

Моделирование распространения загрязняющей примеси в Севастопольской бухте

В. Н. Белокопытов*, А. И. Кубряков, С. Ф. Пряхина

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

**E-mail: v.belokopytov@gmail.com*

Поступила в редакцию 10.10.2018 г.

Введение. Одни из важнейших задач мониторинга морской среды – контроль за распространением различных загрязнений и разработка систем оперативного реагирования на аварийные выбросы. В работе на основе диагностических расчетов циркуляции вод в Севастопольской бухте проведено моделирование процессов переноса загрязняющей примеси, поступающей из разных источников.

Материалы и методы. Расчет поля течений проводился по σ -координатной модели, являющейся версией модели *POM (Princeton Ocean Model)*, адаптированной к условиям Севастопольской бухты. Чтобы рассчитать перенос загрязняющей примеси, в модель циркуляции была инкорпорирована модель переноса – диффузии субстанции. Использовались данные о направлении и скорости ветра на метеостанции Севастополь, климатические поля температуры, солености и плотности, рассчитанные по 2,7 тыс. гидрологических станций в Севастопольской бухте, средний сезонный ход стока воды реки Черной, цифровой массив рельефа дна бухты с пространственным разрешением 68 м.

Анализ результатов. Численные эксперименты по распространению загрязняющей примеси от места возможного выброса в бухте Голландия показали, что зависимость направления/траектории движения пятна загрязнения от типа циркуляции вод более всего проявляется в Южной бухте, в меньшей степени – в центральной части Севастопольской бухты. В случае выброса загрязнений в устье реки Черной, вне зависимости от ветровых условий, пятно примеси, двигаясь в северо-западном направлении, достигает района бухты Голландия. Дальнейшая эволюция объема загрязненных вод аналогична процессу в ситуациях выброса примеси непосредственно в бухте Голландия.

Обсуждение и заключение. Проведенные численные эксперименты показали работоспособность и адекватность воспроизведения в модели исследуемых процессов, что позволяет в дальнейшем планировать проведение прогностических расчетов по моделированию сезонного хода циркуляции и термохалинной структуры вод Севастопольской бухты и более точно описывать пути распространения загрязнений.

Ключевые слова: численная модель, диагностические расчеты, загрязняющие примеси, Севастопольская бухта.

Благодарности: работа выполнена в рамках гранта РФФИ, проект № 14-45-01028 «Моделирование циркуляции и процессов переноса загрязняющих примесей в Севастопольской бухте», и при поддержке гранта РФФИ, проект № 18-05-80028 «Опасные явления».

Для цитирования: Белокопытов В. Н., Кубряков А. И., Пряхина С. Ф. Моделирование распространения загрязняющей примеси в Севастопольской бухте // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35, № 1. С. 5–15. doi:10.22449/0233-7584-2019-1-5-15

Modelling of Water Pollution Propagation in the Sevastopol Bay

V. N. Belokopytov*, A. I. Kubryakov, S. F. Pryakhina

Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Science, Sevastopol, Russia

**e-mail: v.belokopytov@gmail.com*

Introduction. Tracking of spread of various contaminations and elaboration of the operational systems to control wrecking discharges are among the important tasks of marine environment monitoring. The processes of transport of the contaminating impurity inflowing from different sewers were modeled based on the diagnostic calculations of water circulation in the Sevastopol Bay.

Data and Methods. The currents field was calculated using the sigma-coordinate version of the Princeton Ocean Model adapted for the regional conditions in the Sevastopol Bay. To calculate the polluting impurity transport, the model of the matter transfer and diffusion was incorporated into the circulation model. The data on the wind speed and direction obtained at the Sevastopol met office, the temperature, salinity and density climatic fields calculated using the information of 2.7 thousands hydrological stations in the Sevastopol Bay, average seasonal variations of the River Chernaya water discharge and the digital bottom relief with spatial resolution 68 m were used in the model.

Analysis of Results. Numerical experiments on the contaminant propagation from the point of possible discharge in the Gollandiya Bay reveal that dependence of the pollutant movement trajectory (direction) upon the pattern of water circulation is most evident in the Yuzhnaya Bay and less manifested in the central part of the Sevastopol Bay. In case of a wrecking discharge in the River Chernaya mouth, a contaminant spot, regardless of wind conditions, moves to the northwest and reaches the Gollandiya Bay. Further evolution of the polluted water volume is similar to the process developing after a sewage discharge directly within the Gollandiya Bay.

Discussion and Conclusions. The carried out numerical calculations confirm operational capability of the model and its adequate reproduction of the physical processes under study. It permits both to model the circulation seasonal variation and the thermohaline structure of the Sevastopol Bay waters, and to describe more accurately trajectories of the contaminants' spread.

Keywords: numerical model, diagnostic calculations, water pollution, Sevastopol Bay.

Acknowledgements: the investigation is carried out within the framework of the RFBR grant, project No. 14-45-01028 "Modeling of circulation and processes of transport of pollutants in the Sevastopol Bay", and at support of the RFBR grant, project No. 18-05-80028 "Dangerous phenomena".

For citation: Belokopytov, V.N., Kubryakov, A.I. and Pryakhina, S.F., 2019. Modelling of Water Pollution Propagation in the Sevastopol Bay. *Morskoy Gidrofizicheskiy Zhurnal*, [e-journal] 35(1), pp. 5-15. doi:10.22449/0233-7584-2019-1-5-15 (in Russian).

Введение

Одни из важнейших задач мониторинга морской среды – контроль за распространением различных загрязнений и разработка систем оперативного реагирования на аварийные выбросы. Процессы переноса и распространения загрязняющих примесей в морских бассейнах имитируются с помощью гидродинамических моделей. Основой их являются нелинейные дифференциальные уравнения в частных производных, описывающие гидродинамику вращающейся жидкости – эволюцию трехмерных полей течений, температуры, солености, давления и плотности. Современные модели общей циркуляции позволяют наряду с гидродинамическими характеристиками включать и различные параметры примесей морской среды. Трехмерные уравнения, представляющие динамику таких параметров, имеют вид уравнений переноса – диффузии.

Исследования гидролого-гидрохимических и гидродинамических характеристик Севастопольской бухты проводились ранее как на основе данных

натурных наблюдений [1, 2], так и по результатам математического моделирования [3, 4]. Увеличившийся объем информации об окружающей среде и современные междисциплинарные математические модели позволяют с большей точностью прогнозировать состояние и динамику морских прибрежных вод [5–9], в том числе и для Черного моря*.

Цель работы – на основе диагностических расчетов циркуляции вод выявить возможные пути и степень распространения в акватории Севастопольской бухты в зимний и летний сезоны поступающей из различных береговых источников загрязняющей примеси. Данные расчеты могут послужить основой для создания системы контроля состояния морской среды региона и обеспечения ее экологической безопасности.

В работе используется описание методов и результатов исследования, приведенное в отчете по гранту РФФИ № 14-45-01028**.

Метод исследования

Модель циркуляции вод и данные. Для расчета циркуляции в Севастопольской бухте применялась σ -координатная модель – версия модели *POM* (*Princeton Ocean Model*) [10, 11], адаптированная к условиям прибрежных районов Черного моря [12]. Модель *POM* основана на полной системе уравнений термогидродинамики океана со свободной поверхностью в приближении Буссинеска, гидростатики и несжимаемости жидкости в σ -координатах.

Для параметризации вертикального перемешивания в модель циркуляции включена модель турбулентности с уровнем замыкания 2.5, основанная на гипотезах турбулентности Ротга – Колмогорова и обобщенная Г. Меллором и Т. Ямадой [13] для случая стратифицированного потока [14]. Расчет течений проводился диагностическим методом, т. е. при заданном поле плотности. Использование адаптационных методов хотя и позволяет получить согласованные поля течений и плотности, однако приводит к сильному сглаживанию всех расчетных полей, что нежелательно для бассейна со сложной морфометрией [15].

На твердой боковой границе для скоростей потока применялось условие непротекания и свободного скольжения, на открытой западной жидкой границе – условие излучения Зоммерфельда [16] и равенства нулю нормальных потоков соли и тепла. Цифровой массив рельефа дна бухты с пространственным разрешением 68 м подготовлен на основе навигационных карт и данных судовых эхометрических съемок. В качестве данных о направлении и скорости ветра использовались измерения на метеостанции Севастополь. Климатические поля температуры, солености и плотности были рассчитаны на основе 2,7 тыс. гидрологических станций, выполненных в Севастопольской бухте. В модели учитывался средний сезонный ход стока воды реки Черной.

* Кубряков А. И. Моделирование циркуляции и процессов массопереноса в Черном море в приложении к задачам оперативной океанографии : дисс. ... докт. физ.-мат. наук : 04.00.22. Севастополь, 2014. 399 с. URL: http://mhi-ras.ru/assets/files/dissertation/Kubryakov_dissertation.pdf (дата обращения: 30.11.2018).

** Моделирование циркуляции и процессов переноса загрязняющих примесей в Севастопольской бухте : Отчет о НИР (итоговый) / ФГБУН МГИ ; рук.: А. И. Кубряков. Севастополь, 2015. 52 с. РФФИ, грант № 14-45-01028. URL: <https://esu.citis.ru/ikrbs/1UHVW00KIfdZ15JGu-2cLb00> (дата обращения: 07.10.2018).

Модель распространения загрязняющей примеси. Для расчета переноса загрязняющей примеси в модель циркуляции была инкорпорирована модель переноса – диффузии субстанции, основанная на уравнении

$$\frac{\partial CD}{\partial t} + \frac{\partial CuD}{\partial x} + \frac{\partial CvD}{\partial y} + \frac{\partial C\omega}{\partial \sigma} = F_T + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_H}{D} \frac{\partial C}{\partial \sigma} \right) + \mu C, \quad (1)$$

где C – концентрация загрязняющих веществ; t – время; u, v – проекции скорости течения на оси x, y ; ω – нормальная к σ -поверхности составляющая скорости; D – полная глубина; K_H – коэффициент вертикальной турбулентной диффузии; $F_T \equiv \frac{\partial}{\partial x} (A_H D \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_H D \frac{\partial C}{\partial y})$ – член, описывающий горизон-

тальную турбулентную диффузию; A_H – коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии; μ – коэффициент неконсервативности, учитывающий изменение концентрации примеси вследствие химических и биологических превращений и в общем случае являющийся функцией координат и времени.

Для детального описания трансформации загрязняющей примеси, попавшей в морскую среду, необходимо, прежде всего, знать химический состав загрязнения. В частности, если это разлив нефти, то надо учитывать испарение, фракционирование, декомпозицию, эффекты поверхностного натяжения, другие химические и биологические процессы [17]. В работе ставилась задача оценить степень переноса течениями загрязняющей примеси без описания трансформации примеси, поэтому при решении уравнения (1) коэффициент μ полагался равным нулю.

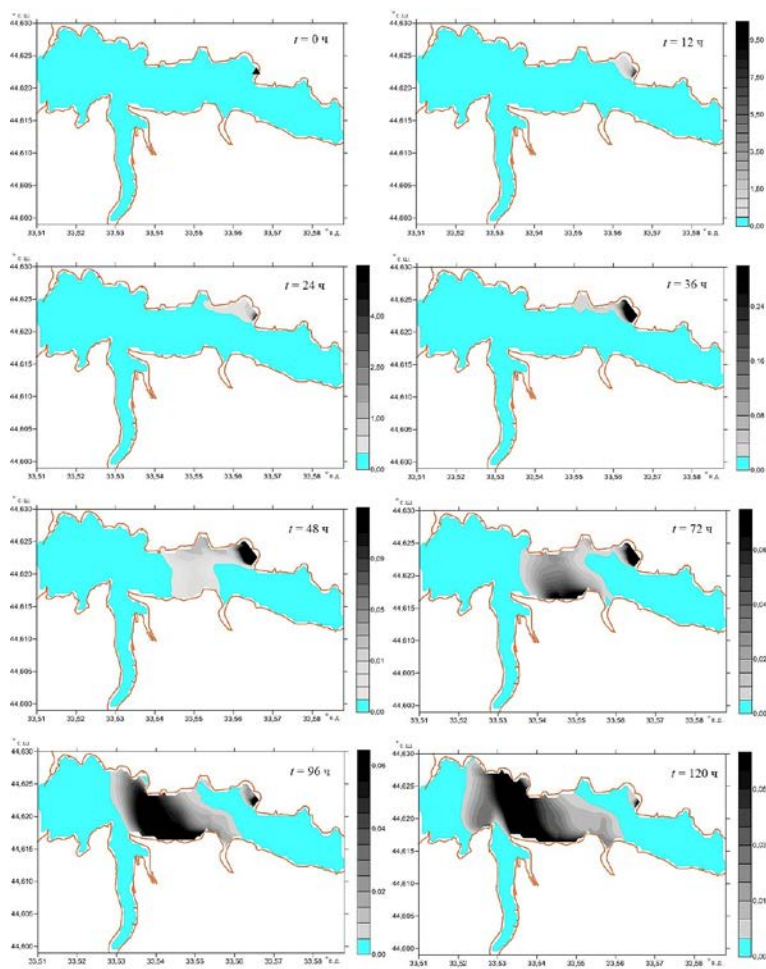
На поверхности и на дне моря задавалось отсутствие потоков примеси $\frac{dc}{d\sigma}$. Как на твердой, так и на жидкой боковой границе был принят нулевой нормальный поток примеси в местах, где вода вытекает из расчетной области. В местах, где вода втекает в область, задавалось значение концентрации примеси C_{IN} в поступающей жидкости, в нашем случае $C_{IN} = 0$.

Численные эксперименты проводились следующим образом. Сначала в течение 7 сут модельного времени при фиксированном ветровом воздействии рассчитывалась только циркуляция. Как показали проведенные расчеты, за этот период устанавливалось поле скорости – контроль осуществлялся по величине средней по объему бассейна кинетической энергии и среднего по площади уровня свободной поверхности. В начальный момент времени задавались среднеклиматические (для января или июля) поля температуры и солености, которые оставались фиксированными. Коэффициент боковой турбулентной диффузии A_H вычислялся по формуле Смагоринского [18]. Затем проводился собственно расчет переноса загрязняющей примеси, а именно: в каждой из точек выброса в поверхностном слое по вертикали задавалась начальная условная концентрация $C_0 = 1$, в остальной части акватории $C_0 = 0$, и далее вместе с уравнениями модели решалось уравнение (1) на срок в 5 сут, т. е. выброс предполагался импульсным. При конечно-разностной аппроксимации уравнения (1) использовалась схема первого порядка точности с направленными против потока разностями. Для уменьшения схемной вязкости применялась итеративная схема Смоларкевича [19] со специально определяемой антидиффузионной скоростью.

Анализ результатов

Рассмотрены случаи зимней и летней циркуляции для двух возможных источников поступления загрязнений: устья реки Черной и прибрежной полосы бухты Голландия.

Источник выброса – бухта Голландия (зимний сезон). На рис. 1 показана эволюция загрязняющей примеси на поверхности моря. Первоначально распространение пятна происходит вдоль северного берега бухты с преобладающими поверхностными течениями северо-западного направления, вызванными восточным ветром. Через 48 ч после выброса пятно примеси достигает южного берега бухты в центральной ее части, несмотря на препятствующие этому поверхностные течения. Причиной могут служить процессы горизонтальной и – в меньшей степени – вертикальной диффузии, так как примесь может попадать в поверхностный слой из нижележащих слоев, в которых циркуляция вод отличается от поверхностной. Через 5 сут граница пятна примеси достигает Артиллерийской бухты.

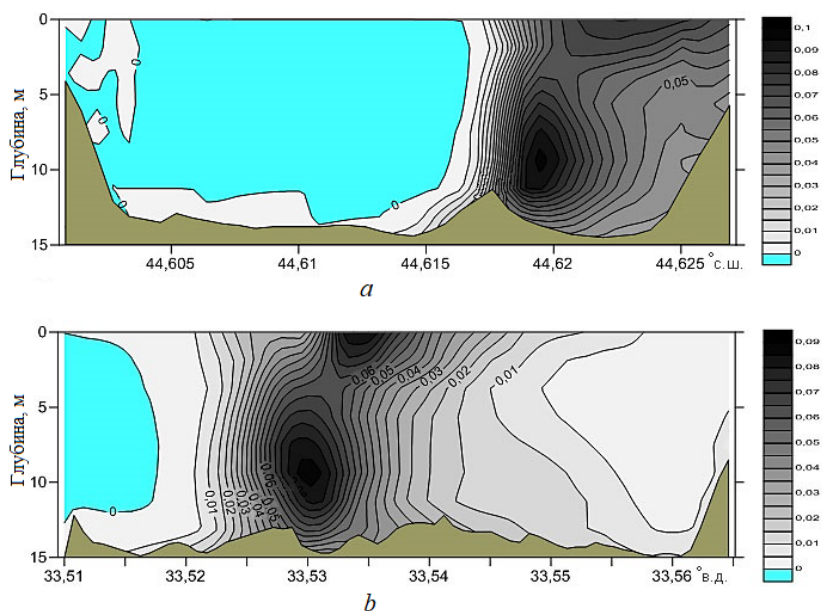


Р и с. 1. Положение пятна примеси в поверхностном слое в зимний сезон в различные моменты времени t после выброса загрязнения в бухте Голландия

F i g. 1. Location of the impurity spot in the surface layer in winter at different time points t after contamination discharge in the Gollandiya Bay

В подповерхностном слое между бухтой Голландия и Килен-бухтой формируется циклонический вихрь, который обеспечивает перенос примеси в юго-западном направлении. Это способствует накоплению примеси у южного берега, где она с восходящими движениями вод в зоне апвеллинга поднимается в поверхностный слой и далее движется в западном направлении. В придонном слое наблюдаются процессы, аналогичные происходящим в подповерхностном слое.

На рис. 2 показано изменение концентрации примеси на двух вертикальных разрезах после выброса. Проникновение примеси в Южную бухту происходит в придонных слоях, так как основной поток воды, выходящий из Южной бухты в Севастопольскую, сконцентрирован в поверхностном слое. Загрязнение достигает поверхностного слоя в зоне подъема вод в вершине Южной бухты.



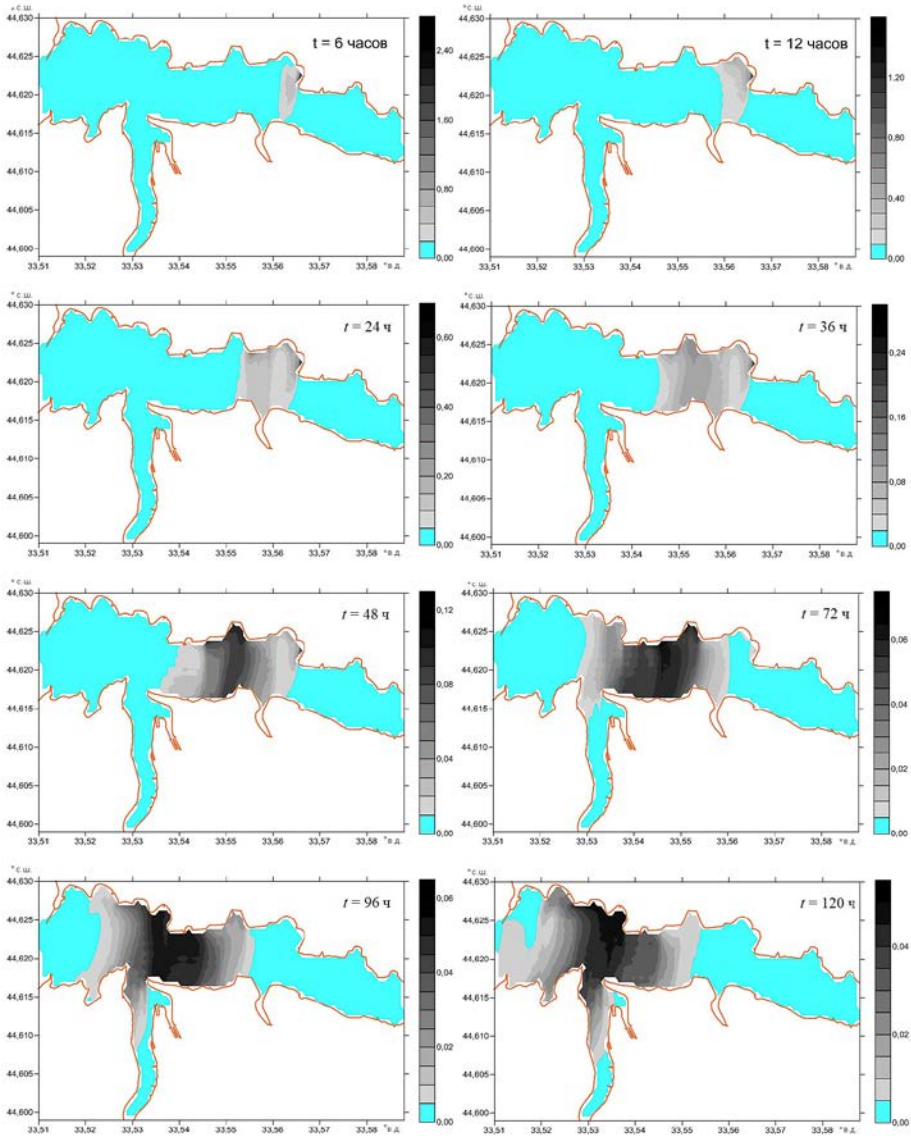
Р и с. 2. Распределение условной концентрации примеси (%) в зимний сезон на меридиональном разрезе по 33,533° в. д. (а) и на зональном разрезе по 44,621° с. ш. (б) через 5 сут после выброса загрязнения в бухте Голландия

F i g. 2. Distribution of the impurity conditional concentration (%) in winter on the meridional section 33.533° E (a) and the zonal section 44.621° N (b) in 5 days after contamination discharge in the Gollandiya Bay

Источник выброса – бухта Голландия (летний сезон). В отличие от описанного выше случая зимней циркуляции, возбуждаемой восточным ветром, пятно примеси первоначально распространяется в южном направлении, быстро достигает южного берега и далее двигается на запад с общим потоком. Через 3 сут граница пятна достигает Южной бухты, через 4 сут – Артиллерийской бухты (рис. 3).

Примесь, приносимая поверхностными течениями к южному берегу, опускается в зоне конвергенции в подповерхностные слои и выносится в центральную часть бухты, обеспечивая равномерное распределение загрязнения

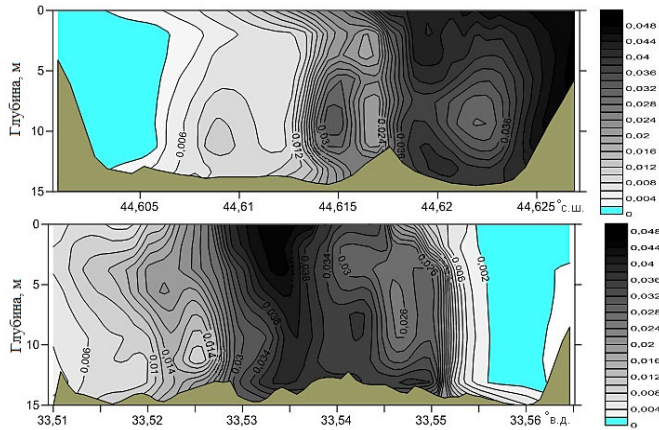
по акватории. Аналогичные процессы происходят и в придонном слое. Здесь более заметны особенности распределения концентрации примеси, связанные с антициклоническим вихрем, располагающимся между Килен- и Южной бухтой.



Р и с. 3. Положение пятна примеси в поверхностном слое в летний сезон в различные моменты времени t после выброса загрязнения в бухте Голландия

F i g. 3. Location of the impurity spot in the surface layer in summer at different time points t after contamination discharge in the Gollandiya Bay

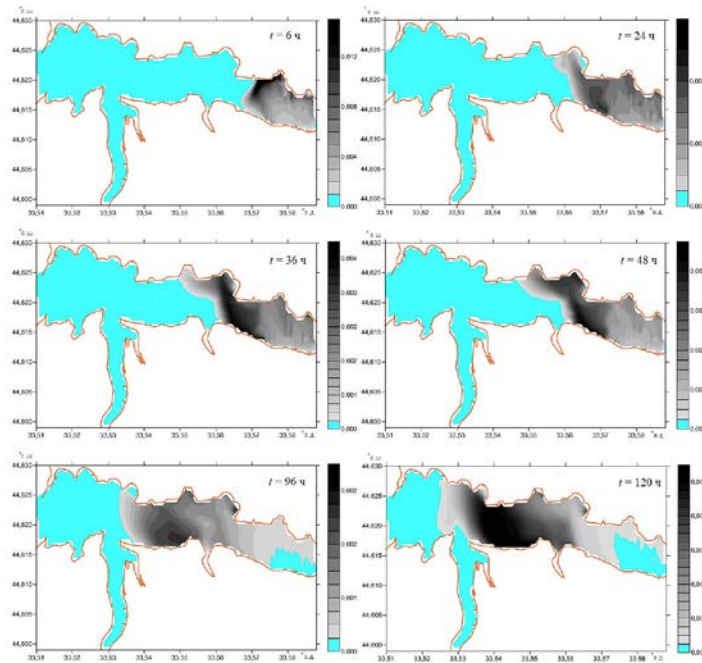
При рассмотрении вертикального распределения примеси (рис. 4) наибольшие отличия от картины января проявляются в Южной бухте, где пятно загрязнений проникает во всю толщу вод.



Р и с. 4. Распределение условной концентрации примеси (%) в летний сезон на меридиональном разрезе по $33,533^{\circ}$ в. д. (а) и на зональном разрезе по $44,621^{\circ}$ с. ш. (б) через 5 сут после выброса загрязнения в бухте Голландия

F i g. 4. Distribution of the impurity conditional concentration (%) in summer on the meridian section 33.533° E (a) and the zonal section 44.621° N (b) in 5 days after contamination discharge in the Gollandiya Bay

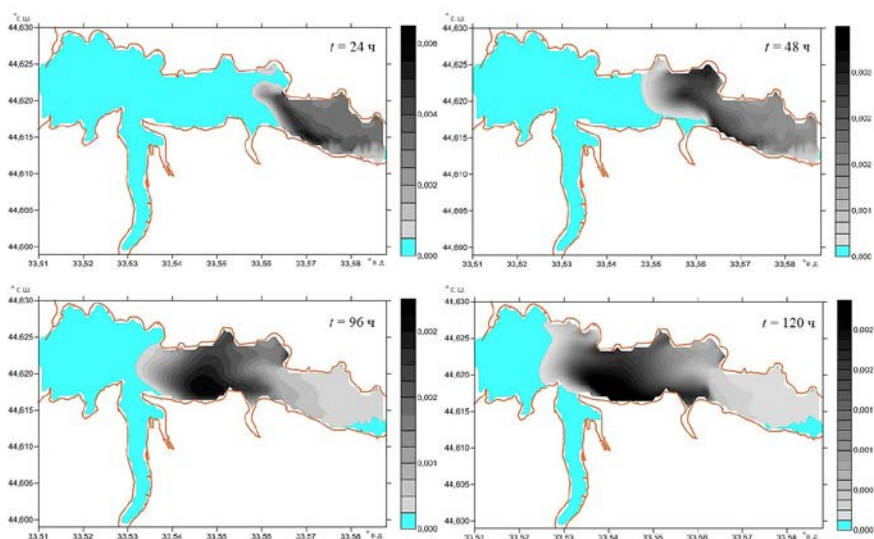
Источник выброса – устье реки Черной (зимний сезон). Структура течений в крайней восточной части Севастопольской бухты в январе такова, что поток воды после выхода из узкости вблизи Инкермана отклоняется в северо-западном направлении в сторону бухты Голландия.



Р и с. 5. Положение пятна примеси в поверхностном слое в зимний сезон в различные моменты времени t после выброса загрязнения в устье реки Черной

F i g. 5. Location of the impurity spot in the surface layer in winter at different time points t after contamination discharge in the River Chernaya mouth

Расстояние от устья реки Черной до бухты Голландия пятно примеси проходит за 1 сут и достаточно равномерно заполняет восточную часть Севастопольской бухты с повышением концентрации загрязнения от северного берега к южному (рис. 5, б). После того как примесь достигнет бухты Голландия, ее дальнейшее распространение в целом соответствует описанному выше случаю залпового выброса загрязнений непосредственно в самой бухте.



Р и с. 6. Положение пятна примеси в придонном слое в зимний сезон в различные моменты времени t после выброса загрязнения в устье реки Черной

F i g. 6. Location of the impurity spot in the bottom layer in winter at different time points t after contamination discharge in the River Chernaya mouth

Источник выброса – устье реки Черной (летний сезон). В июле, несмотря на различия в направлении поверхностных течений по сравнению с январем, интегральный перенос вод в восточной части Севастопольской бухты остается тем же: поток отклоняется в северо-западном направлении в сторону бухты Голландия. Поэтому эволюция пятна примеси соответствует картине, полученной для января: загрязненные воды проходят за 1 сут расстояние от устья р. Черной до бухты Голландия, равномерно заполняют акваторию восточной части бухты и в дальнейшем распространяются аналогично случаю выброса загрязнений в бухте Голландия в июле.

Заключение

Расчеты, полученные в результате проведенных численных экспериментов по распространению загрязняющей примеси от места возможного выброса в устье реки Черной, показали, что, вне зависимости от ветровых условий, пятно примеси, двигаясь в северо-западном направлении, достигает района бухты Голландия. Дальнейшая эволюция загрязненных вод, как и в случаях выброса непосредственно в бухте Голландия, в основном зависит от типа циркуляции вод в Южной бухте и – в меньшей степени – от поля течений в центральной части Севастопольской бухты.

Проведенные численные эксперименты показали работоспособность и адекватность воспроизведения в модели исследуемых процессов, что позволяет в дальнейшем планировать проведение прогностических расчетов по моделированию сезонного хода циркуляции и термохалинной структуры вод Севастопольской бухты и более точно описывать пути распространения загрязнений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние океанографических факторов на экологическое состояние Севастопольской бухты (Черное море) / Л. Н. Репетин [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2003. № 2. С. 66–80.
2. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов / В. А. Иванов [и др.]. Севастополь : МГИ НАН Украины, 2006. 90 с.
3. Шапиро Н. Б., Ющенко С. А. Моделирование ветровых течений в севастопольских бухтах // Морской гидрофизический журнал. 1999. № 1. С. 42–57.
4. Михайлова Э. Н., Шапиро Н. Б. Моделирование циркуляции и пространственной структуры термохалинных полей в Севастопольской бухте с учетом реальных внешних данных (зима 1997 г.) // Морской гидрофизический журнал. 2005. № 2. С. 60–76.
5. Simulation of pollutants dispersion in the Bay of Tangier (Morocco) / A. Belcaid [et al.] // Fluid Dynamics & Materials Processing. 2012. Vol. 8, no. 2. P. 241–256. doi:10.3970/fdmp.2012.008.241
6. Improvement of the ocean pollutant transport model by using the surface spline interpolation / X. Zong [et al.] // Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography. 2018. Vol. 70. <https://doi.org/10.1080/16000870.2018.1481689>
7. Vikas M., Dwarakish G. S. Coastal pollution: A review // Aquatic Procedia. 2015. Vol. 4. P. 381–388. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.051>
8. Coastal water quality monitoring and modelling off Chennai city / P. Mishra [et al.] // Procedia Engineering. 2015. Vol. 116. P. 955–962. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.386>
9. *Periáñez R.* Water circulation, sediment transport, and pollutant dynamics in Southern Iberia Waters: A review on numerical modelling studies // *ISRN Oceanography*. Vol. 2013. Article ID 424572. 27 p. <http://dx.doi.org/10.5402/2013/424572>
10. *Blumberg A. F., Mellor G. L.* A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model // *Three Dimensional Coastal Ocean Models* / N. S. Heaps (ed.). Washington, D.C. : AGU, 1987. P. 1–16. (Coastal and Estuarine Sciences, vol. 4). <https://doi.org/10.1029/CO004p0001>
11. *Hunter J. R.* OzPOM: A Version of the Princeton Ocean Model. URL: <https://www.johnroberthunter.org/science/ozpom/index.html> (date of access: 07.11.2018).
12. Black Sea coastal forecasting system / A. I. Kubryakov [et al.] // *Ocean Science*. 2012. Vol. 8, iss. 2. P. 183–196. <https://doi.org/10.5194/os-8-183-2012>
13. *Mellor G. L., Yamada T.* Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems // *Reviews of Geophysics*. 1982. Vol. 20, iss. 4. P. 851–875. <https://doi.org/10.1029/RG020i004p00851>
14. Численное моделирование динамики вод южных морей России в рамках задач оперативной океанографии / А. В. Григорьев [и др.] // Труды ГОИН. М. : ГОИН, 2011. Вып. 213. С. 80–90.
15. Modelling of circulation in the Gulf of Izmir / V. A. Ivanov [et al.] // *Physical Oceanography*. 1997. Vol. 8, iss. 1. P. 47–55. <https://doi.org/10.1007/BF02522565>
16. *Sommerfeld A.* Partial Differential Equations. Lectures on Theoretical Physics. N.-Y. : Academic Press, 1949. Vol. 6. 335 p.
17. *Konovalov S. K., Kubryakov A. I., Demyshev S. G.* Parametrization of the biochemical processes of oxidation and numerical modeling of the seasonal behavior of the distribution of oil hydrocarbons in the aerobic zone of the Black Sea // *Physical Oceanography*. 2004. Vol. 14, iss. 1. P. 27–41. <https://doi.org/10.1023/B:POCE.0000025368.38540.a7>

18. *Smagorinsky J.* General circulation experiments with the primitive equations: I. The basic experiment // *Monthly Weather Review*. 1963. Vol. 91, no. 3. P. 99–164. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1963\)091<0099:GCEWTP>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1963)091<0099:GCEWTP>2.3.CO;2)
19. *Smolarkiewicz P. K.* A fully multidimensional positive definite advection transport algorithm with small implicit diffusion // *Journal of Computational Physics*. 1984. Vol. 54, iss. 2. P. 325–362. [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(84\)90121-9](https://doi.org/10.1016/0021-9991(84)90121-9)

Об авторах:

Белокопытов Владимир Николаевич, заведующий отделом океанографии, ФГБУН МГИ (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), доктор географических наук, **ORCID ID: 0000-0003-4699-9588**, **Scopus Author ID: 6602381894**, v.belokopytov@gmail.com

Кубряков Александр Иванович, заместитель директора по научной работе, ФГБУН МГИ (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), доктор физико-математических наук, **ORCID ID: 0000-0003-1899-9230**, **Scopus Author ID: 6602809060**, **ResearcherID: F-8959-2014**, alexander.kubryakov@mhi-ras.ru

Пряхина Светлана Федоровна, ведущий инженер-исследователь, отдел теории океанических процессов ФГБУН МГИ (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), odop_mhi_nanu@mail.ru