

**ПЕРЕНОС ПАССИВНОЙ ПРИМЕСИ
В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЮЖНОГО
БЕРЕГА КРЫМА В ЛЕТНИЙ
ПЕРИОД**

*Э.И. Белоусова, В.В. Белоусов**

Московский государственный
университет имени М.В. Ломоносова.
Филиал МГУ в г. Севастополе
*Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: oaoimhi@inbox.ru

В статье приводятся результаты распространения течениями нейтральной примеси от источника, расположенного на глубине 8 – 10 м вблизи берега на шельфе Южного берега Крыма, вызываемых симметричным и несимметричным бризами.

Исследуются поступление загрязняющих веществ в открытое море от источников примеси, распределенных вдоль линии берега.

Рассматривается нелинейная задача о расчете скорости течений, наклона уровня морской поверхности, температуры и солености воды, а также концентрации пассивной примеси в прибрежной зоне моря, обусловленных совместным действием периодического ветра и нагрева поверхности моря.

Исследуются воздействие ветра, перпендикулярного линии берега, с суточным периодом. Рассматриваются два случая. В первом случае амплитуда скорости морского и берегового бризов одинакова и равна 5,5 м/с. Во втором случае амплитуда скорости морского бриза равна 7 м/с, а берегового – 5,5 м/с. Более сильный морской бриз брался соответственно [1].

Задача решается в рамках двумерной модели, предполагается, что температура воздуха над морем, скорость ветра, рельеф дна, характеристики течения и распределения субстанций не меняются вдоль прямолинейного берега.

Уравнения движения, переноса тепла, соли и примеси – нестационарные. В уравнениях движения также учитываются силы инерции, вертикальный и гори-

зонтальный обмен количеством движения, сила Кориолиса, градиенты давления. Для определения наклона уровня морской поверхности использовалось условие отсутствия расхода воды в перпендикулярном к берегу направлении. В уравнениях переноса тепла, соли и пассивной примеси учитываются вертикальная и горизонтальная адвекция и диффузия субстанции.

Уравнения движения, переноса соли, тепла и субстанции брались в виде (1) – (6). Уравнение состояния – в виде (7).

$$\frac{\partial u}{\partial t} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - \Omega v = A_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + A_l \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + \Omega u = g \frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_0^z \frac{\partial \rho}{\partial y} + A_z \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + A_l \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \theta \quad (3)$$

$$\frac{\partial \tau}{\partial t} + v \frac{\partial \tau}{\partial y} + w \frac{\partial \tau}{\partial z} = K_z \frac{\partial^2 \tau}{\partial z^2} + K_l \frac{\partial^2 \tau}{\partial y^2} \quad (4)$$

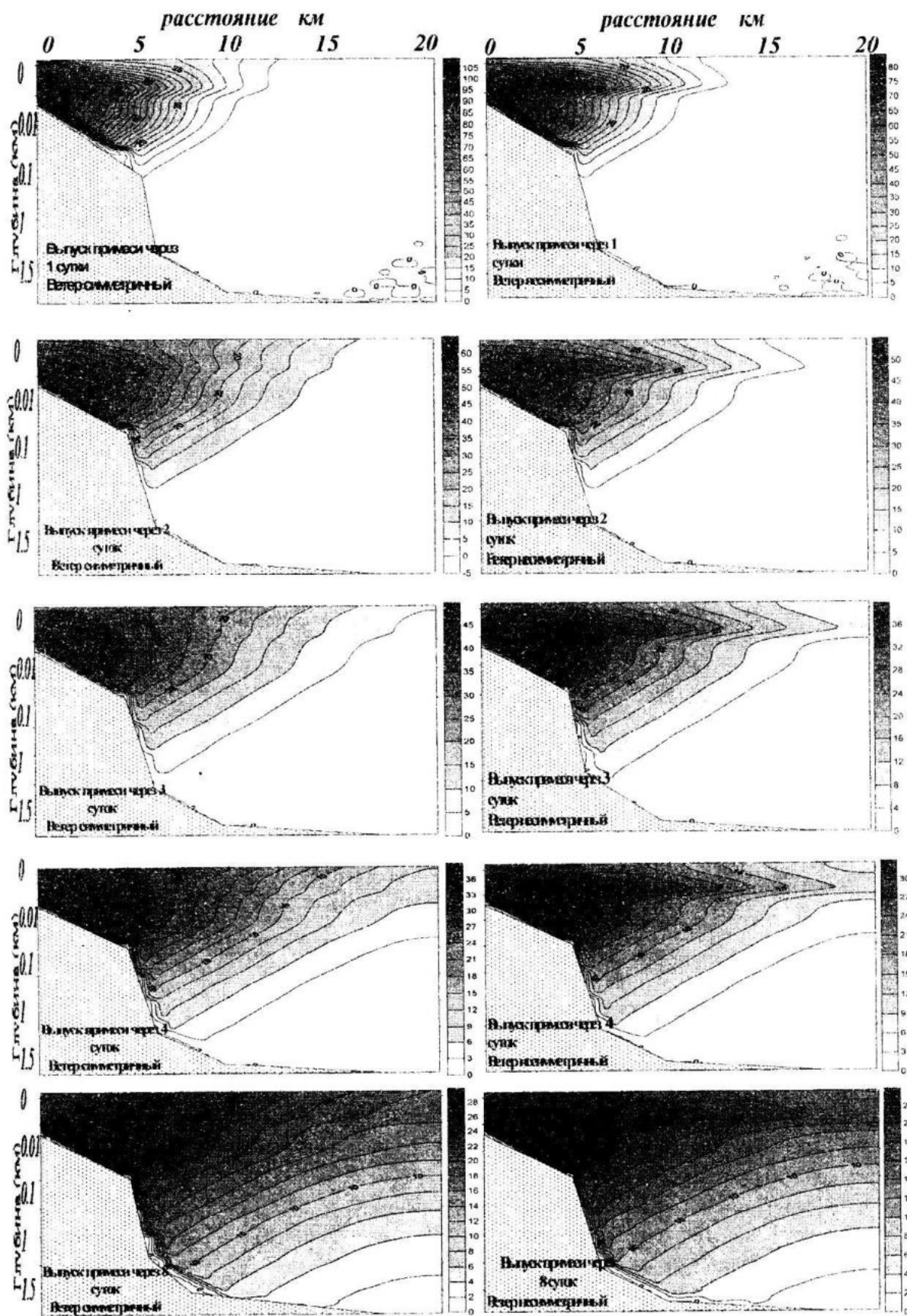
$$\frac{\partial S}{\partial t} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} = K_z \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} + K_l \frac{\partial^2 S}{\partial y^2}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial Pr}{\partial t} + v \frac{\partial Pr}{\partial y} + w \frac{\partial Pr}{\partial z} = K_z \frac{\partial^2 Pr}{\partial z^2} + K_l \frac{\partial^2 Pr}{\partial y^2}, \quad (6)$$

$$\rho = \rho_0 (1 - \alpha \tau + \alpha_l S). \quad (7)$$

Задача решалась численно. Уравнения движения – методом матричной прогонки, уравнения переноса тепла, соли и субстанции – методом обычной прогонки.

Вначале решалась задача до выхода на периодический режим полей скорости, температуры и солености, затем –



Р и с. 1. Концентрация примеси через 1, 2, 3, 4, и 8 суток в случае симметричного (слева) и несимметричного (справа) бриза

полная задача с учетом переноса примеси.

В начальный момент времени скорость течения, наклон уровня морской поверхности и концентрация примеси принимались равными нулю, температура и соленость морской воды горизонтально однородными и стратифицированными по вертикали. Профили температуры и солености взяты соответствующими характерным многолетним профилям для глубоководной части Черного моря [1].

Выпуск примеси происходил в течение 6 часов на глубине 8 – 10 метров с условной концентрацией 1000. Затем распространение примеси исследовалось в течение 5-10 суток.

Постановка задачи, метод решения, характерные масштабы, величины используемых коэффициентов и физических величин были описаны в работе [3] и неоднократно доложены на конференциях [4].

На рис. 1 приведены результаты расчетов примеси для 1, 2, 3, 4 и 8 суток моделирования распространения примеси.

Видно, что распространение примеси происходит в сторону открытого моря. В случае симметричного бриза быстрее всего в поверхностном слое, а в случае несимметричного бриза быстрее всего в подповерхностном слое на глубине 8 – 10 м.

Видно, что за одно и то же время примесь, в случае несимметричного бриза распространяется сильнее на 20 – 25% в сторону открытого моря по сравнению с симметричным.

На рис. 2 приведены графики изменения концентрации примеси на глубине 10 м на удалении 3 км от берега. Видно, что падение концентрации примеси с течением времени происходит по экспоненте, а в случае несимметричного бриза на 20 – 25% быстрее. Это объясняется тем, что более сильный морской бриз вызывает более сильное подповерхностное течение в сторону открытого моря.

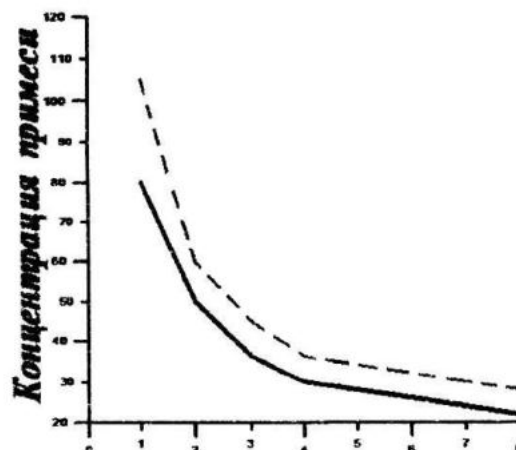


Рис. 2. Зависимость концентрации примеси от времени на расстоянии 3 км от берега: несимметричный ветер — сплошная линия, симметричный — прерывистая

Основные результаты. В случае течений, порождаемых бризовыми ветрами с амплитудой скорости 5-7 м/с, за первые сутки примесь достигает материкового склона, а на поверхности распространяется на расстояние 10 – 12 км. Концентрация примеси в точке выпуска падает за первые сутки в 10 раз. В случае несимметричного бриза, когда морской бриз сильнее берегового, эффекты распространения примеси оказываются на 20 – 25% сильнее. На третьи сутки примесь на поверхности достигает границ исследуемой области, а через 8 суток распространяется до глубины полутора километров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вайсберг Дж. Погода на Земле. Метеорология. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. — 280 с.
2. Блатов А.С., Иванов В.А. Гидрология и гидродинамика шельфовой зоны Черного моря (на примере Южного берега Крыма). — Киев: Наукова думка, 1992. — 244 с.
3. Белоусова Э.И., Белоусов В.В. — Бризовые течения в прибрежной зоне неоднородного моря // Системы контроля окружающей среды. — Севастополь: МГИ НАН Украины 2009. — 218 – 221с.
4. Научные конференции «Ломоносовские чтения» 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 и 2010гг. — Севастополь: филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Тезисы докладов.