

Э К О Л О Г И Я

УДК 510.67:554+556.5.072+556.535.8

НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ОСЕДАНИЯ ВЕЩЕСТВ НА РАЗНОТИПНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ¹

О. М. Бабешко²

A NEW APPROACH TO THE ASSESSMENT OF SUBSTANCES SETTLING ON MULTI-TYPE SURFACES

Babeshko O. M.

The paper offers a new approach to the solution of a number of practically important environmental problems, e.g. problems of soil build-up. In particular, this approach can be applied to assess the environmental load on the territories systematically exposed to pollutants, ejected in the atmosphere or water area and settled on the ground surface or the bottom of a water reservoir. The peculiarity of this method lies in the possibility to consider multiple layers of the medium and poly-type underlying surfaces, on which pollutants settle. The method allows defining necessary parameters through an ordinary experiment while modeling a natural or man-caused process.

В работе предлагается новый подход к решению ряда практически важных задач экологии, проблемы наращивания суши, являющийся дальнейшим развитием изложенного в [1–3]. В частности, он применим для оценки экологической нагрузки на территории, подверженной систематическим воздействиям выбрасываемых загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу или водную акваторию и осаждающихся на поверхность земли или дно водоема. Особенность метода заключается в возможности учета как многослойности среды, так и разнотипности подстилающих поверхностей, на которые осаждаются ЗВ. Метод позволяет при моделировании природного или техногенного процесса определять необходимые параметры простым экспериментом.

Изменение метеорологических данных по высоте приближенно моделируется многослойной средой. Движение среды в каждом слое считается установившимся с параметрами, доступными для оперативного измере-

ния. Свойства подстилающих поверхностей в рассматриваемой зоне описываются параметрами, характеризующими способность данного участка поверхности удерживать часть осаждающихся веществ при наличии приповерхностных движений среды. Источники выбросов веществ могут быть сосредоточенными либо распределенными. Рассматриваются процессы в мезомасштабном приближении [4]. Модели сложных физико-химических взаимодействий веществ в атмосфере или в водном пространстве, а также сложных турбулентных движений среды здесь не рассматриваются [5]. В то же время учитываются такие данные, как диффузия и поглощение веществ, конвективные процессы, влияние приповерхностных движений среды, приводящих к разным эффектам для зон с различными свойствами. Метод ориентирован в первую очередь на изучение явлений на разнотипных подстилающих поверхностях. В нем применяется схема описания осаждения ЗВ

¹Работа выполнена при поддержке Минобразования России (Е02-4.0-190), З/Н-241, 379, 380; ГН-374, РФФИ (03-01-00694), РФФИ р2003юг (03-01-96537, 03-01-96527, 03-01-96519, 03-01-96587), ФЦП «Интеграция» (Б0121), Университеты России, CRDF (REC-004), гранта Президента РФ (НШ-2107.2003.1).

²Бабешко Ольга Мефодиевна, канд. хим. наук, заведующая отделом Государственного научно-исследовательского центра прогнозирования и предупреждения геоэкологических и техногенных катастроф при Кубанском государственном университете.

на поверхности с учетом способности последних частично удерживать оседающие вещества при наличии приповерхностных движений среды. В частности, степень сдува или смыва веществ, в том числе химически взаимодействующих [6, 7], с конкретной зоны подстилающей поверхности описывается граничным условием, содержащим параметры, зависящие от скоростей движения среды в приповерхностном слое. Эти параметры, характеризующие каждый тип подстилающих поверхностей исследуемой зоны, должны быть определены экспериментально.

1. Считаем, что среда занимает многослойную область Ω с конечным числом слоев N с плоскими границами. В каждом слое движение среды периодически установившееся, со своими скоростями. Расположив плоскость $x_1 O x_2$ на границе нижнего слоя, называемой поверхностью, нормаль к которой совпадает с вертикальной осью x_3 , выпишем для этого случая уравнение переноса вещества в мезомасштабном приближении [4]

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi_n}{\partial t} + u_n \frac{\partial \varphi_n}{\partial x_1} + v_n \frac{\partial \varphi_n}{\partial x_2} + (w_n - w_{ng}) \frac{\partial \varphi_n}{\partial x_3} + \\ + \sigma_n \varphi_n - \mu_n \left(\frac{\partial^2 \varphi_n}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 \varphi_n}{\partial x_2^2} \right) - \\ - \nu_n \frac{\partial^2 \varphi_n}{\partial x_3^2} = f_n(x, y, z, t), \\ n = 1, 2, \dots, N. \end{aligned}$$

Здесь φ_n — концентрация вещества в слое $h_{n-1} \leq x_3 \leq h_n$, $h_0 = 0$; u_n, v_n, w_n — компоненты вектора скорости среды; w_{ng} — скорость движения частицы под действием силы тяжести; σ_n — коэффициент поглощения; μ_n, ν_n — коэффициенты горизонтальной и вертикальной диффузий соответственно; f_n — функция, описывающая внутренние источники выброса ЗВ.

Предполагается, что источники выбросов допускают незначительные пульсации мощности выбросов ЗВ, описываемые функцией

$$\begin{aligned} f_n(x, y, z, t) = f_{n1}(x, y, z) + f_{n2}(x, y, z) \sin \omega t, \\ f_{n1}(x, y, z, t) > f_{n2}(x, y, z, t) > 0. \end{aligned} \quad (1.1)$$

Если выброс веществ осуществляется источниками, сосредоточенными в точках (y_{1n}, y_{2n}, y_{3n}) , $h_{n-1} \leq y_{3n} \leq h_n$, чем мы и ограничимся в данной работе, то функция f может

быть выражена через δ -функцию в виде

$$\begin{aligned} f_n(x, y, z, t) = \\ = C_n \delta(x_1 - y_{1n}, x_2 - y_{2n}, x_3 - y_{3n}) \exp(i\omega t). \end{aligned} \quad (1.2)$$

Здесь принята во внимание линейность краевой задачи и возможность описания решений, отвечающих правой части (1.1), суперпозицией решений с правыми частями (1.2). Предполагая частоту ω малой, пренебрегаем пульсациями скоростей, считая их постоянными. Вектор скорости должен удовлетворять уравнениям неразрывности, что при постоянных скоростях выполняется автоматически.

На границах слоев задаются условия сопряжения, имеющие вид

$$\begin{aligned} x_3 = h_n : \quad \varphi_n(x_1, x_2, x_3) = \varphi_{n+1}(x_1, x_2, x_3), \\ n = 1, 2, \dots, N-1, \end{aligned}$$

$$\nu_n \frac{\partial \varphi_n(x_1, x_2, x_3)}{\partial x_3} = \nu_{n+1} \frac{\partial \varphi_{n+1}(x_1, x_2, x_3)}{\partial x_3}.$$

На нижней и верхней границах пакета слоев должны выполняться соответственно граничные условия

$$\begin{aligned} x_3 = 0 : \quad \alpha_{10m} \frac{\partial \varphi_1}{\partial x_3} - \alpha_{20m} \varphi_1 = w_m^0(x_1, x_2), \\ (1.3) \end{aligned}$$

$$(x_1, x_2) \in \Omega_m, \quad \cup \Omega_m = R^2, \quad m = 1, 2, \dots, M,$$

$$x_3 = h_N : \quad \alpha_{1N} \frac{\partial \varphi_N}{\partial x_3} - \alpha_{2N} \varphi_N = g(x_1, x_2).$$

Граничные условия (1.3) переводят краевую задачу в класс смешанных, с линиями раздела граничных условий. Области Ω_m предполагаются произвольными, могут быть многосвязными, простирающимися на бесконечность. Входящие в представление (1.3) параметры являются функциями скоростей нижнего слоя, т.е. $\alpha_{10m}(u_1, v_1)$, $\alpha_{20m}(u_1, v_1)$. Тем самым принимается модель, для которой в зависимости от величин скоростей в нижнем (приповерхностном) слое будет происходить частичное или полное ($\alpha_{10m} = 0$) сдувание или смывание оседающего вещества. При $\alpha_{20m} = 0$ сдувание или смыв отсутствуют. Введенные таким образом граничные условия близки к реальности. Они описывают локально происходящие природные процессы ветрового или водопотокового воздействия на разнотипные поверхности, по-разному удерживающие осевшие вещества. На бесконечности

решения краевой задачи должны стремиться к нулю.

В связи с тем, что краевая задача является смешанной, сведем ее к системе интегральных уравнений. С этой целью рассмотрим вспомогательную краевую задачу, заменив граничные условия (1.3) одним, положив для какого-нибудь m

$$\alpha_{10m} \frac{\partial \varphi_1}{\partial x_3} - \alpha_{20m} \varphi_1 = q(x_1, x_2),$$

$$x_3 = 0, \quad (x_1, x_2) \in R^2.$$

В частности, можно принять

$$\alpha_{10m} = 0, \quad \alpha_{20m} = -1, \quad \varphi_1 = q(x_1, x_2),$$

$$x_3 = 0, \quad (x_1, x_2) \in R^2.$$

В этом случае функция q характеризует распределение ЗВ на нижней границе первого слоя, т.е. на земле.

Введенная функция $q(x_1, x_2)$, имеющая проекции $q_m(x_1, x_2)$ на области Ω_m , неизвестна и нуждается в определении. Отыскивая решение вспомогательной краевой задачи в пространстве медленно растущих обобщенных функций [8–11] методом факторизации или методом преобразований Фурье, приходим к краевой задаче для системы обыкновенных дифференциальных уравнений, решения которых строятся одним из указанных методов. В результате решение можно представить в форме интегралов Фурье

$$\begin{aligned} \varphi_{k+1}(x_1, x_2, x_3) &= \\ &= \frac{1}{4\pi^2} \iint_{R^2} \Phi_{k+1}(\alpha_1, \alpha_2, x_3) e^{-i(\alpha x)} d\alpha_1 d\alpha_2 \equiv \\ &\equiv V^{-1} \Phi_{k+1}, \quad \Phi_{k+1} = V \varphi_{k+1}. \end{aligned} \quad (1.4)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{k+1}(\alpha_1, \alpha_2, x_3) &= \\ &= [a_{k+1} \operatorname{ch} \chi_{k+1}(x_3 - h_k) + \\ &+ b_{k+1} \operatorname{sh} \chi_{k+1}(x_3 - h_k)] e^{\gamma_k(x_3 - h_k)} + \\ &+ \chi_{k+1}^{-1} \nu_{k+1}^{-1} e^{\gamma_{k+1}(x_3 - y_{3k+1})} \times \\ &\times [\operatorname{sh} \chi_{k+1}(x_3 - y_{3k+1})] \psi(y_{3k+1} - x_3), \\ &h_k \leq y_{3k+1} \leq h_{k+1}, \end{aligned}$$

$$\psi(x_3) = \begin{cases} 0, & x_3 < 0, \\ 1, & x_3 \geq 0. \end{cases}$$

Элементы вектора $\mathbf{Y}_{k+1} = \{a_{k+1}, b_{k+1}\}$ находятся из системы матричных уравнений. Наиболее важный для дальнейшего вектор $\mathbf{Y}_1$ для случая $C_l \neq 0$ при наличии источника в точке (y_{1l}, y_{2l}, y_{3l}) имеет вид

$$\mathbf{Y}_1 = (\mathbf{G}_1 + \mathbf{G}_2 \mathbf{K}_{N-1})^{-1} (\mathbf{Q} - \mathbf{G}_2 \mathbf{B}_{Nl}),$$

$$\mathbf{G}_1 = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{G}_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{Q} = \begin{pmatrix} Vq + T \\ Vg \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{K}_{n-1} = \mathbf{S}_n \mathbf{S}_{n-1} \dots \mathbf{S}_2,$$

$$\mathbf{B}_{nl} = \mathbf{S}_n \mathbf{S}_{n-1} \dots \mathbf{S}_l \mathbf{M}_{l-1}^{-1} \mathbf{N}_{l-1},$$

$$\mathbf{S}_n = \frac{e^{\gamma_{n-1}(h_{n-1} - h_{n-2})}}{\nu_n \chi_n} \|s_{mk}\|,$$

$$\mathbf{M}_{l-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \nu_{l-1} \gamma_{l-1} & \nu_{l-1} \chi_{l-1} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{N}_l = \begin{pmatrix} N_{l1} \\ N_{l2} \end{pmatrix},$$

$$\begin{aligned} T &= \chi_1^{-1} \nu_1^{-1} e^{-\gamma_1 y_{31}} \times \\ &\times [(\alpha_{10z} \gamma_1 - \alpha_{20z}) \operatorname{sh} \chi_1 y_{31} - \alpha_{10z} \chi_1 \operatorname{ch} \chi_1 y_{31}], \\ s_{11} &= \nu_n \chi_n C(\Delta h_{n-1}), \quad s_{12} = \nu_n \chi_n S(\Delta h_{n-1}), \end{aligned}$$

$$s_{21} = (\nu_{n-1} \gamma_{n-1} - \nu_n \gamma_n) C(\Delta h_{n-1}) + \nu_{n-1} \chi_{n-1} S(\Delta h_{n-1}),$$

$$s_{22} = (\nu_{n-1} \gamma_{n-1} - \nu_n \gamma_n) S(\Delta h_{n-1}) + \nu_{n-1} \chi_{n-1} C(\Delta h_{n-1}).$$

$$C(\Delta h_{n-1}) = \operatorname{ch} \chi_{n-1}(\Delta h_{n-1}),$$

$$S(\Delta h_{n-1}) = \operatorname{sh} \chi_{n-1}(\Delta h_{n-1}),$$

$$\Delta h_{n-1} = h_{n-1} - h_{n-2},$$

$$N_{l1} = C_l e^{\gamma_l(h_{l-1} - y_{3,l-1})} S(h_{n-1} - y_{3n-1}),$$

$$\begin{aligned} N_{l2} &= C_l e^{\gamma_l(h_{l-1} - y_{3,l-1})} \times \\ &\times [\gamma_l S(h_{n-1} - y_{3n-1}) + \chi_l C(h_{n-1} - y_{3n-1})], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \chi_n &= 0, 5\nu_n^{-1} \left\{ (w_n - w_{ng})^{-1} + \right. \\ &+ 4\nu_n [\mu_n(\alpha_1^2 + \alpha_2^2)] - i(\alpha_1 u_n + \alpha_2 v_n) + \sigma + i\omega \left. \right\}^{0,5}, \\ \operatorname{Im} \chi_n &> 0. \end{aligned}$$

$$\gamma_n = 0, 5\nu_n^{-1} \{w_n - w_{ng}\},$$

$$g_{11} = \alpha_{10z} \gamma_1 \nu_1 - \alpha_{20z}, \quad g_{12} = \alpha_{10z} \nu_1 \chi_1,$$

$$\begin{aligned}
g_{21} &= [\alpha_{1N} s_N - \alpha_{2N} C(\Delta h_{N-1})] e^{\gamma_N \Delta h_{N-1}}, \\
g_{22} &= [\alpha_{1N} \tau_N - \alpha_{2N} S(\Delta h_{N-1})] e^{\gamma_N \Delta h_{N-1}} \\
s_N &= \nu_N [\gamma_N C(\Delta h_{N-1}) + \chi_N S(\Delta h_{N-1})], \\
\tau_N &= \nu_N [\gamma_N C(\Delta h_{N-1}) + \chi_N C(\Delta h_{N-1})].
\end{aligned}$$

Новым в формуле (1.4) является то, что сшивание решений на границах слоев осуществляется с использованием лишь одной функции скачка $\psi(x_3)$. С одной стороны, это существенно упрощает формулы, а с другой — позволяет, решив лишь одну краевую задачу, строить решения ряда смежных краевых задач для этой же системы дифференциальных уравнений.

2. Внося построенное решение краевой задачи в граничные условия (1.3), получаем систему интегральных уравнений

$$\begin{aligned}
\sum_{n=1}^M \iint_{\Sigma_n} k_m(x_1 - \xi_1, x_2 - \xi_2) q_n(\xi_1, \xi_2) d\xi_1 d\xi_2 = \\
= f_m(x_1, x_2), \quad (x_1, x_2) \in \Omega_m, \quad (2.1)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
k_m(x_1, x_2) = \\
= \frac{1}{4\pi^2} \iint_{R^2} K_m(\alpha_1, \alpha_2) e^{-i(\alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2)} d\alpha_1 d\alpha_2, \\
m = 1, 2, \dots, M, \quad \mathbf{K} = \{k_m\}_1^M.
\end{aligned}$$

Функции $f_m(x_1, x_2)$ имеют сложное строение, зависят как от параметров точечного источника, так и от функций w_m^0 и здесь не приводятся. Их получение не представляет труда.

Элементами квадратной матрицы-функции $\mathbf{K}(\alpha_1, \alpha_2)$, содержащей одинаковые строки, являются мероморфные функции двух комплексных переменных α_1, α_2 .

1. Возьмем простейший случай $m = 1$. Тогда система интегральных уравнений вырождается в одно уравнение свертки на всей плоскости, решаемое применением преобразования Фурье.

2. В случае, когда области Ω_m являются полуплоскостями ($m = 2$), система сводится к функциональному уравнению Винера-Хопфа и решается в замкнутом виде.

Например, для правых частей (2.1) $f_m(x_1, x_2) = A_m \exp(i\eta_m x_1)$, $m = 1$, $x_1 > 0$;

$m = 2$, $x_1 < 0$; $\text{Im } \eta_1 \geq 0$, $\text{Im } \eta_2 \leq 0$ решение имеет вид

$$\begin{aligned}
q_m(x_1) &= V^{-1}(x_1) \frac{1}{K_1^+(\alpha_1) K_2^-(\alpha_1)} \sum_{m=1}^2 \frac{G_m}{\alpha_1 + \eta_m}, \\
G_1 &= \frac{iA_1 K_2^-(-\eta_1)}{K_1^-(-\eta_1)}, \quad G = -\frac{iA_2 K_1^+(-\eta_2)}{K_1^+(-\eta_2)}.
\end{aligned}$$

Здесь $K_1^+(\alpha_1)$, $K_2^-(\alpha_1)$ — результат факторизации соответствующих функций относительно вещественной оси.

3. Случаи, когда области Ω_m не являются полуплоскостями ($m = 2$) и $m > 2$, изучены в настоящее время слабо. Данная статья — одна из первых работ, где предполагается наличие множества разнотипных подстилающих поверхностей. Для исследования интегральных уравнений (2.1) целесообразно применять метод факторизации [10], предварительно перейдя к новым неизвестным, а именно, представив систему в виде

$$\begin{aligned}
V^{-1} \sum_{n=2}^M K_1^{-1} K_m F_n^- = \\
= V^{-1} F_m - V^{-1} K_1^{-1} K_m F_1, \\
\mathbf{x} \in \Omega_m, \quad m = 2, \dots, M, \quad \mathbf{x} = (x_1, x_2). \quad (2.2)
\end{aligned}$$

Здесь функции $\sum_{n=2}^M V^{-1} F_n^-$ — неизвестное продолжение правой части первого уравнения в системе (2.1) вне области Ω_1 на всю плоскость.

$$f_n^- = V^{-1} F_n^- = \begin{cases} 0, & \mathbf{x} \notin \Omega_n, \\ \neq 0, & \mathbf{x} \in \Omega_n. \end{cases}$$

Для областей сложной конфигурации дальнейшее исследование этой системы требует применения методов геометрии многообразий.

Принимая во внимание, что мероморфные функции $K_m(\alpha)$ имеют лишь комплексные аналитические множества нулей и полюсов [10], выпишем приближенное, вырожденное, решение задачи, которое устанавливается из системы (2.2) и имеет вид

$$\begin{aligned}
q_n(\mathbf{x}) &= V^{-1}(\mathbf{x}) \sum_{m=1}^M K_m^{-1} F_m + O(e^{-\xi|\mathbf{x}-\tau|}), \\
\mathbf{x} &\in \Omega_n, \quad \tau \in \partial\Omega_n. \quad (2.3)
\end{aligned}$$

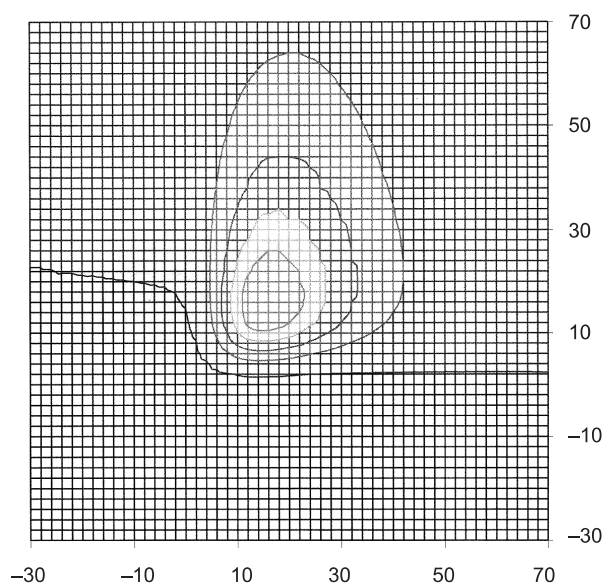


Рис. 1

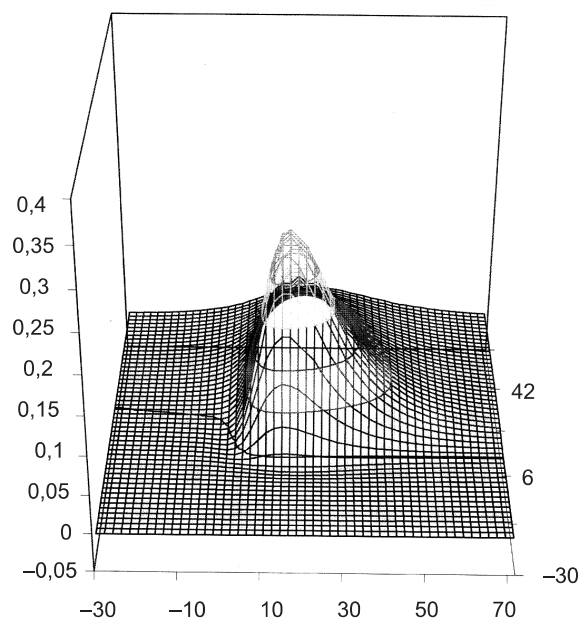


Рис. 2

Здесь ξ — минимальное значение модуля мнимой части ближайшего к вещественной оси нулевого множества функций $K_m(\alpha)$, $m = 1, 2, \dots, M$, $m = 1, 2, \dots, M$.

Таким образом, эти функции приближенно описывают решение во внутренних точках областей Ω_n .

В том случае, если области Ω_m и Ω_n граничат по гладкой кривой, то в полосе, содержащей указанную кривую, решение может быть представлено в форме

$$q_p(x_1) = V^{-1}(x_1) \left\{ \frac{F_n^+}{K_n^-} + \frac{F_m^-}{K_m^+} - \frac{1}{K_n^+(\alpha_1)K_m^-(\alpha_1)} \times \left[\left(\frac{K_m^- F_n^+}{K_n^-} \right)^- + \left(\frac{K_n^+ F_m^-}{K_m^+} \right)^+ \right] \right\},$$

$$p = n, \quad x_1 > 0; \quad p = m, \quad x_1 < 0.$$

Здесь ось x_1 с началом на границе нормальна к ней и переходит из области Ω_m в область Ω_n .

Формулы (2.3) обосновывают возможность использования проекций решений краевых задач с соответствующими граничными условиями, заданными на всей плоскости, для описания оседания загрязняющих веществ в зонах, удаленных от границ областей Ω_m .

На рис. 1, 2 приведен пример расчета полного оседания ЗВ для шестислойной среды с

$h_m = m$, $m = 0, 1, \dots, 6$ и при следующих значениях безразмерных параметров:

$$y_{15} = y_{25} = 0, \quad y_{35} = 4, 5; \quad u_4 = u_5 = 5;$$

$$v_n = u_n = v_5 = u_4 = w_n = w_{ng} = 0;$$

$$n = 1, 2, 3, 6; \quad w_s - w_{sg} = w_{s+1} - w_{s+1g} = -0, 2,$$

$$s = 1, \dots, 6; \quad \sigma_4 = 0, 004; \quad \sigma_5 = 0, 005;$$

$$\nu_p = 0, 01p; \quad \mu_p = 0, 1p; \quad \alpha_{10} = \alpha_{1N} = 1;$$

$$\alpha_{20} = \alpha_{2N} = 0, \quad w_m^0 = 0, \quad m = 1, 2, \dots, M.$$

Литература

1. Бабешко О. М. Об одном подходе в проблеме оценки загрязнения разнородных ландшафтов // Экологический вестник научных центров Черноморского Экономического Сотрудничества. 2003. № 1. С. 10–15.
2. Бабешко О. М., Евдокимова О. В., Евдокимов С. М. Об учете типов источников зон и оседания загрязняющих веществ // ДАН. 2000. Т. 371. № 1. С. 32–34.
3. Бабешко О. М., Евдокимов С. М., Евдокимова О. В. К оценке эколого-экономической целесообразности дизайна рекреаций предприятий // Изв. вузов. Сев.-Кавказ. регион. Естественные науки. 1999. № 3. С. 115–117.
4. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982. 320 с.
5. Алоян А. Е. Динамика и кинетика газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. М.: ИВМ РАН, 2002. 201 с.

-
6. *Никаноров А. М.* Гидрохимия. СПб.: Гидрометеоиздат, 2001. 448 с.
 7. *Хорват Л.* Кислотный дождь. М.: Стройиздат, 1990. С. 81.
 8. *Бабешко В. А., Бабешко О. М.* Метод факторизации решения некоторых краевых задач // ДАН. 2003. Т. 389. № 2. С. 184–188.
 9. *Бабешко В. А., Бабешко О. М.* Обобщенная факторизация в краевых задачах в многосвязных областях // ДАН. 2003. Т. 392. № 2. С. 163–167.
 10. *Бабешко В. А., Бабешко О. М.* Метод факторизации в теории вирусов вибропрочности // ДАН. 2003. Т. 393. № 4. С. 473–477.
 11. *Бабешко В. А., Бабешко О. М.* Метод факторизации в краевых задачах в неограниченных областях // ДАН. 2003. Т. 392. № 6. С. 767–770.
-

Статья поступила 4 февраля 2004 г.

Кубанский государственный университет

© Бабешко О. М., 2004