

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 микробной 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, $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, 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. Опытные-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 дм³/ч (в среднем 5 дм³/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 м³/ч (~2500 м³/сут); таким образом, удельный расход реагента составлял от 0,000029 до 0,000077 м³/м³ 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); 3. Зольность активного ила; 4. Фосфор в активном иле; 5. Ферментативная (дегидрогеназная) активность; 6. Респираторная (дыхательная) активность. По результатам микроскопической съемки было показано, что хлопья активного ила с реагентом представляют собой морфологически более крупные агрегированные образования (рис.1). а б

Рис. 1 - Типовая морфологическая картина хлопьев активного ила: (а) опыт; (б) контроль (увеличение ×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 истечении 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 линий 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 линий очистки сравнима и составила в опыте от 35 до 38 %, в контроле от 32 до 37 %. Вклад реагента в увеличение зольности оказался незначимым, 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 P₂O₅. Показано, что фосфор накапливается в опытном активном иле в количестве в среднем в 2 раза большем, чем в контрольном иле (табл. 1).

Таблица 1 - Содержание фосфора в активном иле (в пересчете на P₂O₅), мг/дм³ 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) 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 флокул 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.