

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ СЦЕНАРИЕВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФРАКЦИЙ НЕФТИНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ НА ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

С.Г. Демышев, С.В. Довгая, О.А. Дымова

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: otw@alpha.mhi.iuf.net

На основе трехмерной нелинейной гидрохимической модели Черного моря проведено моделирование возможных последствий разливов нефти на северо-западном шельфе Черного моря. Получены распределения полей первой взвешенной фракции нефтяных углеводородов для одного года моделирования: в декабре, марта, июне и сентябре.

Открытие новых и эксплуатация старых месторождений нефти активизировало поиски путей эффективной и безопасной ее транспортировки. Однако перевозка нефти и нефтепродуктов с помощью танкеров не исключает аварийные ситуации, при которых весьма вероятны разливы нефти и загрязнение обширных акваторий моря. При этом весьма вероятны также аварии на терминалах, где происходит заправка судов нефтью. Данные показывают, что ежегодное количество нефтяных выбросов в Черное море – порядка 110000 т. Поэтому особо актуальной является задача о переносе нефтяного загрязнения с учетом циркуляции и процессов обмена в море.

Целью данной работы является выполнение численных экспериментов по моделированию пространственного распределения нефтяных углеводородов (НУ) в аэробных водах северо-западного шельфа Черного моря в случае аварийного выброса.

Для расчета сезонной эволюции циркуляции и термохалинной структуры вод моря использовалась трехмерная нелинейная модель [1], основанная на полных уравнениях гидродинамики.

При адаптации численной модели к условиям Черного моря весь объем моря был разбит на боксы с горизонтальными размерами 5×5 км. По вертикали задан неравномерный шаг. Были выбраны 44 горизонта (2.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 63, 75, 88,

100, 113, 125, 150, 175, 200, 250, далее через каждые 50 м до 600, затем через 100 м до 2000, 2050, 2075, 2085, 2095, 2100 м). В узлах сетки на этих горизонтах вычислялись величины температуры, солености и вектора течения. Шаг по времени составлял 20 мин.

Коэффициенты турбулентной вязкости по вертикали и горизонтали принимались равными $5 \text{ см}^2/\text{с}$ и $10^7 \text{ см}^2/\text{с}$, коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии соответствовал $5 \cdot 10^6 \text{ см}^2/\text{с}$. Коэффициент вертикальной турбулентной диффузии был равен

$$K_H = \begin{cases} 2.5 \text{ см}^2/\text{с}, & z \leq 10 \text{ м} \\ 0.03 \text{ см}^2/\text{с}, & z \geq 10 \text{ м} \end{cases},$$

где z – глубина моря.

На поверхности моря задавались тангенциальное напряжение трения ветра и потоки тепла и соли, причем диффузионный поток соли был пропорционален разности между осадками и испарением.

На твердых боковых границах ставилось условие непротекания и отсутствие потоков тепла и соли. На жидких участках границы, где втекают реки и нижнебосфорское течение, ставились следующие условия: $u = \partial v / \partial x = 0$, $T = T_e$, $S = S_e$ – на меридиональных и $v = \partial u / \partial y = 0$, $T = T_e$, $S = S_e$ – на зональных участках, причем воды, вносимые реками, имели соленость, равную 7 %, и зависящую от времени температуру, равную климатическим среднемесячным значениям.

Воды, вносимые нижнебосфорским течением, имели соленость, равную 35 % и температуру, равную 16 °C, что соответствует характеристикам вод Мраморного моря. Для верхнебосфорского течения для скоростей ставились такие же условия, как и для нижнебосфорского, а для температуры и солености воды: $\partial T / \partial x = \partial S / \partial x = 0$ – на меридиональных и $\partial T / \partial y = \partial S / \partial y = 0$ – на зональных участках. На дне принималось условие прилипания и отсутствие потоков тепла и соли.

Полученные поля климатических течений [2] использовались в блоке расчета концентрации и распространения взвешенных фракций нефтяных углеводородов. Для вычисления скорости разложения использовались рассчитанные климатические поля температуры и солености. При моделирова-

нии физических процессов переноса НУ предполагалось, что их концентрация относительно невысока, и они не оказывают влияния на физические характеристики морской среды. Общее содержание НУ определяется суммой индивидуальных фракций, взаимные переходы между которыми в модели не рассматривались [3].

В общем виде распространение каждой фракции в водной среде описывалось уравнением:

$$\frac{\partial C_k}{\partial t} + \frac{\partial C_k u}{\partial x} + \frac{\partial C_k v}{\partial y} + \frac{\partial C_k w}{\partial z} = D + R_k, \quad (1)$$

где C_k – концентрация k -ой фракции нефти; u, v, w – компоненты поля скорости в прямоугольной системе координат $\vec{x} = (x, y, z)$, оси которой направлены соответственно на восток, север и вертикально вниз; D – турбулентная диффузия; R_k – член, описывающий разложение данной фракции нефти за счет процессов химического и биологического окисления [4].

Поступление НУ задавалось в виде мгновенного источника, расположенного на северо-западном шельфе Черного моря (рисунок 1). Предполагалось, что выброс произошел в середине сентября. Численные эксперименты проводились при следующих условиях. В начальный момент времени исследуемая фракция НУ равномерно распределена по вертикали в приповерхностном 5-метровом слое. В горизонтальной плоскости разлив задавался в виде пятна площадью 15 км^2 с постоянной концентрацией 10 г/л . На остальной части моря концентрация НУ равнялась фоновой. При расчете распространения взвешенной фракции учитывались поступления НУ с атмосферными осадками, со стоком рек и нижнебосфорским течением [4].

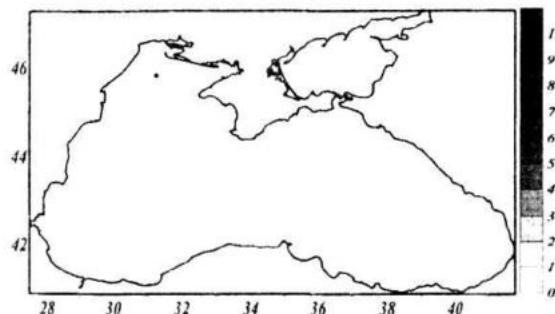


Рисунок 1 – Начальное расположение источника НУ

На рисунке 2 a, b, c, e представлены полученные в численных экспериментах пространственные распределения концентрации первой фракции НУ на глубине 2,5 м в декабре, марте, июне и сентябре. Мы рассматриваем первую, самую легкую фракцию НУ, скорость испарения которой очень высока. Так на третий сутки расчетов концентрация в пятне падает в 10 раз, а на двенадцатые – уже в 100 раз.

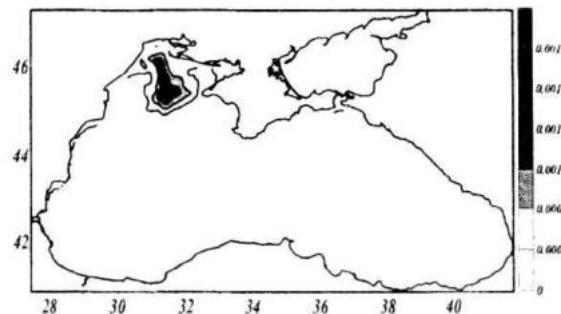


Рисунок 2 a – Распределение концентрации первой фракции НУ на 15 декабря

Форма нефтяного пятна для начала зимы представлена на рисунке 2 a . Пятно вытянуто в северном направлении, что можно объяснить циклоническим течением, которое вызывает отклонение изолиний концентрации на север в районе СЗШ. Максимальная концентрация наблюдается в средней части и равна $1,6 \text{ мг/л}$. Концентрация первой фракции НУ для остальной части моря составляет $0,1 \text{ мг/л}$, что в 2 раза превышает заданное фоновое значение, равное $0,05 \text{ мг/л}$.

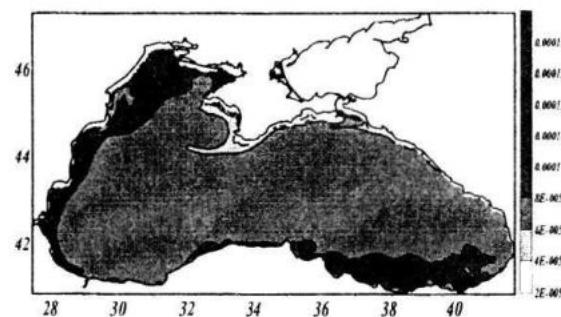


Рисунок 2 b – Распределение концентрации первой фракции НУ на 15 марта

К весне (рисунок 2 b) пятно нефти смещается ближе к северу, области повышенной концентрации становятся более узкими и вытянутыми вдоль берега. Максимальные значения $0,13 \text{ мг/л}$ наблюдаются у северно-

го побережья, в Каркинитском заливе и Керченском проливе. Также повышение значения (около 0,1 мг/л) прослеживаются вдоль всего западного побережья и у берегов Турции. В центральной части Черного моря концентрация углеводородов составляет 0,06 – 0,08 мг/л, что близко к фоновому значению.

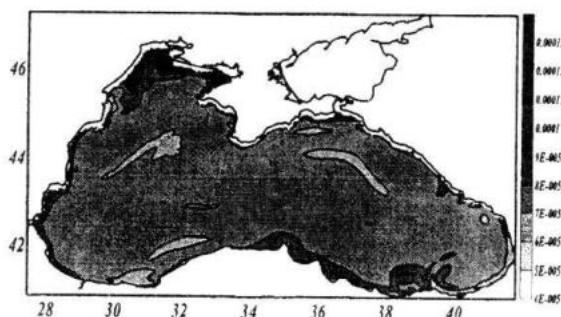


Рисунок 2в – Распределение концентрации первой фракции НУ на 15 июня

Летом (рисунок 2в) значения концентрации остаются теми же, что и весной. У западных и южных берегов моря размер области загрязнения уменьшается, тогда, как на севере форма пятна практически не изменяется. Можно предположить, что летом ситуация становится стабильной. Повышенная концентрация на северном побережье может быть объяснена поступлением НУ со стоком рек, т.к. в этом районе сосредоточено большое количество промышленных предприятий.

В дальнейшем (осенью) наблюдается перераспределение изолиний концентрации, при этом значения концентрации остаются такими же, как и летом (рисунок 2г). Максимальная концентрация не превышает 0,13 мг/л.

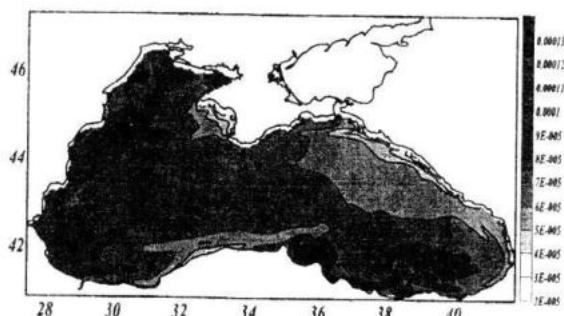


Рисунок 2г – Распределение концентрации первой фракции НУ на 15 сентября

Также при моделировании были получены распределения концентрации по глубине на разрезе 45,84° с.ш. (место разлива). Здесь наблюдается проникновение загрязнения до дна. С глубиной и со временем концентрация уменьшается: так на 15 декабря она составила 0,4 мг/л у дна, а на 15 сентября – 0,07 мг/л.

Таким образом, по результатам численных расчетов можно сделать вывод, что в зимний период в верхнем слое моря происходит заметное уменьшение концентрации и увеличение площади загрязнения первой взвешенной фракции НУ. Далее со временем площадь пятна уменьшается, скорость разложения падает. В зоне выброса наблюдается проникновение фракции нефти до дна, но концентрация с глубиной также уменьшается. Через пол года ситуация стабилизируется и изменения концентрации не значительны. Области повышенного содержания НУ сосредоточены вдоль северо-западного побережья (для района СЗШ) и южного побережья Черного моря.

Л и т е р а т у р а

1. С.Г. Демышев, В.В. Кныш, Г.К. Коротаев. Численное моделирование сезонной изменчивости гидрофизических полей Черного моря // Морской гидрофизический журнал. – 2002. – № 3. – С. 12 – 27.
2. В.В. Кныш, С.Г. Демышев, Г.К. Коротаев. Методика реконструкции климатической сезонной циркуляции Черного моря на основе ассимиляции гидрологических данных в модели // Морской гидрофизический журнал. – 2002. – № 2. – С. 36 – 52.
3. С.К. Коновалов, А.И. Кубряков, С.Г. Демышев. Параметризация химико-биологических процессов окисления и численное моделирование сезонного хода распределения нефтяных углеводородов в аэробной зоне Черного моря // Морской гидрофизический журнал. – 2004. – № 1. – С. 26 – 40.
4. С.К. Коновалов, С.Г. Демышев, А.С. Запевалов. Математическое моделирование распределения нефтяных углеводородов в аэробных и анаэробных водах Черного моря // Морской гидрофизический журнал. – 2006. – № 6. – С. 53 – 67.