

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В современных условиях развития общественного прогресса и урбанистики существует множество проблем экологического характера. К ним, прежде всего, относятся проблемы загрязнения поверхностных вод. Одними из распространенных поллютантов являются соединения железа. Источниками их появления в водных объектах, чаще всего, служат горные породы, сточные воды промышленных производств и подверженные коррозии, водопроводные трубы.

Общеизвестно, что ионы железа губительны для флоры и фауны водоемов. Их избыток приводит к отмиранию ихтиофауны. В малых концентрациях ионы железа нарушают проницаемость биологических мембран. Гидроксиды железа приводят к асфиксии, вызывают опухоли, деформации скелета и плавников рыб.

Как показывает анализ литературных источников, наиболее эффективными способами удаления ионов железа из водных сред являются химический, адсорбционный и биологические методы. Однако, использование химических реагентов вызывает вторичное загрязнение воды, а применение активированных углей ограничивается их высокой стоимостью. Биологические методы требуют длительных временных затрат, что не всегда приемлемо в промышленных условиях.

Выходом из создавшегося положения является использование в качестве сорбционных материалов (СМ) отходов различных производств.

В связи с вышеизложенным, уменьшение стоимости адсорбционной очистки путем использования в качестве СМ отходов производств, а также интенсификация биологической очистки от поллютантов является *актуальной* задачей, позволяющей решать ряд фундаментальных задач в области охраны окружающей среды.

Цель диссертационной работы. Снижение негативного воздействия ионов металлов на водные объекты интенсификацией биосорбционной очистки эфирами 1-диметилгидразинотолуол-3-окса-4-бензил-7-диметилгидразин фосфоновой кислоты при использовании микроводоросли *Chlorella sorokiniana* и *Chlorella vulgaris*.

Для выполнения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Исследовать адсорбционную очистку вод от ионов железа (III) впервые разработанными композиционными СМ на основе остаточной биомассы микроводоросли *Chlorella sorokiniana*.
2. Провести синтез и установить структуры диалкиловых эфиров 1-диметилгидразинотолуол-3-окса-4-бензил-7-диметилгидразин фосфоновой

кислоты (ДОБДФК), исследуемых в качестве стимуляторов роста микроводоросли *Chlorella vulgaris*.

3. Изучить влияние полученных диалкиловых эфиров ДОБДФК на прирост биомассы микроводоросли *Chlorella vulgaris*.

4. Исследовать процесс удаления ионов железа биомассой *C. vulgaris* с использованием полученных соединений в качестве стимулятора биологической очистки в малых и сверхмалых концентрациях.

5. Разработать способы утилизации отработанных СМ.

Методология и методы исследования, использованные в данной работе:

гравиметрический, спектрофотометрический, ЯМР- ^1H и ^{31}P - спектрометрия, ИК-спектроскопия, элементный анализ, электронная микроскопия.

Научная новизна.

Экспериментально подтверждена адсорбционная очистка водных сред от ионов железа с начальной концентрацией 20, 50 и 100 мг/дм³ комплексным СМ на основе остаточной биомассы *Chlorella sorokiniana* и хитозана. Найдено, что при концентрации 20 мг/дм³ эффективность удаления ионов железа из воды составляет 63 % и 57 % в статическом и динамическом режимах адсорбции, соответственно. Определено, что с увеличением начальной концентрации ионов железа эффективность очистки понижается.

Впервые синтезированы диалкиловые эфиры 1-диметилгидразинотолуол-3-окса-4-бензил-7-диметилгидразин фосфоновой кислоты (ДОБДФК), проявляющие свойства стимуляторов биологической очистки вод от ионов железа биомассой *Chlorella vulgaris*. Найдено, что диэтиловый и диизопропиловый эфиры ДОБДФК интенсифицируют прирост биомассы *Chlorella vulgaris* в концентрации 10^{-4} - 10^{-5} г/дм³.

Экспериментально доказано удаление ионов железа из водных сред до ПДК_{рх} при использовании микроводоросли *Chlorella vulgaris*.

Практическая значимость.

Остаточная биомасса *Chlorella sorokiniana*, после извлечения липидов и других ценных компонентов использована в качестве компонента комплексного СМ для очистки вод от ионов железа.

Синтезированы и исследованы диэтиловый и диизопропиловый эфиры 1-диметилгидразинотолуол-3-окса-4-бензил-7-диметилгидразин фосфоновой кислоты в качестве интенсификаторов роста и развития микроводоросли *Chlorella vulgaris*. Далее эти соединения со степенями разбавления от 10^4 - 10^9 г/дм³ использованы для стимулирования доочистки вод от ионов железа.

Разработаны технологические схемы производства комплексного СМ на основе остаточной биомассы *Chlorella sorokiniana* и хитозана и утилизации отработанных адсорбентов и избыточной биомассы *Chlorella vulgaris*.

Положения, выносимые на защиту:

Очистка вод от ионов железа (III) адсорбционным методом показала, что в динамическом режиме при использовании в качестве адсорбента остаточной биомассы *Chlorella sorokiniana* эффективность очистки составила 63 %, а в статическом – при применении гранул хитозан-остаточная биомасса *Chlorella sorokiniana* концентрация ионов железа снижается на 47 %.

С целью получения биологически активных веществ синтезированы фосфонаты на базе несимметричного диметилгидразина и салицилового альдегида, фосфорилированных диалкилфосфористыми кислотами.

Диэтиловый и диизопропиловый эфир ДОбДФК в концентрациях 10^{-4} - 10^{-5} г/дм³ оказывают стимулирующее действие на рост и развитие микроводоросли *Chlorella vulgaris*.

Очистка вод от ионов железа при интенсификации роста микроводоросли *Chlorella vulgaris* показала, что диизопропиловый эфир ДОбДФК в концентрации 10^{-5} г/дм³, показывает очистку до ПДК_{рх} на 4-ые сутки, а диэтиловый эфир ДОбДФК – на 6-ые. Очистка воды с использованием микроводоросли *Chlorella vulgaris* при интенсификации диизопропиловым эфиром ДОбДФК составляет 93 %.

Личный вклад автора заключается в анализе литературных данных по теме очистки сточных вод от ИТМ, проведение экспериментов по тематике диссертации, обобщении и обработке результатов исследований и формулирование выводов, написании публикаций по теме диссертации и участие в конференциях различного уровня.

Апробация работы.

Основные положения и результаты диссертационной работы доложены на: Региональной научно-практической конференции «Современные проблемы химии и защиты окружающей среды» (Чебоксары, 2007); Международной научно-практической конференции «Глобальное распространение процессов антропогенного эвтрофирования водных объектов: проблемы и пути решения» (Казань, 2017); Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные вопросы охраны окружающей среды» (Белгород, 2018); 9-й Международной научно-практической конференции «Экологические проблемы промышленных городов» (Саратов, 2019); V Международная научно-практическая конференция «Техногенная и природная безопасность» (Саратов, 2019);

Международной научно-технической конференции «Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды» (Алушта, 2019).

Исследования проводились в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы» по теме проекта: «Разработка и внедрение инновационных биотехнологий переработки микроводорослей *Chlorella sorokiniana* и ряски *Lemna minor*» (Соглашение № 14.587.21.0038, от 17 июля 2017 г.), Уникальный идентификатор проекта RFMEFI58717X0038.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы представлены в 13 научных публикациях: 6 статьях, из них: 2 – в рецензируемых журналах из перечня ВАК, 4 – в журналах, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of science, 7 – в других сборниках научных трудов и материалов конференций.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из 5 глав, заключения и приложения, изложена на 104 страницах, включает 16 таблиц, 26 рисунков. Список используемой литературы включает 141 наименование.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, указаны основные методы исследования, приведены научная новизна, практическая значимость, показаны положения, выносимые на защиту, представлены личный вклад, указана структура и объем диссертации.

В **первой главе** приведен литературный обзор по методам очистки сточных и модельных вод от ионов тяжелых металлов (ИТМ): механическим, физико-химическим, химическим, адсорбционным и биологической очистке, с использованием интенсификаторов процесса и без них.

Во **второй главе** представлены методики и приборы, с помощью которых проводился синтез соединений и исследования в диссертационной работе; приведены характеристики исходных веществ, описан ход проведения лабораторных испытаний, описаны подходы по оценке метрологической оценке результатов исследований.

В **третьей главе** представлены результаты мониторинга за последние годы по содержанию в поверхностных водах Республики Татарстан (РТ) ионов железа, из которых выявлено, что пик загрязнения вод приходится на 2016 год. В поверхностных водах на территории РТ стабильно присутствует повышенное содержание ионов железа. Среднегодовая концентрация

последних в некоторых районах достигает 2,6 ПДК (0,78 мг/дм³), а максимальная - 6,4 ПДК (1,92 мг/дм³).

Для очистки воды с содержанием ионов железа 20, 50, 100 мг/дм³ использовался адсорбционный метод с использованием в качестве СМ остаточной биомассы *C. sorokiniana* после извлечения из последней липидов. Эксперименты проводились в статическом и динамическом режимах адсорбции.

В статическом режиме адсорбции остаточную биомассу *C. sorokiniana* в количестве 20 г/дм³ добавляли в модельные растворы, содержащие ионы железа с различной начальной концентрацией и проводили процесс адсорбции в течении 24 часов. Первые 2 часа с использованием шейкера при скорости встряхивания 150 об/мин, а затем оставляли остаточную биомассу в модельном растворе в статических условиях на 22 часа.

В динамическом режиме адсорбции остаточную биомассу микроводорослей *C. sorokiniana* использовали в качестве фильтрующей загрузки. Для этого создан фильтр высотой h=35 мм, диаметром d=15 мм, скорость фильтрации составляла 7,5 мл/мин.

По начальным и конечным концентрациям ионов железа, рассчитаны значения эффективности очистки (Э, %) и сорбционная емкость (А, мг/г) СМ (таблица 1).
Таблица 1 – Эффективность очистки вод от ионов железа остаточной биомассой микроводорослей *Chlorella sorokiniana* при статическом и динамическом режимах адсорбции

Снач, мг/дм ³	Статический режим		Динамический режим		А, мг/г
	Скон, мг/дм ³	Э, %	Скон, мг/дм ³	Э, %	
20	8,6±0,4	57	7,4±0,24	63	0,63
50	35,0±1,7	30	24,0±0,9	48	1,3
100	85,0±4,1	15	68,0±2,9	32	5,5

При начальной концентрации ионов Fe(III) 20 мг/дм³, эффективность очистки достигает 57 % и 63 %, а конечные концентрации ионов железа составляют 8,6 и 7,4 мг/дм³ в зависимости от режима адсорбции. Анализируя полученные результаты, можно сделать выводы, что при начальных концентрациях исследуемого поллютанта 20, 50, 100 мг/дм³ не достигается значения ПДК_{рх}.

Порошкообразный СМ (остаточная биомасса *C. sorokiniana*) проблематично использовать в качестве фильтрующей загрузки в производственных масштабах. В этой связи, получены гранулированные

композиционные СМ на основе остаточной биомассы микроводорослей *C.sorokiniana* и хитозана (рисунок 1а, таблица 2).

Таблица 2 – Свойства гранул хитозан-остаточная биомасса и негранулированной остаточной биомассы микроводорослей *C. sorokiniana*

Вид сорбента	Гранулы хитозан-остаточная	Остаточная биомасса
Адсорбционная активность, мг/г	15,0	20,0
Йодопоглощение, %	2,12	26,04
Насыпная плотность, г/дм ³	0,694	0,714
Влажность, %	6,38	4,8
Удельная поверхность, м ² /г	17,2	50,3
Истираемость, %	0,3	-
Измельчаемость, %	3	-
Сорбционная емкость по Fe ^{общ} , мг/г	1,5	5,5

Проведенные микроструктурные исследования, показали, что гранулы хитозан-остаточная биомасса микроводорослей *C. sorokiniana*: обладают пористой структурой, что доказывает возможность физической адсорбции ИТМ (рисунок 1б).

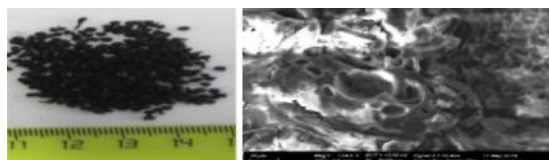
Структурная формула хитозана содержит амино- (-NH₂) и гидроксигруппы (-ОН), поэтому возможно предположить, что очистка вод от ионов железа композиционными гранулами может протекать не только за счет физической сорбции пористой поверхностью остаточной биомассой, но и за счёт хемосорбционных процессов, обусловленных функциональными группами хитозана.

Полученные гранулы использовались для извлечения ионов Fe(III) в статическом и динамическом режимах адсорбции. Полученные значения эффективности очистки (Э, %) вод от ионов железа и сорбционная емкость (А, мг/г) приведены в таблице 3.

Очевидно, что эффективность предварительной очистки, при начальной концентрации ионов Fe(III) (20 мг/дм³), достаточно высокая, как и в случае использования остаточной биомассы *C. sorokiniana* и составляет 53 % в статическом и 49 % в динамическом режимах адсорбции. При концентрации 100 мг/дм³ в статическом и динамическом режимах адсорбции эффективность очистки снижается до 30 и 48 %, соответственно.

Найдено, что при использовании гранул хитозан-остаточная биомасса микроводорослей *C. sorokiniana* и остаточной биомассы микроводорослей

C. sorokiniana, у последних эффективность удаления ионов Fe(III) как в динамическом, так и в статическом режимах выше. Данный факт можно объяснить тем, что площадь контакта раствора с порошкообразной остаточной биомассой больше и извлечение ионов железа происходит эффективнее. Но в тоже время гранулированный продукт обладает более высокими механическими свойствами и удобнее в использовании в промышленных условиях.



а) б)

Рисунок 1: а) Внешний вид гранул хитозан-остаточная биомасса микроводорослей *C. sorokiniana*; б) Морфология поверхности гранул хитозан-остаточная биомасса микроводорослей *C. sorokiniana*

Таблица 3 - Эффективность очистки вод от ионов железа гранулами хитозан-остаточная биомасса микроводорослей *Chlorella sorokiniana* при статическом и динамическом режимах адсорбции

Снач, мг/дм ³	Статический режим		Динамический режим		А, мг/г
	Скон, мг/дм ³	Э, %	Скон, мг/дм ³	Э, %	
20	9,5±0,38	53	10,2±0,39	49	0,53
50	31,0±1,3	38	45,0±1,93	10	0,95
100	70,0±2,9	30	92,0±4,1	8	1,50

Анализируя полученные экспериментальные данные, очевидно, что после очистки вод от ионов железа адсорбционным методом, используя СМ на базе остаточной биомассы *C. sorokiniana*, не достигаются значения ПДК для сброса в водоемы и необходима дальнейшая доочистка.

В четвертой главе представлены методы получения интенсификаторов роста микроводоросли *C. vulgaris*, которая довольно часто используется для альголизации водоемов. В этой связи решено исследовать ее в другом направлении - возможности извлечения ионов железа из воды. Для жизнедеятельности исследуемой микроводоросли необходимо достаточное питание, определенная температура, рН и др. Для интенсификации удаления

поллютантов из водных объектов с помощью *C. vulgaris*, необходимо ускорить рост последней.

В более ранних работах доказано стимулирующее действие на биоценоз микроорганизмов активного ила биологических очистных сооружений реагентов, синтезированных на базе несимметричного диметилгидразина (НДМГ) и фосфорсодержащих соединений в малых и сверхмалых концентрациях. Для синтеза потенциальных стимуляторов первоначально произведен синтез N,N-диметилгидразона салицилового альдегида в результате взаимодействия НДМГ с салициловым альдегидом.

Получение диметилгидразона салицилового альдегида могло протекать по двум направлениям (рисунок 2). Состав и структура полученного диметилгидразона салицилового альдегида (А) доказывалась ИК-, ¹Н ЯМР-спектроскопией и данными элементного анализа.

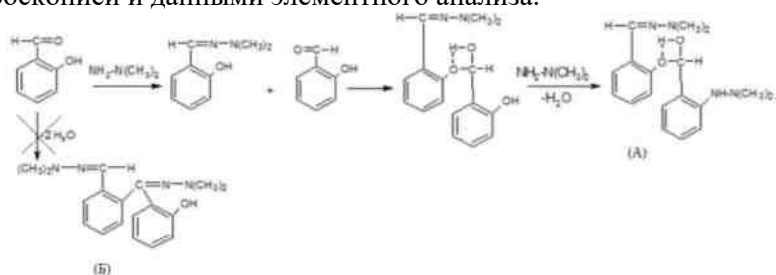
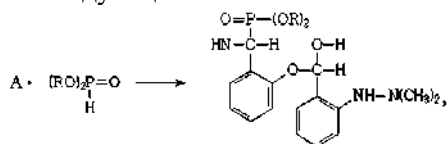


Рисунок 2 – Синтез N,N-диметилгидразона салицилового альдегида. Последующие реакции N,N-диметилгидразона салицилового альдегида с диалкилфосфористыми кислотами привели к выделению продуктов реакции, согласно нижеследующей схеме:



где R – CH₃, C₂H₅, C₃H₇, i-C₃H₇.

Для интенсификации очистки воды от ионов железа биомассой *C. vulgaris*, использовались диэтиловый и диизопропиловый эфиры 1-диметилгидразинотолуол-3-окса-4-бензил-7-диметилгидразин фосфоновой кислоты (ДОБДФК) в малых и сверхмалых концентрациях. Выбор данных соединений обусловлен, прежде всего, селективностью взаимодействия, количественным выходом и результатами биотестирования, которые показали отсутствие их токсичности.

В пятой главе рассматривается доочистка воды от ионов железа микроводорослью *C.vulgaris* в связи с тем, что не удалось достичь концентрации ионов железа в воде до нормативных значений на сброс в водоем адсорбционным методом.

Для исследования очистки воды от ионов железа микроводорослью *C.vulgaris* при интенсификации ее роста полученными соединениями, выбрана исходная концентрация Fe^{3+} равная 10 мг/дм^3 .

Для исследования биостимуляторов – диэтилового (I) и диизопропилового эфиров ДОБДФК (II), приготовлены их водные растворы различных концентраций (10^{-4} - 10^{-9} г/дм^3).

В результате проведенных многочисленных исследований, выявлены концентрации эфиров, при которых прирост микроводоросли *C. vulgaris* максимален, и составляют 10^{-4} и 10^{-5} г/дм^3 .

Так, на 8 день культивирования, биомасса клеток при содержании (I) 10^{-5} г/дм^3 увеличилась в 1,7 раз по сравнению с контрольным образцом. Добавка (II) в концентрации 10^{-5} г/дм^3 увеличила количество биомассы микроводоросли *C.vulgaris* в 2 раза по сравнению с контрольным образцом (рисунок 3).

Полученные результаты представлены в таблице 4.

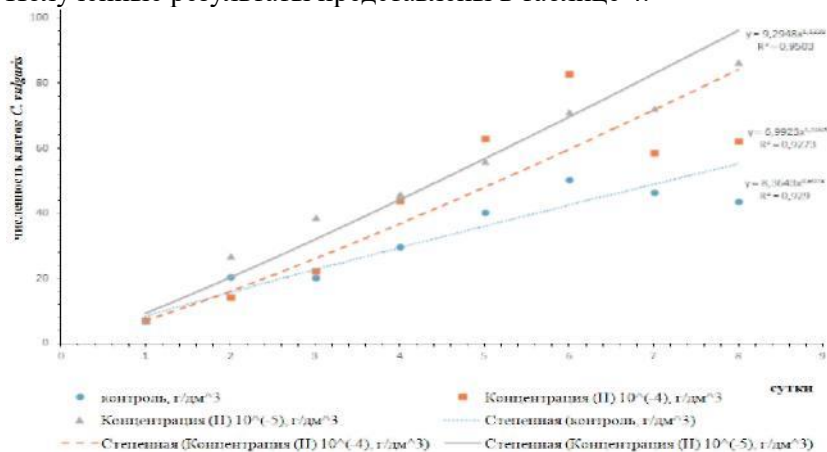


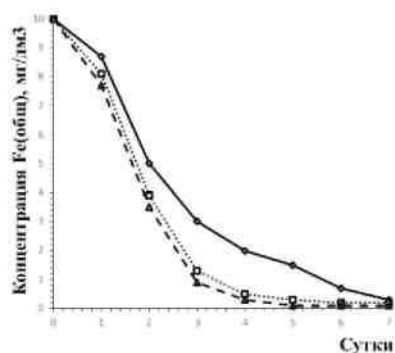
Рисунок 3 – Зависимость роста количества клеток *Chlorella vulgaris* от времени при концентрации соединения (II) 10^{-4} - 10^{-5} г/дм^3

Результаты исследований показали, что при использовании (I) и (II) в качестве биологически активного вещества для интенсификации доочистки воды от ионов железа при помощи *C. vulgaris*, более эффективными

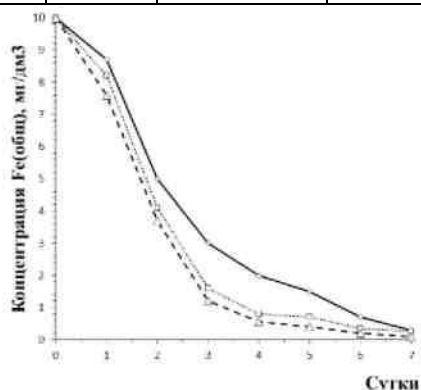
являются эфиры в концентрации 10^5 г/дм³ (рисунок 4), причем при использовании (II) значение ПДК_{рх} достигается на 4-ые сутки, (I) – на 6-ые, а в контрольном опыте - только на 7-ые сутки. Если сравнивать результаты между исследуемыми реагентами, то диизопропиловый эфир ДОбДФК показывает лучший результат по доочистке воды от Fe_(общ) с использованием микроводоросли *C. vulgaris* (93 %), в отличие от контрольного (77 %).

Таблица 4 – Влияние *C.vulgaris* на изменение концентрации Fe(III) в модельной воде с начальной концентрацией 10 мг/дм³ при интенсификации ее роста диэтиловым эфиром ДОбДФК (I) и диизопропиловым эфиром ДОбДФК (II)

Сутки и	Диэтиловый эфир ДОбДФК (I)			Диизопропиловый эфир ДОбДФК (II)		
	Конт-роль, г/дм ³	Концент-рация 10 ⁻⁴ , г/дм ³	Концент-рация 10 ⁻⁵ , г/дм ³	Конт-роль, г/дм ³	Концентра-ция 10 ⁻⁴ , г/дм ³	Концентра-ция 10 ⁻⁵ , г/дм ³
1	8,7	8,2	7,6	8,7	8,1	7,7
2	5	4,4	3,7	5	3,9	3,5
3	3	1,6	1,2	3	1,3	0,9
4	2	0,8	0,57	2	0,5	0,3
5	1,5	0,7	0,4	1,5	0,3	0,1
6	0,7	0,35	0,2	0,7	0,2	0,1



7	0,3	0,25	0,1	0,3	0,2	0,1
---	-----	------	-----	-----	-----	-----



а)

б)

♦ контроль 10⁴(-4)г/дм³ —▲— 10⁵(-5)г/дм³

Рисунок 4 - Зависимости изменения содержания Fe_(общ) в модельной воде при концентрациях: а) (I) 10⁴ и 10⁵ г/дм³, б) (II) 10⁴ и 10⁵ г/дм³

Разработаны возможные способы утилизации отработанных адсорбентов и избыточной биомассы *C. vulgaris*. Предложена принципиальная схема использования и утилизации отработанных адсорбентов хитозан-остаточная биомасса *C. sorokiniana* и биомассы *C. vulgaris*:

1. В качестве дополнительного топлива.
2. В качестве со-субстрата для сбраживания с целью получения биогаза.
3. В качестве минеральных удобрений (рисунок 5).

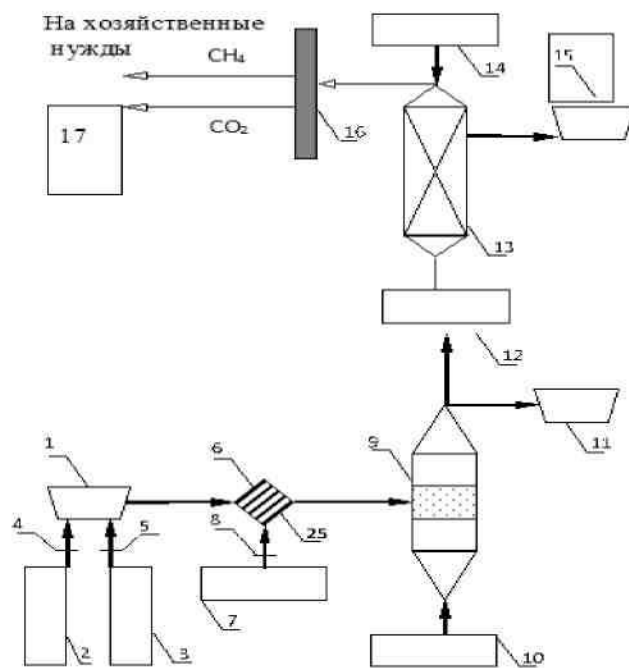


Рисунок 5 – Схема получения использования и утилизации отработанных сорбентов хитозан-остаточная биомасса *C. sorokiniana* и биомассы *C. vulgaris*: 1 – емкость для сбора остаточной биомассы; 2 – емкость с раствором уксусной кислоты; 3 – емкость с раствором хитозана; 4, 5, 8 – дозаторы объемные; 6 – гранулятор для получения сорбентов; 7 – емкость для хранения NaOH; 9 – адсорбер для очистки сточных вод; 10 – усреднитель для сточные воды; 11 – емкость для сбора очищенной воды; 12 – емкость для сбора отработанных сорбентов; 13 – биореактор для анаэробного сбраживания органических отходов; 14 – органические отходы; 15 – емкость для сбора компоста; 16 – мембрана для разделения биогаза; 17- культиватор для синтеза биомассы микроводорослей хлореллы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенные исследования по адсорбционной очистке модельных вод с концентрацией ионов железа 20 мг/дм^3 , показали наибольшую эффективность очистки: в статическом режиме – 57 %, в динамическом – 63 % (для остаточной биомассы *Chlorella sorokiniana*), и в статическом режиме – 53 %, в динамическом – 49 % (для гранул хитозан-остаточная биомасса *Chlorella sorokiniana*). Однако, при этом не достигается значения ПДК_{рх} ионов железа для сброса в водоем.

2. Разработаны способы утилизации отработанных сорбентов в производственных масштабах.

3. Получены и доказаны структуры новых соединений фосфонатов – эфиров 1-диметилгидразинотолуол-3-окса-4-бензил-7-диметилгидразин фосфо-новой кислоты – интенсификаторов роста микроводоросли *C. vulgaris*.

4. Изучено влияние фосфонатов как стимуляторов роста микроводоросли *C. vulgaris*. Максимальный прирост биомассы *C. vulgaris* наблюдался при интенсификации соединениями в концентрации 10^{-4} - 10^{-5} г/дм^3 . Результаты биотестирования показали отсутствие токсичности интенсификаторов.

5. Проведены исследования доочистки вод от ионов железа при интенсификации роста, используя малые концентрации биологически активных веществ, полученных на базе несимметричного диметилгидразина. Интенсификатором роста *C. vulgaris* являются диэтиловый и диизопропиловый эфиры ДОбДФК в концентрации 10^{-4} - 10^{-5} г/дм^3 . Наибольшая степень очистки достигается при использовании диизопропилового эфира ДОбДФК с достижением значений ПДК ионов железа для сброса в водоемы и составляет 93%.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Джамолов Ф.Б. Интенсификация роста микроводоросли *Chlorella vulgaris* с использованием фосфорорганических соединений в низких концентрациях / Ф.Б. Джамолов, А.А. Фазуллина, А.С. Матвеев, С.В. Фридланд // Вестник технологического университета. – 2017. – Т.20. – №8. – С.143.

2. **Фазуллина А.А.** Исследование влияния диэтилового эфира 1-диметилгидразинотолуол-3-окса-4-бензил-7-диметилгидразин фосфо-новой кислоты (ДОбДФК) на интенсивность работы биоценозов на примере очистки сточных вод / А.А. Фазуллина, Ю.А. Тужилкина, С.В. Фридланд // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю.А. Овчинникова. – 2018. – Т.14. – №4. – С. 5.

Статьи в изданиях, рецензируемых в Scopus и Web of science:

3. Смятская Ю.А. Очистка сточных вод от ионов железа остаточной биомассой микроводорослей *Chlorella sorokiniana* (Sewage treatment from iron ions residual biomass of microseaweed *Chlorella sorokiniana*) / Ю.А. Смятская, А.А. Фазуллина, Н.А. Политаева, А.Н. Чусов., А.А. Безбородов // Экология и промышленность России. – 2019. – № 6. – С.22-27.

4. **Fazullina A.A.** Reactions of Dimethylhydrazones with Diarylphosphorous Acids / A.A. Fazullina, L. V. Ryapisova, S. V. Fridland // Russian Journal of General Chemistry. – 2009. – V. 79. – № 7. – P. 1582.

5. **Fazullina A.A.** Features of reaction of dimethylhydrazine with salicylic aldehyde / A.A. Fazullina, L. V. Ryapisova, S. V. Fridland // Russian Journal of General Chemistry. – 2011. – V. 81. – № 2. – P. 437-438.

6. **Fazullina A.A.** Reactions of Benzaldehyde Dimethylhydrazone with Phosphorous Acids / A.A. Fazullina, L. V. Ryapisova, L. B. Kashevarova, S. V. Fridland // Russian Journal of General Chemistry. – 2013. – V. 83. – № 11. – P. 2119-2121.

Статьи в прочих изданиях:

7. **Фазуллина А.А.** Синтез фосфорорганических производных несимметричного диметилгидразина с целью его утилизации / А.А. Фазуллина, Л.В. Ряписова, С.В. Фридланд // Материалы региональной научно-практической конференции «Современные проблемы химии и защиты окружающей среды», Чебоксары. – 2007. – С.131.

8. Шарафетдинов А.З. Интенсификация роста водорослей *Chlorella vulgaris* фосфорорганическими БАВ в наноконцентрациях / Шарафетдинов А.З., А.А. Фазуллина, Ф.Б. Джамолов, С.В. Фридланд // Материалы международной научно-практической конференции «Глобальное распространение процессов антропогенного эвтрофирования водных объектов: проблемы и пути решения», Казань. – 2017. – С.187-189.

9. **Фазуллина А.А.** Исследование влияния диэтилового эфира 1-диметилгидразинотолуол-3-окса-4-бензил-7-диметилгидразин фосфоновой кислоты (ДЭДОБДФК) на интенсивность биологической очистки сточных вод ПАО «Казаньоргсинтез» / А.А. Фазуллина, Ю.А. Тужилкина, С.В. Фридланд, И.Г. Шайхiev // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные вопросы охраны окружающей среды», Белгород. – 2018. – С.175-180.

10. **Фазуллина А.А.** Ингибирование биообрастаний очистных сооружений диэтиловым эфиром 1-диметилгидразинотолуол-3-окса-4-бензил-7-диметилгидразин фосфоновой кислоты / А.А. Фазуллина, С.В. Фридланд, Д.Р. Ширьязданова, Н.В. Морозов, И.Г. Шайхiev // Материалы

Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные вопросы охраны окружающей среды», Белгород. – 2018. – С.180-184.

11. **Фазуллина А.А.** Интенсификация удаления ионов железа в низких концентрациях из модельных растворов с использованием *Chlorella vulgaris* и БАВ / А.А. Фазуллина, Е.А. Чаптарова, С.В. Фридланд, И.Г. Шайхiev // Международная научно-техническая конференция «Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды», Алушта. – 2019. – С. 336-341.

12. Смятская Ю.А. Исследование сорбционных свойств остаточной биомассы микроводорослей *Chlorella sorokiniana* / Ю.А. Смятская, Н.А. Политаева, **А.А. Фазуллина**, И.Г. Шайхiev // Международная научно-техническая конференция «Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды», Алушта. – 2019. – С. 320-325.

13. Смятская Ю.А. Очистка сточных вод от ионов железа (III) микроводорослями *Chlorella sorokiniana* / Ю.А. Смятская, Н.А. Политаева, **А.А. Фазуллина** // V Международная научно-практическая конференция «Техногенная и природная безопасность», Саратов – 2019. – С. 261-265.

Заказ

Офсетная лаборатория КНИТУ, 420015, Казань, К. Маркса ,68

Тираж

экз.