

УДК 504.4 : 54

**В. В. ГОРУН**

*Одесский государственный экологический университет*  
Львовская, 15, Одесса, 65016,  
gorun\_vival@mail.ru

## **РАСЧЕТ ДИФФУЗИИ ВЗВЕСИ В ВОДНОЙ СРЕДЕ ПРИ ДАМПИНГЕ ГРУНТОВ**

Рассмотрены методики расчета распространения взвешенных веществ в водной среде, в том числе при сбросе в морскую среду грунтов дноуглубления. Представленная разработанная методика неустановившейся турбулентной диффузии взвеси в трехмерном пространстве позволяет рассчитать поле ее концентрации в облаке загрязнения в трехмерном пространстве в различные моменты времени, прошедшие после сброса, позволяет исследовать турбулентную диффузию взвеси по вертикали и получить вторичный пик ее содержания в верхнем слое после сброса грунта за счет выноса этой взвеси из нижних слоев.

**Ключевые слова:** математическая модель, неустановившаяся турбулентная диффузия, взвесь, водная среда

## **Горун В. В. РОЗРАХУНОК ДИФУЗІЇ ЗАВИСІ У ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ПРИ ДАМПІНГУ ГРУНТІВ**

Розглянуті методики розрахунку розповсюдження завислих речовин у водному середовищі, в тому числі при скиді в морське середовище ґрунтів днопоглиблення. Представлена методика несталої турбулентної дифузії суспензії в тривимірному просторі, що розроблена, яка дозволяє розрахувати поле її концентрації в хмарі забруднення в тривимірному просторі в різні моменти часу, що минули після скидання, дозволяє досліджувати турбулентну дифузію суспензії по вертикалі і отримати вторинний пік її змісту у верхньому шарі після скидання ґрунту за рахунок виносу цієї суспензії з нижніх шарів.

**Ключові слова:** математична модель, нестала турбулентна дифузія, зависла речовина, водне середовище

## **Gorun V. V. CALCULATION OF SUSPENSION DIFFUSION IN WATER ENVIRONMENT UNDER DUMPING OF SOILS**

The article considers methods for calculation of suspension diffusion in water environment, including the sea disposal of dredged soil is given. There are techniques of unsteady turbulent diffusion suspension in three-dimensional space, which is developed which allows to calculate the field of concentration in the cloud contamination in three-dimensional space at different times, since the reset allows you to explore turbulent diffusion suspension vertically and get a secondary peak of its content in the upper layer after dumping ground by the removal of the suspension from the lower layers.

**Keywords:** mathematical model, unsteady turbulent diffusion, suspended matter, water environment

## **ВВЕДЕНИЕ**

После принятия Международной конвенции по предотвращению загрязнения моря сбросами отходов и других материалов (1972) проблема охраны окружающей среды при дноуглубительных работах получила должное освещение. С конца 70-х годов резко возрос научный интерес в этой области. Данный интерес актуален и сегодня. Он обусловлен большими объемами дноуглубления и дампинга грунтов на шельфе и связанной с этим крайней остротой экологической проблемы загрязнения водной среды.

Исследования по проблемам распространения взвесей в водной среде выполня-

лись рядом отечественных и зарубежных специалистов. Тем не менее, в настоящее время отсутствуют надежные методики, на основе которых можно осуществлять прогноз распространения взвесей на небольшие расстояния (до контрольных створов) при их залповом сбросе.

**Цель** настоящего исследования состоит в анализе существующих методик расчета распространения взвеси в водной среде, в том числе при сбросе в морскую среду грунтов дноуглубления, и в разработке новой методики расчета неустановившейся турбулентной диффузии взвеси в трехмерном пространстве.

**ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА**

Для оценки распространения взвеси при сбросе в морскую среду грунтов дноуглубления в практических целях используют аналитические методы. Время, затрачиваемое на получение исходной информации и расчеты, в этом случае, как правило, невелико, что дает возможность применять такие методы в оперативной практике. Примером такого подхода для оценки распределение концентрации взвеси при дноуглубительных работах, но без учета оседания, является методика, предложенная Е. Д. Молдовановой [1]. Применительно к дампингу грунтов дноуглубления оптимизационная задача рассматривалась С. Л. Беленко и А. Н. Наумовым [2]. Вопросами прогнозирования распространения взвесей возникающих при добыче железомарганцевых конкреций занималась С. В. Кирильчик [3].

Одной из аналитических методик расчета является применение радиально-симметричных моделей диффузии. В качестве примера такого подхода для оценки распространения взвешенных веществ при дампинге грунта могут быть рассмотрены методики А. А. Гончарова [4] и А. А. Прозорова [5].

Общая расчетная формула А. А. Гончарова имеет вид [4]

$$\bar{C}(r, t^*) = \frac{q}{2\pi(p t^*)^2} \exp\left(-\frac{r}{p t^*} - \frac{W t^*}{D}\right), \quad (1)$$

где  $\bar{C}(r, t^*)$  – средняя концентрация диффундирующего вещества (грунта дноуглубления), г/м<sup>3</sup>, равномерно распределенного в пределах слоя толщиной  $D$ , м;

$q$  – масса сброшенной взвеси, г, приходящаяся на единицу глубины в пределах слоя толщиной  $D$ , м;

$p$  – «скорость» диффузии взвеси, м/с;

$t^*$  – фиктивное время, учитывающее эффект динамического расширения начального пятна взвеси при точечной аппроксимации источника, с;

$r$  – расстояние от центра пятна, м;

$t$  – реальное время, отсчитываемое от момента сброса, с;

$W$  – эффективная скорость оседания частиц взвеси, м/с.

Реальное время  $t$ , отсчитываемое от момента сброса, связано с модельным вре-

менем  $t^*$  соотношением

$$t = t^* - t_0, \quad (2)$$

где  $t_0$  – поправка к реальному времени (с), обусловленная влиянием динамического эффекта в процессе начального разбавления, рассчитываемая по формуле

$$t_0 = r_0 / p\sqrt{3}, \quad (3)$$

где  $r_0$  – эквивалентный радиус начального пятна взвеси, м.

У А. А. Прозорова выражение, описывающее распределение содержания взвеси в диффундирующем пятне с учетом ее оседания, имеет вид [5]

$$C(r, t) = \frac{Q}{4\pi H D t} \exp\left(-\frac{r^2}{4 D t} - \frac{W}{H} t\right), \quad (4)$$

где  $C(r, t)$  – осредненное по глубине в пределах рассматриваемого слоя значение концентрации взвеси, г/м<sup>3</sup>;

$r$  – расстояние от центра пятна взвеси, м;

$D$  – коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии, м<sup>2</sup>/с;

$H$  – глубина рассматриваемого слоя, м;

$W$  – эффективная скорость оседания взвеси, м/с;

$Q$  – количество взвеси, оставшейся в рассматриваемом слое воды после сброса грунта, г.

Количество грунта  $Q$ , переходящего во взвешенное состояние при сбросе в подводный отвал, определяется по формуле [5]

$$Q = K \cdot p \cdot V \frac{\gamma - \gamma_B}{\gamma_T - \gamma_B} \gamma_T, \quad (5)$$

где  $K$  – коэффициент перехода грунта во взвешенное состояние при сбросе в отвал, в долях единицы, определяющийся по формуле

$$K = 6,214 \frac{\sqrt{H-h}}{c} \left(\frac{1}{b} + \frac{1}{l}\right), \quad (6)$$

$c$  – удельное сцепление сбрасываемого в отвал грунта с учетом его разрыхления (разжижения) в процессе выработки и погрузки в трюм шаланды, Па;

$H$  – глубина в районе отвала или толщина верхнего квазиоднородного слоя, м;

$h$  – осадка судна в грузу, м;  
 $l$  – длина днищевой двери, м;  
 $b$  – средняя за время разгрузки ширина раскрытия днищевой двери, м;  
 $p$  – содержание в грунте пылеватых и глинистых частиц, мельче 0,1 мм и образующих истинную взвесь, в долях единицы;  
 $V$  – объем сброса, м<sup>3</sup>;  
 $\gamma$  – объемный вес грунта в трюме шаланды с учетом его разрыхления, т/м<sup>3</sup>;  
 $\gamma_B$  – объемный вес воды, т/м<sup>3</sup>;  
 $\gamma_T$  – удельный вес частиц грунта, т/м<sup>3</sup>.

Зависимость (6) дает возможность оценивать количество грунта, переходящего во взвешенное состояние при дампинге, с учетом основных влияющих факторов: свойств сбрасываемого грунта, стратификации и глубины в районе отвала, а также технологических параметров сброса.

Предложенные А. А. Гончаровым и А. А. Прозоровым идеализированные расчетные методики схематичны, используются для оценки усредненных интегральных характеристик пятна загрязнения по глубине в некотором объеме. Однако такой подход на основе достаточно простых расчетных зависимостей позволяет достоверно определить такие количественные характеристики: время существования пятна, ограниченного заданным значением концентрации взвеси; характерные пространственные размеры и площадь пятна.

Для описания распространения взве-

$$C = \frac{m(t)}{2\pi H(x_0(t))\sigma'_{1C}(t)\sigma'_{2C}(t)} \exp\left(-\frac{x_1'^2}{2\sigma_{1C}^2(t)} - \frac{x_2'^2}{2\sigma_{2C}^2(t)}\right), \quad (7)$$

где  $m$  – текущая масса взвеси в облаке;

$x_0$  – координаты центра облака в глобальной системе координат.

Штрихами помечены локальные координаты, отсчитываемые от центра облака ( $x_1'$  – в направлении движения воды,  $x_2'$  – в перпендикулярном направлении). Каждое облако характеризуется моментом своего возникновения  $t_0$  и начальными дисперсиями  $\sigma_{1C0}^2$  и  $\sigma_{2C0}^2$ . Центры  $x_0$  облаков на каждом временном шаге  $\Delta t = t_{n+1} - t_n$  перемещаются вместе с водой и испытывают распределенные по нормальному закону

случайные блуждания, характеризующиеся общей дисперсией  $\sigma_X^2(t)$  (дисперсия случайных приращений координат на каждом шаге процесса равна  $\sigma_X^2(t_{n+1}) - \sigma_X^2(t_n)$ , соответственно).

А. В. Маслаковым [8] была сделана попытка применить концепцию «ближней зоны», пространственный масштаб которой коррелирует с размером объекта, загрязняющего акваторию, и «дальней зоны», включающей контрольные створы, для проведения расчетов переноса примеси от берегового источника (сточные воды станции биологической очистки).

В методике [7] распределение взвешенных веществ в акватории представляется совокупностью «эллиптических» дискретных облаков со следующим гауссовым распределением усредненной по глубине концентрации взвеси:

случайные блуждания, характеризующиеся общей дисперсией  $\sigma_X^2(t)$  (дисперсия случайных приращений координат на каждом шаге процесса равна  $\sigma_X^2(t_{n+1}) - \sigma_X^2(t_n)$ , соответственно).

А. В. Маслаковым [8] была сделана попытка применить концепцию «ближней зоны», пространственный масштаб которой коррелирует с размером объекта, загрязняющего акваторию, и «дальней зоны», включающей контрольные створы, для проведения расчетов переноса примеси от берегового источника (сточные воды станции биологической очистки).

Рассмотренные аналитические методики сводят задачу расчета распространения взвеси к плоской постановке (рассматривается среднее значение концентрации взвеси по глубине) с использованием экспоненциального распределения в пространстве и во времени. Это не позволяет учитывать турбулентный обмен взвесью в водной толще по вертикали и смоделировать вторичные пики содержания мелкодисперсной взвеси в верхних слоях после сброса (см. далее).

Для описания диффузии примеси в реальных водоемах наиболее широко применяется полуэмпирическая теория турбулентности. Наиболее распространены численные методы моделирования рассеяния загрязняющих веществ в водоемах.

Численные модели для прогнозирования краткосрочного распространения грунта дноуглубления были разработаны следующими авторами: Koh и Chang [9], Brandsma и Divoky [10], Johnson [11].

Данные относительно «судьбы» сброшенных грунтов дноуглубления по прошествии значительного отрезка времени после сброса весьма малочисленны. Для оценки характера этих процессов и возможного их моделирования используют исследования перемещения естественных донных осадков. В работе [12] разработаны две двумерные модели, которые реализуют эту задачу в численном виде.

В [13, 14] представлены модели для расчета распределения концентраций взвеси в облаке загрязнения, генерируемым непрерывным сбросом драгируемого грунта с помощью выносного трубопровода.

Среди отечественных специалистов исследованием распространения взвешенных веществ занимались Г. Я. Шкудова

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \frac{\partial C_i U D}{\partial x} + \frac{\partial C_i V D}{\partial y} + \frac{\partial C_i (\omega + \omega_c)}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_c}{D} \frac{\partial C_i}{\partial \sigma} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[ D A_c \frac{\partial C_i}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ D A_c \frac{\partial C_i}{\partial y} \right] + Q(x, y, \sigma), \quad (8)$$

где  $x, y, \sigma, t$  – координатная система;

$C_i$  – концентрация фракции взвешенных частиц, г/м<sup>3</sup>;

$U, V$  – горизонтальные компоненты скорости течения, м/с;

$\omega$  – вертикальная составляющая

(модели переноса загрязняющих веществ в мелком баротропном и глубоком бароклинном море [15]), С. В. Афанасьев (модель турбулентной диффузии взвешенных веществ [16]), Л. Я. Трукшане (рассматривает дисперсию загрязняющих веществ, содержащихся в грунтах отвала [17]).

Непосредственно моделированием распространения взвеси на Северо-Западном шельфе Черного моря занимались С. А. Лонин [18] и Д. В. Алексеев [19].

Рассмотренные модели дают удовлетворительные прогнозные оценки распределения примеси в масштабах всего бассейна водоема, так как рассматривают крупномасштабные поля загрязнения с размерами сетки в несколько километров. При оценке качества водной среды, при нормировании сбросов загрязнителей и при оценке различных видов ущерба необходимо знать максимальную концентрацию взвешенного вещества в контрольном створе, расположенном на расстояниях 250-500 м от источника загрязнения. К сожалению, в работах [15-19] авторы не приводят зависимости, по которым можно выполнить расчеты.

Оптимизационная численная модель для выбора места отвала грунтов дноуглубления была предложена А. А. Гончаровым [4, 20]. Модель построена на трехмерном уравнении турбулентной диффузии взвеси и позволяет на основе сопряженной задачи путем перебора функционала (функции предполагаемого источника) получить координаты источника, обеспечивающего минимальное воздействие (концентрацию взвеси) в рассматриваемой области.

В [21] уравнение распространения взвешенных частиц в сигма-координатной системе имеет вид

скорости, нормальная к сигма-поверхности, м/с;

$\omega_{ci}$  – собственная гравитационная вертикальная скорость фракции взвешенных частиц, м/с;

$$D = H + \eta, \quad (9)$$

$H$  – глубина, м;  
 $\eta$  – уровень, м;  
 $K_c$  и  $A_c$  – вертикальный и горизонтальный коэффициенты турбулентной диффузии, м<sup>2</sup>/с;

$Q$  – источник загрязнения, г/(м<sup>3</sup>\*с).

В [21] рассматривается модель установившейся турбулентной диффузии взвешенных частиц. Однако использование предложенного дифференциального уравнения в прямоугольных координатах в пространственной постановке задачи в случае неустановившейся турбулентной диффузии слишком затруднено в связи с необходимостью выполнения очень большого количества расчетов. Например, описание распределения взвеси в пятне загрязнения в какой-то момент времени в цилиндрических координатах занимает один лист, а при использовании модели в прямоугольных координатах потребуется несколько листов (в зависимости от заданного количества слоев по глубине).

Численные методики на основе дифференциального уравнения (8) позволяют проводить вычисления по достаточно полным адвективно-диффузионным уравнениям, моделировать весьма произвольный гидродинамический режим и сложные зависимости коэффициентов от внешних условий, а также учитывать различные типы функций источника и граничных условий. Их научная ценность несомненна. Однако, эти модели сталкиваются с проблемой задания пространственного распределения поля течения. Обычно для этого в модель включается гидродинамический блок, на основе которого численно моделируется циркуляция. Но это приводит к еще большей неопределенности задания начальных, граничных условий и параметров модели. Их применение для получения количественных оценок реальных процессов ограничено.

$$\partial C / \partial t = D(\partial^2 C / \partial r^2) + D / r(\partial C / \partial r) - uC / H, \quad (10)$$

$$\partial C / \partial t = D(\partial^2 C / \partial r^2) + D / r(\partial C / \partial r) + D(\partial^2 C / \partial y^2) - u\partial C / \partial y, \quad (11)$$

где  $C$  – концентрация вещества, г/м<sup>3</sup>;

$t$  – время, отсчитываемое после сброса грунта, с;

$D$  – коэффициент турбулентной диффузии, м<sup>2</sup>/с;

$H$  – глубина акватории, м;

Предлагаемая методика расчета неустановившейся турбулентной диффузии взвеси позволяет при необходимости рассчитать поле концентрации взвеси в облаке загрязнения в трехмерном пространстве в различные моменты времени, прошедшие после сброса грунта. Она получена на основе решения численным методом математической модели неустановившейся турбулентной диффузии взвеси в цилиндрической системе координат [22].

Рассмотрена следующая задача. Произошел залповый сброс взвеси с гидравлической крупностью  $u$ . В результате сброса образовалось облако загрязнения в виде цилиндра с высотой  $H$ . Перенос вещества в нем за счет турбулентной диффузии происходит равномерно во все стороны от центральной оси. В плане облако загрязнения выглядит пятном круглой формы с начальным радиусом  $r_0$ .

Облако загрязнения по горизонтали разбито на кольца с шагом  $\Delta r$ , по вертикали – на слои с шагом  $\Delta u$ . Распределение концентрации взвеси в нем рассматривается через равные интервалы времени  $\Delta t$ .

Началом системы координат является точка пересечения вертикальной оси цилиндра ( $OY$ ) с поверхностью воды. Положение точки в горизонтальной плоскости рассматриваемой системы координат задается углом поворота  $\varphi$  от некоторого направления и расстоянием  $r$  от вертикальной оси  $OY$ . Начало системы координат постоянно находится в центре рассматриваемого облака и перемещается с ним со средней скоростью потока.

Математические модели неустановившейся турбулентной диффузии взвеси с гидравлической крупностью  $u$  в плоской (полярная система координат) и пространственной (цилиндрическая система координат) постановке задачи можно записать в виде [22]:

$r$  – радиус, расстояние от центра системы координат до нужной точки, м.

Дифференциальное уравнение (11) (уравнение (10) – частный случай) получено на основе общего уравнения турбулентной диффузии взвеси Маккавеева В.М. в

прямоугольной системе координат (12) и неустановившейся турбулентной диффузии

$$\frac{\partial C}{\partial x} V_X + \frac{\partial C}{\partial y} V_Y + \frac{\partial C}{\partial z} V_Z + \frac{\partial C}{\partial t} = D \left[ \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right] - u \frac{\partial C}{\partial y}, \quad (12)$$

$$\partial C / \partial t = D(\partial^2 C / \partial r^2) + \mathbf{P} - Q_{CT} / (\varphi H) \bar{r}(\partial C / \partial r) + Ck_H, \quad (13)$$

где  $V_X, V_Y, V_Z$  – проекции осредненного вектора скорости течения на оси системы координат, м/с;

$Q_{CT}$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с, при залповом сбросе равен 0;

$\varphi$  – угол сектора, в который поступают сточные воды, рад;

$k_H$  – коэффициент неконсервативности вещества.

Уравнение (12) легко свести к объектной схеме, закрепив начало прямоугольной системы координат в центр облака загрязнения на поверхности воды. В этом случае в левой части (12) остается одно последнее слагаемое ( $V_X = V_Y = V_Z = 0$ ). Одна-

неконсервативного вещества Караушева А. В. в полярной системе координат (13) [23]:

ко, используя в таком виде дифференциальное уравнение, очень трудно реализовать численный эксперимент в пространственной постановке задачи (см. выше).

Модель, представленная дифференциальным уравнением (11), описывает в отличие от (12) и (13) турбулентную диффузию взвеси в облаке загрязнения в пространстве (в цилиндрической системе координат) и во времени и позволяет сравнительно легко реализовать численный эксперимент.

Решение уравнений (10) и (11) методом конечных разностей имеет вид:

$$C_{k+1,n} = (1 - 2a - 2f)C_{k,n} + a(bC_{k,n+1} + dC_{k,n-1}), \quad (14)$$

где  $a = D\Delta t / \Delta r^2, \quad b = 2n / (2n - 1), \quad d = 2(n - 1) / (2n - 1), \quad f = u\Delta t / 2H,$

$$C_{k+1,n,m} = (1 - 2a_1 - 2a_2)C_{k,n,m} + a_1(bC_{k,n+1,m} + dC_{k,n-1,m}) + (a_2 - f)C_{k,n,m+1} + (a_2 + f)C_{k,n,m-1}, \quad (15)$$

$$C_{k+1,n,1} = (1 - 2a_1 - a_2 - f)C_{k,n,1} + a_1(bC_{k,n+1,1} + dC_{k,n-1,1}) + (a_2 - f)C_{k,n,2}, \quad (16)$$

$$C_{k+1,n,M} = (1 - 2a_1 - a_2 - f)C_{k,n,M} + a_1(bC_{k,n+1,M} + dC_{k,n-1,M}) + (a_2 + f)C_{k,n,M-1}, \quad (17)$$

где  $a_1 = D\Delta t / \Delta r^2, \quad a_2 = D\Delta t / \Delta y^2, \quad f = u\Delta t / 2\Delta y,$

Индексом  $k$  обозначены моменты времени с шагом  $\Delta t$ ;  $n$  – номера колец шириной  $\Delta r$ ;  $m$  – номера слоев толщиной  $\Delta y$ ;  $M$  – общее количество слоев по глубине; безразмерный параметр  $f$  учитывает обмен взвесью в потоке между слоями и ее удаление из водной среды за счет оседания.

Уравнение (14) – решение задачи в плоской постановке, уравнения (15)–(17) – в пространственной, причем: (15) – решение для водной толщи; (16) – для поверхностного и (17) – для придонного слоев.

Выполненные численные эксперименты [22] показали, что разработанная численная модель адекватно реагирует на изменение начальных условий:

– если взвесь в начальный момент времени находится только в верхнем слое, то до момента времени, когда она достигнет придонного слоя, количество взвеси в облаке загрязнения остается постоянным. После момента касания дна количество взвеси начинает убывать за счет ее оседания на дно;

– если же в начальный момент времени взвесь находится только в нижнем слое, то за счет вертикальной турбулентной диффузии ее концентрация в верхних слоях потока до определенного момента времени увеличивается. При этом происходит снижение общего количества взвеси в облаке загрязнения из-за оседания на дно. Достигнув в какой-то момент времени максимума,

концентрация взвеси в верхних слоях начинает с течением времени постепенно убывать.

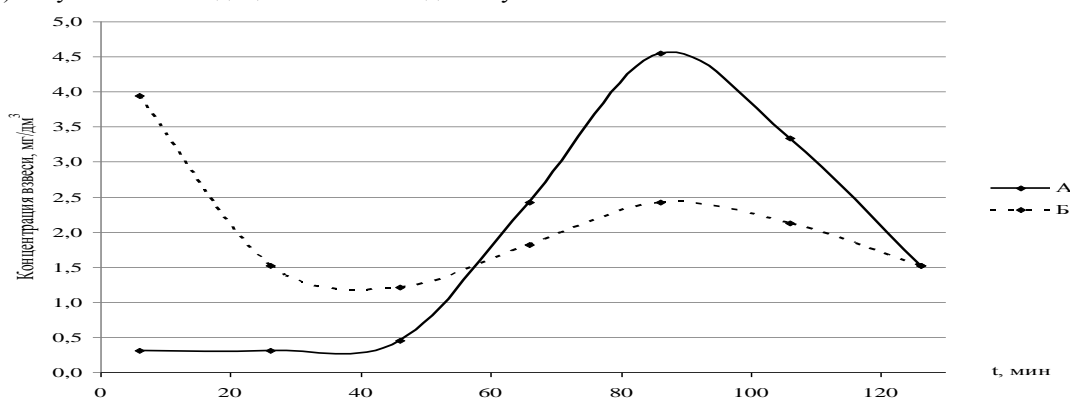
Для демонстрации преимуществ предлагаемой методики были рассмотрены результаты экспедиционных исследований, проведенных в районе свалки грунта у о. Экви в Финском заливе [24]. Во время наблюдений было замечено, что по прошествии некоторого времени после сброса грунта происходит увеличение концентрации взвеси в верхних горизонтах водной

толщи (рис. 1(а)). Данное явление, по мнению авторов [24], может быть связано:

во-первых, с разрушением нестабильных агрегатов, состоящих из мелких частиц (в основном фракции А), такие агрегаты могли образоваться в процессе консолидации донных отложений в месте забора грунта;

во-вторых, с процессами выноса взвешенного вещества вверх из нижних несущих слоев (термоклина и придонного).

а) Результаты экспедиционных наблюдений у о. Экви



б) Результаты численного эксперимента

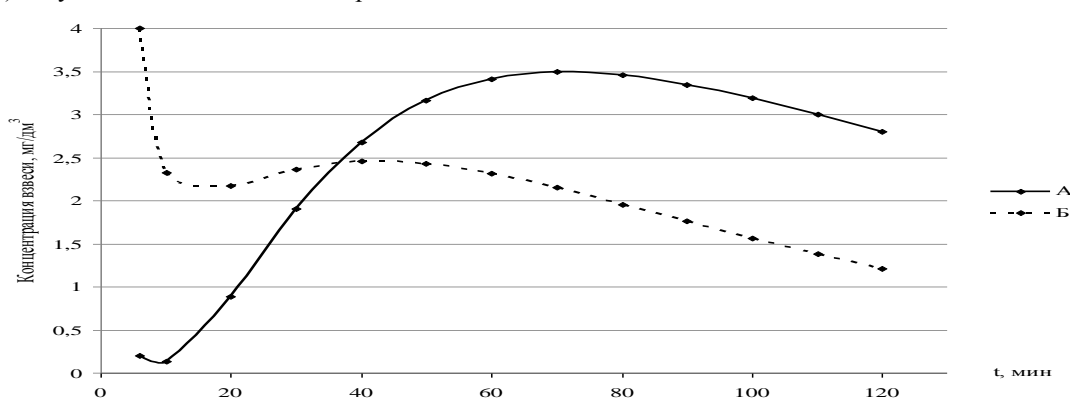


Рис. 1 – Изменения концентрации взвеси по фракциям во времени на горизонте 10 м. Обозначения фракций: А – 0,025-0,05 мм; Б – 0,05-0,1 мм

Второе объяснение представляется более правдоподобным. Это подтвердили результаты численного эксперимента по предлагаемой методике: была получена аналогичная натурным данным картина изменения во времени концентрации мелких фракций взвеси в верхнем слое.

Вторичный пик их содержания появляется в случае, если сразу после сброса значения концентрации этих взвесей в нижних слоях значительно больше, чем в верхних (рис. 1(б)) [25].

Сопоставить натурные и расчетные значения концентрации взвеси не представилось возможным из-за отсутствия информации о гидродинамических условиях в районе сброса и месте расположения судна на пятне загрязнения.

На основании выполненных исследований разработаны рекомендации по расчету распространения взвешенного вещества в водной среде и проверке правильности выполнения расчетов.

## ВЫВОДЫ

1. Недостатком аналитических методик является сведение задачи расчета распространения взвеси к плоской постановке, что не позволяет учитывать вертикальный турбулентный обмен взвесью в водной толще.

2. Существующие численные методики дают удовлетворительные прогнозные оценки распределения примеси в масштабах всего бассейна водоема, так как рассматривают крупномасштабные поля загрязнения с размерами сетки в несколько километров. Однако они не подходят для оценки диффузии взвеси на небольших расстояниях: от точки сброса грунта до контрольного створа, расположенного на удалении 250 – 500 м.

3. Предлагаемая методика неустановившейся турбулентной диффузии взвеси позволяет рассчитать поле ее концентрации в облаке загрязнения в трехмерном пространстве в различные моменты времени, прошедшие после сброса.

В отличие от методик в плоской постановке задачи, предлагаемая модель позволяет исследовать турбулентную диффузию взвеси по вертикали и получить вторичный пик ее содержания в верхнем слое после сброса грунта за счет выноса этой взвеси из нижних слоев. Безразмерный параметр  $f$ , входящий в модель, учитывает обмен взвесью в потоке между слоями и ее удаление из водной среды за счет оседания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Молдованова Е. Д. Эксплуатационное дноуглубление морских каналов с учетом литодинамических процессов / Е. Д. Молдованова, П. С. Никеров // Исследование влияния гидрометеорологических факторов на строительство и эксплуатацию водных путей и портов. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1987. – С. 43-48.

2. Беленко С. Л. Выбор технологии разгрузки трюма самоотвозного землесоса с учетом минимального отрицательного воздействия сбросов на морскую среду // Итоги исследований в связи со сбросом отходов в море / С. Л. Беленко, А. Н. Наумов – М.: Гидрометеоздат, 1988. – С. 73-78.

3. Кирильчик С. В. Математическое моделирование процессов распространения взвесей в океане при добыче полезных ископаемых / С. В. Кирильчик // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Таганрог, 2010. – с. 19.

4. Гончаров А. А. Исследование и моделирование процесса распространения взвеси в морской среде при сбросе грунта / А. А. Гончаров // Автореф. дис. канд. геогр. наук. – М., 1986. – 24 с.

5. Прозоров А. А. Методика расчета зоны короткопериодного воздействия дампинга грунтов дноуглубления / А. А. Прозоров // Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Санкт-Петербург, 2000. – 19 с.

6. Котеров В. Н. Моделирование переноса взвешенных веществ на океаническом шельфе. Эффективная гидравлическая крупность полидисперсной взвеси / В. Н. Котеров, Ю. С. Юрезанская // Журн. вычисл. матем. и матем. физ. – 2009. – Т. 49, №7. – С. 1306-1318.

7. Котеров В. Н. Моделирование переноса взвешенных веществ на океаническом шельфе. Горизонтальное рассеяние / В. Н. Котеров, Ю. С. Юрезанская // Журн. вычисл. матем. и матем. физ. – 2010. – Т. 50, №2. – С. 375-387.

8. Маслаков О. В. Аналіз результатів моде-

лювання переносу домішок в ближній зоні відносно точкового джерела в шельфовій зоні моря / О. В. Маслаков // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2005. – №49. – С. 368-375.

9. Koh R. C. Y. Mathematical Model for Barged Ocean Disposal of Waters / R. C. Y. Koh, Y. C. Chang // EPA Report No 660/2-73-029. – U.S. Environmental Protection Agency, 1973. – 63 p.

10. Brandsma M. G. Development of models for prediction of short-term fate of dredged material discharged in the estuarine environment. / M. G. Brandsma, D. J. Divoky – Tech. Rep. D-76-5, 1976, U.S. Army Eng. Wasterways Experiment Station, CE, Vicksburg, Miss. – 35 p.

11. Johnson B. H. User's guide for models of dredged material disposal in open water. / B. H. Johnson – Tech. Rep. D-90-5, 1990, U.S. Army Eng. Wasterways Experiment Station, CE, Vicksburg, Miss. – 72 p.

12. Ariathurai R. B. Finite element model for cohesive sediment transport. / R. Ariathurai, R. B. Krone – J. Hyd. Div. ASCE. – 1976. – vol. 102. – p. 23-28.

13. Shubel J. R. Field investigation at the nature, degree and extent of turbidity generated by open-water pipeline disposal operations. / J. R. Shubel, H. H. Carter – Tech. Rep. D-78-30, 1978, U.S. Army Eng. Wasterways Experiment Station, CE, Vicksburg, Miss. – 115 p.

14. Wilson R. E. A model for the estimation of the concentrations and spatial extent of suspended sediment plumes / R. E. Wilson // Estuarine and Coastal Marine Science. – 1979. – vol. 9, №1. – P. 65-79.

15. Исследование турбулентности и решение задач переноса загрязняющих веществ в море // Труды ГОИН. – 1977. – Вып. 141. – 170 с.

16. Афанасьев С. В. Моделирование распространения примеси в мелких морях и эстуариях / С. В. Афанасьев // Автореф. дис. ... канд. физ.-мат.



наук. – Л., 1986. – 18 с.

17. Трукшане Л. Я. Гидравлические расчеты загрязнения при дампинге грунта в приустьевой части заливов / Д. В. Алексеев // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1992. – 24 с.

18. Лонин С. А. Моделирование циркуляции и динамики взвешенных частиц в мелководной зоне Черного моря // Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – СПб., 1994. – 21 с.

19. Алексеев Д. В. Численное моделирование нестационарных течений, транспорта примеси и взвеси на северо-западном шельфе Черного моря // Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Севастополь, 2008. – 21 с.

20. Гончаров А. А. Выбор места сброса грунта с учетом экологически значимых зон на примере Пярнуского залива / А. А. Гончаров, М. А. Кравчук // Итоги исследований в связи со сбросом отходов в море. – М.: Гидрометеоздат, 1988. – С. 79-89.

21. Корректировка «Проекта на разработку месторождения песков «Сестрорецкое», расположенного в Финском заливе Балтийского моря» в связи с реконструкцией карьера. Инв. № 3595. – СПб, 2012. – 50 с.

22. Юрасов С. Н. В. Математическая модель

неустановившейся турбулентной диффузии взвеси в водном потоке / С. Н. Юрасов, В. В. Горун // Метеорологія, кліматологія та гідрологія: Межвід. наук. збірник України / Голов. ред. С. М. Степаненко. – Одеса: Вид. «ТЕС», 2010. – Вип. 51. – С. 189-199.

23. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / Под ред. проф. Караушева А. В. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 285 с.

24. Саарсо М. В. Об изменении гранулометрического состава взвеси в поле повышенной мутности, образующейся при дампинге грунтов / М. В. Саарсо, А. А. Гончаров // Итоги исследований в связи со сбросом отходов в море. – М.: Гидрометеоздат, 1988. – С. 56-63.

25. Горун В. В. Оптимизация параметров математической модели неустановившейся турбулентной диффузии взвеси в водной среде / В. В. Горун, С. Н. Юрасов // Вестник ОГЭКУ. – Одеса, 2012. – вып. 14. – С. 28-35.

Надійшла до редколегії 19.03.2013

UDC 630\*114.2

**J. VILČEK\***, prof., PhD, **A. LISNYAK\*\***, PhD

\**Soil Science and Conservation Research Institute Bratislava, regional work place Presov, Raymannova 1, 080 01 Prešov, Slovak Republic*

\*\**Kharkiv V.N. Karazin National University, ecological faculty, Ukraine, laa.79@mail.ru*

## ECOLOGICAL FEATURES OF THE POTENTIAL OF SOILS FOR MINIMALIZING AND SOIL-CONSERVATION TILLAGE IN SLOVAKIA

There is an alternative technology of traditional agricultural soil processing, so called minimalizing cultivation, which is based on reduction of some operating processes used in common. It is possible to perform this technology only in particular soil conditions. Total land area of sites in Slovakia, which are available for the application of minimalizing cultivation is about 693 thousand hectares, which presents approximately 28% of agricultural and 48% of arable soils. 60% of this land area occurs in the maize production area and 39% in the sugar beet production area, thus in the most favourable agricultural localities regarding climate and soil. According to the administrative structuring of Slovakia 43% of agricultural soils suitable for minimalizing technologies occurs in Nitra district and about 27% in Trnava district.

Identification of areas, suitable for such technologies application, is possible by the information databases of Soil Science and Conservation Research Institute Bratislava, which have been elaborated for this purpose in geographic and informative systems. Regarding input parameters, they were chosen as follows: climatic conditions of given locality, sleepiness, depth, stoniness and soil texture.

**Key words:** minimalizing soil cultivation, soil parameters, soil regionalization, agricultural productive areas

### Вилчек Дж., Лисняк А. А. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОТЕНЦИАЛА ПОЧВ ПРИ МИНИМАЛИЗИРОВАННОЙ И ПОЧВОЗАЩИТНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОЧВ В СЛОВАКИИ

Существует альтернативная технология традиционной сельскохозяйственной обработки почвы, так называемая минимализация выращивания, которая основана на сокращении некоторых операционных процессов, используемых в общем земледелии. Реализовать эту технологию можно только в особых почвенных условиях. Общая земельная площадь наблюдения в Словакии, которая доступна для применения минимализации выращивания культур составляет около 693 тыс. гектаров, и составляет около 28% сельскохозяйственных земель, а из них 48% пахотных почв. 60% этой площади приходится на производство