



Институт физики высоких технологий  
Направление подготовки 19.04.01 Биотехнология  
Кафедра биотехнологии и органической химии

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Выделение феназинов из культуры синегнойной палочки и определение их биологической активности

УДК 661.183.081:577.346:574

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ДМ41	Васильева Мария Михайловна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры БИОХ ИФВТ НИ ТПУ	Чубик М.В.	К.м.н., доцент	<i>Чубик</i>	

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры МЕН ИСГТ НИ ТПУ	Грахова Е.А.		<i>Грахова</i>	29.04.2016

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ ИНК НИ ТПУ	Ахмеджанов Р.Р.	д.б.н.	<i>Ахмеджанов</i>	25.05.16

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры БИОХ ИФВТ НИ ТПУ	Краснокутская Е.А.	д.х.н., профессор	<i>Краснокутская</i>	

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения  
по ООП 19.04.01 «Биотехнология» (магистр)  
профиль «Биотехнология»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>	
Р1	Профессионально эксплуатировать современные биотехнологические производства, обеспечивая их высокую эффективность и безопасность
Р2	Разрабатывать и внедрять новые биотехнологические процессы и оборудование в рамках проектирования новых и усовершенствования действующих производств
Р3	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в различных областях прикладной биотехнологии
<b><i>Универсальные компетенции</i></b>	
Р4	Ставить и решать задачи инженерного анализа для создания инновационных биотехнологических процессов и продуктов
Р5	Эффективно организовывать и участвовать в работе коллективов, в том числе международных, демонстрировать ответственность за результаты инженерной деятельности
Р6	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и правовых аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития
Р7	Постоянно повышать интеллектуальный и общекультурный уровень и профессиональную квалификацию, способствовать обучению персонала

Министерство образования и науки Российской Федерации  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт физики высоких технологий  
Направление подготовки - Биотехнология  
Кафедра - Биотехнологии и органической химии

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

 Краснокутская Е.А.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4ДМ41	Васильевой Марии Михайловне

Тема работы:

Применение гибридного биосорбента для очистки промышленных сточных вод от радиоактивных примесей

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объектом исследования является композитный сорбент на основе плесневых грибов *A.niger* и наноматериалов (наночастиц оксида меди, и нанотрубок диоксида титана) способный сорбировать радионуклиды в различных средах.

Производство композитного сорбента выгодно, т.к. его получение не требует больших затрат. Сорбент не наносит вреда экологии и человеку.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выявления достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p><i>Перечень разделов, разработанных в данной работе:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор литературы</li> <li>2. Экспериментальная часть</li> <li>3. Результаты и обсуждение</li> <li>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li> <li>5. Социальная ответственность</li> <li>6. Заключение</li> <li>7. Раздел на иностранном языке</li> </ol>
--	---

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
Социальная ответственность	
Раздел на иностранном языке	

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

*Литературный обзор*

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чубик Марианна Валериановна	К.М.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ДМ41	Васильева Мария Михайловна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4ДМ41	Васильевой Марии Михайловне

Институт	ИФВТ	Кафедра	БИОХ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Биотехнология

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	При проведении исследования используется база лаборатории кафедры БИОХ НИ ТПУ и база лаборатории кафедры ГЭГХ НИ ТПУ, в исследовании задействованы 4 человека: 2 студента-исполнителя, руководитель и специалист.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Инициация научного исследования (Определение концепции проекта, Потенциальные потребители результатов исследования анализ Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, Оценка готовности научно-исследовательского проекта к коммерциализации, диаграмма Исикавы
2. Разработка устава научно-технического проекта	Разработка устава не требуется
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	-Планирование научного исследования (организационная структура проекта, определение трудоемкости выполнения работ, разработка графика проведения НИ, контрольные события научного исследования)  - Формирование бюджета научного исследования
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка сравнительной эффективности исследования

<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей):
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. «Портрет» потребителя результатов НИИ</li> <li>2. Сегментирование рынка</li> <li>3. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>4. Диаграмма Исикавы</li> <li>5. График проведения и бюджет НИИ</li> </ol>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Елена Александровна			02.09.2016г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ДМ41	Васильева Мария Михайловна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4ДМ41	Васильевой Мария Михайловне

<b>Институт</b>	<b>ИФВТ</b>	<b>Кафедра</b>	<b>БИОХ</b>
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Биотехнология

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p><i>Объект исследования: композитный биосорбент.</i></p> <p><i>Рабочая зона: учебно-исследовательская лаборатория биотехнологии кафедры БИОХ НИ ТПУ.</i></p> <p><i>Область применения: предприятиях горно-обогатительного комплекса, АЭС, радиохимических производствах и в металлургической промышленности.</i></p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>- действие фактора на организм человека;</li> <li>- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>- предлагаемые средства защиты;</li> <li>- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p><i>В помещении обеспечено искусственное освещение с нормальным уровнем не ниже 300 люкс в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 (люминесцентные лампы).</i></p> <p><i>К вредным проявлениям факторов производственной среды относятся:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- условно-патогенные микроорганизмы: плесневые грибы <i>Aspergillus niger</i> штамм F-894 и <i>Penicillium pinophilum</i> штамм NFCCI 2498 ГОСТ 12.1.008-76</li> </ul> <p><i>В ходе выполнения работы рекомендуется использовать средства индивидуальной защиты (халаты, перчатки, респираторы). К опасным проявлениям факторов производственной среды относятся:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- осколки стеклянной посуды;</li> <li>- оборудование, работающее под давлением;</li> <li>- электроприборы.</li> </ul> <p><i>При выполнении работ с оборудованием возможно короткое замыкание электропроводок. В связи с этим вся электрическая цепь оснащена заземлительным контуром [ГОСТ 12.1.030 -81]</i></p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> </ul>	<p><i>Возможны следующие воздействия на окружающую природную среду в процессе выполнения работы и направления утилизации отходов:</i></p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>- <i>Контаминация воздушной среды микроорганизмами. Необходимо работать в ламинарном шкафу при включенной вентиляции и бактерицидной лампе, утилизация отработанного материала непосредственно после опыта;</i></p> <p>- <i>Биологическое загрязнение водотоков в результате попадания в хозяйственно бытовую канализацию спор микроорганизмов. В связи с этим проводится стерилизация микроорганизмов и их спор</i></p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p><i>К чрезвычайным ситуациям относится возникновение пожара на рабочем месте. В случае возникновения ЧС предусмотрены первичные средства пожаротушения: огнетушители ОУ и ОУ-5 для тушения электрооборудования.</i></p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>- <i>Специальные правовые нормы трудового законодательства: « Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация » (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 29.07.2005), Российская энциклопедия по охране труда : В 3 т.-2-е изд., перераб. И доп. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2007, ПНД Ф 12.13.1-03.</i></p>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ахмеджанов Рафик Равильевич	д.б.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ДМ41	Васильева Мария Михайловна		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа \_\_\_\_\_ 123 \_\_\_\_\_ с., \_\_\_\_\_ 22 \_\_\_\_\_ рис.,  
\_\_\_\_\_ 43 табл., \_\_\_\_\_ 50 \_\_\_\_\_ источников, \_\_\_\_\_ 4 \_\_\_\_\_ прил.

Ключевые слова: биосорбент, наночастицы, нанотрубки, плесневые грибы, радионуклиды, жидкие радиоактивные отходы, сточные воды, природные воды, уранил-ионы.

Объектом исследования является композитный биосорбент на основе плесневых грибов *A.niger* и наноматериалов (наночастиц оксида меди, и нанотрубок диоксида титана) способный поглощать радионуклиды в промышленных стоках предприятий ЯТЦ.

Цель работы – применение гибридного биосорбента для очистки промышленных сточных вод от радиоактивных примесей.

В процессе исследований была определена сорбционная активность нанопорошков, изучено влияние ультразвуковой активации наноматериала. Также получен композитный биосорбент и проведён анализ, методом сканирующей электронной микроскопии. Исследована сорбция урана из модельных растворов уранила азотнокислого при разных условиях (время, температура, кислотность) и стока завода по переработке ядерного топлива.

Область применения: биотехнология, природопользование, экобиотехнология и охрана окружающей среды.

В дальнейшем планируется разработка экспериментального фильтра для очистки сточных вод предприятий от радионуклидов и тяжелых металлов, а также проведение ряда испытаний разработки в условиях приближенных к промышленным.

## Список сокращений

АЭС – атомная электростанция

ГОСТ – государственный стандарт

ГСО – государственный стандартный образец

ГЭС – гидроэлектростанция

ЖРО – жидкие радиоактивные отходы

ПДК – предельно-допустимая концентрация

ПДК<sub>рх</sub> - предельно-допустимая концентрация для водоёмов  
рыбохозяйственного назначения

РАО – радиоактивные отходы

РЗВП – радиоактивно загрязнённые природные воды

СанПиН – санитарные правила и нормы

СНиП – строительные нормы и правила

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент

ТЭС – теплоэлектростанция

ЭДТА – этилендиаминтетрауксусная кислота

ЯТД – ядерно-топливный цикл

## Содержание

Список сокращений	11
Введение	12
1. Литературный обзор	14
1.1 Разнообразие сорбентов для очистки сточных вод от ионов радиоактивных и тяжелых металлов	14
1.2 Естественные источники радиации	21
1.2.1. Техногенные источники радиации	24
1.3. Способы защиты окружающей среды с использованием микроорганизмов	29
1.4. Микроорганизмы на загрязненных техническими отходами территориях	34
1.5. Свойства наночастиц, осажденных на мицелий плесневых грибов	37
1.6. Свойства наночастиц, осажденных на мицелий плесневых грибов	39
2. Объект и методы исследований	41
3. . Расчеты и аналитика	43
3.1 Кинетические исследования сорбционных возможностей нанопорошков оксидов металлов с применением ультразвуковой активации для возможного улучшения сорбционной активности	43
3.2 Кинетические исследования сорбционных возможностей нанопорошков оксидов металлов с применением ультразвуковой активации для возможного улучшения сорбционной активности	
3.3. Получение композитного биосорбента	
3.4. Анализ биосорбента посредством электронной микроскопии и атомно-эмиссионного метода элементного анализа	
3.5. Сорбция радионуклидов в промышленных водных средах	
4. Финансовый менеджмент	
5. Социальная ответственность	
Заключение	
Список использованных источников	
Приложение А	
Приложение Б	
Приложение В	
Приложение	

## Введение

Различают природный и искусственный характер поступления радиоактивных элементов в водную среду. В первом случае загрязнение происходит при контакте с минералами, содержащими радиоактивные изотопы, а также при взаимодействии с атмосферой, как правило, содержание опасных для человека элементов крайне мало и не превышает допустимых норм. Во втором случае, загрязнение может иметь весьма серьёзные последствия, как для человека, так и для всего природного комплекса в целом. Собственно на него и нацелена разработка композитного биосорбента[1].

Известно, что пресная вода является исчерпаемым природным ресурсом, а в некоторых регионах проблема нехватки пресной воды стоит очень остро и мы должны задумываться о будущем и делать всё возможное для предотвращения чрезвычайных ситуаций и оптимизации производственной деятельности предприятий. Не секрет, что радиоактивное загрязнение опасно даже при малых концентрациях радионуклидов в воде, наибольшее внимание стоит уделить подвижным в воде радиоактивным элементам, которые имеют долгий период полураспада, таким как, уран, стронций-90, радий-226, цезий.

В настоящее время исследование сорбционных способностей материалов и создание различных методов очистки вод от загрязнения радионуклидами является весьма актуальным, в качестве сорбентов рассматриваются органические и неорганические вещества, различные соединения металлов, а также фитосорбенты.

Целью исследований является создание композитного биосорбента, который позволит эффективно проводить очистку сточных вод предприятий, от примесей тяжёлых металлов и радионуклидов. Внедрение такой технологии позволит более рационально использовать водные ресурсы.

Актуальность данной исследовательской работы заключается в исследовании композитных сорбентов на основе металлических нанотрубок культивированных с мицелием плесневых грибов и выявление наиболее эффективного и экономически выгодного сорбента. Разработка такого сорбента позволит, в какой-то степени, решить проблему обезвреживания радиоактивных отходов, что поможет избежать массового радиоактивного поражения природной среды в случае чрезвычайной ситуации.

## 1. Литературный обзор

### 1.1 Разнообразие сорбентов для очистки сточных вод от ионов радиоактивных и тяжелых металлов

Существует множество видов сорбентов и каждый имеет как преимущества, так и недостатки. Рассмотрим некоторые из них.

**Неорганические ионообменники.** Существует большое многообразие сорбентов в зависимости от их химического состава [4-22]. Неуглеродные сорбенты естественного и искусственного происхождения (синтетические глины, глаукониты, цеолиты) в значительной степени удовлетворяют требованиям селективности по отношению к отдельным радионуклидам, обладают механической, химической и радиационной устойчивостью, многие имеют невысокую стоимость. Из природных сорбентов наибольшее значение имеют алюмосиликаты, известняк, фосфориты, апатиты, оксиды и др. Но, несмотря на разнообразие неорганических сорбентов, как природных, так и синтетических, их применение ограничивается рядом недостатков. В некоторых случаях это недостаточно высокая химическая устойчивость и селективность, сложность их использования в динамических условиях и др.

*Алюмосиликаты* бывают двухмерной структуры – глинистые минералы, бентонит и др. и трехмерной структуры – природные и синтетические цеолиты [5]. Селективность этих сорбентов к различным ионам и химическая устойчивость зависят от их структуры. Алюмосиликаты двухмерной структуры, например, менее селективны к радионуклидам цезия и стронция, а природные цеолиты проявляют весьма высокую селективность к цезию.

В работе [6] исследован природный клиноптилоит (месторождение Турция) в качестве сорбента для удаления урана из водных растворов. Показано, что при оптимальных условиях

клиноптилолитом сорбируется до 83-85% урана. В развитие этой работы авторами синтезированы на основе природного и синтетического цеолитов композитные сорбенты с полиакрилонитрилом в качестве связующего, определены катионообменная и сорбционная емкость по урану и торью, как цеолитов так и их композитов и показан возможность использования этих сорбентов для удаления урана и тория из водных сред [7].

*Гидроксиды поливалентных металлов* известны как эффективные сорбенты для извлечения радионуклидов. В течение ряда лет достаточно детально изучался гидратированный диоксид титана как сорбент для извлечения урана из морской воды, а также для извлечения стронция и цезия из жидких радиоактивных отходов. Диоксид титана отличается радиационной и химической устойчивостью в кислых и щелочных растворах. Показано, что его сорбционная емкость зависит от pH и в нейтральных средах составляет 2 мг–экв/г. В растворах, содержащих хлориды, и в кислых средах сорбент проявляет большую селективность в цезию, чем к стронцию [8].

Синтезированы сорбенты типа  $\gamma\text{-MnO}_2$  модифицированием оксидов марганца, в структуре которых содержатся фрагменты кристаллических решеток разных видов, часть из которых имеет пустоты, близкие по размеру и величине избыточного заряда к иону стронция. Испытания образцов сорбентов в статических и динамических условиях сорбции из водных растворов нитратов кальция и натрия, и природных вод показали, что коэффициент распределения стронция равен  $10^3$  мл/г [1].

Исследованы сорбционно-кинетические свойства гидроксидных сорбентов марки «Термоксид»: Т-3 (гидратированный диоксид циркония), Т-5 (гидратированный диоксид титана) и Т-23 (гидратированный диоксид олова), полученные при различной температурной обработке (100-400°C). Эти сорбенты имеют достаточно

высокую сорбционную емкость по стронцию при  $\text{pH}=9$  и ионной силе раствора  $0,02$  моль/л [9-11].

**Полимерные ионообменные сорбенты.** Для извлечения радиоактивных элементов из водных сред и в технологических процессах переработки материалов широко используются катиониты с карбоксильными, фосфорнокислотными и сульфогруппами, а также винилпиридиновые ионообменники. Эффективность их применения снижает их невысокая избирательность по отношению к радионуклидам, особенно при высоком содержании солей других элементов. В связи с этим органические ионообменники используются в качестве носителей для получения селективных сорбентов путем их модифицирования различными комплексообразующими реагентами. Разработаны сорбционные материалы на основе других носителей, например, силикагеля, модифицированного аминами и амидами, селективные по отношению к радионуклидам [12].

В работе [13] были исследованы и проанализированы адсорбционные характеристики различных адсорбентов при адсорбции ионов  $\text{Cr(VI)}$ ,  $\text{Cd(II)}$ ,  $\text{Cu(II)}$  и  $\text{Zn(II)}$ . В качестве адсорбентов использовались гранулированный активированный уголь марки СКТ-3 (ГАУ СКТ-3), цеолитсодержащая порода – диатомит. Из анализа изотерм адсорбции следует, что ионы  $\text{Zn(II)}$  имеют лучшее сорбционное сродство к ГАУ СКТ-3, при этом они достаточно хорошо адсорбируются и на диатомите. Эффективность адсорбции ионов  $\text{Cr(VI)}$  на всех исследованных адсорбентах оказалась примерно одинакова ( $\Gamma = 150 - 160$  мг/г при концентрации каждого иона  $\text{Cr} = 600$  мг/л). Для удаления ионов меди из исследуемых адсорбентов рекомендуется диатомит, так как он проявил лучшие сорбционные свойства.

**Хитинсодержащие сорбенты.** Источники хитина многообразны и широко распространены в природе. По различным

литературным данным [23- 29] наиболее высокими сорбционными свойствами обладает хитин, выделенный из грибов. При этом конечным продуктом при переработке грибов является не чистый хитин, а комплекс биополимеров клеточной стенки, состав которых зависит от источника происхождения. Известно, что хитозан-глюкановый и другие комплексы, получаемые из низших грибов, могут использоваться для эффективного извлечения металлов из водных растворов [30-33]. В работах [34-36] рассмотрена сорбция урана на грибной биомассе *Rhizopus arrhizus*. Показано, что ее сорбционная емкость при pH=4-5 составляла 180 мг урана на 1 грамм сорбента. К сожалению, низкая механическая прочность волокон низших грибов ограничивает их широкое применение.

Российские и украинские ученые проводили исследование сорбентов на основе хитина грибов [30,32,33]. Целью работы являлась оценка новых материалов и технологий селективного выделения ядерно-опасных материалов и тесно связанных с этим вопросов. Особое место среди сорбентов занимают связывающие материалы биологического происхождения. Они обладают хорошими сорбционными свойствами и имеют возможности химической модификации. В последние годы много внимания уделяется применению хитиновых сорбентов. Хитин – единственный полисахарид, в молекуле которого имеется азот, входящий в ацетиламидную группу. Благодаря этому, хитин и ряд его производных обладают мощными сорбционными свойствами. Основным механизмом сорбции у хитина является образование хелатов, поэтому он связывает практически все тяжелые металлы, в том числе и актиниды, и индифферентен к легким металлам, например, к таким биогенным элементам, как калий, натрий, кальций и др. Наличие в хитине нескольких функциональных групп (гидроксильных, карбонильных, аминных, ацетиламидных и кислородных мостиков)

обуславливает достаточно сложный механизм сорбции металлов и радионуклидов. В зависимости от условий, он может включать комплексообразование, ионный обмен и поверхностную адсорбцию, но превалирует хелатное комплексообразование. Благодаря этому, хитиновые сорбенты характеризуются широким спектром поглощаемых элементов – ионы всех металлов, за исключением щелочных и щелочноземельных. При этом такие сорбенты не связывают легкие элементы (Na, K, Ca, Mg и др.) [29].

Из научной и патентной литературы известна широкая сфера применения хитиновых сорбентов. Они эффективны для извлечения урана из растворов и морской воды, удаления примесей плутония, очистки воды из системы охлаждения ядерного реактора от различных радионуклидов, подавляющего большинства, а также для извлечения тяжелых металлов – свинца, ртути, кадмия, мышьяка, висмута и др. [25].

В работе [32] были исследованы закономерности сорбции U, Pu, Am и Eu хитин-меланин глюкановым комплексом Микотон (ХМГК Микотон), полученным из высших базидиальных грибов (Higher Basidiomycetes). ХМГК Микотон представляет собой прочный и эластичный материал тонковолокнистой структуры. Основными химическими компонентами ХМГК Микотон являются хитин (63-70%) в микрофибриллярной форме, глюканы (18-20%) в аморфной форме и меланины (9-10%) в микрокристаллической форме [30, 32-33]. Сорбент представляет собой полые волокна диаметром 3-5 мкм с поперечными перегородками, толщина стенок находится в диапазоне от долей микрометров до 1 мкм. Волокнистая структура обеспечивает высокоразвитую удельную поверхность до 1000 м<sup>2</sup>/г.

В ходе работы установлена величина сорбционной емкости сорбента, которая для урана составляла 226 мг, а для европия 95 мг на 1 г сухого сорбента. Большое значение обменной емкости при сорбции

урана ХМГК Микотон, по сравнению с хитином (6мг/г), вероятно связано с тем, что в состав исследуемого сорбента входит меланин, который является хорошим комплексообразователем по отношению к тяжелым металлам [31].

В результате исследования высказано предположение, что процессы взаимодействия U, Pu, Am и Eu протекают в результате сорбции на хитин-меланин глюконовом комплексе комплексных ионов металлов, существующих в растворе, а также за счет осаждения продуктов их гидролиза на поверхности волокон. Среди возможных механизмов связывания U и Eu указывается координация с атомами кислорода спиртовых групп. Также установлено, что данный сорбент может быть рекомендован для выделения радионуклидов из низкосолевых растворов и природных сред [32,33].

**Наноматериалы.** Объединенная группа исследователей [37] провела поиск потенциальных кандидатов для «умных» наноадсорбентов из числа ионообменных материалов слоистой структуры (например, нановолокно). Ученые в своем исследовании использовали наноадсорбент волокнистой структуры титанат натрия ( $Na_2Ti_3O_7$ ), полученный в результате реакции между концентрированным раствором  $NaOH$  и соединением титана в гидротермальных условиях (200°C) [38]. Титанат натрия помещали в раствор хлорида стронция  $SrCl_2$  и хлорида бария  $BaCl_2$  на 48 часов. Результатом эксперимента являлось определение состава образцов методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии.

Новизна проекта и его результатов заключалась в том, что поглощение двухвалентных токсичных радиоактивных катионов нановолокнами в конечном счете приводит к разрушению структуры и деформации нановолокна, которая фиксирует радиоактивные катионы в решетке. Эти, уловленные, катионы оказываются перманентно

заклучены в структуре адсорбента (Рисунок 1.1.1), что гарантирует их безопасное удаление [37].

## ***1.2. Естественные источники радиации***

Естественные радионуклиды делятся на четыре группы: долгоживущие (уран-238, уран-235, торий-232); короткоживущие (радий, радон); долгоживущие одиночные, не образующие семейств (калий-40); радионуклиды, возникающие в результате взаимодействия космических частиц с атомными ядрами вещества Земли (углерод-14).

Разные виды излучения попадают на поверхность Земли либо из космоса, либо поступают от радиоактивных веществ, находящихся в земной коре, причем земные источники ответственны в среднем за 5/6 годовой эффективной эквивалентной доз, получаемой населением, в основном вследствие внутреннего облучения.

Уровни радиационного излучения неодинаковы для различных областей. Так, Северный и Южный полюсы более, чем экваториальная зона, подвержены воздействию космических лучей из-за наличия у Земли магнитного поля, отклоняющего заряженные радиоактивные частицы. Кроме того, чем больше удаление от земной поверхности, тем интенсивнее космическое излучение.

Иными словами, проживая в горных районах и постоянно пользуясь воздушным транспортом, мы подвергаемся дополнительному риску облучения. Люди, живущие выше 2000 м над уровнем моря, получают в среднем из-за космических лучей эффективную эквивалентную дозу в несколько раз большую, чем те, кто живет на уровне моря. При подъеме с высоты 4000 м (максимальная высота проживания людей) до 12000 м (максимальная высота полета пассажирского авиатранспорта) уровень облучения возрастает в 25 раз. Примерная доза за рейс Нью-Йорк – Париж по

данным НКДАР ООН в 1985 году составляла 50 микрозивертов за 7,5 часов полета.

Всего за счет использования воздушного транспорта население Земли получало в год эффективную эквивалентную дозу около 2000 чел-Зв.

Уровни земной радиации также распределяются неравномерно по поверхности Земли и зависят от состава и концентрации радиоактивных веществ в земной коре. Так называемые аномальные радиационные поля природного происхождения образуются в случае обогащения некоторых типов горных пород ураном, торием, на месторождениях радиоактивных элементов в различных породах, при современном привносе урана, радия, радона в поверхностные и подземные воды, геологическую среду.

По данным исследований, проведенных во Франции, Германии, Италии, Японии и США, около 95% населения этих стран проживает в районах, где мощность дозы облучения колеблется в среднем от 0,3 до 0,6 миллизиверта в год. Эти данные можно принять за средние по миру, поскольку природные условия в вышеперечисленных странах различны.

Есть несколько «горячих точек», где уровень радиации намного выше. К ним относятся несколько районов в Бразилии: окрестности города Посус-ди-Калдас и пляжи близ Гуарапари, города с населением 12000 человек, куда ежегодно приезжают отдыхать примерно 30000 курортников, где уровень радиации достигает 250 и 175 миллизивертов в год соответственно. Это превышает средние показатели в 500-800 раз. Здесь, а также в другой части света, на юго-западном побережье Индии, подобное явление обусловлено повышенным содержанием тория в песках. Вышеперечисленные территории в Бразилии и Индии являются наиболее изученными в данном аспекте, но существует

множество других мест с высоким уровнем радиации, например во Франции, Нигерии, на Мадагаскаре.

По территории России зоны повышенной радиоактивности также распределены неравномерно и известны как в европейской части страны, так и в Зауралье, на Полярном Урале, в Западной Сибири, Прибайкалье, на Дальнем Востоке, Камчатке, Северо-востоке.

Среди естественных радионуклидов наибольший вклад (более 50%) в суммарную дозу облучения несет радон и его дочерние продукты распада (в т.ч. радий). Опасность радона заключается в его широком распространении, высокой проникающей способности и миграционной подвижности (активности), распаде с образованием радия и других высокоактивных радионуклидов. Период полураспада радона сравнительно невелик и составляет 3,823 суток. Радон трудно идентифицировать без использования специальных приборов, так как он не имеет цвета или запаха.

Одним из важнейших аспектов радоновой проблемы является внутреннее облучение радоном: образующиеся при его распаде продукты в виде мельчайших частиц проникают в органы дыхания, и их существование в организме сопровождается альфа-излучением.

И в России, и на западе радоновой проблеме уделяется много внимания, так как в результате проведенных исследований выяснилось, что в большинстве случаев содержание радона в воздухе в помещениях и в водопроводной воде превышает ПДК. Так, наибольшая концентрация радона и продуктов его распада, зафиксированная в нашей стране, соответствует дозе облучения 3000-4000 бэр в год, что превышает ПДК на два-три порядка. Полученная в последние десятилетия информация показывает, что в радон широко распространен также в приземном слое атмосферы, подпочвенном воздухе и подземных водах.

### *1.2.1. Техногенные источники радиации*

Искусственные источники радиационного облучения существенно отличаются от естественных не только происхождением. Во-первых, сильно различаются индивидуальные дозы, полученные разными людьми от искусственных радионуклидов. В большинстве случаев эти дозы невелики, но иногда облучение за счет техногенных источников гораздо более интенсивно, чем за счет естественных. Во-вторых, для техногенных источников упомянутая вариабельность выражена гораздо сильнее, чем для естественных. Наконец, загрязнение от искусственных источников радиационного излучения (кроме радиоактивных осадков в результате ядерных взрывов) легче контролировать, чем природно-обусловленное загрязнение.

Энергия атома используется человеком в различных целях: в медицине, для производства энергии и обнаружения пожаров, для изготовления светящихся циферблатов часов, для поиска полезных ископаемых и, наконец, для создания атомного оружия.

Основной вклад в загрязнение от искусственных источников вносят различные медицинские процедуры и методы лечения, связанные с применением радиоактивности. Основной прибор, без которого не может обойтись ни одна крупная клиника – рентгеновский аппарат, но существует множество других методов диагностики и лечения, связанных с использованием радиоизотопов.

Неизвестно точное количество людей, подвергающихся подобным обследованиям и лечению, и дозы, получаемые ими, но можно утверждать, что для многих стран использование явления радиоактивности в медицине остается чуть ли не единственным техногенным источником облучения.

В принципе облучение в медицине не столь опасно, если им не злоупотреблять. Но, к сожалению, часто к пациенту применяются

неоправданно большие дозы. Среди методов, способствующих снижению риска, — уменьшение площади рентгеновского пучка, его фильтрация, убирающая лишнее излучение, правильная экранировка и самое банальное, а именно исправность оборудования и грамотная его эксплуатация.

Из-за отсутствия более полных данных НКДАР ООН был вынужден принять за общую оценку годовой коллективной эффективной эквивалентной дозы, по крайней мере, от рентгенологических обследований в развитых странах на основе данных, представленных в комитет Польшей и Японией к 1985 году, значение 1000 чел-Зв на 1 млн. жителей. Скорее всего, для развивающихся стран эта величина окажется ниже, но индивидуальные дозы могут быть значительно выше. Подсчитано также, что коллективная эффективная эквивалентная доза от облучения в медицинских целях в целом (включая использование лучевой терапии для лечения рака) для всего населения Земли равна примерно 1 600 000 чел/Зв в год.

Следующий источник облучения, созданный руками человека — радиоактивные осадки, выпавшие в результате испытания ядерного оружия в атмосфере, и, несмотря на то, что основная часть взрывов была произведена еще в 1950-60е годы, их последствия мы испытываем на себе и сейчас.

В результате взрыва часть радиоактивных веществ выпадает неподалеку от полигона, часть задерживается в тропосфере и затем в течение месяца перемещается ветром на большие расстояния, постепенно оседая на землю, при этом оставаясь примерно на одной и той же широте. Однако большая доля радиоактивного материала выбрасывается в стратосферу и остается там более продолжительное время, также рассеиваясь по земной поверхности.

Радиоактивные осадки содержат большое количество различных радионуклидов, но из них наибольшую роль играют цирконий-95,

цезий-137, стронций-90 и углерод-14, периоды полураспада которых составляют соответственно 64 суток, 30 лет (цезий и стронций) и 5730 лет.

По данным НКДАР, ожидаемая суммарная коллективная эффективная эквивалентная доза от всех ядерных взрывов, произведенных к 1985 году, составляла 30 000 000 чел-Зв. К 1980 году население Земли получило лишь 12% этой дозы, а остальную часть получает до сих пор и будет получать еще миллионы лет.

Один из наиболее обсуждаемых сегодня источников радиационного излучения является атомная энергетика. На самом деле, при нормальной работе ядерных установок ущерб от них незначительный. Дело в том, что процесс производства энергии из ядерного топлива сложен и проходит в несколько стадий.

Ядерный топливный цикл начинается с добычи и обогащения урановой руды, затем производится само ядерное топливо, а после отработки топлива на АЭС иногда возможно вторичное его использование через извлечение из него урана и плутония. Завершающей стадией цикла является, как правило, захоронение радиоактивных отходов.

На каждом этапе происходит выделение в окружающую среду радиоактивных веществ, причем их объем может сильно варьироваться в зависимости от конструкции реактора и других условий. Кроме того, серьезной проблемой является захоронение радиоактивных отходов, которые еще на протяжении тысяч и миллионов лет будут продолжать служить источником загрязнения.

Дозы облучения различаются в зависимости от времени и расстояния. Чем дальше от станции живет человек, тем меньшую дозу он получает.

Из продуктов деятельности АЭС наибольшую опасность представляет тритий. Благодаря своей способности хорошо

растворяться в воде и интенсивно испаряться тритий накапливается в использованной в процессе производства энергии воде и затем поступает в водоем-охладитель, а соответственно в близлежащие бессточные водоемы, подземные воды, приземной слой атмосферы. Период его полураспада равен 3,82 суток. Распад его сопровождается альфа-излучением. Повышенные концентрации этого радиоизотопа зафиксированы в природных средах многих АЭС.

До сих пор речь шла о нормальной работе атомных электростанций, но на примере Чернобыльской трагедии мы можем сделать вывод о чрезвычайно большой потенциальной опасности атомной энергетики: при любом минимальном сбое АЭС, особенно крупная, может оказать непоправимое воздействие на всю экосистему Земли.

Масштабы Чернобыльской аварии не могли не вызвать оживленного интереса со стороны общественности. Но мало кто догадывается о количестве мелких неполадок в работе АЭС в разных странах мира.

Искусственные источники радиационного загрязнения, с которыми каждый из нас сталкивается повседневно.

Это, прежде всего, строительные материалы, отличающиеся повышенной радиоактивностью. Среди таких материалов – некоторые разновидности гранитов, пемзы и бетона, при производстве которого использовались глинозем, фосфогипс и кальциево-силикатный шлак. Известны случаи, когда стройматериалы производились из отходов ядерной энергетики, что противоречит всем нормам. К излучению, исходящему от самой постройки, добавляется естественное излучение земного происхождения. Самый простой и доступный способ хотя бы частично защититься от облучения дома или на работе – чаще проветривать помещение.

Повышенная ураноносность некоторых углей может приводить к значительным выбросам в атмосферу урана и других радионуклидов в результате сжигания топлива на ТЭЦ, в котельных, при работе автотранспорта.

Существует огромное количество общеупотребительных предметов, являющихся источником облучения. Это, прежде всего, часы со светящимся циферблатом, которые дают годовую ожидаемую эффективную эквивалентную дозу, в 4 раза превышающую ту, что обусловлена утечками на АЭС, а именно 2 000 чел-Зв. Равносильную дозу получают работники предприятий атомной промышленности и экипажи авиалайнеров.

При изготовлении таких часов используют радий. Наибольшему риску при этом подвергается, прежде всего, владелец часов.

Радиоактивные изотопы используются также в других светящихся устройствах: указателях входа-выхода, в компасах, телефонных дисках, прицелах, в дросселях флуоресцентных светильников и других электроприборах и т.д.

При производстве детекторов дыма принцип их действия часто основан на использовании  $\alpha$ -излучения. При изготовлении особо тонких оптических линз применяется торий, а для придания искусственного блеска зубам используют уран. Очень незначительны дозы облучения от цветных телевизоров и рентгеновских аппаратов для проверки багажа пассажиров в аэропортах.[48]

В настоящее время более чем в 30 странах мира работают 436 атомных электростанций, несколько тысяч экологически опасных промышленных ядерных реакторов, не считая исследовательские, которые непрерывно вырабатывают плутоний. Такие реакторы расположены практически на всех обитаемых континентах, и в первую очередь в наиболее развитых государствах. Например, на территории европейских стран их 265, на территории США 109 атомных

электростанций, во Франции - 56. Сегодня больше всего от атомной энергетики зависят Франция (более 90% потребляемой электроэнергии), Литва (73,1%), Бельгия (57,7%), Болгария (47,1%) [«Известия», №61 (25653), 04.04.2000г.]. В России в настоящее время функционируют 9 атомных электростанций, 29 энергоблоков с суммарной установленной мощностью 21 млн кВт. Четыре блока остановлены после выработки ресурса. Выполненный анализ показывает, что к 2023 г. должны быть остановлены все действующие российские АЭС.

### **1.3. Способы защиты окружающей среды с использованием микроорганизмов**

В последние два десятилетия, в связи с техногенными катастрофами на АЭС (Чернобыль, Фукусима) и возросшим количеством радиоактивных отходов, к биосорбции ионов металлов был проявлен большой интерес, так как это удобный и недорогой способ удаления радиоактивных ионов металлов из водной среды. В связи с этим было изучено большое количество различных биологических сорбентов, таких как: водоросли, актиномицеты, бактерии и плесневые грибы. Процесс поглощения микроорганизмами ионов тяжелых металлов из водного раствора называется *микробиологической адсорбцией*[6].

Например, на аварийной АЭС "Фукусима" японские ученые [7] предложили использовать водоросли, для биосорбции радиоактивных изотопов. Хотя, с момента разрушения АЭС "Фукусима-1", прошло уже несколько лет, тем не менее, серьезные проблемы, связанные с радиоактивным загрязнением местности и необходимостью дезактивации самой территории электростанции, сохраняются до сих пор. В частности, было неясно, что делать с огромным количеством радиоактивной воды, которая использовалась после аварии - для

охлаждения реакторов, поскольку штатная система охлаждения вышла из строя. Японские исследователи предложили использовать для биосорбции ионов радиоактивных металлов водоросли, которые способны прочно связывать радионуклиды, что позволит сконцентрировать радиоактивность в значительно меньшем объеме. Группа ученых Цукубского университета во главе с профессором Йошихиро Шираива (Yoshihiro Shiraiwa) [8] исследовали в общей сложности 188 видов водорослей - как морских, так и пресноводных, - в контролируемых лабораторных условиях, оптимальных для их роста. В исследовании японских ученых есть один серьезный недостаток: все перспективные виды - пресноводные, а на "Фукусиме" для охлаждения реактора брали морскую воду. Более того, так как вода во время аварии, вследствие раскаленных реакторов, сильно испарялась, то в ней была высока концентрация солей, и никакие пресноводные водоросли в ней просто не выживут. Соленая вода - это проблема и для морских водорослей, поскольку при поглощении ими ионов из соленой воды ионы металлов конкурируют с радионуклидами.

Еще Поликарпов Г.К. [9] в 1966 году отметил, что радионуклиды, присутствующие в водной (морской) среде, накапливаются морскими микроорганизмами через прямую адсорбцию, из воды. Он отметил, что это свойство не зависит от того жива ли клетка или давно умерла. После этого открытия сухие биосорбенты, на основе микроорганизмов, стали активно разрабатываться.

Канадские ученые [10] предложили использовать бурые водоросли, из Саргассова моря, для эффективного поглощения уранил-ионов, так как было установлено, их способность связывать ионы: тяжелых металлов золота, кадмия, меди, цинка и др. Бурые водоросли из Саргассова моря обладают низкой стоимостью, высокой сорбционной емкостью, что охарактеризовало интерес к этому виду микроорганизмов.

Учеными из Ирана [11], был предложен сорбент на основе биомассы водорослей *Cystoseira indica*. Разработка иранских ученых интересна тем, что они смогли элюировать уранил-ионы из колонки с утрамбованным сорбентом. Их исследование наиболее близко к нашей работе, за исключением выбранного вида микроорганизмов (плесневые грибы *A. niger* заменены на водоросли *Cystoseira indica*).

Десорбцию урана, иранские ученые, проводили с помощью различных десорбентов: 0,1 М соляной кислоты (HCl), 0,1 М уксусной кислоты (CH<sub>3</sub>COOH), 0,1 М хлорида кальция (CaCl<sub>2</sub>) и 0,1 М хлорида натрия (NaCl). Наилучший результат, среди десорбентов уранил-ионов, показала одномолярная соляная кислота (78%). Десорбция происходила благодаря замене катионов урана, на местах связывания сорбента (водоросли *Cystoseira indica*) с уранил-ионом на H<sup>+</sup>.

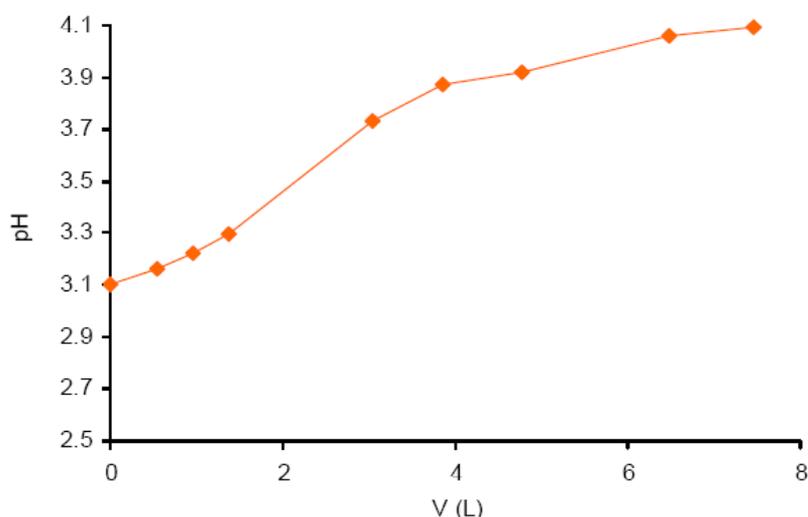


Рис. 1.3.1 - Сорбция водорослями *Cystoseira indica* уранил-ионов в зависимости от pH и объема колонки [12]

Исследование [12] показало, что оптимальное значение pH для биосорбции урана водорослями *Cystoseira*, около 4 (рис. 1.2.1). Это можно объяснить тем, что в более кислой среде (pH=3,3) возникает конкуренция уранил-ионов с протонами за места связывания на поверхности *Cystoseira*.

Исследователи из Мичиганского университета [13] вывели новый штамм бактерий, которые могли бы быть использованы для эффективной переработки ядерных материалов и очистки местности, зараженной радиоактивными отходами и другими тяжелыми металлами. У бактерий, как обнаружили ученые, ключевую роль катализатора в нейтрализации радиоактивных ионов выполняют крошечные нанопроводники, волоски, густо покрывающие бактериальную оболочку. Эти нанопроводники выполняют защитную функцию, а значит, содержат хитин и хитозан. Бактерий вида *Geobacter* подверглись ряду генетических изменений, направленных на выведение микроорганизмов, более густо покрытых нанопроводниками, чем отличались от их предшественников естественного происхождения. Оказалось, что эффективность переработки ядерных отходов этими бактериями прямо зависит от количества нанопроводников на поверхности бактериальной оболочки.

Японскими учеными [14] было проведено масштабное исследование с использованием 83 видов микроорганизмов: 20 видов актиномицетов, 15 видов дрожжей, 16 видов плесневых грибов и 20 видов 32 видов бактерий. Работа заключалась в исследовании селективной сорбции ионов тяжелых металлов из водных систем.

В результате исследования было выяснено, что количество адсорбированных тяжелых металлов различается для разных видов микроорганизмов, как и способность к селективному поглощению того или иного иона металла.

Было доказано, что бактерии, актиномицеты и дрожжи имеют выраженную зависимость между способностью поглощать уран из раствора, содержащего только уран, и их способностью к селективному поглощению урана. *Streptomyces viridochromogenes*, *Bacillus subtilis*, *Penicillium lilacinum*, *Pseudomonas saccharophilia*, *Pseudomonas stutzeri*, *Actinomyces flavoviridis*, *Streptomyces obiraceus*, *Neurospora sitophila* и

*Penicillium chrysogenum* показали наиболее высокую способность к поглощению урана из всех исследованных микроорганизмов. Хотя некоторые организмы показали способность накапливать большое количество урана из раствора, содержащего только уран, но селективная адсорбция из раствора смеси 9 ионов металлов, по сравнению с остальными микроорганизмами, низкая.

Дрожжи показали наихудший результат в адсорбционной способности. Среди актиномицетов имеется самое большое число видов с высокой способностью к сорбции урана. Самые эффективные, с точки зрения накопления ионов урана, микроорганизмы сорбировали до 90 мг урана на 1 грамм микробной биомассы (сухого веса) в течение 1 часа.

Марганец, кобальт, никель, медь, цинк, кадмий, ртуть, свинец и уран были взяты в равных концентрациях, для поведения эксперимента по скорости накопления ионов тяжелых металлов микроорганизмами. Ионы цинка, марганца, кобальта, никеля и кадмия сорбировались микроорганизмами в низких количествах. В результате исследования было выяснено, что уран, ртуть, свинец поглощаются клетками плесеней, бактерий и актиномицетов быстрее, чем ионы других металлов. С другой стороны, зависимость между поглощением урана и адсорбцией ртути не одинакова для всех групп микроорганизмов. Почти для всех видов бактерий и дрожжей количество адсорбированной ртути выше, чем урана, а для плесеней и актиномицетов количество накопленной ртути меньше, чем урана.

Разница в результатах среди разных видов микроскопических грибов может быть объяснена тем, что процентное содержание хитина и хитозана в плесневых грибах и актиномицетах варьируется в зависимости от видов плесеней, возраста, штамма.

Преимущества сорбции и десорбции урана из водных систем микроорганизмами:

- производство микробиологических масс дешевое;
- скорость накопления урана достаточно высока, 2 часа;
- легкая утилизация микроорганизмов;
- растущие и мертвые клетки также имеют способность сорбировать уран;
- микробные клетки имеют высокую адсорбционную способность;
- микробные клетки могут селективно накапливать уран;

#### **1.4. Микроорганизмы на загрязненных технических отходами территориях**

Хотя большая часть тяжелых металлов необходима в микродозах для нормального функционирования живых систем, для многих микроорганизмов они даже в малых концентрациях ядовиты. Проникая в живые клетки, ионы тяжелых металлов нарушают их жизнедеятельность: инактивируют ферменты, вызывают разрушение в цепях нуклеиновых кислот и т. д. Токсическое воздействие металлов на микроорганизмы проявляется в ингибировании их метаболизма, в изменениях кинетики роста микроорганизмов и их морфологии. Такие свойства актиномицетов, бактерий, плесеней как способность к адаптации и быстрому размножению способствуют распространению микроорганизмов, устойчивых к ионам тяжелым металлам. Наибольшей устойчивостью к тяжелым металлам обладают микроорганизмы, выделенные в местах, содержащих промышленные и технические отходы, и в рудах соответствующих металлов. В последние годы поступало много предложений использования пигментсинтезирующих бактерий из рода *Serratia* и *Pseudomonas* в роли индикаторов загрязнения среды [15]. Как известно из литературных источников, что в почвах вблизи промышленных предприятий, загрязняющих природные экосистемы ионами тяжелых металлов, происходят сдвиги в микробном комплексе. Это наглядно

продемонстрировала группа болгарских [16] ученых, исследовавшая содержание различных видов микроорганизмов на загрязненных технических отходах территориях.

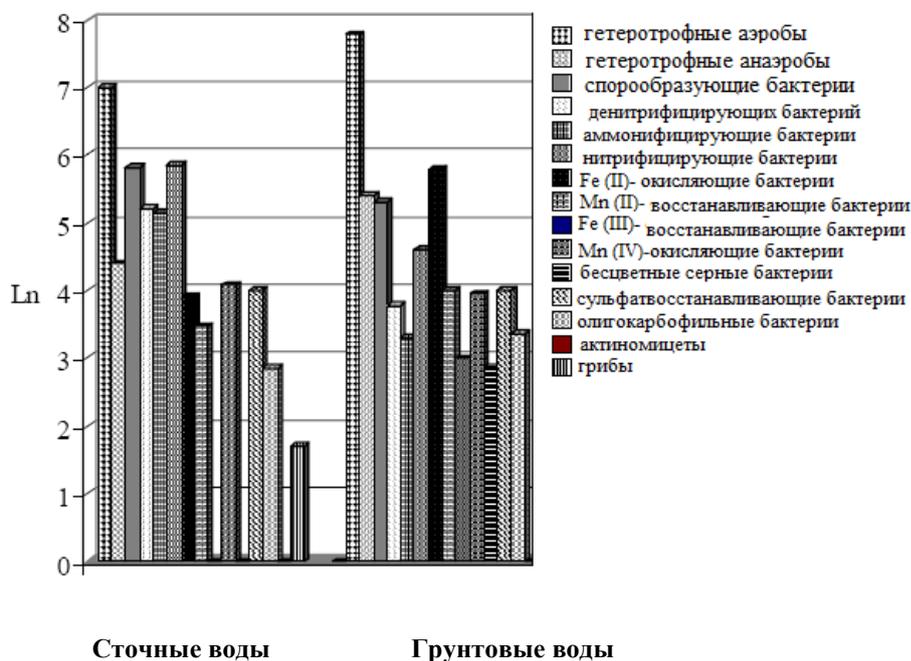


Рис. 1.4.1 - Количественный анализ микробного сообщества в районе завода "AGRIA", производящего агрохимикаты [16].

Из рисунка 1.3.1 видно, что территории загрязненные техническими отходами не самое лучшее место для роста актиномицетов и грибов, которые показали наилучшую способность поглощать уран селективно. Низкая концентрация актиномицетов и грибов может быть связана с тем, что они являются, своеобразным индикатором загрязнения окружающей среды, и их отсутствие демонстрирует изменение в структуре микробного сообщества в обследованных водах. Микроскопические грибы способны поглощать катионы металлов из твердых отходов, а некоторые из них продуцируют органические кислоты, которые могут стабилизировать сложные катионы металлов.

Наиболее активными в биовыщелачивании являются бактерии рода *Acidithiobacillus* (грамотрицательные, неспорообразующие палочки растущие в аэробных условиях). Эти бактерии являются

хемотрофными, они используют углекислый газ из атмосферы, в качестве источника углерода для синтеза новых клеток.

### **1.5. Свойства наночастиц, осажденных на мицелий плесневых грибов**

Наночастицы нашли широкое применение, в очистке воды от тяжелых металлов. Они, как известно, адсорбируют загрязняющие вещества благодаря своей высокой удельной поверхности. Но их малый размер создает трудности в утилизации их из очищенной воды. А если этого не делать, то будет происходить загрязнение воды еще и наноматериалами. Решением этой проблемы, безопасного извлечения наночастиц, стало осаждение наночастиц на носители, которые было бы удобно извлекать из очищаемой среды. В качестве таких носителей были выбраны плесневые грибы. На эту идею нас подтолкнула исследовательская группа Александра Эйхмюллера [17], выращивавшая различные типы плесневых грибов в среде, содержащей наночастицы благородных металлов. Наночастицы находились в виде коллоидного раствора. Александр Эйхмюллер продемонстрировал способность плесневых грибов расти в среде, содержащей наночастицы металла. При этом вырастающий мицелий оказывался покрытым наночастицами.

Ученые установили, что, в присутствии наночастиц золота, платины или палладия практически не наблюдалось замедления роста плесневых грибов. Этот факт еще в 1951 году подтвердил Евгений Тукевич [18], вырастивший плесени в присутствии золота. Несколько видов грибов даже оказались устойчивыми к наночастицам серебра, опасного для большинства микроорганизмов. Композитный сорбент представлял собой трубчатую грибницу, полностью покрытую несколькими слоями наночастиц. Немецкие исследователи определили, что оптические свойства осажденных наночастиц на мицелии

плесневых грибов практически не отличаются от свойств наночастиц взвешенных в растворах.

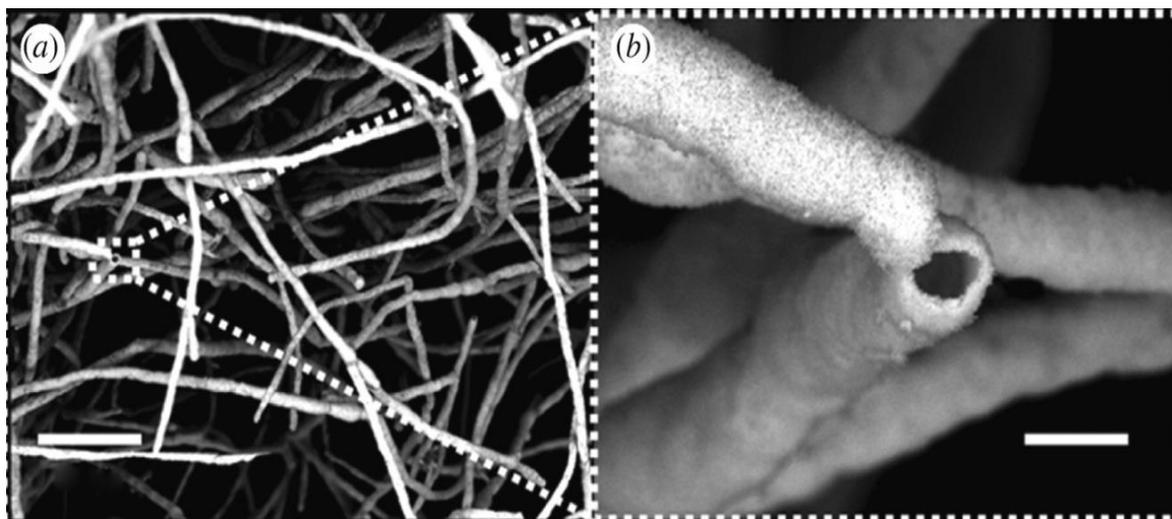


Рис. 1. 5.1 - а) SEM снимок в режиме обратного рассеяния, для композитного материала золото-*Penicillium citreonigrum*; (масштаб бар, 20 мкм). (б) Расширение области, показывающее полый характер гибридной структуры (масштаб бар, 2 мкм) [17].

Например, нити плесневых грибов, покрытые наночастицами золота диаметром 2 мкм, обладают красно-коричневым цветом, как и коллоидный раствор таких наночастиц. Из рисунка 1.4.1 видно, яркие области золота, после нескольких месяцев роста на мицелии *Penicillium citreonigrum*. Из этого обстоятельства ученые сделали вывод о том, что при осаждении наночастиц на плесени их агрегация (слипание) не происходит.

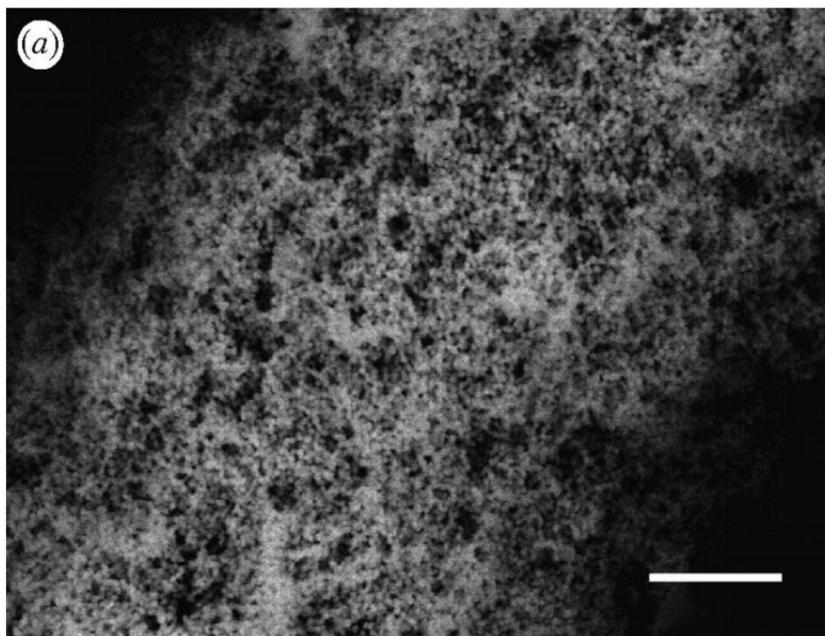


Рис. 1.5.2 - Наночастицы золота на гифе плесневого гриба *Neurospora crassa*, снятого с помощью сканирующей электронной микроскопии в режиме обратного рассеяния (масштаб бар, 250 нм) [17].

Благодаря тому, что наночастицы металлов остаются разделенными, как видно на рисунке 1.4.2 исследователи предполагают, что гибридный материал должен сохранять каталитические свойства исходных наночастиц.

### **1.6. Влияние наночастиц на сорбцию ионов металлов**

Для очистки загрязненных вод наночастицами предполагается наличие у них определенных свойств, а именно необходимой долговечности, высокой реакционной способности, достаточной подвижности в пористых средах, низкой токсичности. Наиболее важным свойством наночастиц является способность образовывать водные коллоидные суспензии. Кроме этого, технология производства и применения наночастиц по своим затратам должна быть конкурентоспособна с традиционными методами.

Не все типы наноматериалов отвечают этим требованиям. Например, наночастицы серебра обладают высокой реакционной способностью и устойчивы в виде коллоидных суспензий, но их

стоимость при расходе для очистки подземных вод на уровне десятков килограммов, слишком велика. Кроме этого, они считаются достаточно токсичными для окружающей среды.

Наиболее распространенные наночастицы для очистки воды:  $Fe_3O_4$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $CuO$  и  $AlOOH$ .

Коррозия это одна из проблем использования наночастиц в водной среде, так как они взаимодействуют с кислородом и водой, с образованием нерастворимых оксидов и гидроксидов (на поверхности металлических наночастиц). Именно продукты коррозии наночастиц участвуют в химических (восстановление, комплексообразование, осаждение) и физических (адсорбция) процессах взаимодействия с ионами металлов [19] (загрязняющими веществами). Вследствие большой удельной площади поверхности (до  $100 \text{ м}^2/\text{г}$ ), при введении большого количества наночастиц в водную среду, возникает восстановительная среда, благоприятно влияющая на деструкцию загрязнений. Основными механизмами удаления загрязняющих веществ являются химические реакции и адсорбция поверхностным слоем оксидов и гидроксидов металлов наночастиц [20]. Восстановительной деградации подвергаются, в основном, органические загрязняющие вещества. Ионы тяжелых металлов связываются (комплексообразование, осаждение, адсорбция) на поверхности наночастиц без физической деструкции.

## **2. Объект и методы исследований**

Предпосылками для данных исследований является опасность радиоактивного поражения в случае чрезвычайной ситуации для компонентов экосистемы и биосферы в целом. Человечество нуждается в введении принципиально новых технологий для выполнения задач обезвреживания радиоактивных отходов. Такие технологии должны быть практичными, легкоизвлекаемыми из водных сред, иметь способность к регенерации и быть экономически выгодными. Первым этапом в разработке такой технологии является исследование сорбционных особенностей материалов и выявление наиболее эффективного сорбента.

В данной исследовательской работе поставлена следующая цель: Основанием для выбора материалов, составляющих сорбент, является высокая сорбционная активность наночастиц и плесневого гриба, а также простота использования биоматериала совместно с наночастицами оксидов.

Цель данной работы заключается в исследовании сорбционных способностей композитного биосорбента в нестерильных условиях, т.е. при использовании технологических водных стоков.

### Задачи работы:

1. Кинетические исследования сорбционных возможностей нанопорошков оксидов металлов: титана, меди, алюминия и железа с применением ультразвуковой активации для возможного улучшения сорбционной активности;
  2. Получение композитного сорбента на основе мицелия плесневых грибов рода *A.niger* с осаждёнными наночастицами оксида меди и нанотрубоками оксида титана;
  3. Анализ структуры биосорбента с применением электронной микроскопии и атомно-эмиссионного метода элементного анализа растворов;
- В исследовательской работе использовали, аналитические, статистические и экспериментальные методы.

## **4. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Тема: Определение эффективности сорбции радионуклидов гибридным материалом из промышленных водных сред

В данной научно-исследовательской работе проводится анализ эффективности сорбции радионуклидов композитным биосорбентом из промышленных водных сред.

Целью данного раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности, целесообразности проведения научного исследования с точки зрения ресурсоэффективности.

В задачи раздела входит:

- определение концепции научного исследования (Инициация научного исследования),
- планирование научного исследования,
- расчет бюджета научного исследования,
- определение ресурсоэффективности научного исследования.

### **4.1. Инициация научного исследования**

Целью данного научного исследования является изучение эффективности, кинетики и изменения элементного состава воды при сорбции радионуклидов биосорбентами на основе плесневого гриба *Asp.niger* культивированного с наночастицами  $\text{CuO}_2$  и  $\text{TiO}_2$  в промышленном стоке воды.

Основные цели и результаты научного исследования представлены в таблице 4.1.1

Таблица 4.1.1 – Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	Разработка эффективного и экологически безопасного композитного сорбента
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Получение высокоэффективного, недорогого и экологически безопасного композитного сорбента
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Оценка эффективности композитного сорбента
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b>
	Высокая эффективность композитного сорбента
	Дешевизна композитного сорбента
	Экологичность

Таблица 4.1.2 – Заинтересованные стороны научного исследования

Заинтересованные стороны НИ	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- результаты экспериментальных испытаний образца;</li> <li>- разработка научно-технической документации и проекта технического задания на опытно-конструкторские работы;</li> <li>- удовлетворение требований потенциального заказчика проекта;</li>   <li>- принятый комиссией экспериментальный образец разработки;</li>   <li>- протоколы приёмочных испытаний и акты приёмки опытного образца (макета) разработки;</li>   <li>- расчеты экономической эффективности использования результатов разработки;</li>   <li>- Расчет и обоснование экологической безопасности создаваемого продукта;</li>   <li>- Создание полного плана эксплуатации образца вплоть до утилизации сорбента;</li>   <li>- Предоставление необходимой конструкторской и технологической документации по изготовлению экспериментального образца</li> <li>- Внедрение образца в производство, подгон образца для каждого производства индивидуально;</li> <li>- Предложение способов утилизации отработанных фильтров.</li> </ul>

Таблица 4.1.3 – Заинтересованные стороны научного исследования

Заинтересованные стороны НИ	Ожидания заинтересованных сторон
Магистр	Исследование полученных сорбентов
Научный руководитель	Руководство над проектом
Заказчик	Получение результата

К выполнению научного исследования были привлечены:

- Федеральное государственное учреждение высшего профессионального образования « Национальный исследовательский Томский политехнический университет» микробиологическая лаборатория кафедры биотехнологии и органической химии г. Томск (основной исполнитель),

- Федеральное государственное учреждение высшего профессионального образования « Национальный исследовательский Томский политехнический университет» лаборатория микроэлементного анализа кафедры геоэкологии и геохимии г. Томск,

- Колледж физики Цилиньского университета (КНР).

### **Потенциальные потребители результатов исследования**

В связи с ухудшением экологического состояния окружающей среды, вызванной производственно-хозяйственной деятельностью человека, возникает необходимость разработки высокоэффективных, экологически безопасных и экономически выгодных методов для очистки природной среды от загрязнений. Нашей научной группой разрабатывается один из высокоэффективных и экологически безопасных композитных биосорбентов используемых для очистки водных сред от радионуклидов и тяжелых металлов.

Сегментирование рынка потребителей данной разработки проведено на основе двух факторов: предприятий, использующих и занимающихся переработкой тяжелых металлов и радиоактивных веществ, отходов, образуемых в результате деятельности этих предприятий и возможность использования композитного сорбента для доочистки различных вод от радионуклидов и тяжелых металлов, как на производстве, так и в домашних условиях.

На рисунке 4.1.1 приведены основные виды водных сред, для которых может применяться разработанный нами композитный биосорбент.

		Промышленные сточные воды	Хозяйственно-питьевые воды
Вид загрязнений	Радионуклиды		
	Тяжелые металлы		

Рис. 4.1.1 – Карта сегментирования водных сред в которых ВОЗМОЖНО использование потребителями сорбента:



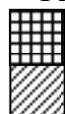
- преобладающие загрязнители

- загрязнители, присутствующие в относительно малом количестве

На рисунке 4.1.2 приведены основные группы предприятий, являющихся потенциальными потребителями разработанного в данном исследовании композитного биосорбента.

		Предприятия			
		АЭС	ГОК	Металлургическая промышленность	Радиохимическое производство
Вид отходов	Радионуклиды				
	Тяжелые металлы				

Рис. 4.1.2 – Карта сегментирования рынка потребителей сорбента:



- преобладающие отходы

- отходы, образуемые в относительно малом количестве

Из таблицы видно, что разработанный биосорбент предназначенный для извлечения радионуклидов и тяжелых металлов может быть использован на предприятиях горно-обогатительного комплекса, АЭС, радиохимических производствах и в металлургической промышленности. Стоит отметить, что композитный

биосорбент так же может применяться для доочистки как и промышленных вод, так и для хозяйственно-питьевых вод, в которых могут находиться различные концентрации загрязнителей.

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

С целью выявления конкурентоспособности нашей разработки проанализированы сильные и слабые стороны используемых в данное время технологий для очистки водной среды от радионуклидов и тяжелых металлов.

На данный момент в производстве используются различные методы для очистки сточных вод. Основные это химические (К1), электролитические методы (К2).

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (4.1.2.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Детальный анализ конкурирующих методов проведен с помощью оценочной карты и представлен в таблице 4.1.2.1.

Таблица 4.1.2.1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_c$	$B_{K1}$	$B_{K2}$	$K_c$	$K_{K1}$	$K_{K2}$
1	2	3	4	5	6	7	8

<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Удобство в эксплуатации	0,20	5,00	4,00	4,00	1,00	0,80	0,80
2. Энергоэкономичность	0,20	5,00	4,00	2,00	1,00	0,80	0,40
3. Надежность	0,15	4,00	4,00	5,00	0,60	0,60	0,75
4. Экологичность	0,20	5,00	3,00	2,00	1,00	0,60	0,40
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,10	4,00	2,00	3,00	0,40	0,20	0,30
2. Цена	0,15	4,00	3,00	2,00	0,60	0,45	0,30
<b>Итого</b>	1,00	27,00	20,00	18,00	4,60	3,45	2,95

Из таблицы следует, что композитный биосорбент является конкурентно способным. Это связано с тем, что сорбент в составе фильтра будет удобен в эксплуатации, так как сорбент после поглощения загрязнителей можно заменить на другой фильтр, а первый отправить на десорбцию затем можно использовать его снова. Так же в составе сорбента используются экономически не затратные и экологически безопасные компоненты. К примеру, один из важных компонентов сорбента – мицелий плесневых грибов является отходом производства лимонной кислоты. Если мы совместим два сегмента производств, то получим еще и ресурсоэффективный метод очистки сточных вод от радионуклидов и тяжелых металлов.

### **Диаграмма Исикавы**

Если на предприятии имеется проблема, необходимо выявить и проанализировать причины ее возникновения, а также пути устранения. Существует графический метод анализа причин проблемы и последующего графического представления – диаграмма Исикавы.

В нашем исследовании выявлена проблема, связанная с повышением эффективности сорбента. В силу некоторых причин полученный нами образец сорбента не был эффективен в полном объеме. Для выявления факторов, влияющих на объект анализа, был использован прием 4М:

- персонал (Manpower);
- оборудование (Machine);

-материалы(Material);

-Условия (Conditions)

Причинно-следственная диаграмма Исикавы для данного случая приложеие В. Как видно из диаграммы, было выявлено 4 фактора приводящих к проблеме понижения эффективности сорбента: условия, материалы, оборудование и персонал. Одной из важных проблем является несоблюдение стерильности в проведении экспериментов, вследствие чего заражаются культуры *A. niger*. Другая проблема связана с оборудованием, шейкер способен работать только при 100 оборотах в минуту, когда для полноценного роста мицелия плесневых грибов необходимо 350 оборотов в минуту, так же невозможно поддерживать температурный режим, так как в системе шейкера не предусмотрен нагревательный элемент. Самой важной проблемой для сборки сорбента является работа диспергатора, наночастицы диспергируются недостаточно хорошо, а в следствие часть нано частиц оседает на дне колбы, а часть на мицелий, что приводит к уменьшению толщины слоя нано частиц на мицелии, а следствие к снижению эффективности работы композитного биосорбента.

#### **Оценка готовности научно-исследовательского проекта к коммерциализации**

Оценка готовности проекта к коммерциализации готовности научно-исследовательского проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i ,$$

(4.1.2.2)

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Таблица 4.1.2.2 - Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического раздела	5	5
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	5
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	2
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	4	4
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3

Продолжение таблицы 4.1.2.2

14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	2	2
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	48	52

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

**Вывод:** Разработанный в данной работе биосорбент предназначенный для извлечения радионуклидов и тяжелых металлов может быть использован на предприятиях горно-обогатительного комплекса, АЭС, радиохимических производствах и в металлургической промышленности. Стоит отметить, что композитный биосорбент так же может применяться для доочистки как и промышленных вод, так и для хозяйственно-питьевых вод, в которых могут находиться различные концентрации загрязнителей. По результатам оценки готовности научного проекта к коммерциализации можно сделать вывод о том, что перспективность разработки на среднем уровне. Необходимо изучение научной группой основ бизнес – планирования и более глубокого изучения маркетинговой системы. Так же следует изучить авторское право и основы патентования.

Композитный биосорбент является конкурентно способным. Это связано с тем, что сорбент в составе фильтра будет удобен в эксплуатации, так как сорбент после поглощения загрязнителей можно

заменить на другой фильтр, а первый отправить на десорбцию затем можно использовать его снова. Так же в составе сорбента используются экономически не затратные и экологически безопасные компоненты. К примеру, один из важных компонентов сорбента – мицелий плесневых грибов является отходом производства лимонной кислоты. Если мы совместим два сегмента производств, то получим еще и ресурсоэффективный метод очистки сточных вод от радионуклидов и тяжелых металлов.

## **4.2. Планирование научного исследования**

### **4.2.1. Организационная структура НИ**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. Рабочая группа научного исследования и функции исполнителей указаны в таблице 4.2.1.1

Таблица 4.2.1.1 Рабочая группа проекта

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО, основное место работы, должность</b>	<b>Роль в проекте</b>	<b>Функции</b>	<b>Трудо-затраты, час.</b>
1	Новикова А.Л	Исполнитель по проекту	Исследование полученных сорбентов	290
2	Васильева М.М.	магистрант	Исследование полученных сорбентов	290
3	<a href="#">Третьяков А.Н.</a>	Эксперт проекта	специалист, обладающий компетенциями	100

4	Чубик М.В.	Куратор проекта	специалист, обладающий компетенциями	190
5	Чубик М.П.	Руководитель проекта	отвечает за реализацию проекта	100
ИТОГО:				970

### Иерархическая структура работ НИ

В дальнейшем проводится структурирование научного исследования. На рисунке 4.2.1.1 представлена иерархическая структура работ по исследованию о разработке композитного биосорбента.

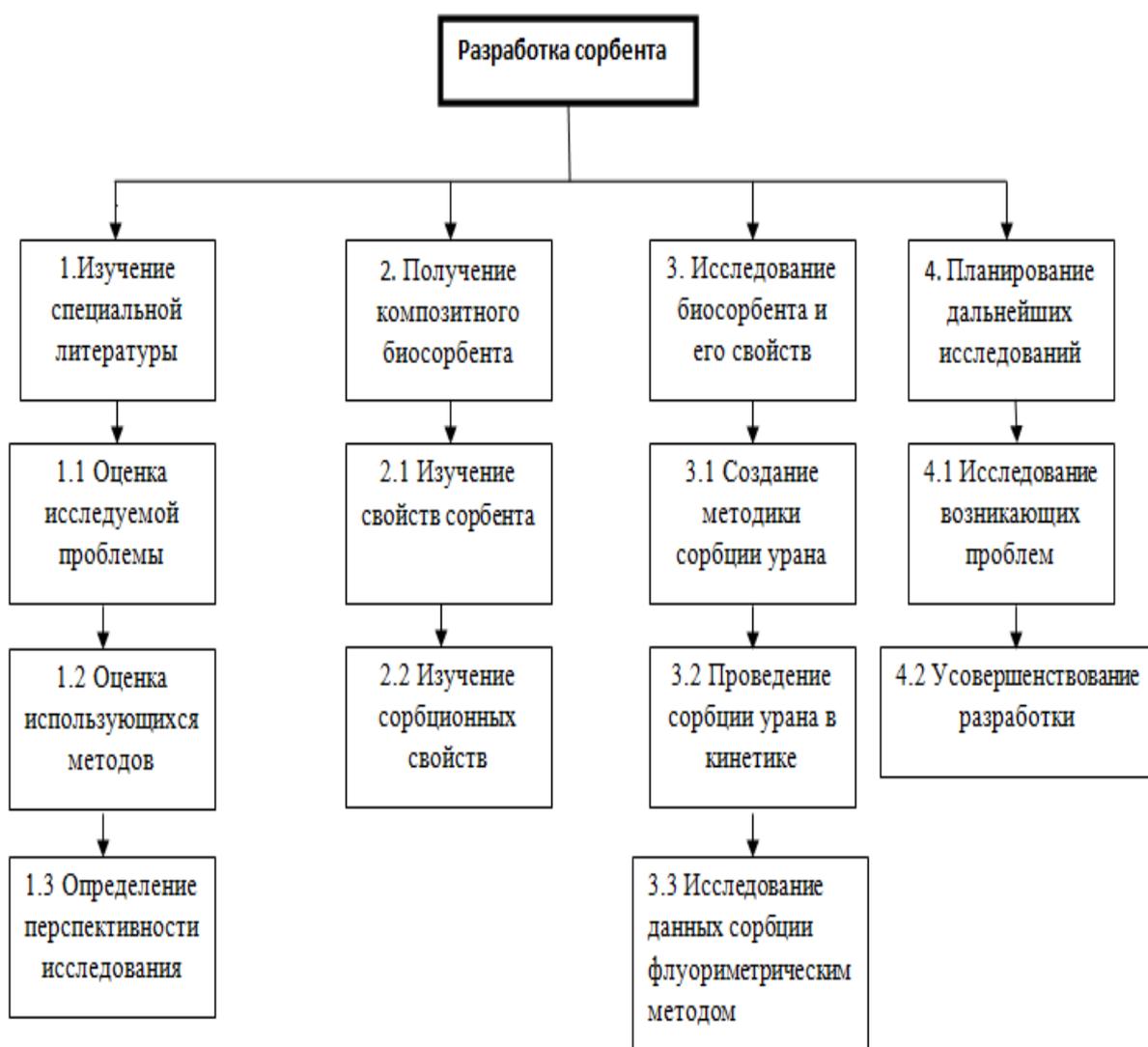


Рис. 4.2.1.1 - Иерархическая структура работ

Определив структуру намечаемых работ, между специалистами распределяются обязанности и раздаются задания, затем обозначаются сроки работы и сроки подведения промежуточных итогов.

### Контрольные события НИ

Участниками научного исследования определяются ключевые события проекта, их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти дни.

Таблица 4.2.1.2 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Изучение задания	02.2016	-
1.1	Выбор направления исследования		
2	Поиск научно-технической литературы	02.2016	Изучение специальной литературы
2.1	Разбор литературных источников		
3	Подготовка эксперимента	03.2016	Методики подготовки материалов; получения сорбента; исследования сорбента флуориметрическим методом ; Методы оценки эффективности сорбента
4	Получение композитного сорбента	03.2016	Композитный сорбентом на основе плесневых грибов <i>A.niger</i> и наноматериалов (наночастиц оксида меди, и нанотрубок диоксида титана)
4.1	Культивирование плесневых грибов		
4.2	Выделение мицелия		
4.3	Осаждение нано частиц на мицелии грибов		
5	Исследование свойств сорбента	04.2016	Проведения сорбции урана;
6	Оформление результатов	04.2016	Построение графиков, таблиц; Заключение об эффективности сорбента; Экспериментальная часть научно исследовательской работы
7	Написание НИ отчета	05.2016	Основные разделы магистерской диссертации

Данная научно исследовательская работа была рассчитана и проведена за 3 месяца от получения задания до написания и обсуждения отчета. После описания контрольных событий проекта научной группой составляется подробный календарный план исследования. Календарный план научного исследования представлен в таблице 4.2.1.3



Таблица 4.2.1.3 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО)
1.1	Оценка исследуемой проблемы	2	18.02.16	20.02.16	Васильева М.М
1.2	Оценка используемых методик в производстве	5	20.02.16	25.02.16	Васильева М.М
1.3	Определение перспективности исследования	2	25.02.16	27.02.16	Новикова А.Л., Васильева М.М., Чубик М.В.
2.1	Изучение свойств сорбента	10	27.02.16	7.03.16	Васильева М.М
2.2	Создание сорбента	21	7.03.16	27.03.16	Новикова А.Л., Васильева М.М.
3.1	Составление методики сорбции урана	2	27.03.16	29.03.16	Васильева М.М
3.2	Проведение сорбции урана в кинетике	15	29.03.16	5.04.16	Васильева М.М
3.3	Исследование данных сорбции, ТЕМ микроскопия, атомно-эмиссионный анализ	10	5.04.16	15.04.16	Васильева М.М
4.1	Исследование возникающих проблем	5	15.04.16	20.04.16	Чубик М.В., Третьяков А.Н., Новикова А.Л., Васильева М.М.
4.2	Решение проблем	10	20.04.16	30.04.16	Новикова А.Л., Васильева М.М., Чубик М.В.
<b>И т о г о:</b>		82	18.02.16	30.04.16	

Таблица 4.2.1.4 – Календарный план-график проведения НИ

ИС Р	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , ка л, дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февр.		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1.1	Оценка исследуемой проблемы;	Руководитель, магистр	2	■												
1.2	Оценка используемых в производстве методик;	магистр	5	■												
1.3	Оценка перспективности исследования;	Руководитель, магистр	2		■											
2.1	Изучение свойств сорбента	магистр	10		■	■										
2.2	Создание сорбента	магистр	21			■	■	■								
3.1	Составление методики сорбции урана	магистр	2					■								
3.2	Проведение сорбции урана в кинетике	магистр	15					■	■							
3.3	Исследование данных сорбции флуориметрическим методом		10						■	■						
4.1	Обсуждение полученных данных	Руководитель, магистр	5							■	■					
4.2	Написание диссертации		10								■	■				

□ – руководитель

■ – дипломник

**Вывод:** В данной части исследования было определено общее количество трудозатрат и составило 970 часов, так же были определены сроки исполнения проекта- 82 дня, далее были определены сроки контрольных событий научного исследования. Данная научно исследовательская работа была рассчитана и проведена за 3 месяца от получения задания до написания и обсуждения отчета.

### 4.3. Бюджет научного исследования

#### 4.3.1. Расчет материальных затрат

В данном разделе размещена информация стоимость всех материалов, используемых для выполнения научного исследования. Материальные затраты, необходимые для данного исследования занесены в таблицу 4.3.1.1.

Таблица 4.3.1.1 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Кол-во, Грамм	Цена за единицу, руб. за грамм	Сумма, руб.
Нано порошок оксида меди	20 нм	100	600	6000,00
Нано порошок диоксида титана	20нм	100	840	8 400,00
Питательная среда	Сабуро сухой	250	16,8	4200
Колба круглодонная	К-3-250-34	10	103.75	1030
Чашка Петри	150*15 мм	5	18	90
Перчатки медицинские стерильные	270-280 мм	40 пар в коробке	18,75	750
Цилиндр стеклянный	100 мм	3	15	45
Стакан стеклянный	1 литр	5	70	350
Стакан стеклянный	20 мл	5	50	250
Бумажные фильтры	10 см	1	50	50
Всего за материалы				21165,00
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				2116,50
Итого по статье $C_m$				23281,50

Материальные затраты представленные в таблице рассчитаны на 1 год работы, для завершения научно исследовательского проекта необходимо как минимум еще года 2.

**4.3.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ**

В данном разделе представлена информация о уже имеющемся в лаборатории оборудовании, используемом в данном научном исследовании.

Таблица 4.3.2.1 -Специальное оборудование для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Срок службы оборудования, год	Общая стоимость оборудования с учетом доставки и монтажа	Сумма амортизационных отчислений за 4 года, руб.
1.	Шкаф вытяжной	1	52070	20	59880	1734,96
2.	Шкаф ГП-40-ОХ ПЗ Сушильный	1	22944	15	26385	764,48
3.	Шкаф холодильный - морозильный MPR414F	1	145371	15	167176	4843,60
4.	Автоклав-полуавтоматический TuT-2340 МК 19л	1	104500	8	120175	3482,00
5.	Весы аналитические AS/310/C/2	1	57260	5	65849	1907,60
6.	Дистиллятор Д-4	1	18230	8	20964	607,20
7.	Термостат ТС1-20	1	16500	10	18975	549,76
8.	Ультразвуковая лабораторная установка ИЛ100-6/2	1	121 380,00	6	133518	4044
9.	Спектрофлуориметр Флюорат-02-Панорама	1	413 472,00	10	475492,8	12776,88
10.	Холодильник лабораторный Liebherr LKv 3910	1	56 779,66	15	6529,85	1891,60

	Итого	-	1008506	-	1159781,9	32602,30
--	-------	---	---------	---	-----------	----------

При применении линейного метода сумма начисленной амортизации за один месяц определяется по формуле (4.3.2.1) как произведение первоначальной стоимости объекта основных средств и соответствующей нормы амортизации, которая определяется по формуле (4.3.2.2):

$$A = C \cdot K, \quad (4.3.2.1)$$

$$K = \frac{1}{n} \cdot 100\% \quad (4.3.2.2)$$

где  $A$  – сумма амортизационных отчислений в месяц;

$C$  – первоначальная стоимость объекта амортизации;

$K$  – норма амортизации в процентах к первоначальной стоимости объекта;

$n$  – срок полезного использования объекта (в месяцах).

Пример расчета амортизации Спектрофлюориметра Флюорат-02-Панорама. Стоимость объекта основных средств составляет 413 472,00 рублей. В соответствии с классификацией основных средств, включаемых в амортизационные группы [20], объект отнесен к пятой амортизационной группе со сроком полезного использования свыше 7-х лет до 10-ти лет включительно. Срок полезного использования установлен 10 лет.

$$\text{Годовая норма амортизации } K = \frac{1}{10 \cdot 12} \cdot 100\% = 0,83\% .$$

Ежемесячная сумма амортизации  $A = \frac{413472 \cdot 0,83}{100} = 3431,44$  рублей.

Ежегодная сумма амортизационных отчислений составляет  $3431,44 \cdot 12 = 41177,28$  рублей.

Аналогично проводится расчет для всего оборудования. Сумма амортизационных отчислений учитывается за время проведения

научного исследования - 4 года. Результаты расчета приведены в таблице 4.3.2.1.

#### 4.3.4 Основная заработная плата

Раздел включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату. Расчет заработной платы представлен в таблице 4.3.4.1.

Таблица 4.3.4.1 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.	Зарботная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс.руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1.	Разбор литературных источников	Руководитель	2	3250	6500
2.	Подготовка эксперимента	Инженер	2	100	2000
3.	Получение сорбента	Инженер	30	833,34	25000
4.	Исследование свойств сорбента	Инженер	21	900	18900
5.	Оформление результатов	Руководитель	7	200	14000
6	Написание магистерской диссертации	Инженер	15	933,34	1400
Итого:80400					

Таблица 4.3.4.2 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	71	71
- праздничные дни		
Потери рабочего времени		
- отпуск	28	30
- невыходы по болезни		

Действительный годовой фонд рабочего времени	266	264
--	-----	-----

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (4.3.4.1)$$

где  $Z_b$  – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 4.3.4.3 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_b$ , руб.	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	21459	1,3	27617,73	1150,73	9	10356,57
Инженер	18900	1,3	24324,30	1013,51	68	68918,68

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.3.4.4)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

#### **Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала**

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}$$

(4.3.4.5)

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты.

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

(4.3.4.6)

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 4.3.4.4 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	10356,57	68918,68
Дополнительная зарплата	1294,57	8614,83
Зарплата исполнителя	11651,14	77533,69
Отчисления во внебюджетные фонды	3145,80	20934,09
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	89184,83	

За исследования особенностей сорбции из различных поллютантов композитными сорбентами на основе плесневых грибов *A.niger* и *P. pinophilum* и наноматериалов (наночастиц оксида меди, и нанотрубок диоксида титана), ученые должны были получить 89184,83 рублей.

Таблица 4.3.4.5 – Группировка затрат по статьям

Статьи	Вид работ					
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Сырье, материалы покупные изделия и полуфабрикаты, руб.	23281,50					
Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ, руб.	1008506					
Основная заработная	6500	2000	25000	18900	14000	1400

плата, руб.						
Дополнительная заработная плата, руб.	877,50	270	3375	2551,50	1890	189
Отчисления на социальные нужды, руб.	1999,30	615,17	7689,62	5813,35	4306,19	430,61
Научные и производственные командировки, руб.	633,20	104,0	2700,0	3722,0	2108,1	120,0
<b>Итого:</b>	<b>1244628,82 руб.</b>					

**Вывод:** За исследования особенностей сорбции из различных поллютантов композитными сорбентами на основе плесневых грибов *A.niger* и наноматериалов (наночастиц оксида меди, и нанотрубок диоксида титана), ученые должны были получить 89184,83 рублей. Основная заработная плата для руководителя и исполнителя составила 80400 рублей.

Себестоимость реализации данной научно-исследовательской работы составила 1244628,82 руб.

#### 4.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), экономической эффективности исследования

##### 4.4.1. Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

*Интегральный финансовый показатель* разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (4.4.1.1)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$\Phi_{p1}=1008506+23281,50 = 1031787,50 \text{ руб.}$$

$$\Phi_{p2}= \Phi_{\max} = 2700620,00+250000= 2950620,00\text{руб.}$$

$$\Phi_{p3}= 1800000+250000=2050000,00 \text{ руб.}$$

Где  $\Phi_{p1}$  – композитный биосорбент;

$\Phi_{p2}$  – химический метод очистки;

$\Phi_{p3}$  – электролитический метод очистки.

$$I^{исн.1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\max}} = \frac{1031787,50}{295062000} = 0,34$$

$$I^{исн.2} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\max}} = \frac{295062000}{295062000} = 1$$

$$I^{исн.3} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\max}} = \frac{205000000}{295062000} = 0,69$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах.

**Интегральный показатель ресурсоэффективности** вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.4.1.2)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$ – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Таблица 4.4.1.1 – Оценка характеристик вариантов исполнения научного исследования

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Биосорбент	Химический методы	Электродитические методы
1.Использование высокотехнологичных методов молекулярной биологии производительности труда пользователя	0,2	5	3	3
2. Модель исследования	0,1	5	4	5
3. Надежность	0,3	5	5	5
4. Конкурентоспособность продукта	0,2	5	4	5
5. Финансирование научной разработки	0,2	4	4	4
ИТОГО	0,2	5	5	5

$$I_{p1} = 0,2*5+0,1*5+0,3*5+0,2*5+0,2*4=4,8$$

$$I_{p2} = 0,2*3+0,1*4+0,3*5+0,2*4+0,2*5=4,3$$

$$I_{p3} = 0,2*3+0,1*5+0,3*5+0,2*4+0,2*4=4,2$$

**Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки** ( $I_{исп1}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}} \quad (4.4.1.3)$$

$$I_{\text{исп1}} = \frac{4,8}{0,34} = 14$$

$$I_{\text{исп2}} = \frac{4,3}{1} = 4,3$$

$$I_{\text{исп3}} = \frac{4,2}{0,69} = 6$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность научного исследования и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность указана в таблице 4.4.1.2.

Таблица 4.4.1.2-Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Сорбент	Химический метод	Электродный метод
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,34	1	0,69
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,8	4,3	4,2
3	Интегральный показатель эффективности	14	4,3	6

**Вывод:** из приведенных расчетов выявлено, что данное научное исследование по интегральному показателю ресурсоэффективности вариантов является выгодным и превосходит аналоги.

### Вывод

В результате написания раздела "Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение" было проведено сегментирование рынка. Разработанный в данной работе биосорбент предназначенный для извлечения радионуклидов и тяжелых металлов может быть использован на предприятиях горно-обогатительного комплекса, АЭС, радиохимических производствах и в

металлургической промышленности. Стоит отметить, что композитный биосорбент так же может применяться для доочистки как и промышленных вод, так и для хозяйственно-питьевых вод, в которых могут находиться различные концентрации загрязнителей. То есть рынок для данного внедрения продукта достаточно велик.

Так же была исследована готовность проекта к коммерциализации. По результатам оценки готовности научного проекта к коммерциализации можно сделать вывод о том, что перспективность разработки на среднем уровне. Необходимо изучение научной группой основ бизнес – планирования и более глубокого изучения маркетинговой системы. Так же следует изучить авторское право и основы патентования.

Далее была рассчитана себестоимость реализации данной научно-исследовательской работы (1244628,82 руб.).

Основным преимуществом проекта по сравнению с другими, является экологичность, все используемых компонентов, мицелий плесневелых грибов *A.niger* обработан так, чтобы было невозможно спорообразование. Наночастицы оксида меди имеют III класс опасности, нанотрубки диоксида титана имеют IV класс опасности.

## Список публикаций

1. Галушкина Д. Н. , Васильева М. М. Регенерация композитных наноразмерных сорбентов урана с целью их вторичного использования // Проблемы геологии и освоения недр : Труды XVIII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 115-летию со дня рождения академика Академии наук СССР, профессора К.И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения члена-корреспондента Академии наук СССР, профессора Ф.Н. Шахова, Томск, 7-11 Апреля 2014. - Томск: Изд-во ТПУ, 2014 - Т. 1 - С. 699-700
2. Васильева М. М. Сорбция радионуклидов из водных сред композитными сорбентами на основе металлических нанотрубок // Экология России и сопредельных территорий: материалы XIX Международной экологической студенческой конференции, Новосибирск, 24-27 Октября 2014. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2014 - С. 166
3. Васильева М. М. , Галушкина Д. Н. Исследование сорбционных способностей наноразмерных материалов с использованием ультразвуковой активации для очистки водных растворов от урана // Экология России и сопредельных территорий: материалы XVIII Международной экологической студенческой конференции, Новосибирск, 25-27 Октября 2013. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2013 - С. 99
4. Галушкина Д. Н. , Васильева М. М. Использование композитных наноразмерных материалов на основе оксида алюминия для очистки сточных вод от урана // Экология России и сопредельных территорий: материалы XVIII Международной экологической студенческой конференции, Новосибирск, 25-27 Октября 2013. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2013 - С. 100
5. Васильева М. М. , Галушкина Д. Н. , Макаревич Т. Г. Использование ультразвуковой активации наноразмерных материалов для очистки сточных вод от урана // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 150-летию со дня рождения академика В.А. Обручева и 130-летию академика М. А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы, Томск, 1-6 Апреля 2013. - Томск: Изд-во ТПУ, 2013 - Т. 2 - С. 531
6. Галушкина Д. Н. , Васильева М. М. , Макаревич Т. Г. , Муксунова Ю. А. Использование композитных наноразмерных материалов на основе оксида алюминия для очистки сточных вод от урана // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 150-летию со дня рождения академика В.А. Обручева и 130-летию академика М. А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы, Томск, 1-6 Апреля 2013. - Томск: Изд-во ТПУ, 2013 - Т. 2 - С. 538-539
7. Макаревич Т. Г. , Галушкина Д. Н. , Васильева М. М. , Муксунова Ю. А. Использование композитных наноразмерных материалов на основе оксида титана для очистки сточных вод от урана // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 150-летию со дня рождения академика В.А. Обручева и 130-летию академика М. А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы, Томск, 1-6 Апреля 2013. - Томск: Изд-во ТПУ, 2013 - Т. 2 - С. 568-569
8. Галушкина Д. Н. , Васильева М. М. , Поликанова С. А. , Баранова А. В. Исследование Арктики советскими учеными // Россия в Арктике XXI век: среда обитания, общество, освоение: материалы I Всероссийской молодёжной конференции, Томск, 14-15 Июня 2012. - Томск: Изд-во ТПУ, 2012 - С. 9-12
9. Васильева М. М. Сорбция радионуклидов из водных сред композитными сорбентами на основе металлических нанотрубок // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, посвященной 115-летию со дня рождения профессора Л.П. Кулёва: в 2 т., Томск, 25-29 Мая 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - Т. 2 - С. 153-155
10. Васильева М. М. , Чубик М. В. Сорбция радионуклидов из водных сред композитными сорбентами на основе металлических нанотрубок // Высокие технологии в современной науке и технике: сборник научных трудов IV Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Томск, 21-24 Апреля 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 222-223

