

*На правах рукописи*

*К.Волф*

**ВОЛКОВА КСЕНИЯ РИФОВНА**

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД,  
ЗАГРЯЗНЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИЙНЫХ СБРОСОВ  
РАСТВОРЕННЫМИ НЕФТЕПРОДУКТАМИ**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Екатеринбург 2006

Работа выполнена в Уральском государственном университете путей сообщения (УрГУПС).

Научный руководитель:

доктор биологических наук  
Александр Михайлович Асонов

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор  
Александр Николаевич Попов  
кандидат технических наук  
Вячеслав Яковлевич Бершадский

Ведущая организация:

ГОУ ВПО Уральский государственный технический университет (УГТУ-УПИ) (г. Екатеринбург)

Защита диссертации состоится "20" сентября 2006 года в "12" часов на заседании диссертационного совета Д 216.013.01 при Федеральном государственном унитарном предприятии "Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов" (ФГУП РосНИИВХ) по адресу: 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП РосНИИВХ.

Автореферат разослан "9" августа 2006 года.

Отзыв на автореферат, заверенный гербовой печатью, просим направлять по адресу: 620049, Екатеринбург, ул. Мира, 23.

Факс: (343) 374-26-79, 374-27-15

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор



Ю.С. Рыбаков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Нефть относится к наиболее интенсивно используемым природным полезным ископаемым. Процессы добычи, транспортировки, переработки нефти и использования нефтепродуктов часто сопровождаются технологическими и аварийными сбросами их в водные объекты, что приводит к загрязнению и нарушению экосистем различной интенсивности, вплоть до экологических катастроф.

Технологии локализации и сбора плавающих нефтепродуктов достаточно хорошо разработаны и широко используются на практике. Однако, вопросы восстановления качества поверхностных водоисточников, загрязненных нефтепродуктами, находящимися в растворенном или коллоидном состояниях, требуют дальнейших исследований. Концентрация нефтепродуктов, оставшихся в воде после их сбора с поверхности остается достаточно высокой и не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к водным объектам хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного назначения. Такое перераспределение нефтепродуктов в водной среде позволяет констатировать незавершенность технологий ликвидации последствий аварий только на стадии их сбора с поверхности воды.

В связи с этим, становится особенно актуальным поиск эффективных технологий, обеспечивающих не только глубокую очистку водных объектов от растворенных нефтепродуктов, но и деструкцию последних. Такие технологии могут способствовать восстановлению биопотенциала нарушенных водных экосистем.

**Цель исследования:** разработка технологии восстановления качества поверхностных водных объектов, загрязненных в результате аварийных сбросов растворенными нефтепродуктами, основанной на использовании сорбента с иммобилизованной на нем нефтеокисляющей микрофлорой – биоминерального комплекса (БМК).

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:  
– проведены исследования по выбору сорбента-носителя микрофлоры;

– разработана технология приготовления, нанесения и консервации биомассы на сорбенте;

– изучена динамика процесса деструкции нефтепродуктов иммобилизованной на сорбенте нефтеразрушающей микрофлорой в условиях речного дна и влияние на него факторов водной среды;

– разработаны алгоритмы технологии восстановления качества поверхностных вод, загрязненных в результате аварийных сбросов растворенными нефтепродуктами, на основе применения биоминерального комплекса.

**Предмет исследования:** динамика процесса деструкции нефтепродуктов иммобилизованной на сорбенте нефтеразрушающей микрофлорой.

**Объект исследования:** биоминеральный комплекс, предназначенный для восстановления качества поверхностных водных объектов, загрязненных нефтепродуктами в результате аварийных сбросов.

**Методы исследований.** В работе использовался комплекс методов исследования, включающий: теоретические изыскания, лабораторное и натурное моделирование, системный подход к анализу материалов, полученных автором в результате исследований и обобщения опыта отечественных и зарубежных исследователей, химический и микробиологический анализ воды. Для количественного описания экспериментальных данных использовались стандартные методы и пакет прикладных статистических программ для ПЭВМ (Microsoft Excel, Statsoft Statistica 6.0).

**Научная новизна исследований:**

– впервые определены зависимости динамики процесса деструкции растворенных нефтепродуктов иммобилизованной на природном сорбенте (опоке) микрофлорой от факторов водной среды (в частности, температуры воды и концентрации растворенного в ней кислорода) (п. 15 Паспорта специальности 25.00.36);

– впервые определены условия консервации (способ сушки, температура, влажность), обеспечивающие быструю реабилитацию иммобилизованной на опоке микрофлоры (п. 17 Паспорта специальности 25.00.36).

**Практическая значимость.** Разработана технология реабилитации водных объектов, загрязненных в результате аварийных сбросов растворенными нефтепродуктами, с использованием биоминерального комплекса.

Предложен расчетно-программный комплекс определения необходимого количества БМК и места развертывания сил ГО и ЧС для ликвидации последствий аварий, связанных с поступлением нефтепродуктов в речной поток.

Предложенная технология обеспечивает достаточно эффективное и быстрое восстановление биопотенциала нарушенных водных экосистем, без необходимости извлечения БМК из водного объекта после его использования.

**На защиту выносятся:**

- концепция реабилитации водных объектов, загрязненных растворенными нефтепродуктами, на основе использования БМК;

- способ иммобилизации и условия последующей консервации биомассы на сорбенте;

- технология реабилитации водных объектов, загрязненных в результате аварийных сбросов нефтепродуктами, с использованием биоминерального комплекса;

- математическая модель и расчетно-программный комплекс для определения необходимого количества БМК и места развертывания сил гражданской обороны для ликвидации последствий аварий, связанных с поступлением нефтепродуктов в речной поток.

**Реализация результатов работы.** Результаты исследований включены в перспективный план научно-исследовательских и конструкторских работ системы ЧС Свердловской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» на 2007–2008 г.г.

**Апробация работы.** Материалы диссертации докладывались на IV научно-технической конференции «Молодые ученые транспорту» г. Екатеринбург, 2003 г.; Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» г. Екатеринбург, 2003 г.; VI Международном конгрессе «Вода: экология и технология» Экватэк–2004 г. Москва 2004 г.; V научно-технической конференции «Молодые ученые

транспорту» г. Екатеринбург 2004 г.; VIII международном симпозиуме и выставке «Чистая вода России–2005» г. Екатеринбург, 2005 г.; Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Молодые исследователи – регионам» г. Вологда, 2005 г.; VII Международном конгрессе «Вода: экология и технология» Экватэк–2006 г. Москва 2006 г.

**Публикации:** по теме диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 6 статей из них 1 опубликована в журнале, рекомендованном ВАК для публикаций результатов диссертации, 4 тезиса докладов конференций, 1 отчет о НИР, общим объемом 9,16 п.л., из них авторские 5,96 п.л.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, перечня цитируемой литературы, включающего 141 источник. Работа изложена на 142 страницах печатного текста, содержит 39 рисунков, 45 таблиц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** раскрывается актуальность проблемы, обосновывается необходимость разработки способа реабилитации водных объектов, загрязненных в результате аварийных сбросов растворенными нефтепродуктами; определяются цель и задачи исследования.

**Глава 1 Методы очистки природных вод, загрязненных нефтепродуктами в результате техногенных аварий** представляет собой обзор литературы, в котором рассмотрены основные источники и причины аварийного загрязнения поверхностных водных объектов нефтепродуктами и влияние последних на водные экосистемы; рассмотрены существующие способы ликвидации последствий аварий. На основании анализа литературных данных можно сформулировать следующие выводы:

1. Наиболее эффективный метод очистки водных объектов от нефтепродуктов – сорбционный. Он обеспечивает высокое качество очищенной воды при сравнительно малом времени извлечения технологического продукта из водной среды. Для повышения эффективности на сорбентах иммобилизуется

нефтеразрушающая бактериальная микрофлора.

2. Большинство технологий по реабилитации водных объектов с использованием сорбентов и биосорбентов разрабатывается для удаления основной массы нефтепродуктов с поверхности воды, что не решает проблему реабилитации водных потоков, загрязненных нефтепродуктами в концентрациях, близких к пределу их растворимости.

Глава 2 Исследование процессов трансформации нефтепродуктов в поверхностных водных объектах является обзором литературных источников, в котором приведены сведения о химическом составе, свойствах и миграционных формах нефти и нефтепродуктов; в главе представлены результаты собственных исследований растворимости нефтепродуктов, которые использовались в модельных опытах по определению сорбционной емкости и нефтеокисляющей способности активной биомассы, в зависимости от времени их пребывания в воде и исходного объема. Глава содержит методики проведения экспериментов. Анализ литературных источников и результатов собственных исследований позволил сделать следующие выводы:

1. При поступлении в водный объект происходит перераспределение основных форм миграции нефтепродуктов, которые могут находиться в пленочном, капельном, коллоидном, эмульгированном и растворенном состояниях.

2. Из миграционных форм нефтепродуктов наибольшую токсикологическую опасность для водных экосистем представляет водорастворимая фракция, состоящая на 90 % из ароматических углеводородов. В зависимости от состава нефти и нефтепродуктов и времени контакта с водой их водорастворимая фракция (растворенная и эмульгированная) обнаруживается в воде в концентрациях 0,5–40 мг/дм<sup>3</sup>.

3. Даже при условии применения эффективных методов сбора нефтепродуктов с поверхности водного объекта и учета эффекта, достигаемого от процессов самоочищения, происходящих в водоеме, концентрация нефтепродуктов в водных объектах, по сравнению с предельно-допустимой, остается высокой.

Это указывает на необходимость применения технологий, обеспечивающих реабилитацию водных объектов, загрязненных растворенными нефтепродуктами.

**Глава 3 Концепция технологии реабилитации водных объектов, загрязненных нефтепродуктами, и обоснование выбора сорбента для ее реализации.** Предложена концепция восстановления качества поверхностных водных объектов, загрязненных в результате аварийного поступления в них нефтепродуктами; представлены исследования по выбору сорбента-носителя нефтеокисляющей микрофлоры. Глава содержит методики проведения экспериментов.

Концепция реабилитации водных объектов, загрязненных нефтепродуктами, предусматривает технологию, осуществляемую в три этапа. Первый этап – удаление с поверхности воды плавающих нефтепродуктов, задержанных бонами. Второй – доочистка водной массы от нефтепродуктов, находящихся в растворенном или коллоидном состояниях, природными минеральными сорбентами с удельным весом более  $1000 \text{ кг/м}^3$  и гидравлической крупностью в пределах  $0,15\text{--}0,6 \text{ мм/с}$ . Третий – деструкция нефтепродуктов иммобилизованной на сорбенте нефтеразрушающей биомассой. Это предотвращает вторичное загрязнение водного объекта нефтепродуктами, осевшими вместе с сорбентом на дно водоема, а также позволяет исключить технологический процесс извлечения сорбента из водного объекта после его использования. Учитывая поэтапность процесса очистки воды от растворенных нефтепродуктов, которая заключается в разделении функции сорбента и биомассы, предложена замена термина «биосорбент» на «биоминеральный комплекс» (БМК).

Анализ результатов собственных исследований, а также данных литературных источников позволил рекомендовать в качестве сорбента-носителя нефтеокисляющей биомассы природный ионообменный минерал – опоку, имеющую развитую поверхность ( $50\text{--}63 \text{ м}^2/\text{г}$ ) и удельный вес, обеспечивающий ей контакт с сорбатом не менее 15 мин.

Результаты испытания образцов опок Сухоложского месторождения (Свердловская область) показали, что они удовлетворяют требованиям, предъявляемым к сорбентам по механической прочности и химической стойкости, имеют достаточно высокую пористость 22–29 % и плотность в пределах  $1,65 \text{ г/см}^3$ . Химический состав опоки представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав (%) опоки

Состав, %					
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O
82,80	6,60	4,95	0,78	1,18	—

Исследования по определению сорбционной емкости проводились с опоккой крупностью 0,1–0,25 мм: глубокого залегания – трепел темно-серого цвета; выветрелой породой белого цвета (по массе легче серой); серой опоккой, модифицированной путем прокаливания при температурах 300 °С и 600 °С. Для изучения сорбционных процессов использовался метод построения изотерм (рисунок 1).

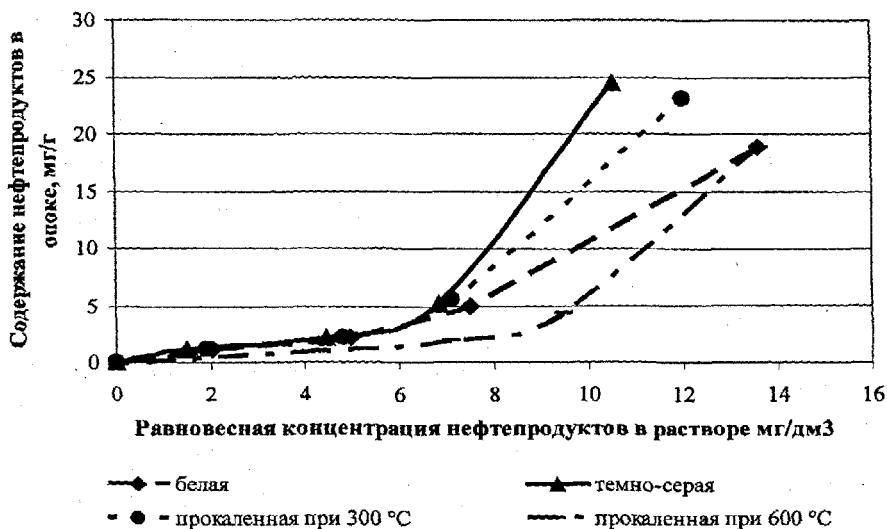


Рисунок 1. Изотермы сорбции нефтепродуктов опоккой

Вогнутый характер кривой указывает на слабое межмолекулярное взаимодействие сорбента с сорбатом и на физический характер сорбции. Это может способствовать быстрой деструкции нефтепродуктов, адсорбированных опоккой, иммобилизованной на ней биомассой, т.к. нефтепродукты не вступают в химическое взаимодействие с веществом сорбента и микрофлора легко может использовать их в качестве питательного субстрата.

Установлено, что сорбция нефтепродуктов всеми образцами опок в диапазоне малых концентраций описывается уравнениями прямой (1), т.е. соответствует изотерме Генри:

$$C_o = \Gamma \cdot C_b, \quad (1)$$

где  $C_o$  – содержание нефтепродуктов в опоке, мг/г;

$\Gamma$  – коэффициент распределения (постоянная Генри),  $\text{дм}^3/\text{г}$  (таблица 2);

$C_b$  – концентрация нефтепродуктов в растворе,  $\text{мг}/\text{дм}^3$ ;

а в области больших концентраций описывается изотермами параболического вида:

$$C_o = k \cdot C_b^{\frac{1}{n}}, \quad (2)$$

где  $\frac{1}{n}$  – коэффициент нелинейности;

$k$  – константа, характеризующая прочность связи сорбата и сорбента.

Параметры, характеризующие процесс сорбции растворенных нефтепродуктов исследуемыми образцами опок, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры, характеризующие процесс сорбции нефтепродуктов ( $t = 20 \pm 1^\circ\text{C}$ )

Опока	$\Gamma, \text{дм}^3/\text{г}$	$\frac{1}{n}$	$n$	$k$	Коэффициент корреляции (r) в уравнении	
					(1)	(2)
белая	0,453	2,21	0,453	0,060	0,99	0,99
темно-серая	0,529	3,38	0,296	0,009	0,98	0,99
прокаленная при 300 °С	0,473	2,69	0,372	0,029	0,99	0,99
прокаленная при 600 °С	0,261	3,85	0,260	0,001	0,99	0,99

Полученные результаты позволили рекомендовать для дальнейших исследований не модифицированную темно-серую опоку, поскольку она обладает высокой сорбционной емкостью (более 24,6 мг/г в статических условиях и 134мг/г – в динамических), наибольшей механической прочностью и не требует дополнительной обработки.

Нефтеразрушающая бактериальная микрофлора для иммобилизации на сорбенте выращивалась в лабораторных условиях в аэротенке, работающем на хозяйственных сточных водах, содержащих растворенные нефтепродукты в концентрациях 20–28 мг/дм<sup>3</sup>. Состав биомассы: бактерии рода *Pseudomonas* (76,9 %), *Mycobacterium* (5,7 %), *Bacillus* (5,7 %), *Sarcina* (2,4 %), *Actinomyces* (5 %), *Flavobacterium* (4,3 %). Показателем активности нефтеразрушающей биомассы являлось снижение концентрации нефтепродуктов в воде аэротенка на 60–75 % за сутки.

**Глава 4 Иммобилизация активной биомассы на опоке.** В главе рассмотрена технология создания биоминерального комплекса, т.е. напесение и консервация на опоке нефтеокисляющей биомассы; исследовано изменение сорбционной способности опоки после иммобилизации на ней активной биомассы. Выполнена оценка условий консервации БМК. Проведены исследования характера и скорости протекания процесса деструкции адсорбированных нефтепродуктов в условиях лабораторного моделирования и речного дна, а также определены факторы водной среды, наиболее существенно влияющие на этот процесс.

Для производства БМК предложена технология наращивания активной биомассы на опоке, предварительно насыщенной нефтепродуктами и затаренной в мешковину, путем ее экспозиции в течение 3 суток в аэротенке, работающем на хозяйственных сточных водах, содержащих нефтепродукты в концентрациях 15–25 мг/дм<sup>3</sup>.

В результате лабораторного эксперимента установлено, что сорбционная емкость опоки после закрепления на ее поверхности биомассы превышает ем-

кость сорбента без таковой и составляет в статических условиях – более 30,5 мг/г, в динамических – 189 мг/г. Это указывает на возможность повышения эффективности использования опоки для доочистки водной среды с низкой концентрацией растворенных нефтепродуктов за счет иммобилизации на ее поверхности нефтеразрушающей микрофлоры.

Исследование условий консервации БМК показало, что после четырехмесячного хранения при температуре 5–18 °С и влажности воздуха 60–65 % в сухом состоянии в бумажных мешках через 10 суток экспозиции БМК способен очистить стандартный раствор нефтепродуктов с концентрацией 30 мг/дм<sup>3</sup> на 98%. Это свидетельствует о восстановлении в достаточно короткий срок жизнедеятельности законсервированной микрофлоры.

Многовариантность зависимостей динамики процесса деструкции нефтепродуктов от различных факторов водной среды не позволяет достоверно оценить важность для процесса какого-либо из них в условиях речного дна. Поэтому основные исследования по оценке динамики деструкции нефтепродуктов, адсорбированных биоминеральным комплексом, и факторов, влияющих на нее, выполнялись в лабораторных условиях. Опыты проводились при изменении двух параметров, наиболее существенно влияющих на процесс деструкции – температуры воды, характерной для природных водотоков в различные периоды года (4,5–25 °С), и растворенного в воде кислорода (2,54–9,76 мг/дм<sup>3</sup>). Опыты проводились при наличии контроля – опоки без нефтеокисляющей микрофлоры.

Результаты исследований показали, что на процесс деструкции нефтепродуктов иммобилизованной на опоке микрофлорой в большей степени влияет температурный фактор, чем концентрация кислорода в воде в изученных границах (2,54–9,76 мг/дм<sup>3</sup>). При увеличении температуры (4,5–25 °С) скорость деструкции возрастает. При 25 °С полное разложение нефтепродуктов, задержанных БМК, происходит за 8 суток (рисунки 2–5). В контроле максимальное снижение содержания нефтепродуктов при тех же параметрах среды за тот же период времени составило 64,7 %.

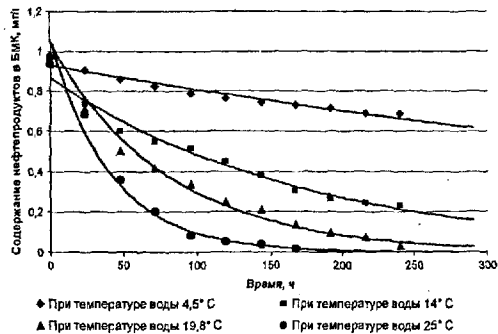


Рисунок 2. Динамика снижения концентрации нефтепродуктов в БМК в зависимости от температуры воды

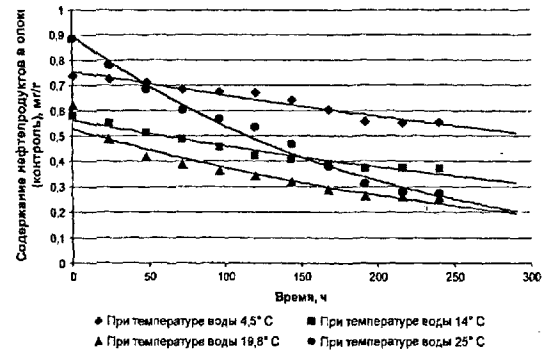


Рисунок 3. Динамика снижения концентрации нефтепродуктов в контроле в зависимости от температуры воды

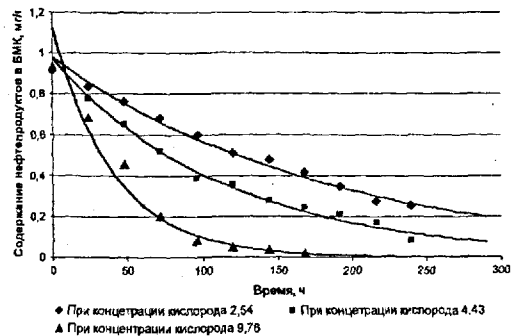


Рисунок 4. Динамика снижения концентрации нефтепродуктов в БМК в зависимости от концентрации кислорода в воде

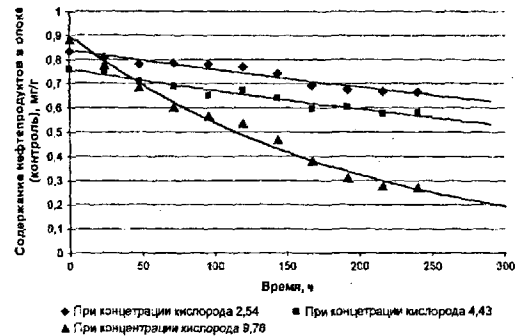


Рисунок 5. Динамика снижения концентрации нефтепродуктов в контроле в зависимости от концентрации кислорода в воде

Данные, представленные на рисунках 2 и 4, показывают, что зависимость между массой нефтепродуктов, адсорбированных БМК, и временем их деструкции носит экспоненциальный характер. Основываясь на результатах экспериментов, было получено уравнение, описывающее зависимости динамики процесса деструкции нефтепродуктов, адсорбированных БМК, от температуры воды и концентрации кислорода:

$$C = 1 - \exp(c\tau), \quad (3)$$

где  $C$  – степень окисления, %;

$\tau$  – время, ч;

$c$  – коэффициент, зависящий от температуры и концентрации кислорода, ч<sup>-1</sup>.

Экспериментально установлено, что при одном и том же времени деструкции, степень окисления нефтепродуктов биомассой БМК зависит от температуры воды и концентрации кислорода линейно. В этом случае коэффициент « $c$ » будет иметь вид:

$$c = c_1 + c_2 \cdot t + c_3 \cdot C_{O_2}, \quad (4)$$

где  $c_1$  (ч<sup>-1</sup>),  $c_2$  (ч<sup>-1</sup>·°C<sup>-1</sup>),  $c_3$  ( $\frac{\text{дм}^3}{\text{ч} \cdot \text{мг}}$ ) – параметры функции – константы;

$t$  – температура воды, °C;

$C_{O_2}$  – концентрация кислорода в воде, мг/дм<sup>3</sup>.

Методами нелинейной регрессии и наименьших квадратов, с использованием ПЭВМ были подобраны коэффициенты функции. Формула (3) принимает окончательный вид:

$$C = 1 - \exp((0,015209 - 0,000712 \cdot t - 0,001407 \cdot C_{O_2}) \cdot \tau) \quad (5)$$

Модель описывает динамику процесса деструкции нефтепродуктов, адсорбированных БМК, при заданной температуре воды и концентрации кислорода в ней с достоверностью 97 %.

Автором была исследована эффективность применения БМК в природных условиях. Опыты проводились на участке р. Исеть в период летней межени. Анализ результатов позволяет отметить, что процесс деструкции нефтепродуктов, адсорбированных БМК, в условиях дна природного водотока протекал не-

сколькo медленнее, чем в лабораторных условиях. Это можно объяснить наличием в воде мешающих факторов (нестабильность температуры воды, уровня растворенного кислорода, присутствие поллютантов различной природы) для жизнедеятельности активной биомассы. За 12 суток содержание нефтепродуктов в БМК снизилось на 96 %, в то же время в контрольном образце (опоке, не иммобилизованной микрофлорой), – на 36,7 % (рисунок 6).

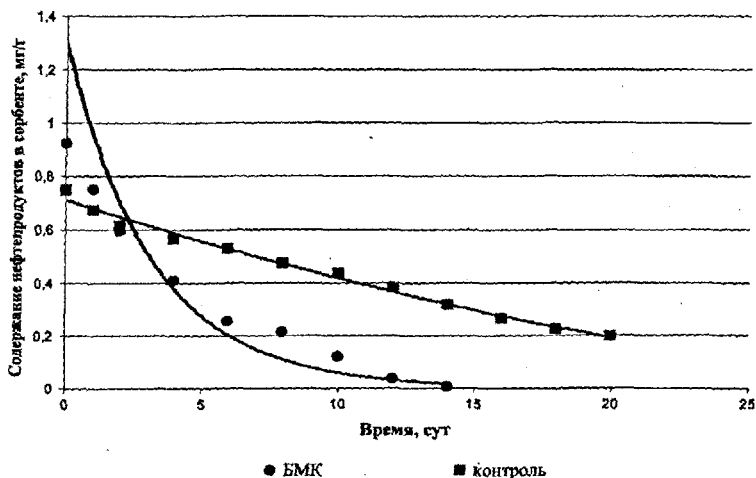


Рисунок 6. Динамика деструкции нефтепродуктов на сорбентах в условиях речного дна

Результаты исследований позволяют отметить высокую эффективность применения биоминерального комплекса в технологиях реабилитации водотоков, загрязненных растворенными нефтепродуктами. Биомасса хорошо окисляет нефтепродукты, адсорбированные БМК, в различных условиях, характерных для природных водотоков.

**Глава 5 Использование биоминерального комплекса в технологии ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов.** На основании полученных результатов исследований динамики деструкции нефтепродуктов, адсорбированных биоминеральным комплексом в условиях природного водотока ав-

тором разработана технология ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов с использованием БМК и предложен расчетно-программный комплекс определения места развертывания сил гражданской обороны для ликвидации последствий аварий.

Согласно предложенной концепции ликвидацию последствий аварийного разлива нефтепродуктов необходимо осуществлять в следующей последовательности. На первом этапе проводится локализация разлившейся нефти или нефтепродуктов боными различной конструкции и удаление основного количества разлитой нефти путем засасывания верхнего слоя воды вместе с пленкой нефти из водоема и откачки в специальную емкость, цистерны, действующий нефтепровод (рисунок 7).

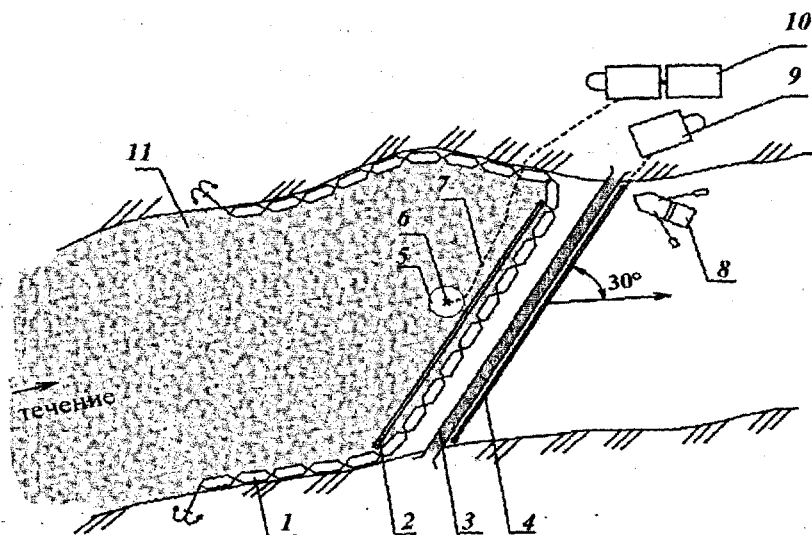


Рисунок 7. Технологическая схема ликвидации последствий аварийного разлива нефтепродуктов на водотоке

- 1 – плавающие боновые заграждения; 2 – нефтесборная труба; 3 – перекидной мост; 4 – напорный трубопровод ввода БМК; 5 – нефтесборная емкость; 6 – погружной насос; 7 – шланг; 8 – лодка; 9 – авторастворосмеситель; 10 – автоцистерна с прицепом – цистерной; 11 – нефтезагрязнение

Одновременно с локализацией нефтезагрязнения в толщу воды вводится БМК через полиэтиленовую трубу диаметром 50–100 мм и отверстиями 25мм, расположенными через каждые 0,5 м (рисунок 7). БМК предварительно смешивается с водой для получения пульпы влажностью 90–95 %. Попадая в водоток, биоминеральный комплекс оседает на дно в течение 15–30 мин в зависимости от глубины участка, сорбируя растворенные нефтепродукты. При достижении благоприятных условий в водной среде (температура, pH, наличие растворенного кислорода) микрофлора сорбента трансформирует нефтепродукты в органическое вещество собственной биомассы, углекислый газ и другие безвредные для окружающей среды вещества. При этом общая степень очистки водотока от нефтепродуктов может составить 96–100%.

При ликвидации нефтяного загрязнения, решающее значение имеет фактор времени. В этом смысле эффективным могло бы явиться создание на водных объектах сети опорных реабилитационных пунктов (ОРП). Цель их создания: обеспечение беспрепятственного подъезда спецтехники в случаях возникновения аварийных ситуаций, связанных с попаданием в водный объект различного рода загрязнений; обеспечение оптимальных условий для развертывания оборудования, используемого при ликвидации аварий. Выполнение первого требования может быть достигнуто созданием подъездных путей с грунтовым или щебеночным покрытием. Второе достигается путем установки анкерных креплений по берегам водотока для быстрой установки навесных мостов, сооружений и оборудования.

Кроме того, необходима разработка информационной базы, содержащей данные о гидрологических и морфометрических параметрах водного объекта в районе ОРП. Это позволит в случае возникновения ЧС оперативно сообщать аварийно-спасательной бригаде о том, где произошла авария, какие технические средства и оборудование необходимы, на какой из ОРП бригада должна прибыть, чтобы при конкретных условиях аварийной ситуации и параметрах водного объекта успеть доставить и развернуть технические средства и оборудование для ликвидации последствий аварии.

Все эти расчеты достаточно сложны и трудоемки и в условиях форс-

мажора их сложно выполнить быстро и правильно. Поэтому для их реализации предложен расчетно-программный комплекс, реализованный на базе рабочей книги Microsoft Excel. В качестве исходных данных для расчетов выступают: основные параметры водного объекта (глубина, ширина, скорость течения, расход воды) и аварийного сброса (объем сброса и его продолжительность); информация о расстоянии от места сброса до места ликвидации загрязнения, температуре воды, концентрации растворенного кислорода и т.д.

В состав системы входит ряд справочников, которые позволяют определить дополнительные параметры, необходимые для расчета: коэффициент шероховатости, продольной дисперсии, смешения, скорости самоочищения; значение предельно-допустимой концентрации и т.д. Эти коэффициенты определяются либо автоматически, либо вручную с помощью приведенных справочников.

Результатом расчета является значение максимальной концентрации нефтепродуктов в районе проведения ликвидационных мероприятий, степень очистки воды, которую можно достигнуть и необходимое для этого количество БМК; время (в часах, начиная от времени начала аварии) начала и окончания применения БМК, интенсивность подачи сорбента в воду (кг/мин), а также примерное время (в сутках), необходимое для достижения степени регенерации БМК 90–99 %.

Описанная система проста в применении, результаты расчетов выдаются сразу после ввода исходных данных, что позволяет пользователю контролировать правильность ввода информации. Исходная информация и результаты расчетов могут быть распечатаны на принтере непосредственно из среды MS Excel.

Ниже приведена таблица для печати, выдаваемая предложенной расчетной системой для условного аварийного разлива нефтепродуктов, произошедшего в 1 км от г. Ревда на р. Чусовая в результате аварии на железнодорожном транспорте (таблица 3). На рисунке 8 представлена зависимость, построенная расчетно-программным комплексом на основе математической модели. Она показывает за какой период времени будет достигнута определенная степень

деструкции нефтепродуктов, адсорбированных БМК, при заданных параметрах водной среды.

Таблица 3

Исходные данные и результаты расчетов

Исходные данные для расчета

Водный объект:	Чусовая	
Длина расчетного участка L, км:		5
Средняя глубина Н, м		1,5
Средняя ширина участка В, м		12
Температура воды, Тв, °С		18
Средняя скорость течения реки на расчетном участке, vt, м/с:		0,4
Расход воды на расчетном участке Q м3/с		2,6
Название загрязняющего вещества:	нефтепродукты	
Объем аварийного сброса, W, м3:		55
Время аварийного сброса, t0, час		1,31
Плотность ХОВ в аварийном сбросе, ρ, кг/м3		800

Дополнительная информация и коэффициенты

Коэффициент шероховатости, пш	0,025
Коэффициент продольной дисперсии Dп, м	3,6
Коэффициент смешения j:	0,8
Концентрация ХОВ в аварийном сбросе Св, мг/л	800
Коэффициент скорости самоочищения ХОВ, К, 1/сут	0,2
ПДК ХОВ, мг/л	0,05
Концентрация растворенного кислорода в воде, мг/л, Сo2	10,15
Коэффициент, учитывающий испарение ХОВ в начальный период смешивания с водой, Y	1
Коэффициент соотношения экстремально высокой концентрации и ПДК	10
Коэффициент соотношения концентрации сорбента и ХОВ, А	25,000

Расчитанные величины

Время добегания воды от места аварии до заданного створа, tд, час	3,472
Время наступления максимальной концентрации, tmax, час	4,127
Расход ХОВ, q м3/с	0,012
Параметр Ψ	0,006
Коэффициент продольной дисперсии (фактический) D, м2/с	1,440
Параметр Z	0,776
Параметр Θ	1,000
Параметр ε	0,971
Степень очистки, которую необходимо достигнуть, %	98,846

Результаты расчетов

Максимальная концентрация ХОВ, Сmax мг/л	4,333
Значение высокой или экстремально высокой концентрации ХОВ Свз, мг/л	0,600
Продолжительность прохождения опасных концентраций ХОВ Dtз, час	2,057
Время прохождения фронта зоны загрязнения tf, час	3,099
Время прохождения хвоста зоны загрязнения, tx, час	5,156
Объем воды, на который придется опасная конц. загрязнения, V, м3	53 328,29
Общее количество БМК, кг	5 777,22
Расход БМК, кг/мин	46,80

21.07.2006 9:56

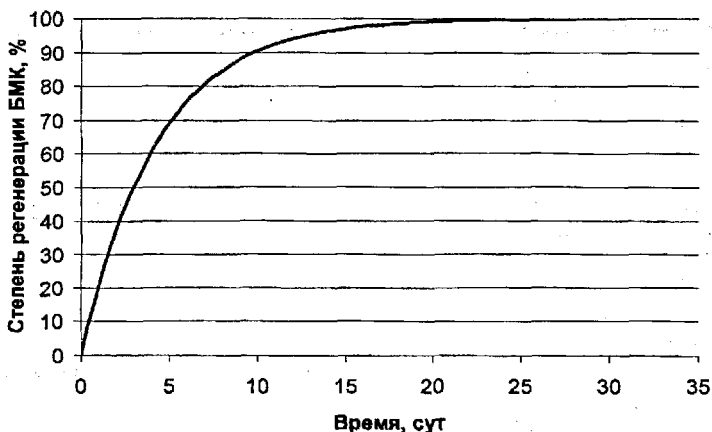


Рисунок 8. Биодеструкция нефтепродуктов на БМК (по данным расчетов)

Предложенный расчетно-программный комплекс с использованием ПЭВМ может быть внедрен в организациях, занимающихся вопросами ликвидации чрезвычайных ситуаций.

В ходе работы автором проведена оценка эколого-экономической эффективности применения технологической схемы, представленной на рисунке 7. Результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4

Эколого-экономические показатели

№	Затраты	Ед. изм.	Величина показателей
1	Капитальные затраты <sup>1</sup>	тыс. руб.	401,4
2	Эксплуатационные затраты	тыс. руб./год	100,4
3	Предотвращенный экологический ущерб	тыс. руб.	242,4
4	Эколого-экономическая эффективность капитальных затрат		0,78
5	Срок окупаемости капитальных затрат	год	1,28

<sup>1</sup> – капитальные затраты на создание системы ликвидации последствий аварийных разливов нефтепродуктов на водных объектах рассчитаны с учетом ее формирования на базе уже существующей службы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе решается важная народнохозяйственная проблема реабилитации поверхностных водных объектов, загрязненных растворенными нефтепродуктами в результате аварийных сбросов, с помощью биоминерального комплекса, совмещающего быстрое и эффективное изъятие растворенных нефтепродуктов природными сорбционными материалами и деструкцию адсорбированных нефтепродуктов нефтеокисляющей микрофлорой. Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. На основании выполненных исследований предложена концепция реабилитации водных объектов, загрязненных в результате аварийного поступления в них нефтепродуктами. Она содержит описание технологии, осуществляемой в три этапа.

2. Выполнены собственные исследования и анализ литературных источников, которые позволили рекомендовать в качестве носителя нефтеокисляющей биомассы опоку, имеющую развитую поверхность и удельный вес, обеспечивающий ей медленное погружение в водной среде. Изучены сорбционные и другие физико-химические свойства опок (обычных и модифицированных).

3. Для производства биоминерального комплекса (БМК) предложена технология наращивания и сохранения в течение длительного срока на сорбенте биомассы, способной в определенных условиях переходить к активной жизнедеятельности, т.е. размножаться, используя при этом адсорбированные нефтепродукты в качестве питательного субстрата.

4. Изучена динамика процесса деструкции нефтепродуктов, адсорбированных БМК, иммобилизованной биомассой. Исследования позволяют отметить высокую эффективность применения биоминерального комплекса в технологиях реабилитации водотоков, загрязненных растворенными нефтепродуктами.

5. Предложена технология и оборудование для использования БМК при ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов на водотоках и расчетно-программный комплекс на базе ПЭВМ для определения места развертывания сил ГО и ЧС для перехвата и ликвидации последствий аварий.

6. Выполненные расчеты эколого-экономической эффективности показали,

что предлагаемая технология является выгодным природоохранным мероприятием. Срок ее окупаемости – 1,28 года.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Харисова К.Р. Проблема загрязнения водных объектов нефтепродуктами при чрезвычайных ситуациях на железнодорожном транспорте // Молодые ученые – транспорту: Материалы IV научн. техн. конф. – Екатеринбург, 2003. – С. 328–333.
2. Асонов А.М., Харисова К.Р. Реабилитация водоемных объектов, загрязненных нефтепродуктами в результате аварий на транспорте // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Материалы Всероссийской научн. техн. конф. – Екатеринбург, 2003. – Т. 2. – С. 166–174.
3. Асонов А.М., Харисова К.Р. Глубокая доочистка водных объектов, загрязненных нефтью и нефтепродуктами в результате техногенных аварий // Экватек-2004: Материалы шестого международного конгресса. – М., 2004. – Ч. 1. – С. 316–317.
4. Асонов А.М., Харисова К.Р. Анализ поведения нефтепродуктов в водном объекте // Молодые ученые – транспорту: Материалы V межвузовской научн. техн. конф. – Екатеринбург, 2004. – Ч. 1. – С. 273–277.
5. Волкова К.Р., Асонов А.М. Использование биотехнологий при восстановлении качества водных объектов, загрязненных нефтепродуктами // Молодые ученые – транспорту: Материалы V межвузовской научн. техн. конф. – Екатеринбург, 2005 – Ч. 2. – С. 325–334.
6. Асонов А.М., Волкова К.Р. Доочистка водных объектов, загрязненных нефтепродуктами в результате техногенных аварий // Чистая вода России – 2005: Тез. докл. восьмого междунар. симп. – Екатеринбург, 2005. – С. 157–158.
7. Волкова К.Р. Исследование поведения нефтепродуктов в водном объекте // Молодые исследователи – регионам: Тез. докл. Всероссийской научн. техн. конф. – Вологда, 2005. – Ч. 1. – С. 197–199.
8. Волкова К.Р., Асонов А.М. К вопросу использования природных сорбентов в технологиях реабилитации водотоков // Молодые ученые – транспорту: Материалы VI межвузовской научн. техн. конф. – Екатеринбург, 2005. – С. 449–454.

9. Асонов А.М., Волкова К.Р. Деструкция нефтепродуктов, адсорбированных биоминеральным комплексом, в условиях речного дна // Экватэк-2006: Материалы седьмого международного конгресса. – М., 2006. – Ч. 1. – С. 359–360.
10. Волкова К.Р., Асонов А.М. Влияние физико-химических параметров водного объекта на скорость биоокисления нефтепродуктов, адсорбированных биоминеральным комплексом // Водное хозяйство России. – Екатеринбург, 2006. – № 3. – С. 74–85.
11. Асонов А.М., Волкова К.Р. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: «Восстановление качества поверхностных вод, загрязненных в результате аварийных сбросов растворенными нефтепродуктами», рег. № 01.200.501.172, 2006 г. – 89 с.

ВОЛКОВА КСЕНИЯ РИФОВНА

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД, ЗАГРЯЗНЕННЫХ  
В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИЙНЫХ СБРОСОВ РАСТВОРЕННЫМИ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 25.00.36 – Геозкология

---

Подписано к печати 27.07.06

Объем 1,4 усл. п.л.

Формат бумаги 60X84 1/16

Тираж 100 экз.

Заказ 233

---

Типография УрГУПС, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66

