка контроля	Уровень эвтрофикации (% отклонения от контроля)		
	Среднее	max	min
р. Казанка, н.п. Щербаковка	328	622	113
р. Казанка, 4 транспортная дамба	367	657	122
р. Нокса	321	613	134
р. Меша	257	5447	123

Табл. 3. Эвтрофирующий потенциал поверхностных вод некоторых рек РТ.

В послании Президента Республики Татарстан еще в 2003 г. в области управления рациональным использованием водных ресурсов, как приоритетные направления были определены: строительство и реконструкция канализационных сетей и сооружений и повышение эффективности очистки сточных вод при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах путем внедрения современных технических решений.

Строительство новых биологических очистных сооружений требует больших финансовых затрат, продолжительного времени до получения первого природоохранного эффекта. Стоимость новых очистных сооружений может превышать одно-двухгодичный бюджет районов республики.

В то же время на действующих очистных сооружениях, даже при их работе в условиях перегрузки, можно в кратчайшие сроки, при минимальных капитальных затратах повысить эффективность и глубину очистки сточных вод за счет частичной иммобилизации биоценозов.

Иммобилизация хорошо защищает биоценоз очистных сооружений от воздействия отрицательных факторов, ошибок в действиях персонала.

Прикрепление живых организмов к поверхности носителя облегчает протекание биохимических реакций. Биопленки по сравнению с суспендированной биомассой характеризуются значительно более высокой активностью микроорганизмов, в том числе нитрификаторов. «Население» биопленок сохраняет активность даже в условиях «лимита» по питательным веществам (Петров и др., 2003).

Повышение качества очистки сточных вод за счет иммобилизации биоценозов достаточно давно используется в практике и в нашей стране, и за рубежом. Разработаны и применяются различные виды инертных носителей.

В качестве носителей биомассы используются самые разнообразные материалы: ерши и сетки из стекловолокна и синтетических материалов, гофрированные полиэтиленовые трубы, шифер и другие материалы. В ряде случаев микробиоценозы иммобилизуются в гель, закрепляются на поверхности активированного угля, керамзита и прочих материалов.

В Республике Татарстан имеется положительный опыт использования иммобилизованных биоценозов на вновь построенных или реконструированных очистных сооружениях: Казанской городской туберкулезной больницы (н.п. Каменка), Балтасинского маслодельно-молочного комбината, Усадско-

го, Шумбутского спиртзаводов, Константиновского ЛПУМГ и др. Принципиальным моментом эффективного использования закрепленных биоценозов является научно-обоснованный выбор носителя, учитывающий требуемую направленность формирования биоценоза, состав и суммарную концентрацию загрязняющих веществ, технологическую схему очистных сооружений и условия очистки сточных вод.

Иммобилизация биоценоза очистных сооружений обеспечивает:

- изменение качественного состава микрофауны биоценоза за счет появления или повышения концентрации живых организмов, ответственных за эффективную очистку сточных вод;
- рост активности процессов окисления органических веществ;
- снижение концентрации взвешенных веществ в очищенной воде;
- повышение устойчивости биоценоза к нарушениям технологического режима;
- интенсификацию процессов нитрификации.

Опыт показывает, что при использовании иммобилизованных биоценозов даже достаточно серьезные нарушения технологического режима, в большинстве случаев, не приводят к существенному снижению эффективности окисления загрязняющих веществ, выносу активной биомассы с очистных сооружений.

Залогом успешного применения иммобилизованных биоценозов являются:

- удовлетворительное состояние основных узлов очистных сооружений;



Рис. 7. Установка блока с носителем «Шлейф-1» на очистных сооружениях Константиновского ЛПУМГ.

– надежное функционирование системы аэрации. Установка носителя на действующих очистных сооружениях осуществляется однократно при минимальных финансовых затратах (несколько сотен руб. на 1 м<sup>3</sup> рабочего объема очистных сооружений). Эффект от использования проявляется через 2-8 недель после его установки в очистных сооружениях. Таким образом, применение носителя позволяет стабилизировать работу очистных сооружений, в 1.5-2 раза повысить эффективность и глубину очистки сточных вод, и, как следствие, снизить нагрузку по загрязняющим веществам на окружающую среду. Следует также отметить, что иммобилизация биоценозов может оказаться эффективным и экономичным решением для очистных сооружений, строящихся по устаревшим проектам.

В настоящее время, для повышения глубины и эффективности очистки, все большее применение находят комбинированные технологии очистки сточных вод.

Использование схем комбинированной анаэробно-аэробной очистки позволяет очищать более

концентрированные сточные воды, обеспечивает более полное удаление из них органических веществ, азотсодержащих соединений и фосфатов. В основу комбинированных анаэробно-аэробных технологий очистки сточных вод, в большинстве случаев, закладывается последовательное использование независимо работающих суспендированных или закрепленных на носителях анаэробных и аэробных биоценозов, физико-химические условия функционирования которых кардинально отличаются (пространственная сукцессия микроорганизмов; использование одного биоценоза, последовательно функционирующего при различных окислительно-восстановительных условиях и т.п.).

По состоянию на сегодняшний день вновь проектируемые очистные сооружения обычно включают два-пять последовательных этапов биологической обработки сточных вод. Обычно это анаэробный (или условно анаэробный), аноксидный и аэробный этапы обработки воды, используемые в различных комбинациях.

Анаэробный и аноксидный этапы, в первую очередь, применяют для эффективного удаления азота из сточных вод за счет активизации процессов денитрификации, подготовки биомассы к активной сорбции фосфатов на аэробных этапах очистки.

Успешная реализация технологии глубокого удаления биогенных элементов (азота и фосфора) обеспечивается выделением в очистном сооружении анаэробной зоны (Рис. 8), обеспечивающей интенсивную денитрификацию.

При активной нитрификации на аэробном этапе очистки сточных вод, создание восстановленных условий в анаэробной зоне требует промежуточной обработки в аноксидной зоне на пути возвратного ила в анаэробную зону.

В аноксидной зоне кислород присутствует только в химически связанном виде (в виде нитратов и нитритов). При благоприятных условиях аноксидная зона также обеспечивает активное протекание процесса денитрификации.

В России реализованы технологии глубокого удаления биогенных элементов в аноксидных зонах, перемешивание в которых осуществляется воздухом, подаваемым через дырчатые трубы. Однако использование в производственных условиях барботажных систем для перемешивания иловой суспензии показало, что даже незна-



Рис. 8. «Анаэробная зона», переходящая в аноксидную зону очистных сооружений.



Рис. 9. Аноксидный реактор с механическим перемешиванием иловой суспензии, оснащенный придонными пропеллерными перемешивающими устройствами (ООО «Кинеш», г. Кириши).

чительная аэрация ингибирует процесс денитрификации, поэтому перемешивание иловой суспензии в аноксидной зоне должно осуществляться с помощью механических мешалок, установленных в придонной части аноксидных зон (Рис. 9).

Использование биологических способов удаления из сточных вод соединений азота и фосфора требует внесения на анаэробной стадии легкоокисляемого органического субстрата. В качестве легкоокисляемого источника углерода могут быть использованы нетоксичные неочищенные или осветленные сточные воды, осветленные сточные воды с продуктами ацидофикации сырого осадка. В анаэробную зону может подаваться смесь неосветленных хозяйственно-бытовых сточных вод и жижи из выгребных ям или избыточный активный ил из аэробной зоны биологического реактора (Жмур, 2001).

Если в результате активного протекания процесса денитрификации избыточное содержание соединений азота может быть изъято из сточных вод, то удаление фосфорсодержащих соединений исключительно биологическим путем затруднено. В очистных сооружениях в аэробных условиях происходит сорбция фосфатов из сточных вод. В анаэробных и аноксидных условиях фосфаты активно десорбируются в жидкость, из которой могут быть удалены при использовании коагулянтов (например, сульфата железа или сульфата алюминия).

Хотя коагулянты в сточную воду в практике добавляются на любом из этапов очистки сточных вод, реагентную очистку от фосфатов предпочтительно применять на завершающих этапах обработки сточных вод (например, после вторичных отстойников), т. к. избыточное удаление фосфатов из сточных вод до их биологической обработки может способствовать снижению активности микробиоценозов, приводить к нарушению процесса разделения очищенной воды и активного ила.

Ориентировочно, можно принять следующие периоды пребывания сточных вод в различных стадиях схем комбинированной очистки: в аэробной стадии – 60-70 %, в аноксидной – 15-25 %, в анаэробной – 10-15% от общего времени, затрачиваемого на полный цикл глубокого удаления соединений азота и фосфора (Жмур, 2001).

В настоящее время, гидравлическая нагрузка на ряде действующих очистных сооружений РТ ниже проектных значений, что говорит о возможности проведения на них реконструкции, направленной на повышение эффективности очистки и удаления биогенных элементов, при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах.

## Литература

Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2009 году. Казань: МЭПР РТ. 2010. 467.

Жмур Н.С. Управление процессами и контроль результата очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.: Луч. 1997. 172.

Жмур Н.С. Интенсификация процессов удаления соединений азота и фосфора из сточных вод. М.: изд-во «Акварос». 2001. 98.

Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей. ФР. 1.39.2007.03223. М.: изд-во «Акварос». 2007. 48.

Петров А.М., Князев И.В., Якимова Т.В. Эффективность работы «малых» очистных сооружений Республики Татарстан. Условия, обеспечивающие стабилизацию и повышение глубины очистки коммунальных сточных вод. Журнал экологии и промышлен-

ной безопасности. №2. 2010. 64-66.

Петров А.М., Шагидуллин Р.Р., Марфин А.Н. Петрова О.А., Ряднинский Г.В. Имобилизованные биоценозы и перспективы их применения для повышения эффективности работы действующих очистных сооружений Республики Татарстан. Тезисы док. V респ. науч. конф.: «Актуальные экологические проблемы республики Татарстан». Казань: Отечество. 2003. 213.

Шагидуллин Р.Р. Задачи государственного экоаналитического контроля в Республике Татарстан. Журнал экологии и промышленной безопасности. №1. 2007. 50.

### A.M. Petrov, R.R. Shagidullin. Anthropogenic load on water and the problems of biological wastewater treatment.

The anthropogenic load on water bodies of the Republic of Tatarstan is analyzed. The problems of eutrophication of surface waters in natural water bodies are reviewed. The improving of functioning of biological sewage treatment plants is discussed.

*Keywords:* wastewater, biological treatment plants, water eutrophication, immobilization of biocoenoses, combined treatment scheme.

*Андрей Михайлович Петров*

к. биол. н., заведующий лабораторией экологических биотехнологий Института проблем экологии и недропользования АН РТ.

420087, Казань, ул. Даурская, 28. Тел.: (843) 298-19-30.

Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 208

## АУТО- И СИНЭКОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ ГОМЕОСТАЗА ГИДРОБИОСИСТЕМ

Ратушняк А.А.



Анна Ратушняк  
Ауто- и синэкологические механизмы регуляции гомеостаза гидробиосистем  
Объекты: гидробиоты, гидробиоты, уровни организации – от субклеточного до экосистемного, методы, результаты, анализ  
LAP LAMBERT

В монографии представлены результаты эколого-физиологических исследований механизмов саморегуляции качества воды, биоразнообразия, гомеостаза гидробиосистем разного уровня организации (от субклеточного до экосистемного) с участием высшей водной растительности. Рассмотрена полифункциональная роль высшей водной растительности в гидроэкосистемах, методология, методы и результаты исследований сложных физиолого-биохимических явлений на ауто- и синэкологических уровнях организации водной биоты. Главное внимание уделено обоснованию общего механизма относительной устойчивости гидроэкосистем (на примере Куйбышевского водохранилища), реализуемого за счет частных механизмов поддержания гомеостаза гидробиосистем более низкого уровня организации – биоценотического, популяционного, организменного.