

УДК 51-74

EDN [XDSJ CZ](#)



## Математическое моделирование переноса взвешенных веществ при проведении дноуглубительных работ

А.В. Епифанов<sup>1\*</sup>, М.А. Епифанова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А, Санкт-Петербург, 190000, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Большая Морская, д. 18, лит. А, Санкт-Петербург, 191186, Россия

\*E-mail: [epifandr@yandex.ru](mailto:epifandr@yandex.ru)

**Аннотация.** Дноуглубительные работы производятся в акваториях водных объектов для добычи песка, прокладки фарватеров, образования намывных территорий и строительства. В ходе работ в воду попадают высокие концентрации взвешенных веществ и усиливается мутность, что может привести к снижению численности, утери мест нереста и гибели водных биоресурсов. Целью исследования является обоснование необходимости использования математического моделирования при дноуглубительных работах с целью минимизации воздействия на окружающую среду, а также с целью оценки ущерба, принесенного окружающей среде. В работе проанализированы математические модели, которые описывают распространение взвешенных веществ. Определены основные исходные данные для проведения математического моделирования переноса распространения и осаждения взвешенных веществ при дноуглубительных работах. Определены основные математические модели в зависимости от конфигурации водного объекта. В реках основными гидрологическими характеристиками для расчета переноса взвешенных частиц является скорость и направление течений. В озерах скорость и направление течения определяются не только гидрологическими условиями, но также и метеорологическими: направление и скорость ветра. В статье рассмотрены математические модели, которые можно применять при расчете распространения и оседания взвешенных веществ в водных объектах при дноуглубительных работах. Проведен пример полей распространения загрязняющих веществ и слоя осадка.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, водные объекты, дноуглубительные работы, гидрологические характеристики.

## Mathematical modeling of the transfer of suspended solids from dredging

A.V. Epifanov<sup>1\*</sup>, M.A. Epifanova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67 Bolshaya Morskaya st., Saint Petersburg, 190000, Russia

<sup>2</sup>Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 18 Bolshaya Morskaya st., Saint Petersburg, 191186, Russia

\*E-mail: [epifandr@yandex.ru](mailto:epifandr@yandex.ru)

**Abstract.** Dredging works are carried out in the water areas of water bodies for sand extraction, laying of fairways, formation of alluvial areas and construction. During the work, high concentrations of suspended solids enter the water and turbidity increases, which can lead to a decrease in the number, loss of spawning sites and the death of aquatic biological resources. The purpose of the study is to substantiate the need for the use of mathematical modeling during bottom-deepening works in order to minimize the impact on the environment, as well as to assess the damage caused to the environment. The paper analyzes mathematical models that describe the distribution of suspended substances. The basic initial data for carrying out mathematical modeling of the transfer of the spread and deposition of suspended solids during dredging are determined. The basic mathematical models are determined depending on the configuration of the water body. In rivers, the main hydrological characteristics for calculating the transport of suspended particles are the speed and direction of currents. In lakes, the speed and direction of the current are determined not only by hydrological conditions, but also by meteorological conditions: wind direction and speed. The article discusses mathematical models that can be used to calculate the spread and settling of suspended solids in water bodies during dredging. An example of the fields of distribution of pollutants and sediment layer is carried out.

**Keywords:** mathematical modeling, water bodies, dredging, hydrological characteristics.

## 1. Введение

Дноуглубительные работы производятся в акваториях водных объектов для добычи песка, прокладки фарватеров, образования намывных территорий и строительства. В ходе работ в воду попадают высокие концентрации взвешенных веществ и усиливается мутность, что может привести к снижению численности, утери мест нереста и гибели водных биоресурсов.

## 2. Постановка задачи (Цель исследования)

Целью исследования является обоснование необходимости использования математического моделирования при дноуглубительных работах с целью минимизации воздействия на окружающую среду, а также с целью оценки ущерба, принесенного окружающей среде. Для достижения поставленной были решены следующие задачи:

1. проанализированы математические модели, которые описывают распространение взвешенных веществ.
2. определены основные исходные данные для проведения математического моделирования переноса распространения и осаждения взвешенных веществ при дноуглубительных работах.

## 3. Методы и материалы исследования

Дноуглубительные работы могут проводиться в водоемах и водотоках, в зависимости от конфигурации водного объекта необходимо применить подходящую модель конвективно-диффузионного переноса и превращения веществ [1]. В общем виде математическая модель выглядит следующим образом (уравнение 1):

$$\frac{dC}{dt} = D \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) - u \frac{\partial C}{\partial y};$$
$$\frac{dC}{dt} = \frac{\partial C}{\partial t} + v_x \frac{\partial C}{\partial x} + v_y \frac{\partial C}{\partial y} + v_z \frac{\partial C}{\partial z}. \quad (1)$$

$C$  – концентрация загрязняющего вещества в воде, г/м<sup>3</sup>;

$x, y, z$  – координаты по соответствующим осям;

$t$  – временной параметр, с;

$v_x, v_y, v_z$  – компоненты скорости течения по соответствующим осям, м/с;

$u$  – гидравлическая крупность взвешенных частиц, м/с;

$D$  - коэффициент турбулентной диффузии,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Исходя из уравнения 1 получим следующие упрощенные уравнения

- Дифференциальное уравнение однородной изотропной нестационарной модели конвективно-диффузионного переноса и превращения веществ (КДП и ПВ) с учетом процессов самоочищения в соответствии с уравнением 1 для рек:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + V_x \cdot \frac{\partial c}{\partial x} = D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - u \frac{\partial c}{\partial y} \quad (2)$$

- для озер:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + V_x \cdot \frac{\partial c}{\partial x} + V_y \cdot \frac{\partial c}{\partial y} = D \cdot \left( \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) - u \frac{\partial c}{\partial y}; \quad (3)$$

Для решения дифференциальных уравнений необходимо задать граничные и начальные условия. Для решения задач КДП и ПВ используются граничные условия (ГУ) I – III рода.

Для численной реализации приведенных выше уравнений качества воды водотоков и водоемов и получения однозначного решения необходимо определение краевых условий, задающих граничные и начальные условия и уравнения баланса вещества. [2]

В реках скорость и направление течений в основном определяется уклоном русла реки, а не влиянием ветра. Не считая нагонных явлений направление течений в реках направленно вниз по течению, а скорость течения определяется параметрами русла и расходом воды.

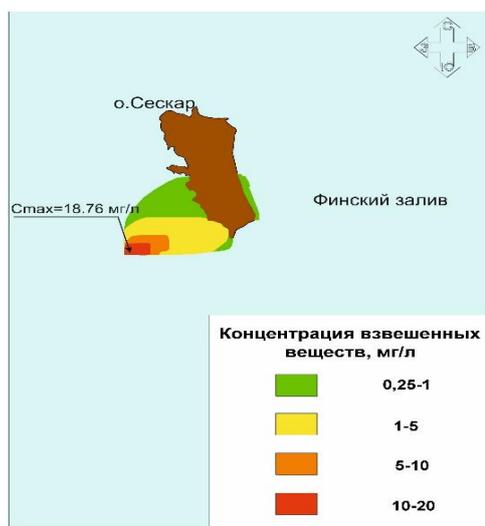
В озерах скорость и направление течения определяются не только гидрологическими условиями, но также и метеорологическими: направление и скорость ветра [2].

#### 4. Полученные результаты

Расчет переноса взвешенных веществ в водоемах, производится по методике, приведенной в монографии профессора Караушева А.В. «Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод» [3], на основе уравнения 2.

Расчет производился для нестационарного режима.

Расчет поля концентрации производится до тех пор, пока оно не выйдет на стационар. В данном случае это происходит через 15 часов. Поля концентраций приведены на рисунках 1-3.



**Рисунок 1.** Поле распространения загрязняющего вещества через 11 часов работ.



**Рисунок 2.** Поле распространения загрязняющего вещества после выхода на стационар.



**Рисунок 3.** Поле распространения слоя осадка за время работ.

Поле загрязнения распространяется на 2000 метров. Объем загрязненной воды равен  $7\,296\,000\text{ м}^3$ . Максимальный объем загрязненной воды после 11 часов работы составляет  $8\,831\,000\text{ м}^3$ .

Площадь выпавшего осадка  $1560000\text{ м}^2$ .

## 5. Выводы

В статье рассмотрены математические модели, которые можно применять при расчете распространения и оседания взвешенных веществ в водных объектах при дноуглубительных работах. Проведен пример полей распространения загрязняющих веществ и слоя осадка.

## Список литературы

1. Дружинин Н.И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши / Н.И. Дружинин, А.И. Шишкин. – Л: Гидрометеиздат, 1989. – 390 с.
2. Фельзенбаум А.И. Теоретические основы и методы расчета установившихся морских течений / А.И. Фельзенбаум. – Изд-во АН СССР, 1960. – 128 с.
3. Караушев А.В. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / А.В. Караушев, Б.Г. Скакальский, А.Я. Шварцман и др. – Л. Гидрометеиздат, 1987. – 267 с.