

УДК 574.34

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ
МОДЕЛИРОВАНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ ПРИ
ОЧИСТКЕ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЫ**

Ахунов Р.В., студент

Бигаева Л.А., к.ф.-м.н., доцент

БФ УУНиТ, г.Бирск, Россия

Аннотация. В данной работе представлено программное обеспечение для моделирования численности микроорганизмов в процессе биоремедиации нефтезагрязненной почвы. Используя логистическую модель роста и уравнения, описывающие взаимодействие между популяцией микроорганизмов и концентрацией углеводородов, разработан инструмент, позволяющий исследовать влияние различных факторов на эффективность биоремедиации.

Ключевые слова: Нефтяные загрязнения, биоремедиация, микроорганизмы, моделирование, логистическая модель, программное обеспечение, C#.

Нефтяные загрязнения представляют собой одну из наиболее серьезных экологических проблем, с которыми сталкивается человечество. Эти загрязнения оказывают негативное воздействие на экосистемы, приводя к гибели флоры и фауны, что требует разработки эффективных методов очистки. Одним из наиболее перспективных способов решения этой проблемы является биоремедиация, которая включает в себя использование микроорганизмов для разложения нефтяных углеводородов. Разработка программного обеспечения для моделирования численности микроорганизмов в таких условиях представляет собой значительный вклад в понимание и оптимизацию этого процесса.

Для обеспечения эффективной работы системы необходимо понимать основополагающие моменты, которые влияют на рост и развитие микроорганизмов. Основными факторами, оказывающими влияние на численность микроорганизмов, являются:

- Концентрация углеводов
- Условия окружающей среды (температура, влажность, pH)
- Наличие питательных веществ
- Взаимодействие различных популяций микроорганизмов

Существуют множество подходов к моделированию динамики микроорганизмов. Выбор модели зависит от многих факторов, таких как вид загрязнения, характер микроорганизмов и т.д. В данной статье будем опираться на логистическую модель роста, которая учитывает ограниченность ресурсов.

Основная модель, используемая в нашем программном обеспечении, описывает динамику роста микроорганизмов и разложения углеводов следующими уравнениями:

1. Рост популяции микроорганизмов:

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K}\right)$$

где N — численность популяции, r — коэффициент роста, K — емкость среды.

2. Разложение углеводов:

$$\frac{dC}{dt} = -kCN$$

где C — концентрация углеводов, k — коэффициент разложения.

Эти уравнения будут решаться с использованием метода Эйлера, который является простым и понятным [1].

Для реализации программного обеспечения использован язык программирования C#. Архитектура программы состоит из нескольких модулей:

- Модуль ввода данных: Пользователь сможет задавать начальные условия и параметры моделирования.

- Модуль расчетов: Здесь будет происходить вычисление изменений численности микроорганизмов и концентрации углеводов.

- Модуль вывода результатов: Отображение полученных данных графически и в табличной форме.

Ниже представлен пример реализации программы на языке C#:

```
using System;
using System.Collections.Generic;
public class MicroorganismModel
{
    // Логистическая функция
    public static double LogisticFunction(double t, double N0, double K, double
r)
    {
        return K / (1 + ((K - N0) / N0) * Math.Exp(-r * t));
    }

    // Уравнение распада углеводов (метод Эйлера)
    public static void HydrocarbonDecay(double[] t, double[] C, double k,
Func<double, double> N)
    {
        for (int i = 1; i < t.Length; i++)
        {
            double dt = t[i] - t[i - 1];
            C[i] = C[i - 1] - k * C[i - 1] * N(t[i - 1]) * dt;
        }
    }

    public static void Main(string[] args)
    {
```

```

// Данные из статьи Водопьянова
double[] time = { 0, 7, 14, 21, 28, 35 };
double[] population = { 1e6, 1.5e6, 3e6, 5e6, 7e6, 8e6 };
double[] hydrocarbonInitial = {100}; // начальная концентрация
углеводородов
double N0 = 1e6;
double K = 1e7;
double r = 0.1;
Func<double, double> populationFunction = t => LogisticFunction(t, N0,
K, r);
double k = 0.00000001;
double[] hydrocarbonConcentration = new double[time.Length];
hydrocarbonConcentration[0] = hydrocarbonInitial[0];
HydrocarbonDecay(time,hydrocarbonConcentration, k,
populationFunction);
Console.WriteLine("Время\tЧисленность\tКонцентрация
углеводородов");
for (int i = 0; i < time.Length; i++)
{
    Console.WriteLine($"{time[i]}\t{population[i]}
\t{hydrocarbonConcentration[i]}");
}
}
}

```

Данные для расчета были взяты из статьи Водопьянова В.В. [2].

Программа корректно выводила данные о динамике численности микроорганизмов и изменении концентрации нефти в почве на протяжении заданного времени. Важно отметить, что выбранные параметры можно менять в зависимости от конкретных условий, что позволяет гибко настраивать модель под реальные сценарии.

| Время | Численность | Концентрация углеводов |
|-------|-------------|------------------------|
| 0 | 1000000 | 100 |
| 7 | 1500000 | 93 |
| 14 | 3000000 | 81.097126861455 |
| 21 | 5000000 | 63.463881342698 |
| 28 | 7000000 | 42.33046668488 |
| 35 | 8000000 | 23.1800062762299 |

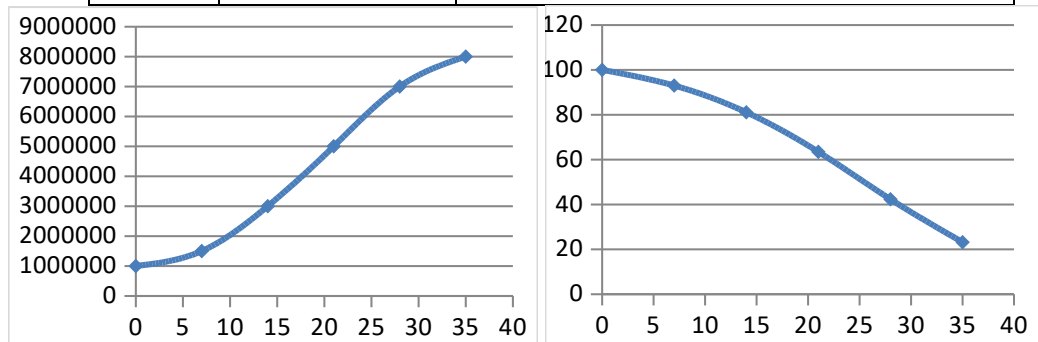


Рисунок 1. Графики показывающие изменение числа микроорганизмов и концентрации нефти в почве

Разработанное программное обеспечение может быть полезно для:

- Учебных заведений для обучения студентов основам экологии и биоремедиации.
- Исследовательских групп, работающих в области охраны окружающей среды.
- Специалистов по очистке загрязненных территорий, желающих оценить эффективность различных подходов.

Более того, в будущем программу можно расширить, добавив возможность учитывать влияние других факторов, таких как различные виды микроорганизмов, конкуренция и симбиоз [3-4].

Создание программного обеспечения для моделирования численности микроорганизмов при очистке нефтезагрязненной почвы представляет собой важный шаг к более глубокому пониманию и эффективному решению проблемы биоремедиации. Описанная модель и ее реализация на языке программирования C# могут быть адаптированы и расширены, что откроет новые горизонты для исследований в этой области.

Литература

1. Ахмадиев М. В. Применение нативных штаммов углеводородокисляющих микроорганизмов в биоремедиации нефтезагрязненных почв и грунтов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. — 2014. — № 2(14) – стр.45.
2. Водопьянов В.В. «Математические модели и методы анализа восстановления биосистем, подверженных антропогенным воздействиям»// Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук - 2018 г.- стр.14.
3. Эффективность очистки нефтезагрязненных почв с использованием микроорганизмов. Тусупова Ж.Б., Мелдекул Д.Е. Молодой ученый. 2022. № 18 (413). С. 522-524.
4. Ахьямова, А. И. Микробиологические методы снижения уровня загрязненности почвы нефтепродуктами / А. И. Ахьямова, Л. А. Бигаева // Цифровые и информационно-коммуникационные технологии в образовании и науке: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) (г. Бирск, Р. Б., 27-29 марта 2024 г.). Часть I, Бирский филиал УУНиТ, 27–29 марта 2024 года. – Бирск: УУНиТ, 2024. – С. 31-33.