

И. В. Кобелева, Т. В. Кирилина, А. А. Низамова,  
Ю. В. Лисюкова, М. А. Каблова, И. Р. Бурнашева, А. С. Сироткин

## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ АКТИВНОГО ИЛА В ПРОЦЕССЕ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ РЕАГЕНТА VTA BIOKAT P500 ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА

*Ключевые слова:* очистка сточных вод, реагент VTA BIOKAT P500, активный ил, дефосфотация, седиментация.

*В процессе опытно-промышленных испытаний реагента VTA BIOKAT P500 на биологических очистных сооружениях канализации г. Чистополя, Республики Татарстан, проведена оценка его воздействия на микробное сообщество активного ила. Показано, что длительное нахождение реагента в системе аэротенка не оказывает негативного воздействия на протекание биологических процессов, связанных с ферментативным превращением компонентов сточных вод, а также микробных дыханием.*

*Keywords:* wastewater treatment, reagent VTA BIOKAT P500, activated sludge, phosphate elimination, sedimentation.

*During pilot testing of reagent VTA BIOKAT P500 on biological wastewater treatment plants of Chistopol, Republic of Tatarstan, its impact on the microbial community of activated sludge was analyzed. It was shown that prolonged using of reagent VTA BIOKAT P500 in the system of airtank had no negative impact on the biological processes associated with the enzymatic conversion and respiration.*

### Введение

Известно, что биологическая очистка является неэффективной для глубокого удаления фосфатов из сточных вод [1,3], в результате чего содержание фосфора в очищенных сточных водах достигает значительных величин и превышает установленные нормы для их регламентированного сброса в водоемы.

В коммунально-бытовые сточные воды фосфор может попадать двумя путями: из-за использования в составе моющих средств и как продукт метаболизма фосфора в организме человека.

Фосфор является важнейшим биогенным элементом для развития микроорганизмов в очистных сооружениях вследствие его участия в информационных и энергетических процессах клетки. Содержание фосфора в составе сухой биомассы – около 1,5% [1,3].

В аэробных условиях полифосфаты (ПФ) накапливаются различными организмами активного ила и биопленок. К накоплению полифосфатов способны широко распространенные в составе микробиоценозов очистных сооружений бактерии р.р. *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Aerobacter*, *Beggiatoa*, *Escherichia*, *Aeromonas*, *Zoogloea*, *Acinetobacter*, *Acetobacter*, *Rhodocyclus*, *Nocardia*, *Citrobacter* [1,3,4,]. Кроме того, некоторые нитрифицирующие бактерии обладают способностью к образованию полифосфатов.

В технологии полной биологической очистки сточных вод с последующей нитрификацией обычно за счет потребления фосфатов бактериями в аэротенках удаляется не более 10-30 % растворенных форм фосфора [4,3]. Причина такой невысокой эффективности биодефосфотации на традиционных биологических очистных сооружениях на базе аэротенков состоит в последовательной смене аэробной ступени собственно в аэротенках отделением мик-

робной биомассы активного ила в анаэробных условиях вторичных отстойников.

Для эффективного удаления фосфора из сточных вод традиционно используют их реагентную обработку [5], последовательно дополняющую биологическую очистку, реализуемую до или после неё. В качестве реагентов используются коагулянты, например,  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $Fe(Cl)_2$ , а также флокулянты, такие как полиакриламид [6].

В отличие от традиционной последовательной физико-химической и биологической обработки сточных вод реагент VTA Biokat P500 предполагает его внесение непосредственно в биологическую систему (активный ил) для получения максимального эффекта от его использования.

### Задачи исследования

Компоненты реагента VTA Biokat P500 являются традиционными как коагулянты и флокулянты, однако, способ приготовления некоторых из них, таких как соединения железа, в форме наночастиц ферромагнетита, а также соотношения между реагентами в рабочем растворе являются оригинальными.

Из результатов предварительных лабораторных исследований реагентов компании VTA Austria GmbH для биологических очистных сооружений канализации (БОСК) г. Чистополь в апреле 2013 года было отмечено, что при применении реагента VTA Biokat P500 на БОСК следует ожидать:

- достижения и поддержание нормативного содержания фосфатов в очищенной воде (не более 1 мг/л);
- улучшения эксплуатационных свойств активного ила: его устойчивой седиментации и снижения илового индекса;
- в результате длительного внесения реагента – улучшения других характеристик системы очистки.

Таким образом, реагент VTA Biokat P500 является системным продуктом, обеспечивающим улучшение комплекса показателей очистки.

На основании результатов, полученных в лабораторном масштабе, было решено провести опытно-промышленные испытания на БОСК г. Чистополь с оценкой эффективности применения реагента VTA Biokat P500 для очистки сточных вод и акцентированным исследованием влияния реагента на микробиоценоз активного ила.

Таким образом, целью настоящих исследований являлась оценка эффективности биологических процессов очистки сточных вод по результатам исследования микробиоценоза активного ила в присутствии реагента в среде.

## Результаты и обсуждение

Опытно-промышленные испытания были проведены в период с 07.10.2013 по 28.11.2013 и заняли 52 суток. Анализ состояния активного ила проводился систематически 1-2 раза в неделю во весь период испытаний, а также в течение нескольких последующих недель.

Расход рабочего раствора реагента VTA Biokat P500 составлял от 3 до 8 дм<sup>3</sup>/ч (в среднем 5 дм<sup>3</sup>/ч) с его дозированием непосредственно в опытный аэротенк одной из четырех независимых очередей очистки. Расход поступающих сточных вод в каждую очередь составлял в среднем 104 м<sup>3</sup>/ч (~2500 м<sup>3</sup>/сут); таким образом, удельный расход реагента составлял от 0,000029 до 0,000077 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> сточной воды. Другая очередь системы очистки являлась контрольной и использовалась для сравнения с опытной.

Анализ эффективности биологических процессов осуществлялся по следующим показателям:

1. Состояние иловых хлопьев и индикаторных простейших по результатам микроскопирования;
2. Концентрация активного ила (сухое вещество ила);
2. Зольность активного ила;
3. Фосфор в активном иле;
4. Ферментативная (дегидрогеназная) активность;
5. Респираторная (дыхательная) активность.

По результатам микроскопической съемки было показано, что хлопья активного ила с реагентом представляют собой морфологически более крупные агрегированные образования (рис.1).

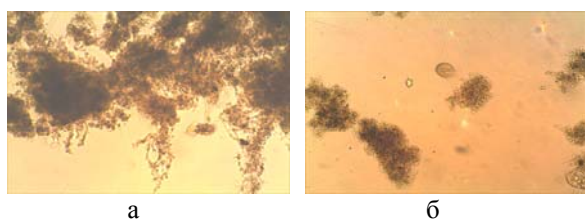


Рис. 1 - Типовая морфологическая картина хлопьев активного ила: (а) опыт; (б) контроль (увеличение  $\times 600$ )

Следствием эффективного агрегирования хлопьев активного ила в присутствии реагента VTA Biokat P500 являлось улучшение важнейшего технологического параметра - скорости их осаждения (седиментации), что позволяет быстрее отделять активный ил от очищенной воды и, в итоге, определяет производительность процесса очистки. При этом за первые 48 часов контакта с реагентом достигается повышение скорости седиментации активного ила до 33,5%. (рис.2)

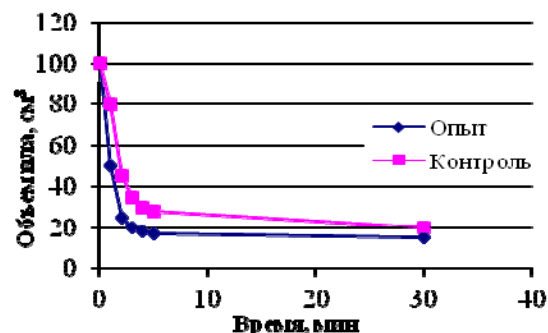


Рис. 2 - Седиментация активного ила

В сравнении с осаждением активного ила из контрольной линии показано двукратное ускорение осаждения активного ила из опытной линии по истечению 9 суток от начала дозировки реагента.

Безусловным преимуществом применения реагента VTA Biokat P500 являлось снижение развития нитчатых бактерий на поверхности хлопьев и заключение их в структуру агрегатов. Это обстоятельство также способствует эффективному осаждению активного ила во вторичных отстойниках системы очистки.

Микробиоценоз как контрольной, так и опытной линии очистки характеризовался разнообразием простейших, червей и многоклеточных, являющихся индикаторными организмами: инфузориями, червями, коловратками и др.

Следует отметить некоторое снижение разнообразия индикаторных организмов, в частности, по инфузориям в первую неделю от начала дозирования реагента, что являлось естественным ответом микробиоценоза на появление постороннего вещества в среде. Тем не менее, по истечению 10-12 суток вследствие адаптации микробное разнообразие восстановилось, и дальнейшее накопление реагента в системе не оказывало какого-либо отрицательного воздействия на микробиоценоз.

Концентрация активного ила по сухому веществу свидетельствует о некотором его «утяжелении» из-за связывания с реагентом, а также взвешенными веществами и другими примесями, извлекаемыми из воды. Увеличение концентрации также свидетельствует о повышении плотности иловых хлопьев.

Зольность образцов активного ила определялась для оценки накопления в его составе неорганических составляющей вследствие связывания с реагентом VTA Biokat P500, а также фосфатов и других неорганических компонентов сточной воды. Зольность образцов активного ила для опытной и

контрольной линии очистки сравнима и составила в опыте от 35 до 38 %, в контроле от 32 до 37 %.

Вклад реагента в увеличение зольности оказался незначительным, вероятно, из-за незначительного количества минеральных компонентов полиалюминия гидроксихлорида и хлорида железа (II) в его составе, а также с учетом вывода избыточного активного ила в количестве 10-20 %. Другие компоненты, извлекаемые реагентом из воды в хлопья активного ила, такие как фосфаты и нитриты, могут подвергаться биологической трансформации с целью энергетического и конструктивного обмена в клетках, а не накапливаться в виде балластных зольных компонентов.

Кроме того, зольность активного ила – один из важнейших косвенных показателей оценки его биологической активности; значение зольности должно минимизироваться, а в некоторых случаях её значение нормируется, т.е. оно не должно превышать нормативных значений.

Извлечение фосфора, накопленного с фосфатами в активном иле, проводилось методом экстракции соляной кислотой по Кирсанову. Определение количества фосфора по указанной методике учитывает его подвижные соединения в пересчете на  $P_2O_5$ .

Показано, что фосфор накапливается в опытном активном иле в количестве в среднем в 2 раза больше, чем в контрольном иле (табл. 1).

**Таблица 1 - Содержание фосфора в активном иле (в пересчете на  $P_2O_5$ ), мг/дм<sup>3</sup> экстрагента**

Дата / время, сут	Опыт	Контроль
2.10 / 0	-	-
18.10 / 11	14,4	9,9
21.10 / 14	13,5	6,3
22.10 / 15	18,1	10,9
25.10 / 18	18,1	3,6
28.10 / 21	18,1	6,8
1.11 / 25	18,0	5,8
15.11 / 39	18,8	9,8
21.11 / 45	19,9	12,4
25.11 / 49	19,2	10,0
28.11 / 52	19,2	11,7
6.12./60	20,8	8,3
16.12	19,2	9,0

При достижении определенного равновесия, определяемого, с одной стороны, его содержанием в среде, и биотрансформации, с другой стороны, дальнейшего увеличения его количества в активном иле не было отмечено на протяжении всего времени эксперимента.

Более того, по окончании дозирования реагента через 2,5 недели не было отмечено изменений в накоплении фосфора в образцах активного и опытного ила. Это может быть связано с различными процессами биотрансформации полифосфатов, накопленных в клетках опытного ила и высвобождении фосфатов, и требует дальнейших исследований.

Далее, активность ферментов – дегидрогеназ, участвующих в большом количестве окислительно-восстановительных превращений загрязняющих веществ - примесей сточной воды является удельной величиной, представляющей собой отношение количества продукта превращения (формаза-на) к количеству сухого вещества активного ила.

Поскольку в массе сухого вещества присутствуют не только микробные клетки и их ферменты, активность которых собственно здесь оценивается, и не представляется возможным определить количество ферментативно неактивного вещества в составе ила, данные результаты являются оценочными. Так, понятно, что количество сухого вещества опытного активного ила значительно больше, что следует учитывать в оценке величин ферментативной активности.

Тем не менее, даже с учетом приведенных замечаний было экспериментально показано, что ферментативная активность опытного и контрольного активного ила является сравнимой величиной, прежде всего, по истечении периода продолжительностью 2,5 недели от начала эксперимента, связанного, вероятно, с адаптацией микроорганизмов к присутствию реагента в системе.

Дыхательная активность опытного и контрольного активного ила также сравнимы, что коррелирует с результатами определения ферментативной активности.

В настоящее время проводятся дополнительные экспериментальные исследования, направленные на оценку накопления фосфора в биомассе активного ила при различных условиях культивирования. Наряду с оценкой состояния активного ила контролируется эффективность процессов биотрансформации основных загрязняющих компонентов в условиях воздействия реагента VTA Biokat P500.

### Заключение

В результате проведенных опытно-промышленных испытаний реагента VTA Biokat P500 на БОСК г. Чистополь с оценкой биологических процессов очистки сточных вод показано следующее:

1. Зарегистрировано значительное увеличение эффективности удаления компонентов сточных вод с обеспечением их нормативного содержания в очищенной воде:

- взвешенных веществ более чем в 4 раза;
- общего содержания фосфатов более чем в 10 раз;
- нитритов более чем в 4 раза.

2. Экспериментально доказано, что длительное присутствие (более 50 суток) и накопление реагента в системе биологической очистки при непосредственном его внесении в аэротенк с целью удаления фосфатов и других компонентов сточных вод, не оказывает негативного воздействия на протекание биологических процессов, связанных с ферментативным превращением и дыханием.

3. Подтверждена функция реагента как флокулянта-коагулянта иловых хлопьев с образованием плотных компактных флокулов активного ила, что

обеспечивает его превосходные эксплуатационные свойства: седиментацию и снижение взвешенных веществ.

4. Результаты микроскопического анализа образцов активного ила подтверждают вышеприведенные выводы.

5. Очевидный исследовательский интерес представляют такие вопросы применения реагента VTA Biokat P500 и других продуктов компании как снижение энергозатрат на аэрацию, количественная оценка биоаккумуляции и биотрансформации фосфора в активном иле.

### Литература

1. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.: Акварос, 2003. 512 с.

2. Кузнецов А.Е., Градова Н.Б. Научные основы экобиотехнологии: учеб. пособие: в 2 т. Т.1.М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. 629 с.
3. Nielsen P.H. Daims H., Lemmer H., FISH Handbook for Biological Wastewater Treatment. Identification and quantification of microorganisms in activated sludge and biofilms by FISH. London: IWA Publishing, 2009. 123 p.
4. Терентьев В.И. Павловец Н.М. Биотехнология очистки воды. В 2-х ч. Ч. 1.СПб.: Гуманистика, 2003. 272 с.
5. Рощина О.С., Павлова Т.П., Хаматгалимова А.Р., Фридланд С.В., Вестник казанского технологического университета. 16,17, 178-181 (2013).
6. Павлова Т.П., Галанцева Л.Ф., Фридланд С.В. Вестник казанского технологического университета, 18,134-136.(2011).

---

© **Й. В. Кобелева** – асп. каф. промышленной биотехнологии КНИТУ, ioldiz-ksu@mail.ru **Т. В. Кирилина** - к.т.н., асс. той же кафедры, tvkirilina@gmail.ru; **А. А. Низамова** – студент той же кафедры; **Ю. В. Лисюкова** – студент той же кафедры; **М. А. Каблова** – студент той же кафедры; **И. Р. Бурнашева** – студент той же кафедры; **А. С. Сироткин** – д.т.н., проф., зав. каф. промышленной биотехнологии КНИТУ, asirotkin@mail333.com.