

УДК 628.355.5

Т.А. Шевченко, І.О. Іваненко

Харьковський національний університет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова, Харьков

АНАЛИЗ ПРИЧИН НИТЧАТОГО ВСПУХАНИЯ АКТИВНОГО ИЛА И МЕРЫ БОРЬБЫ С НИМ

В статье проанализированы основные причины нитчатого вспухания активного ила на очистных сооружениях искусственной биологической очистки сточных вод, выявлены виды бактерий, которые обуславливают процесс нитчатого вспухания активного ила. Рассмотрены методы подавления данного процесса различными способами, приведены их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: активный ил, нитчатые бактерии, вспухание активного ила, биомасса, иловый индекс.

Активный ил – это смесь биомассы микроорганизмов и загрязняющих веществ, поступающих в аэротенк вместе со сточными водами. В результате жизнедеятельности микроорганизмов, содержащихся в активном иле, обеспечивается их постоянное увеличение (прирост), которое нарушает соотношение между массой микроорганизмов и количеством поступающих загрязнений.

Постановка проблемы. Видовой состав активного ила, прежде всего, зависит от состава поступающих в аэротенк стоков, которые являются питательной средой для метаболизма микрофлоры ила. Видовой состав активного ила (биомассы) включает в себя бактерии, простейшие, микроскопические грибы (актиномицеты), амёбы, инфузории, коллатри, черви (нематоды) и т. д. Простейшие микроорганизмы в процессе своей жизнедеятельности поедают бактерии, что способствует омоложению популяции и приросту активного ила.

При недостатке кислорода ил начинает испытывать «голод», что приводит к ухудшению результата его деятельности и ухудшению очистки сточных вод. Поэтому в процессе эксплуатации требуется постоянно выводить из аэрационной системы излишки активного ила. Однако следует помнить, что слишком большое снижение концентрации ила может вызвать перегрузку микроорганизмов, в результате чего снизится их активность, а, следовательно, ухудшится качество очистки воды [1].

Вместе с тем очистка сточных вод в ряде случаев имеет низкую надежность из-за плохой осаждаемости активного ила вследствие так называемого вспухания. Это явление связано с преобладающим ростом и накоплением в активном иле нитчатых микроорганизмов. Поэтому в

большинстве случаев неудовлетворительная работа очистных сооружений связана с разделением сточной воды и активного ила во вторичном отстойнике. При плохом осаждении активного ила сточная вода, вытекающая из вторичного отстойника, содержит недопустимо высокие концентрации взвешенных веществ. В связи с этим не обеспечивается рециркуляция активного ила из вторичного отстойника в аэротенк. В результате процесс очистки полностью нарушается [2].

Способность активного ила образовывать хорошо оседающие хлопья – важнейшее его свойство, т.к. эффективность очистки сточных вод в аэротенках в значительной степени зависит от последующего процесса отделения активного ила от очищенной воды. Способность активного ила к оседанию характеризуется значением илового индекса.

Под термином «иловый индекс» понимают объём (1 мл) активного ила после отстаивания в течение 30 мин, отнесенный к 1 грамму сухого вещества. Величина илового индекса зависит от нагрузки загрязнений по БПК₂₀ на 1 грамм беззольного вещества ила. Оптимальной величиной нагрузки считают величину илового индекса, которая не превышает 100 см³/г. Зимой и в районах с суровым климатом для обеспечения необходимого качества очистки нагрузка должна быть ниже. Летом или в южных районах нагрузка на ил может повышаться. При иловом индексе более 100 см³/г активный ил занимает большой объём, становится лёгким, теряет хлопьевидную структуру, плохо оседает, не уплотняется и в большом количестве выносятся из вторичных отстойников, ухудшая эффективность работы очистных сооружений [1, 3].

Анализ последних исследований и публикаций. В нормально работающем активном иле кроме хлопьев зооглейных скоплений бактерий

имеется большое количество простейших организмов (инфузорий), а также встречаются коловратки и черви. При нарушении нормальных условий работы аэротенка в иле развиваются нитчатые бактерии (*Sphaerotilus*, *Cladotrix*), ветвистая зооглея (*Zoogloea ramigera*), водные грибы и др. Эти формы вызывают вспухание активного ила (резко возрастает иловый индекс), он плохо оседает во вторичном отстойнике и выносятся с очищенной водой.

Для работы аэротенков важно, чтобы в смеси воды и ила содержалось достаточное количество растворённого кислорода. Концентрация растворённого кислорода перед выходом смеси из аэротенка должна составлять не менее 4 мг/л. Большим недостатком при эксплуатации аэротенков, резко нарушающим весь процесс очистки, является «вспухание» активного ила (при этом иловый индекс имеет величину более 150 мл/г). При «вспухании» ил становится мелким, иловая вода мутной, а вода после отстаивания во вторичных отстойниках не имеет обычного «блестящего» оттенка.

Активный ил аэротенков подвержен вспуханию, которое чаще всего связывают с развитием нитчатых бактерий и некоторых грибов. При вспухании структура хлопьев активного ила резко видоизменяется. Хлопья увеличиваются в размере, становятся рыхлыми [1-4].

Причинами «вспухания» ила могут быть: большие нагрузки на ил; недостаточное количество воздуха, подаваемого в аэротенк; высокая или низкая температура поступающей в аэротенк воды; поступление на очистку производственных сточных вод, имеющих повышенное содержание углеводов, которые способствуют интенсивному росту нитчатых бактерий и грибов в активном иле.

Вспухший активный ил, обладающий чрезвычайно развитой поверхностью, имеет повышенную окислительную способность, может интенсивно использовать углерод некоторых трудноокисляемых веществ, потребность в азоте и фосфоре у нитчатых бактерий существенно ниже, чем у обычных флокулирующих бактерий. Однако на практике использовать эти потенциальные преимущества вспухшего ила затруднительно. Пружинящие нити бактерий, пронизывая хлопья, препятствуют их осаждению. Вспухший активный ил выносятся из вторичных отстойников, ухудшая качество очищенной воды [3-6].

При вспухании очень сложно поддерживать необходимую дозу активного ила в аэротенке, что также влияет на качество очистки. Вспухание активного ила наблюдается при избытке углеводов в очищаемой воде или недостатке биогенных элементов, при уменьшении концентрации

растворенного кислорода или резком изменении нагрузки на активный ил.

Универсального способа борьбы со вспуханием активного ила не найдено вследствие многообразия причин, вызывающих это явление. В условиях городских очистных станций бороться с развившимся вспуханием довольно трудно. При незначительном количестве нитчатых организмов в иле целесообразно уменьшение нагрузки на него. В качестве одной из мер рекомендуется подщелачивание воды до pH 9...9,4.

Химический состав активного ила обусловлен составом клеточного вещества микроорганизмов. Сухое вещество активного ила состоит из органической (беззольной) части и золы и представляет собой примеси, присутствовавшие в исходной сточной воде и трансформированные в биомассу, а также вещества, адсорбированные хлопьями активного ила. Элементный состав беззольной части активного ила (как и состав клеточного вещества) определяется основными органогенами: углеродом, кислородом, водородом, азотом. Соотношение этих элементов в беззольном веществе активного ила зависит от состава обрабатываемых сточных вод, технологического режима очистки и может существенно изменяться. В среднем на долю углерода приходится 50–52%, кислорода 29–33%, водорода 6–8%, азота 8–12%, беззольного вещества активного ила. Соотношение элементов в активном иле определено в 1952 г. и представлено в виде «формулы» клеточного вещества $C_5P_7NO_2$. Эта формула используется для всех расчетов, связанных с кинетикой биохимических процессов очистки воды и синтезом клеточного вещества, точность ее для практических целей оказывается достаточной [3-6].

Цель статьи: выявить основные причины вспухания активного ила в сооружениях искусственной биологической очистки сточных вод и рассмотреть методы подавления этого процесса для предотвращения сброса недостаточно очищенных сточных вод в водные объекты, тем самым обеспечивается нормальный процесс эксплуатации очистных сооружений систем водоотведения.

Основной материал. Вспухание может быть вызвано разными организмами, поэтому всегда важно выявить организмы-инициаторы этого процесса. В настоящее время нитчатое вспухание ила является наиболее распространенной в мировой практике проблемой биологической очистки сточных вод [4-7].

Исследования [8], проведенные на лабораторной установке, позволили сделать оценку состояния активного ила городских очистных сооружений, выявить организмы – инициаторы

вспухання и разработать методику регенерации вспухшего ила.

Проведенные испытания на городских сточных водах и идентификация организмов выявили присутствие в биоценозе активного ила восьми видов нитчатых бактерий: *Thiothrix nivea*, *Eikelboom type 0961*, *type 1863*, *type 1701*, *type 021 N*, *Haliscomenobacter hydrossis*, *Sphaerotilus natans* и *Beggiatoa alba*, которые являются обычными обитателями аэротенков и присутствуют в незначительных количествах, однако в подходящих для них условиях при массовом размножении могут вызвать вспухание активного ила.

Важным информативным показателем оценки качества активного ила служит иловый индекс. Значения илового индекса проб возвратного ила аэротенков лежали в пределах 745,5–846,2 см³/г, что более чем в 7 раз превышало показатели, принятые за норму. В то же время доза ила была невысокой – 1,10 г/дм³. Концентрация кислорода в аэротенках поддерживалась в пределах рекомендуемых технологических значений – 2,0...3,0 мг/дм³, однако этого оказалось недостаточно для улучшения состояния биоценоза активного ила в период вспухания.

Были проведены лабораторные эксперименты по поиску оптимальных условий жизнедеятельности гидробионтов активного ила при минимальных сроках регенерации и экономических затратах.

Авторами [8-9] было установлено, что на начальных этапах необходимо снижение нагрузки активного ила сточными водами; причем при работе с малыми объемами жидкостей предпочтительно первоначальное соотношение вспухшего активного ила и сточных вод 3:1 (низкая удельная нагрузка), а для больших объемов – 2:1 (средняя). В этих условиях при повышении концентрации молекулярного кислорода в иловой смеси до 5,5...7,7 мг/дм³ регенерация активного ила и восстановление нормальной структуры иловых хлопьев произошли в течение 14–17 суток. Иловый индекс во всех опытных сосудах снизился в 7,1...16,2 раза и стал соответствовать технологическим критериям.

Кроме восстановления физико-химических параметров, в ходе проведения опыта была отмечена и регенерация биоценоза активного ила. Бактерии вида *Eikelboom type 0961* и другие нитчатые бактерии, присутствовавшие в иле в меньшем количестве, в созданных условиях исчезли из биоценоза на 4–6 сутки культивирования. В то же время, для удаления серобактерий *Thiothrix nivea* из активного ила аэротенков потребовался больший промежуток времени – до 10–14 суток.

Для проведения модельного эксперимента использовали специально разработанную опытную

лабораторную установку с принудительной системой аэрации [8-9].

Разработанная установка позволяет устранить вспухание активного ила, восстановить его основные характеристики, подобрав при этом оптимальные условия для регенерации. Она служит для моделирования оптимальных условий с последующим внедрением их в производство, а также для восстановления качества вспухшего активного ила в небольших объемах.

По результатам проведенных экспериментальных работ были даны рекомендации по устранению вспухания и восстановлению основных свойств активного ила в промышленных условиях: на начальных этапах использовать соотношение активного ила и сточных вод 3:1, затем 2:1 при поддержании концентрации молекулярного кислорода в аэротенках от 5,0 до 8,0 мг/дм³. Спустя несколько дней необходимо постепенное снижение дозы кислорода до значений, рекомендуемых для работы аэротенков.

Моделирование разработанных условий функционирования активного ила в аэротенках привело к подавлению нитчатого вспухания и восстановлению рабочих качеств активного ила в течение месяца.

Однако для полной регенерации ила и достижения устойчивого состояния биоценоза аэротенков потребовался более значительный промежуток времени. Полное восстановление хлопьеобразной структуры и седиментационных свойств ила было отмечено спустя несколько месяцев.

Предложенная методика впоследствии стала основой для проведения системы мероприятий по устранению вспухания на городских очистных сооружениях, которая дала положительные результаты. Моделирование разработанных условий функционирования активного ила в аэротенках привело к подавлению нитчатого вспухания и восстановлению рабочих качеств активного ила в течение месяца [9].

Повышение аэробности в аэротенках и регенераторах – обязательное условие в борьбе и профилактике нитчатого вспухания ила, какая бы причина его не вызвала.

Идеальные условия массопереноса растворенного кислорода из жидкости в бактериальные клетки ила достигаются установкой системы пневматической аэрации с небольшим размером пузырька воздуха (500–800 мкм).

Мелкопузырчатая аэрация позволяет обеспечить высокопродуктивную работу аэротенков, так как аэробные условия образуются на всех участках биологической очистки, что способствует благоприятному режиму

функціонування дихальних пігментів флокулообразующей мікрофлори. Мелкопузырчатая аэрация обязательно должна соединяться с крупнопузырчатой аэрацией, что улучшает как перемешивание, то есть массообмен в хлопьях ила, так и степень насыщения кислородом иловой смеси [10].

Выводы. Комплекс мероприятий, направленных на борьбу с вспуханием активного ила, должен разрабатываться только после точного установления причин, вызывающих вспухание, что обеспечивается правильной диагностикой родовой принадлежности вызывающих его нитчатых организмов при гидробиологическом анализе ила.

Наиболее трудно ликвидировать хроническое вспухание, так как необходима или техническая реконструкция очистных сооружений, или предварительная очистка сточных вод до их поступления на сооружения биологической очистки, или двухступенчатая очистка с регенерацией не менее 50% ила.

Литература

1. Экологические аспекты современных технологий охраны водной среды / Под ред. В.В. Гончарука. – К.: Наук. Думка. – 2005. – 400 с.
2. Кичигина, С.Е. Устойчивость функционирования систем биологической очистки путем исключения нитчатого вспухания активного ила [Текст]: дис.... канд. техн. наук / С.Е. Кичигина. – Щелково, 2007. – 226 с.
3. Ковальчук, В.А. Очистка стічних вод / В.А. Ковальчук. – Рівне: Рівненська друкарня, 2002. – 622 с.
4. Nemeth-Katona, J. The Environmental Significance of Bioindicators in Sewage Treatment / J. Nemeth-Katona // Acta Polytechnica Hungarica, 2008. – Vol. 5. – № 3. – P. 117–124.

5. Borja, R. Effect of aerobic pretreatment with *Aspergillus terreus* on the anaerobic digestion of olive-mill wastewater / R. Borja, J. Alba, S.E. Carrido // Biotechnol and Appl. Biochem., 1995. – vol. 22. – N 2. – p. 233-246.

6. Jenkins, D. Manual on Cases and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming / D. Jenkins, M. Richard, G. Daigger. – Chelsea, MI: Lewis Publishers, 1993. – 2nd ed. – 191 с.

7. Fourest, E. Occurrence and control of filamentous bulking in aerated wastewater treatment plants of the French paper industry / E. Fourest, D. Craperi, C. Deschamps–Rouper et al. // Water Sci Technol., 2004. – Vol. 4. – No 50(3). – P. 29–37.

8. Усачева, К. В. Устранение нитчатого вспухания активного ила в условиях эксперимента // К. В. Усачева, Ю. К. Верес // БГУ (ВУ). – с. 65–69.

9. Пат. ВУ 6829 У 2010.12.30, МКИ С 02 F 3/00. Установка для восстановления вспухшего активного ила и очистки сточных вод / К.В. Усачева; заявитель и патентообладатель БГУ (ВУ). – № и 20100335, заявл. 05.04.10, опубл. 30.12.10. – Бюл. № 6. – С. 183. – 1 с.: ил.

10. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. – М.: АКВАРОС. – 2003 г. – 512 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Душкин С.С., Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова, Харьков.

Автор: ШЕВЧЕНКО Тамара Александровна Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова, Харьков, кандидат технических наук, доцент.

E-mail – tamarashevchenko@yandex.ru

Автор: ИВАНЕНКО Ирина Олеговна

Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова, Харьков, магистрант.

E-mail – irishagadget666@mail.ru

АНАЛІЗ ПРИЧИН НИТЧАСТОГО СПУХАННЯ АКТИВНОГО МУЛУ ТА ЗАХОДИ БОРОТЬБИ З НИМ

Т.О. Шевченко, І.О. Іваненко

У статті проаналізовано основні причини нитчастого спухання активного мулу на очисних спорудах штучної біологічної очистки стічних вод, виявлено види бактерій, які обумовлюють процес нитчастого спухання активного мулу. Розглянуто методи придушення даного процесу різними способами, наведено їх переваги та недоліки.

Ключові слова: активний мул, нитчасті бактерії, спухання активного мулу, біомаса, муловий індекс.

ANALYSIS OF FILAMENTOUS SWELLING ACTIVATED SLUDGE AND CONTROL HIM

T. Shevchenko, I. Ivanenko

The article analyzes the main reasons filamentous swelling active sludge treatment plants artificial biological wastewater treatment and the types of bacteria that cause the process filamentous swelling active sludge. A review of this process suppression methods in various ways, are their advantages and disadvantages.

Keywords: activated sludge, filamentous bacteria, swelling of the activated sludge, biomass, sludge index.