

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ АКВАТОРИЙ СОРБЦИОННО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Виктор Карлович Григорьев, канд. техн. наук, доц.

E-mail: grigoriev@mirea.ru

http://www.mirea.ru

Анатолий Анатольевич Антонов, программист

E-mail: antonov@mirea.ru

*Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и
автоматики МГТУ МИРЭА*

https://www.mirea.ru

В статье рассматривается математическая модель для исследования процесса аварийного разлива нефти в водной среде. Описывается базирующийся на этой модели и разработанный авторами программный комплекс. Рассматриваются возможности комплекса по моделированию процессов очистки нефтяного пятна в прибрежной зоне с помощью биодеструкторов углеводородов. Дается графическое представление результатов моделирования распространения и очистки прибрежных зон от углеводородных загрязнителей.

Ключевые слова: Прибрежная зона, распространение углеводородов в водной среде, математическая модель, штаммы деструкторов углеводородов, программный комплекс моделирования, аварийный разлив нефти



В.К. Григорьев

Введение

Эффективные действия по ликвидации аварий и обоснованные профилактические работы по предотвращению аварий предполагают детальное изучение процессов, протекающих при загрязнении морских прибрежных зон в результате техногенных катастроф (разлива нефтепродуктов) и влияния на эти процессы различных управленческих решений. Одним из наиболее адекватных методов изучения аварий является метод математического моделирования.

Современные мощные компьютеры обеспечивают возможности детального математического моделирования сложных химико-биологических процессов, базовые программные средства (такие как СУБД, Графические среды и т.п.) дают возможность обработки и визуализации больших и сложных структур данных в реальном масштабе времени, а во многих случаях и с многократным ускорением. В настоящее время особое значение приобретает удобство использования (usability) компьютерных средств поддержки научных исследований и технологических процессов в различных областях человеческой деятельности, в частности, в экологии.

Причем программная реализация таких методов в виде моделирующей системы позволяет не только анализировать численные характеристики параметров аварий при ее различном течении в зависимости от внешних воздействий. При надлежащем интерфейсе, такая система может использоваться при обучении сотрудников различных служб, участвующих в мероприятиях по предотвращению, локализации и ликвидации последствий аварий [1].

В статье рассматривается программный комплекс для исследования процессов распространения нефтепродуктов и микроорганизмов-деструкторов углеводородов в водной



А.А. Антонов

среде и анализа технологических параметров процесса очистки акваторий сорбционно-микробиологическим методом. Этот программный комплекс поддерживает исследования, направленные на восстановление природных регуляторных связей в различных природных экосистемах, нарушенных вследствие всевозрастающего техногенного воздействия общества. Накоплен обширный материал, свидетельствующий о том, что нарастающие количества загрязнений окружающей среды приводят к нарушению естественных биоценозов, обеднению количественного и качественного состава микрофлоры, ухудшению физических свойств воды и почв. Это, в свою очередь, резко снижает индекс биоразнообразия и ухудшает экологическую ситуацию в районах, подверженных техногенному воздействию. В последние годы интерес к фундаментальному исследованию процессов биологической реабилитации окружающей среды, загрязненной ксенобиотиками, в частности, нефтью и нефтепродуктами, заметно возрос. Однако, несмотря на достаточное количество публикаций, посвященных решению этой задачи, они часто имеют рекламный характер, в них отсутствует системный комплексный подход, предусматривающий восстановление природных биоценозов, базирующийся на изучении процессов, закономерностей и механизмов их саморегуляции.

Математическая модель процесса распространения загрязняющих веществ в водоеме

Основываясь на результатах работы [2] отнесем к значимым параметрам оценки экологических последствий аварии или залповых сбросов загрязнителей концентрацию самого загрязнителя, потребление кислорода, а также концентрация растворенного кислорода.

На распространение культуры, попавшей в прибрежную полосу, существенное влияние оказывают следующие факторы:

- форма водоема;
- местоположение в водоеме створа слива поллютантов;
- наличие станций аэрации;
- наличие течений в водоеме.

Математическая модель процесса распространения загрязняющих веществ в водоеме расширяет функциональные возможности модели, описанной в работе [2] на произвольный тип загрязняющих веществ. Она учитывает такие процессы, как: аллювиальные отложения поллюантов, распространение поллюантов в виде пленки на поверхности водоема, а также добавляет процессы реарации, респирации и фотосинтеза кислорода.

Задача распространения загрязнения при залповых выбросах в водоеме, математически описывается совокупностью систем дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа, для которых решается задача Дирихле и обыкновенных дифференциальных уравнений, для которых решается задача Коши, а ее решение определяется суперпозицией их решений.

$$\nabla^2 C(r,t) - \frac{\partial C(r,t)}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

где ∇ – лапласиан;

C – концентрация нефтепродуктов в точке r в момент времени t ;

r – 3-мерный вектор;

t – текущее время.

С учетом течений уравнение (1) трансформируется в уравнение (2):

$$\frac{\partial C(r,t)}{\partial t} = D\nabla C(r,t) + V\Delta C(r,t), \quad (2)$$

где Δ – оператор набла;

D – коэффициент диффузии;

V – скорость течения для кислорода.

В основе учета микроорганизмов-деструкторов (с точки зрения потребления нефтепродуктов), основанных на теоретических и экспериментальных исследованиях в области восстановления природных биоценозов, лежит теоретическая концепция и базирующиеся на ней новые научно-методические подходы к решению ряда актуальных проблем экологии. В основе их лежат разработки по изучению процессов биовосстановления объектов окружающей среды и математическому моделированию этих процессов. Скрининг штаммов-деструкторов углеводов из почв разных типов и природно-климатических зон позволяет отобрать, изучить и идентифицировать штаммы, активно окисляющие различные классы ксенобиотиков, в том числе, углеводов и исследовать динамику численности микроорганизмов разных физиологических групп, их взаимное влияние в биоценозах [3].

Поскольку микробы-деструкторы чрезвычайно чувствительны к метеорологическим условиям и химическому составу среды, учет последних становится необходимым элементом математического моделирования.

В систему вводится уравнение (3) для кислорода с добавлением возможности респирации, реэрации и фотосинтеза и совокупность уравнений учета микроорганизмов

$$\frac{\partial O_2(r,t)}{\partial t} = \nabla O_2(r,t) + V \Delta O_2(r,t) + K_p (O_2^{100\%} - O_2) + \frac{K_\phi}{h}, \quad (3)$$

где O_2 – содержание кислорода в точке r в момент времени t ;

K_p – коэффициент респирации/реэрации;

K_ϕ – коэффициент фотосинтеза.

Учет биологических микроорганизмов (с точки зрения потребления кислорода) дополнительно вносит в систему следующую совокупность уравнений:

$$C(r,t) = F_n(B(r,t), C(r,t)), \quad (4)$$

где B – концентрация деструкторов в точке r в момент времени t с учетом процессов роста и смерти;

F_n – функция потребления деструкторами углеводов в точке r в момент времени t .

Пользуясь методом расслоения физических процессов, на одном шаге расчета будем отдельно решать краевую задачу для диффузии, для течения и отдельно для процессов фотосинтеза, респирации и реэрации. Задача последовательно решается для одного загрязнителя, а общее решение получается суперпозицией решений по отдельным загрязнителям. Отдельно решается задача по кислороду с учетом потребления кислорода загрязняющими веществами.

Перейдем к описанию разностных схем, используемых при аппроксимации совокупности систем дифференциальных уравнений.

Решение уравнения диффузии основывается на явной шеститочечной разностной схеме:

$$\frac{C_i^{n+1} - C_i^n}{\tau} - D_i^n \frac{C_{i+1}^n - 2C_i^n + C_{i-1}^n}{h^2} = 0,$$

где τ – шаг по времени;

h – шаг по пространственной координате.

Решение уравнения переноса основывается на разностной схеме «ориентированный уголок»:

$$\begin{cases} \frac{C_i^{n+1} - C_i^n}{\tau} + V_i^n \frac{C_i^n - C_{i-1}^n}{h} = 0, & V_i^n \geq 0 \\ \frac{C_i^{n+1} - C_i^n}{\tau} + V_i^n \frac{C_{i+1}^n - C_i^n}{h} = 0, & V_i^n < 0 \end{cases}$$

Решение уравнения реэрации и респирации основывается на следующей разностной схеме:

$$(O_2)_i^{n+1} = (O_2)_i^n + K_p((O_2^{100\%})_i^n - (O_2)_i^n).$$

Решение уравнения фотосинтеза основывается на следующей разностной схеме:

$$(O_2)_i^{n+1} = (O_2)_i^n + \frac{K_\phi}{h}.$$

Необходимо отметить и условие устойчивости разностных схем, при котором решение аппроксимационной задачи будет сходиться:

$$\frac{d\tau}{h^2} \leq \frac{1}{2},$$

где d – коэффициент диффузии;

τ – шаг по времени;

h – шаг по пространственной координате.

Программная система процесса распространения загрязняющих веществ в водоеме описывает функциональные возможности базирующейся на вышеописанной математической модели для произвольного типа загрязняющих веществ и микроорганизмов-деструкторов. Она учитывает такие процессы, как: аллювиальные отложения полиантов, распространение полиантов в виде пленки на поверхности водоема, а также добавляет процессы реэрации, респирации и фотосинтеза кислорода, а также учитывает разложение углеводов с помощью деструкторов

Программная модель

Программный комплекс состоит из четырех основных функциональных подсистем: управляющей подсистемы, подсистемы ввода и редактирования исходных данных, подсистемы выполнения расчетов и графического отображения результатов в динамике, подсистемы отображения сохраненных в базу данных результатов расчетов.

Подсистема ввода и редактирования исходных данных позволяет создавать, редактировать и удалять через мастер таблиц или графический редактор: типы загрязняющих веществ, источники загрязняющих веществ, станции аэрации, течения, острова, впадины и другие объекты, а также показывать созданные графические объекты в различных конфигурациях (рисунок 1).

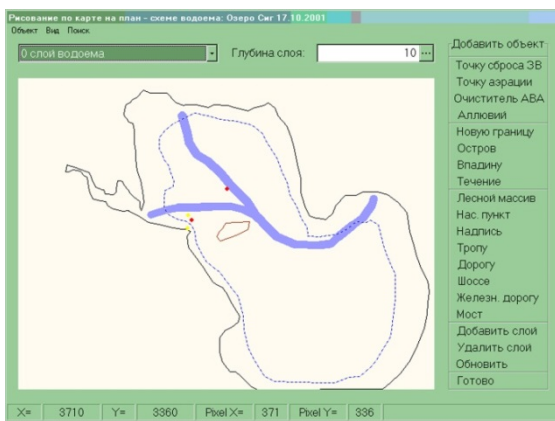


Рисунок 1 – Интерфейс графического редактора системы

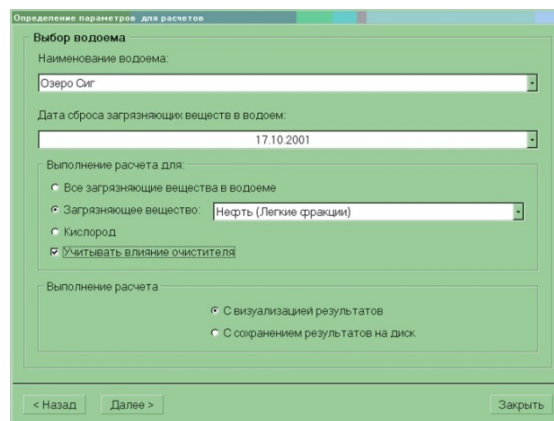


Рисунок 2 – Параметры моделирования

В подсистеме можно использовать образы реальных географических карт как канвы для создания схемы водоема. Так как почти все описываемые объекты трехмерные, то их создание и задание свойств реализовано по слоям в глубину практически с любой необходимой точностью.

Подсистема моделирования и графического отображения результатов обеспечивает следующие функции работы программного комплекса:

1. Выбор названия водоема, даты и места сброса загрязняющих веществ и сорбентов с микробиологическими деструкторами в водоем, тип уравнений для моделирования распространения загрязняющих веществ и вариант выполнения расчетов.

2. Выбор области водоема, для которой производятся расчеты и параметры для моделирования (рисунок 2).

3. Задание шага сетки по осям X, Y, Z и времени, автоматическое определение требуемого объема памяти для сетки и вычислений, показ объема свободного места на диске.

4. Указание параметров визуализации результатов (начальный шаг, интервал, определяющий через какое количество шагов, осуществляется визуализация, тип визуализации результатов, показ концентрации в точке, показ линии створа и др.). Графическая визуализация распространения, загрязняющих веществ, с возможностью остановки и запуска процесса (рисунок 3).

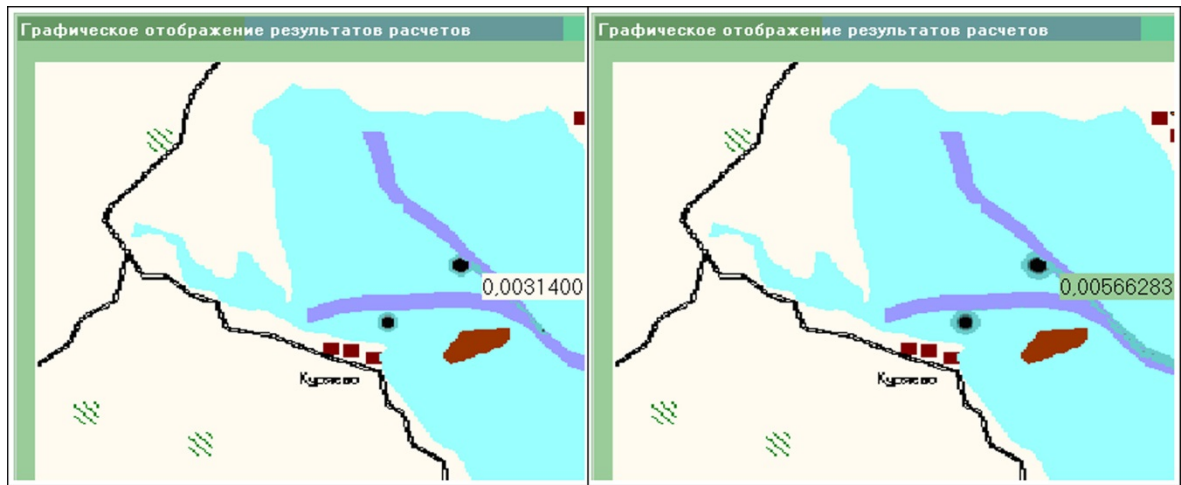


Рисунок 3 – Динамика распространения нефтяного пятна без влияния деструкторов

5. Сохранение результатов процесса распространения загрязняющих веществ и сорбентов в базе данных.



Рисунок 4 – Динамика распространения нефтяного пятна с учетом влияния деструкторов

6. Решение задач моделирования требует обработки больших массивов информации и реализации параллельных расчетов, для обеспечения независимости моделируемых физических процессов. В рассматриваемой системе моделировались реальные физические объекты, эти объекты имеют различную размерность и сложную структуру взаимодействия между собой. Поэтому данная задача решалась на основе создания различных про-

граммных модулей и классов объектов, в соответствии с принципами объектно-ориентированного программирования.

Расчеты и моделирование процесса распространения, сорбции и деструкции загрязняющих веществ (рисунок 4).

Заключение

Авторы считают, что в данной работе новыми являются следующие положения и результаты. Предложенный авторами подход и его программная реализация позволяет:

- исследовать эффективность микроорганизмов-деструкторов в различных условиях;
- проводить анализ развития чрезвычайных экологических ситуаций.

Работоспособность программного комплекса проверялась при моделировании разлива нефти в морской прибрежной полосе (рисунок 5) и анализа результатов возможного использования деструкторов-сорбентов для защиты от углеводородных загрязнений прибрежной морской зоны (рисунки 6, 7).

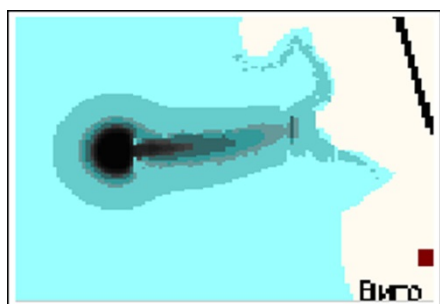


Рисунок 5 – Распространение нефтяного загрязнения при ветре от моря к берегу



Рисунок 6 – Распространение деструкторов

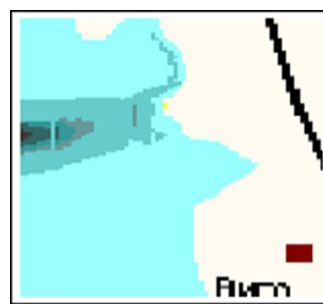


Рисунок 7 – Влияние деструкторов на распространение нефтяного загрязнения

Данный программный комплекс использовался в работах, проводимых совместно с институтом водных проблем.

Литература

1. Григорьев В.К. Технология опережающего обучения массовых профессиональных пользователей распределенных информационных систем // Информатизация образования и науки. 2012. № 16. С. 183–195.

2. Grigoriev V.K., Boikova I.V. Express-Analysis of Diffusion Variants of Petroleum and Technological Support of Clearing Process in Water Areas by Sorbent-Microbiologic Method Application Suite // Труды 3-го симпозиума «Качество воды и управление водными ресурсами». СПб., 2005.

3. Бойкова И.В. и др. Оценка биологической эффективности биопрепарата на основе штамма 0952 streptomycetes candidus против varroa jacobsoni / И.В. Бойкова, Г.С. Талалай, А.И. Анисимов, Д.А. Гвоздарев // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2008. № 8.

Software package for the analysis of the technological parameters of the processes purifying waters sorption-microbiological method

Viktor Karlovich Grigoriev, candidate of technical Sciences, Associate Professor, Moscow state technical University of Radioengineering, electronics and automation

Anatoliy Anatolievich Antonov, programmer, Moscow state technical University of Radioengineering, electronics and automation

The article discusses the mathematical model for the study of the process of oil spills in the aquatic environment. It describes based on this model and designed by the authors-tion software package. The possibilities of complex simulation mo-cleaning processes of the oil slick in the coastal zone using Biaudet-struktorov hydrocarbons. Gives a graphical representation of the results of modeling, propagation and purification of coastal zones of hydrocarbon pollutants.

Keywords: The coastal zone, distribution of hydrocarbons in the aquatic environment, mathematical model, strains destructors hydrocarbons software system modeling, emergency oil spill