

14. *Аббасов И.Б.* Исследование и моделирование рефракции нелинейных поверхностных гравитационных волн в заливе // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2004. – Т. 40, № 3. – С. 423-426.
15. *Аббасов И.Б.* Моделирование рефракции нелинейных поверхностных гравитационных волн на береговых склонах разной крутизны // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 6 (107). – С.149-154.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор Г.В. Куповых.

Аббасов Ифтихар Балакишиевич

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: igkd@egf.tsure.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371794.

Кафедра инженерной графики и компьютерного дизайна; к.ф.-м.н.; доцент.

Неверов Алексей Александрович

Армавирская государственная педагогическая академия.

E-mail: agpu_kaf_inf@mail.ru.

352901, г. Армавир, ул. Р. Люксембург, 159.

Тел.: 8613737307.

Кафедра информатики и информационных технологий обучения; ассистент.

Abbasov Iftikhar Balakishi

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: igkd@egf.tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371794.

The Department of Engineering Drawing and Computer Design; Cand. of Phys.-Math. Sc.; Associate Professor.

Neverov Alexey Aleksandrovich

Armavir State Pedagogical Academy.

E-mail: agpu_kaf_inf@mail.ru.

159, R. Luxemburg Street, Armavir, 352901, Russia.

Phone: 8613737307.

The Department of Computer Science and Information Technologies of Training; Assistant.

УДК 550.348

А.Г. Клово, Г.В. Куповых, О.В. Новикова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ПОДПОЧВЕННОГО РАДОНА В ГРУНТЕ И ЕГО ЭКСХАЛЯЦИИ В ПРИЗЕМНЫЙ СЛОЙ АТМОСФЕРЫ

Построена единая математическая модель процесса массопереноса эманации (^{222}Rn) в рыхлых отложениях и в приземном слое атмосферы с учетом диффузии и конвекции. Для корректной постановки задачи на границе раздела двух сред земли и воздуха задача была поставлена в общей области земля – атмосфера. Была реализована возможность получить прямой безытерационный алгоритм расчета необходимых параметров. Построенная разностная схема позволяет исследовать пространственно-временные распределения радона в различных физических условиях.

Математическое моделирование; радон; промежуточные граничные условия.

A.G. Klovo, G.V. Kupovich, O.V. Novikova

MODELING OF UNDERGROUND RADON TRANSFER PROCESSES IN SOIL AND ITS EXHALATION TO THE SURFACE LAYER

The mathematical model of the (^{222}Rn) emanation mass transfer process in the loose sediments and in the surface layer including diffusion and convection is developed in this work. For the correct statement of the problem at the partition boundary of two mediums earth and air the statement of the problem was made in common domain earth – atmosphere. An opportunity to get the direct counting algorithm without iterations for necessary parameters is obtained. This difference scheme allows to research the space-time radon distribution in different physical conditions.

Mathematical modeling, radon, intermediate boundary conditions.

($^{222}_{86}\text{Rn}$) – радиоактивный нуклид химического элемента радона с атомным номером 86 и массовым числом 222, является членом радиоактивного семейства (^{238}U). Наиболее значимый путь попадания радона в атмосферу связан с выделением радона непосредственно из грунтов. Однако радон в недрах земли распространен крайне неравномерно. Это связано как с тем, что радон накапливается в тектонических неоднородностях, куда он поступает по системам микротрещин из горных пород, так и с их способностью аккумулировать радон и коэффициентом эманирования [1]. В геохимических исследованиях наиболее технологичным методом прогноза землетрясений является регистрация радона в подпочвенной атмосфере. Начиная с 70-х годов XX века, радоновый метод стал активно использоваться во всех сейсмоактивных регионах мира с целью поиска предвестников землетрясений. В настоящее время общепринято считать, что в динамике подпочвенного радона находит отражение изменение напряженно-деформированного состояния геосреды на последней стадии подготовки очага землетрясения [2]. Одновременно эксхалация радона в приземный слой атмосферы приводит к его ионизации, которая изменяет проводимость приземного слоя и влияет на его электрические характеристики.

Построением математической конвективно-диффузионной модели массопереноса радона в грунте и его эксхалаций в приземный слой атмосферы занимались Паровник Р.И., Ильин И.А., Фирстов П.П. [2]. Задача решалась аналитически, без учета конвективной составляющей, и коэффициент турбулентной диффузии в атмосфере считался независящим от высоты. Исследования влияния радона на ионизацию атмосферы были проведены Куповых Г.В., Морозовым В.Н., Шварцем Я.М. [3].

В данной работе проведено исследование конвективно-диффузионной модели массопереноса радона в рыхлых отложениях и его стока в приземный слой атмосферы с учетом краевых условий.

Дифференциальные уравнения в частных производных, описывающие процессы массопереноса радона, имеют вид [4]

$$\eta \frac{\partial N_1(z,t)}{\partial t} - D \frac{\partial^2 N_1(z,t)}{\partial z^2} + v\eta \frac{\partial N_1(z,t)}{\partial z} + \lambda \eta N_1(z,t) = Q, \quad \text{a)}$$

$$\eta \frac{\partial N_2(z,t)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} \left(A(z) \cdot \frac{N_2(z,t)}{\partial z} \right) - \lambda N_2(z,t) = 0, \quad \text{b)}$$
(1)

где N_I – концентрация радона в единице объема порового пространства, $\text{Ки}/\text{см}^3$; η – пористость горной породы, D – коэффициент диффузии, $\text{см}^2/\text{с}$, λ – постоянная распада эманаций, с^{-1} ; v – скорость конвективного переноса, $\text{см}/\text{с}$, $Q = \frac{a \cdot Ra \cdot \rho \cdot \lambda}{\eta}$ –

скорость выделения эманаций в поровое пространство в единице объема среды, $\text{Ки}/\text{с}/\text{см}^3$, Ra – количество радия в породе, g , ρ – плотность породы, $g/\text{см}^3$, a – коэффициент эманирования; $A(z)$ – коэффициент турбулентной диффузии, $N_I(z,t)$ и $N_2(z,t)$ – плотности распределения радона в грунте и атмосфере соответственно.

Уравнение (а) описывает некоторый установившийся диффузионно-конвективный процесс массопереноса радона в грунте, а уравнение (б) – диффузионный массоперенос радона в атмосфере. Уравнения (1) решаются численно при следующих начальных и граничных условиях:

1. Равенство потоков и концентраций радона на границе сред:

$$z = 0, \quad N_1(z,t) = N_2(z,t), \quad \eta D \frac{\partial N_1(z,t)}{\partial z} = A \frac{\partial N_2(z,t)}{\partial z}. \quad (2)$$

2. Постоянная концентрация радона при достижении равновесия с продуктами распада на определенной глубине рыхлых отложений:

$$z \rightarrow +\infty, \quad N_1(z,t) = N_\infty, \quad z \rightarrow -\infty, \quad N_2(z,t) = 0. \quad (3)$$

3. Концентрация радона в начальный момент времени постоянна:

$$t = 0, \quad N = N_\infty. \quad (4)$$

Полагая, что коэффициент турбулентной диффузии $A(z)$ не зависит от высоты с помощью интегроинтерполяционного метода была построена разностная схема уравнений (1):

$$\begin{aligned} & \frac{D \cdot \tau}{2 \cdot h} \cdot \left((N_1)_{i+1}^{j+1} - 2 \cdot (N_1)_i^{j+1} + (N_1)_{i-1}^{j+1} + (N_1)_{i+1}^j - 2 \cdot (N_1)_i^j + (N_1)_{i-1}^j \right) + \\ & + \frac{v \cdot \eta \cdot \tau}{4} \cdot \left((N_1)_{i+1}^{j+1} + (N_1)_{i-1}^{j+1} - (N_1)_{i+1}^j - (N_1)_{i-1}^j \right) - \\ & - \frac{\lambda \cdot \eta \cdot h \cdot \tau}{8} \cdot \left((N_1)_{i+1}^{j+1} + (N_1)_{i-1}^{j+1} + 2 \cdot (N_1)_i^{j+1} + (N_1)_{i+1}^j + 2 \cdot (N_1)_i^j + (N_1)_{i-1}^j \right) - \\ & - \frac{\eta \cdot h}{4} \cdot \left((N_1)_{i+1}^{j+1} + 2 \cdot (N_1)_i^{j+1} + (N_1)_{i-1}^{j+1} - \left((N_1)_{i-1}^j + 2 \cdot (N_1)_i^j + (N_1)_{i+1}^j \right) \right) + \frac{h \cdot \tau}{8} Q = 0, \\ & \frac{A \cdot \tau}{2 \cdot h} \cdot \left((N_2)_{i+1}^{j+1} - 2 \cdot (N_2)_i^{j+1} + (N_2)_{i-1}^{j+1} + (N_2)_{i+1}^j - 2 \cdot (N_2)_i^j + (N_2)_{i-1}^j \right) - \\ & - \frac{\lambda \cdot h \cdot \tau}{8} \cdot \left((N_2)_{i+1}^{j+1} + 2 \cdot (N_2)_i^{j+1} + (N_2)_{i-1}^{j+1} + (N_2)_{i+1}^j + 2 \cdot (N_2)_i^j + (N_2)_{i-1}^j \right) + \\ & + \frac{\eta \cdot h}{4} \cdot \left((N_2)_{i+1}^{j+1} + 2 \cdot (N_2)_i^{j+1} + (N_2)_{i-1}^{j+1} - \left((N_2)_{i+1}^j + 2 \cdot (N_2)_i^j + (N_2)_{i-1}^j \right) \right) = 0. \end{aligned}$$

В итоге получена система с трехдиагональной матрицей для каждого из уравнений:

$$\begin{aligned}
& (N_1)_{i+1}^{j+1} \cdot \left(\frac{D \cdot \tau}{2 \cdot h} + \frac{v \cdot \eta \cdot \tau}{4} - \frac{\lambda \cdot \eta \cdot h \cdot \tau}{8} - \frac{\eta \cdot h}{4} \right) + \\
& + (N_1)_i^{j+1} \cdot \left(-\frac{D \cdot \tau}{h} - \frac{\lambda \cdot \eta \cdot h \cdot \tau}{4} - \frac{\eta \cdot h}{2} \right) + \\
& + (N_1)_{i-1}^{j+1} \cdot \left(\frac{D \cdot \tau}{2 \cdot h} + \frac{v \cdot \eta \cdot \tau}{4} - \frac{\lambda \cdot \eta \cdot h \cdot \tau}{8} - \frac{\eta \cdot h}{4} \right) = \\
& = \frac{D \cdot \tau}{2 \cdot h} \cdot \left((N_1)_{i+1}^j - 2 \cdot (N_1)_i^j + (N_1)_{i-1}^j \right) + \frac{v \cdot \eta \cdot \tau}{4} \cdot \left((N_1)_{i+1}^j + (N_1)_{i-1}^j \right) + \\
& + \frac{\lambda \cdot \eta \cdot h \cdot \tau}{8} \cdot \left((N_1)_{i+1}^j - 2 \cdot (N_1)_i^j + (N_1)_{i-1}^j \right) - \\
& - \frac{\eta \cdot h}{4} \cdot \left((N_1)_{i+1}^j - 2 \cdot (N_1)_i^j + (N_1)_{i-1}^j \right) - \frac{h \cdot \tau}{8} \cdot Q, \\
& (N_2)_{i+1}^{j+1} \cdot \left(\frac{A \cdot \tau}{2 \cdot h} - \frac{\lambda \cdot h \cdot \tau}{8} + \frac{\eta \cdot h}{4} \right) + (N_2)_i^{j+1} \cdot \left(-\frac{A \cdot \tau}{h} - \frac{2 \cdot \lambda \cdot h \cdot \tau}{8} + \frac{2 \cdot \eta \cdot h}{4} \right) + \\
& + (N_2)_{i-1}^{j+1} \cdot \left(\frac{A \cdot \tau}{2 \cdot h} - \frac{\lambda \cdot h \cdot \tau}{8} + \frac{\eta \cdot h}{4} \right) = -\frac{A \cdot \tau}{2 \cdot h} \cdot \left((N_2)_{i+1}^j - 2 \cdot (N_2)_i^j + (N_2)_{i-1}^j \right) + \\
& + \frac{\lambda \cdot h \cdot \tau}{8} \cdot \left((N_2)_{i+1}^j + 2 \cdot (N_2)_i^j + (N_2)_{i-1}^j \right) + \frac{\eta \cdot h}{4} \cdot \left((N_2)_{i+1}^j + 2 \cdot (N_2)_i^j + (N_2)_{i-1}^j \right),
\end{aligned}$$

где i – номер шага по пространству, а j – номер шага по времени.

Прогночные коэффициенты для уравнения (а) имеют вид

$$\begin{aligned}
A &= \frac{D \cdot \tau}{2 \cdot h} + \frac{v \cdot \eta \cdot \tau}{4} - \frac{\lambda \cdot \eta \cdot h \cdot \tau}{8} - \frac{\eta \cdot h}{4}; & B &= -\frac{D \cdot \tau}{2 \cdot h} - \frac{\lambda \cdot \eta \cdot h \cdot \tau}{8} - \frac{\eta \cdot h}{4}; \\
C &= \frac{D \cdot \tau}{2 \cdot h} + \frac{v \cdot \eta \cdot \tau}{4} - \frac{\lambda \cdot \eta \cdot h \cdot \tau}{8} - \frac{\eta \cdot h}{4}; \\
F &= -\frac{D \cdot \tau}{2 \cdot h} \cdot \left((N_1)_{i+1}^j - 2 \cdot (N_1)_i^j + (N_1)_{i-1}^j \right) + \frac{v \cdot \eta \cdot \tau}{4} \cdot \left((N_1)_{i+1}^j + (N_1)_{i-1}^j \right) + \\
& + \frac{\lambda \cdot \eta \cdot h \cdot \tau}{8} \cdot \left((N_1)_{i+1}^j + 2 \cdot (N_1)_i^j + (N_1)_{i-1}^j \right) - \\
& - \frac{\eta \cdot h}{4} \cdot \left((N_1)_{i+1}^j + 2 \cdot (N_1)_i^j + (N_1)_{i-1}^j \right) - \frac{h \cdot \tau}{8} \cdot Q,
\end{aligned}$$

а для уравнения (b):

$$\begin{aligned}
A &= \frac{A \cdot \tau}{2 \cdot h} - \frac{\lambda \cdot h \cdot \tau}{8} + \frac{\eta \cdot h}{4}; & B &= -\frac{A \cdot \tau}{2 \cdot h} - \frac{\lambda \cdot h \cdot \tau}{8} + \frac{\eta \cdot h}{4}; \\
C &= \frac{A \cdot \tau}{2 \cdot h} - \frac{\lambda \cdot h \cdot \tau}{8} + \frac{\eta \cdot h}{4};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F = & -\frac{A \cdot \tau}{2 \cdot h} \cdot \left((N_2)_{i+1}^j - 2 \cdot (N_2)_i^j + (N_2)_{i-1}^j \right) + \\
 & + \frac{\lambda \cdot h \cdot \tau}{8} \cdot \left((N_2)_{i+1}^j + 2 \cdot (N_2)_i^j + (N_2)_{i-1}^j \right) + \\
 & + \frac{\eta \cdot h}{4} \cdot \left((N_2)_{i-1}^j + 2 \cdot (N_2)_i^j + (N_2)_{i+1}^j \right).
 \end{aligned}$$

Описанная система при шагах h (шаг по пространству) и τ (шаг по времени), обеспечивающих выполнение требований об устойчивости и сходимости, решается методом прогонки. Для корректной постановки задачи на границе раздела двух сред земля и воздуха поставим задачу в общей области земля – атмосфера. В таком виде на границе двух сред (поверхности земли) появляется существенное внутреннее граничное условие. Для его постановки проинтегрируем уравнение (а) по области D_2 , а уравнение (б) по области D_1 (рис. 1).

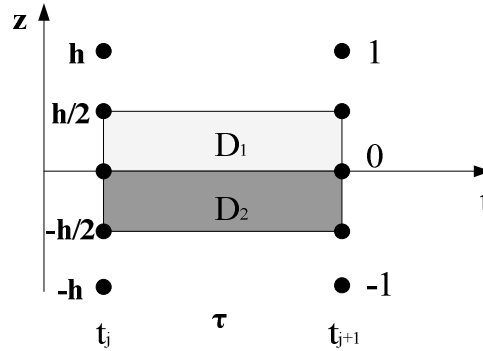


Рис. 1. Фрагмент пространственно-временной сетки

Вычисляя потоки на границе для соответствующих уравнений и используя известное соотношение (2) на границе “земля – атмосфера”, получим уравнение для точек нашей области. В результате получаем новые условия на границе “земля – атмосфера” следующим образом:

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{dN_1}{dz} \right)_0^{j+1} = & -\frac{1}{h} \left((N_1)_1^j - (N_1)_0^j \right) + \frac{1}{h} \left((N_1)_0^j - (N_1)_{-1}^j + (N_1)_0^{j+1} - (N_1)_{-1}^{j+1} \right) - \\
 & - \frac{v \cdot \eta \cdot h}{4 \cdot D \cdot \tau} \left(3 \cdot (N_1)_0^{j+1} - 3 \cdot (N_1)_0^j + (N_1)_{-1}^{j+1} - (N_1)_{-1}^j \right) + \\
 & + \frac{\lambda \cdot \eta \cdot h}{4 \cdot D} \left(3 \cdot (N_1)_0^{j+1} + 3 \cdot (N_1)_{-1}^{j+1} + 3 \cdot (N_1)_0^j + (N_1)_{-1}^j \right) + \\
 & + \frac{\eta \cdot h}{4 \cdot D \cdot \tau} \left((N_1)_{-1}^{j+1} + 3 \cdot (N_1)_0^{j+1} - (N_1)_{-1}^j - 3 \cdot (N_1)_0^j \right) - \frac{h}{D} \cdot Q,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{dN_2}{dz}\right)_0^{j+1} &= \frac{1}{h} \left((N_2)_1^j - (N_2)_0^j + (N_2)_1^{j+1} - (N_2)_0^{j+1} \right) - \\ &- \frac{1}{h} \left((N_2)_1^j - (N_2)_0^j \right) - \frac{\lambda \cdot h}{4} \left((N_2)_1^{j+1} + 3 \cdot (N_2)_0^{j+1} + 3 \cdot (N_2)_{-1}^j + (N_2)_1^j \right) + \\ &+ \frac{\lambda \cdot h}{4 \cdot \tau} \left((N_2)_1^{j+1} + 3 \cdot (N_2)_0^{j+1} - (N_2)_1^j - 3 \cdot (N_2)_0^j \right). \end{aligned}$$

Пусть $N_1(z) = N_2(z) = N$ на границе раздела “земля – атмосфера”, тогда

$$\begin{aligned} N_1^{j+1} \left(\frac{A}{h} + \frac{A \cdot \lambda \cdot h}{4} - \frac{A \cdot \eta \cdot h}{4 \cdot \tau} \right) + N_{-1}^{j+1} \left(\frac{\eta \cdot D}{h} - \frac{\eta^2 \cdot h \cdot v}{4 \cdot \tau} + \frac{\eta^2 \cdot h \cdot \lambda}{4} + \frac{\eta^2 \cdot h}{4 \cdot \tau} \right) + \\ + N_0^{j+1} \left(\frac{\eta \cdot D}{h} - \frac{3 \cdot \eta^2 \cdot h \cdot v}{4 \cdot \tau} + \frac{3 \cdot \eta^2 \cdot h \cdot \lambda}{4} + \frac{3 \cdot \eta^2 \cdot h}{4 \cdot \tau} + \frac{A}{h} + \frac{3 \cdot A \cdot \lambda \cdot h}{4} - \frac{3 \cdot A \cdot \lambda \cdot h}{4 \cdot \tau} \right) = \\ = \frac{\eta \cdot D}{h} (N_1^j - N_0^j) - \frac{\eta \cdot D}{h} (N_0^j - N_{-1}^j) - \frac{v \cdot \eta^2 \cdot h}{4 \cdot \tau} (N_{-1}^j + 3 \cdot N_0^j) - \frac{\lambda \cdot \eta^2 \cdot h}{4} (N_{-1}^j + 3 \cdot N_0^j) + \\ + \frac{\eta^2 \cdot h}{4 \cdot \tau} (N_{-1}^j + 3 \cdot N_0^j) + h \cdot Q \cdot \eta - \frac{A \cdot \lambda \cdot h}{4} \cdot (N_1^j + 3 \cdot N_0^j) + \frac{A \cdot \lambda \cdot h}{4 \cdot \tau} \cdot (3 \cdot N_0^j + N_1^j). \end{aligned}$$

В результате получена СЛАУ с трехдиагональной матрицей, которая решается методом прогонки со следующими прогоночными коэффициентами [5]:

$$\begin{aligned} A &= \frac{\eta \cdot D}{h} - \frac{\eta^2 \cdot h \cdot v}{4 \cdot \tau} + \frac{\eta^2 \cdot h \cdot \lambda}{4} + \frac{\eta^2 \cdot h}{4 \cdot \tau}, \\ B &= \frac{\eta \cdot D}{h} - \frac{3 \cdot \eta^2 \cdot h \cdot v}{4 \cdot \tau} + \frac{3 \cdot \eta^2 \cdot h \cdot \lambda}{4} + \frac{3 \cdot \eta^2 \cdot h}{4 \cdot \tau} + \frac{A}{h} + \frac{3 \cdot A \cdot \lambda \cdot h}{4} - \frac{3 \cdot A \cdot \lambda \cdot h}{4 \cdot \tau}, \\ C &= -\frac{A}{h} + \frac{A \cdot \lambda \cdot h}{4} - \frac{A \cdot \eta \cdot h}{4 \cdot \tau}, \\ F &= \frac{\eta \cdot D}{h} (N_1^j - N_0^j) - \frac{\eta \cdot D}{h} (N_0^j - N_{-1}^j) - \frac{v \cdot \eta^2 \cdot h}{4 \cdot \tau} (N_{-1}^j + 3 \cdot N_0^j) - \frac{\lambda \cdot \eta^2 \cdot h}{4} (N_{-1}^j + 3 \cdot N_0^j) + \\ &+ \frac{\eta^2 \cdot h}{4 \cdot \tau} (N_{-1}^j + 3 \cdot N_0^j) + h \cdot Q \cdot \eta - \frac{A \cdot \lambda \cdot h}{4} \cdot (N_1^j + 3 \cdot N_0^j) + \frac{A \cdot \lambda \cdot h}{4 \cdot \tau} \cdot (3 \cdot N_0^j + N_1^j). \end{aligned}$$

Таким образом, построенная разностная схема позволяет в рамках данной модели исследовать пространственно-временные распределения радона в различных физических условиях: в приземном слое атмосферы и в грунте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бекман И.Н. Радон: враг, врач и помощник: Курс лекций <http://profbeckman.narod.ru/rad.htm>.
2. Паровик Р.И., Ильин И.А., Фирстов П.П. Математическая диффузионная модель массопереноса радона (^{222}Rn) в грунте и его экскаляции в приземный слой атмосферы // Вестник Краунс. Серия науки о земле. – 2006. – № 1. – Вып. 7. – С. 110-114.
3. Куповых Г.В., Морозов В.Н., Шварц Я.М. Теория электродного эффекта в атмосфере. Монография. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1998. – 123 с.
4. Новиков Г.Ф. Радиометрическая разведка. – Л.: Недра, 1989. – 407 с.
5. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы математической физики. – 2-е изд. – М.: Научный мир, 2003. – 316 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор А.И. Жорник.

Куповых Геннадий Владимирович

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: kupovykh@users.tsure.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371649.

Кафедра физики; заведующий кафедрой; д.ф.-м.н.; профессор.

Клово Александр Георгиевич

E-mail: klovo_ag@mail.ru.

Тел.: 88634371606.

Кафедра высшей математики; к.ф.-м.н.; доцент.

Новикова Олеся Вадимовна

E-mail: lisunyk@rambler.ru.

Тел.: +79188588349.

Кафедра физики; аспирант.

Kupovykh Gennady Vladimirovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: kupovykh@users.tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371649.

The Department of Physics; Head of Department; Dr. of Phys.-Math. Sc.; Professor.

Klovo Alexander Georgievich

E-mail: klovo_ag@mail.ru.

Phone: +78634371606.

The Department of Higher mathematics; Associate Professor, Cand. of Phys.-Math. Sc.; Associate Professor.

Novikova Olesya Vadimovna

E-mail: lisunyk@rambler.ru.

Phone: +79188588349.

The Department of Physics; Post-graduate Student.

УДК 519.6

А.И. Сухинов, А.Е. Чистяков, Е.А. Проценко

**ДВУМЕРНАЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, УЧИТЫВАЮЩАЯ
ДИНАМИЧЕСКОЕ ПЕРЕСТРОЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ ДНА
МЕЛКОВОДНОГО ВОДОЕМА**

Рассмотрена гидродинамическая пространственно-двумерная модель транспорта наносов в прибрежной зоне водоемов. Описание гидродинамических процессов выполнено на основе системы уравнений Навье–Стокса. Аппроксимация задачи гидродинамики по временной переменной произведена на основе схем расщепления по физическим процессам, а также схем с весами. Для данной математической модели построена дискретная модель, рассмотрена ее программная реализация, приведены результаты численных экспериментов. В статье показана динамика изменения функции возвышения уровня и рельефа дна.

Перемещения наносов; гидродинамики; дискретная модель; численный эксперимент.