РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт биологической промышленности

Московский институт коммунального хозяйства и строительства'

На правах рукописи

ЖУЙКОВА ЛЮДМИЛА ИВАНОВНА

ОБРАБОТКА СТОЧНЫХ ВОД ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОПОЛИМЕРОВ АКТИВНОГО ИЛА

03.00.23- Биотехнология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор биологических наук, профессор А.А Денисов

Щелково - 2007

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 6

Актуальность 6

Цель и задачи 8

Научная новизна 10

Практическая значимость 11

Апробация работы 12

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ 14

Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ 14

1.1. Проблема повышения эффективности отстаивания высокозагрязненных сточных вод, поступающих на сооружения аэробной

биологической очистки 14

1.2. Механизм флокуляции дисперсных и коллоидных частиц загрязнений 17

1.3. Использование активного ила в качестве источника природных флоккулянтов 23

1.4. Влияние токсичности тяжелых металлов на рост и

жизнедеятельность клеток микроорганизмов 31

1.5. Очистка сточных вод от тяжелых металлов с помощью полимеров

активного ила 34

Глава 2. ОБЪЕКТЫ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.44

2.1. Процессы осаждения дисперсных и коллоидных частиц с помощью биополимеров активного ила 44

2.2. Процессы экстрагирования биополимеров из бактериальных клеток и извлечения ионов тяжелых металлов из сточных вод 49

2.2.1. Культивирование полимерообразующих микроорганизмов 49

2.2.1.1. Лабораторная модель активного ила 49

2.2.1.2. Чистые культуры 50

2.2.2. Экстрагирование биополимеров 52

2.2.3. Очистка и получение полимеров 53

2.2.4 Анализ состава полимеров 54

2.2.5. Разделение свободных и связанных ионов металлов 55

Глава 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОСАЖДЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ И КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ С ПОМОЩЬЮ БИОПОЛИМЕРОВ АКТИВНОГО ИЛА 59

3.1. Результаты сравнительных испытаний эффективности аэробной биологической очистки при различных способах обработки исходной сточной воды перед подачей ее в первичный отстойник 59

3.2. Результаты сравнительных испытаний эффективности механической очистки при различных способах обработки исходной сточной воды перед подачей ее в первичный отстойник 61

3.3. Результаты исследований по определению влияния параметров технологического процесса на эффективность механической обработки сточной воды 62

3.4. Результаты исследований возможности насыщения биополимерами иловой суспензии путем ее физико-механической

обработки 65

3.5. Прогнозирование снижения нагрузок по загрязнениям на участок аэробной биологической очистки 68

3.6. Практические рекомендации по использованию результатов исследований в практике строительства и реконструкции очистных

сооружений 72

Глава 4. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ТРАНСФОРМАЦИИ БИОЦЕНОЗА АКТИВНОГО ИЛА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЕГО В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА БИОФЛОККУЛЯНТОВ 88

Глава 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ 101

5.1. Влияние концентрации металлов на извлечение их с помощью полимеров в чистой бактериальной культуре и активном иле 101

5.1.1. Исследование процессов разделения металлов, комплексированных бактериальными внеклеточными полимерами, и свободных ионов металлов 101

5.1.2. Извлечение металлов культурой Klebsiella aerogenes, экстрагированными внеклеточными полимерами и ресуспензированными (после экстракции) клетками 104

5.1.3. Извлечение металлов флоккулами активного ила, экстрагированными внеклеточными полимерами и ресуспендированными (после экстракции) флоккулами 107

5.1.4. Комплексирование металлов внеклеточными полимерами,

экстрагируемыми их активного ила 108

5.2. Влияние среднего времени пребывания клеток бактерий и возраста активного ила на извлечение металлов с помощью полимеров в чистой бактериальной культуре и активном иле 110

5.2.1. Влияние скорости разбавления на удаление металлов клетками культуры Klebsiella aerogenes, экстрагированными внеклеточными полимерами и ресуспендированными (после экстракции) клетками 110

5.2.2. Влияние возраста ила на изъятие металлов активным илом, экстрагированными внеклеточными полимерами и ресуспендированными

(после экстракции) флоккулами 113

Глава 6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ КУЛЬТУРАЛЬНЫМИ СРЕДАМИ ПРИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ СТОКОВ 146

6.1. Очистка сточных вод от тяжелых металлов (на примере меди) в сооружениях аэробной биологической очистки 146

6.2. Поглощение ионов тяжелых металлов культурой Candida utilis (в хемостатном процессе культивирования) 149

6.2.1. Экспериментальные исследования процессов ингибирования бактерий вида Candida utilis ионами серебра и меди 149

6.2.2. Моделирование процессов поглощения ингибиторов - ионов металлов

клетками микроорганизмов 151

6.3 Связывание ионов тяжелых металлов микробиальными питательными

средами 154

Глава 7. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РОСТА И ИНГИБИРОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ ВНЕШНИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ 171

7.1. Математические модели роста и ингибирования микроорганизмов 171

7.2. Математическая модель оптимального управления процессом

сорбционной очистки сточных вод активным илом 179

ВЫВОДЫ 186

ЛИТЕРАТУРА 188

,201

ПРИЛОЖЕНИЯ

ВВЕДЕНИЕ.

Актуальность проблемы.

Эффективность работы современных систем очистки сточных вод определяется, главным образом, совершенством и качеством организации процесса биохимического окисления загрязнений в аэротенке. Процесс усвоения микроорганизмами органического субстрата из поступающей в аэротенк сточной воды протекает наиболее

интенсивно, когда органические вещества находятся исключительно в растворенном состоянии. В этом случае облегчается подвод питательных веществ к клеткам микроорганизмов, повышается глубина ферментативного гидролиза, а значит - улучшаются условия и полнота поглощения субстрата клетками бактерий активного ила. В результате растет коэффициент полезного действия биохимического процесса, в аэротенке формируется сфлоккулированный активный ил, хорошо осаждающийся во вторичном отстойнике, т.е. в целом повышается качество очистки, надежность и устойчивость работы очистных сооружений.

Отсюда вытекает важная практическая задача подготовки исходной сточной воды на участке ее механической обработки перед аэротенком с тем, чтобы в максимальной степени освободить исходную сточную воду от содержащихся в ней дисперсных и коллоидных частиц. Для достижения этой цели используются различные способы повышения интенсивности флоккулирования загрязнений и осаждения их в первичном отстойнике.

Важной проблемой обеспечения экологического благополучия окружающей среды является также очистка промышленных стоков от токсичных соединений тяжелых металлов. Содержащиеся в стоках ионы тяжелых металлов являются особенно опасными для растительного и животного миров и способны к постепенному накоплению их в объектах окружающей среды до уровней, превышающих предельно-допустимые. При высоких концентрациях тяжелые металлы (Fe, Mn, Zn, Mg, Си, Мо и некоторые другие) являются опасными ингибиторами и способны приводить к тяжелым последствиям для людей и животных. Наиболее опасными являются свободные ионы металлов, обладающие значительно более высокой активностью, чем ионы, связанные в металло-органические комплексы. Поэтому основной задачей очистки металло-содержащих стоков является комплексирование свободных ионов металлов в агломераты связанных ионов, способные к осаждению в обрабатываемой сточной воде.

Проведенными к настоящему времени исследованиями установлено, что для очистки сточных вод от дисперсно-коллоидных и металлизированных загрязнений с успехом могут быть использованы внеклеточные биополимеры, экстрагируемые из бактерий целого ряда культур, в том числе и биоценоза активного ила. Внеклеточные биополимеры, выделяемые бактериями, присутствующими в осажденной биомассе вторичных отстойников, являются тем средством, которое может обеспечить существенное снижение концентраций содержащихся в сточной воде различного рода загрязнений.

Микроорганизмы активного ила обладают свойством в определенных условиях выделять биологические полимерные вещества, функционально являющиеся флоккулирующими агентами, способствующими агломерации свободных частиц в хорошо осаждающиеся органо-металлические комплексы.

Однако, несмотря на имеющиеся к настоящему времени научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по этой проблеме, методы очистки сточных вод от органических и металлизированных загрязнений еще не нашли широкого применения в промышленности и сельском хозяйстве. Это объясняется тем, что имеющаяся научно-техническая база по указанной проблеме не обеспечивает выдачу научно-обоснованных рекомендаций по аппаратурно-технологическому оформлению процессов в промышленных условиях.

Разработка и совершенствование промышленных полимер- формирующих технологий обработки сточных вод перед подачей их на участок биологической обработки и повышения за счет этого ее эффективности требует глубокого изучения механизма и динамики процессов экстрагирования полимеров бактерий и формирования хорошо осаждающихся комплексов «полимер-твердые частицы» и «полимер-ионы металлов». В целом, такие исследования, завершающиеся разработкой практических рекомендаций и промышленных технологий, позволят обеспечить создание наиболее рациональных и эффективных конструктивных схем современных сооружений биологической очистки.

Цель и задачи исследований.

Целью настоящей работы являлась разработка способов повышения эффективности очистки сточных вод от дисперсных, коллоидных и металлосодержащих загрязнений с помощью биополимеров активного ила.

При выполнении работы были поставлены следующие задачи:

- изучение механизма и динамики процессов осаждения дисперсных и коллоидных частиц органических загрязнений с помощью полимеров активного ила и получение необходимых данных для сравнительной оценки эффективности очистки при различных способах обработки сточной воды перед подачей ее на участок биологической очистки;

- определение влияния технологических параметров обработки иловой суспензии (продолжительности обработки и концентрации биополимеров в обрабатываемой воде) на эффективность механической очистки высокозагрязненных стоков;

- прогнозирование оптимальных нагрузок по загрязнениям на участок биологической очистки и разработка практических рекомендаций по внедрению разработанного метода повышения эффективности механической очистки сточных вод;

- микробиологические исследования динамики трансформации биоценоза активного ила при его обработке гидромеханическими методами для повышения выхода внеклеточных биополимеров;

- исследование процессов извлечения ионов тяжелых металлов с помощью полимеров, выделяемых чистыми бактериальными культурами и бактериями активного ила и получение необходимых данных для сравнительной оценки эффективности очистки сточных вод от металлов адсорбцией на необработанных клетках, ресуспендированных клетках и комплексированием внеклеточными полимерами;

- определение влияния параметров процесса обработки металлосодержащих сточных вод (исходной концентрации металлов, среднего времени пребывания клеток бактерий и возраста активного ила) на эффективность удаления из них ионов тяжелых металлов перед подачей на участок биологической очистки;

- экспериментальные исследования процессов комплексирования ионов тяжелых металлов компонентами культуральных сред (бактериальными клетками и питательными средами) при биологической очистке металлосодержащих стоков;

- разработка математических моделей процессов роста и ингибирования микроорганизмов токсическими соединениями металлов в составе сточных вод при периодическом и хемостатном культивировании.

Научная новизна.

На основе результатов экспериментальных работ проведена сравнительная оценка эффективности механической и биологической очистки высоконагруженных органосодержащих стоков при различных способах обработки сточной воды перед подачей ее на участок биологической очистки.

Определены оптимальные конструктивные характеристики технических установок и технологические параметры режимов предварительной гидромеханической обработки иловой суспензии (продолжительности обработки и концентрации биополимеров в обрабатываемой воде).

Разработана методика прогнозирования оптимальных нагрузок по загрязнениям на участок биологической очистки и выданы практические рекомендации по ее внедрению в промышленных масштабах при строительстве и реконструкции очистных сооружений.

На основе данных микробиологического обследования биоценозов микрофлоры активного ила выявлена динамика их трансформации при гидромеханическом воздействии на клеточные структуры, подтверждающая результаты технологических испытаний режимов очистки реальных стоков на полупромышленной пилотной установке.

На основе экспериментальных данных проведена сравнительная оценка эффективности очистки металлосодержащих сточных вод чистыми бактериальными культурами и бактериями активного ила от различных тяжелых металлов адсорбцией на необработанных клетках, ресуспендированных клетках и комплексированием внеклеточными полимерами.

Выявлено влияние технологических параметров режимов обработки металлосодержащих сточных вод (исходной концентрации металлов, среднего времени пребывания клеток бактерий и возраста активного ила) на эффективность удаления из них ионов тяжелых металлов перед подачей стоков на участок биологической очистки.

Выполнены экспериментальные исследования процессов комплексирования ионов тяжелых металлов компонентами различных культуральных сред (бактериальными клетками и питательными средами) и показана возможность снижения нагрузок по металлам при биологической очистке металлосодержащих стоков.

На основе экспериментально-теоретических разработок созданы математические модели процессов роста и ингибирования микроорганизмов токсическими соединениями металлов в составе сточных вод при периодическом и хемостатном культивировании.

Практическая ценность.

Полученные результаты и выводы базируются на материалах теоретических, модельных и экспериментальных исследований систем обработки органо- и металлосодержащих стоков и позволяют с высокой степенью надежности рекомендовать их к практическому использованию в промышленных масштабах при создании новых и реконструкции действующих систем биологической очистки сточных вод коммунального и промышленного происхождения. Разработанные рекомендации и предложения подтверждены материалами теоретических и экспериментальных работ, показавших высокую степень сходимости, что обеспечивают возможность их надежного использования в производственных условиях с учетом особенностей конкретных видов сточных вод и характеристик очистных сооружений.

Апробация работы.

На основании проведенных исследований разработаны научно¬методические рекомендации по оптимизации характеристик и технологических режимов сооружений аэробной биологической очистки сточных вод активным илом.

Результаты и материалы выполненной работы использованы ГУП «МосводоканалНИИпроект» при проектировании очистных сооружений г. Владивосток, ООО «Сиройдизайнпроект» г. Омска при проектно-конструкторских работах при проектировании очистных сооружения пос. Яман, Крутинского р-на, Омской обл., ОАО «Водоканал» г. Ишим, ООО «Кузнецовский комбинат» Московская обл.

На основании проведенных исследований разработаны научно¬методические рекомендации по оптимизации характеристик и технологических режимов сооружений аэробной биологической очистки сточных вод активным илом.

Материалы диссертационной работы доложены на научно¬технической конференции «Современные проблемы инженерных систем и экологии городов и населенных пунктов», г. Москва, 2006, V Международной научной конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды» г. Волгоград, 2007, 6-й

международной научно-практической конференции «Ресурсы недр России: экономика и геополитика, геотехнология и геоэкология, литосфера и геотехника». г.Пенза, 2007, Всероссийской научно-

практической конференции «Провинция: экономика, туризм,

экология, архитектура, культура». г.Пенза, май 2007.

ВЫВОДЫ

 Разработаныспособыповышенияэффективностиочисткисточныхводотдисперсныхколлоидныхиметаллосодержащихзагрязненийспомощьюбиополимеровактивногоила

 Сравнительнаяоценкаэффективности комбинированной

механобиологическойочисткивысоконагруженныхорганосодержащихстоковпоказала что использование предварительно

обработанногоактивного илавкачестве биофлоккулянта

обеспечиваетснижениеконцентрацийзагрязненийвочищеннойсточнойводевыводимойизочистныхсооруженийживотноводческогокомплексапооткормусвинейпоконцентрациямвзвешенныхвеществиБПКдоуровнясбросавоткрытыеводоисточники

 Установлено что максимальная эффективность

предварительнойобработкиактивногоилаимеетместоприсоответствующихвеличинеэнергетическогопараметракгмкгммиотносительныхобъемахподаваемойбиомассынепревышающихрасходапоступающихстоков

 Наосновекомплексамикробиологическихисследованийвидовогосоставамикрофаунысточнойводыподтвержденадинамикаеетрансформациивпроцессебиологическойочисткиприизмененииусловийпитаниявызванныхобработкойпоступающихстоковбиофлоккулянтами продуцированнымимикроорганизмамиактивногоила

 Установленочтообработказагрязненныхтяжелымиметалламисточныхводспомощьюэкстрагированныхвнеклеточныхполимеровявляетсяэффективнымсредствомсниженияконцентрацийтоксичныхионовметалловобеспечивающимдостижениепоказателейочисткиустановленныхприродоохраннымиорганами

 Определеныосновныетехнологическиепараметрырежимовочисткисточныхводоттоксичныхионовтяжелыхметалловповозрастуактивногоилавременипребыванияобрабатываемойсредывсооружениикислотностииокислительновосстановительномупотенциалукультуральнойжидкостииконцентрациибиополимероввподаваемыхнаочисткупромышленныхстоках

 Наосновеэкспериментальноисследовательскихработвпервыевыявленипроанализированкомплексныймеханизмпроцессовизъятиясвободныхионовметалловадсорбированиемихклеткамибактерийкомплексированиембиополимерамипоглощениемклеточнымиоболочкамиисвязываниемлигандамипитательныхсред

 Наосновеэкспериментальнотеоретическихразработоксозданыматематическиемоделипроцессовростаиингибированиябактериальноймикрофлорытоксичнымисоединениямитяжелыхметалловвсоставесточныхводприпериодическомихемостатномкультивированиимикроорганизмов

Разработанаметодикаоптимизациирежимовочисткиорганометаллосодержащихсточныхводивыданыпрактическиерекомендациипоеевнедрениювпромышленныхмасштабахпристроительствеиреконструкцииочистныхсооружений