

О МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ОБЛАСТИ ВЕРОЯТНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ

канд. физ.-мат. наук В.В. СОЛБАКОВ^{1,2}, канд. физ.-мат. наук С.Н. ЗАЦЕПА²,
ст. науч. сотр. А.А. ИВЧЕНКО², ст. науч. сотр. В.В. СТАНОВОЙ³

¹ — ФИЦ «Информатика и управление» РАН – ВЦ РАН, Москва, e-mail: solbakov@ccas.ru

² — Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Москва,
e-mail: zatsepa@gmail.com

³ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
Санкт-Петербург, e-mail: vstanovoy@yandex.ru

В работе предложена методика оценки области вероятного обнаружения нефтяного загрязнения на поверхности моря, дана математическая постановка задачи, как для залпового, так и для длительного сброса нефти, предложен численный метод ее решения, проведены расчеты для условий Баренцева моря. Использование предложенной методики целесообразно для информационного оповещения о чрезвычайных ситуациях, сопровождающихся аварийным разливом нефти на поверхности моря, вне зависимости от конкретной модели расчета распространения нефтяного загрязнения.

Ключевые слова: математическое моделирование, разливы нефти в море, обнаружение разлива нефти.

На сегодняшний день актуальной проблемой, возникающей при реализации плана ликвидации аварийных разливов нефти, является вопрос: что делать в случае, когда в области акватории, где должен находиться разлив согласно прогнозу его распространения, он не обнаружен? Какова должна быть область его поиска? Расчет перемещения пленок нефти и нефтепродуктов на поверхности моря производится путем интегрирования уравнений движения в форме Лагранжа с использованием предварительно рассчитанных полей течений и приземного ветра (Зацепа и др., 2015; Зацепа и др., 2016). И прогноз, и ретроспективный расчет гидрологических характеристик на основании данных реанализа метеорологических полей осуществляется с неизбежной погрешностью (Зацепа и др., 2014). Сравнение траекторий переноса буев в натуральных экспериментах (Dominicis et al., 2016) показало, что результаты расчетов по различным моделям океанской циркуляции, моделям ветрового волнения и атмосферным моделям отличаются друг от друга и, как следствие, не могут в точности соответствовать данным наблюдений. Это является причиной расхождения рассчитанных траекторий распространения находящихся на поверхности моря объектов и траекторий их перемещения, реализующихся в природе. Таким образом, распространение нефтяного разлива в море необходимо рассматривать как случайный процесс, в котором положение объекта интереса в каждый момент времени рассчитывается как случайная величина, эволюция которой описывается адвективно-диффузионными уравнениями типа уравнений Эйнштейна–Колмогорова.

Движение нефтяного пятна по поверхности моря обусловлено действием ветра, течений и волн. Каждый из этих гидрометеорологических элементов рассчитывается в соответствующих математических моделях. Однако же при расчете скорости ветра и течений используется осреднение Рейнольдса, а волновые модели, как правило, сформулированы относительно спектров волнового процесса. В итоге, оперируя средними значениями гидрометеорологических величин, можно рассчитать «среднюю» траекторию движения слика. Реальная траектория движения нефтяного разлива, формирующаяся под действием непрерывно меняющихся полей ветра, течений и волнения, может отличаться от рассчитанной средней, но расчет мгновенных значений гидрометеорологических полей представляет практически нерешаемую математическую задачу. По этой причине гораздо легче ввести в рассмотрение наиболее вероятную (в большинстве случаев совпадающую со средней) траекторию движения для объектов на поверхности моря и в водной толще и наиболее вероятное положение объекта в любой заданный момент времени, одновременно сопровождая расчет оценкой «погрешности», которая, как правило, описывается функцией распределения для отклонений действительного положения объекта интереса от среднего значения.

Обратим внимание на то, что в данном случае неопределенность положения объекта интереса в процессе переноса по поверхности моря обусловлена не только турбулентным характером движений в водной среде, но, в большей степени, погрешностью в расчете гидрометеорологических параметров с помощью математических моделей. По формальным основаниям разница между рассчитанной скоростью переноса нефтяного пятна по математической модели и определенной в результате наблюдений может быть добавлена в уравнения движения как случайная добавка, аналогично скоростям турбулентных пульсаций. Аналогично турбулентной диффузии лагранжевых частиц, неопределенность их положения за счет погрешности в определении скоростей ветра и течений может рассматриваться как результат искусственной «диффузии» с коэффициентом «диффузии», определенным из анализа статистических свойств ошибок модельных расчетов. В дальнейшем будем называть неопределенность в местоположении нефтяного пятна за счет ошибок расчета скоростей переноса рассеянием относительно наиболее вероятного положения, чтобы разделить указанные процессы.

На практике важно оценить область вероятного обнаружения разлива, поскольку он может находиться в точке пространства, отличной от рассчитанного наиболее вероятного положения. Методика оценки положения границ областей вероятного обнаружения разлива обсуждается в данной работе.

МОДЕЛЬ РАССЕЙЯНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА НА ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ

Перемещение нефтяного разлива по поверхности моря определяется приводным ветром, как непосредственно, так и опосредованно, через дрейфовые течения и волновой перенос. В большинстве моделей распространения нефти в море скорость переноса нефтяного пятна по поверхности моря задается параметрически через ветровой коэффициент. Наблюдения показывают, что в открытом море вдали от берега и влияния течений не ветрового происхождения (прежде всего сгонно-нагонных и приливных) нефтяные пятна движутся со скоростью, пропорциональной скорости ветра, и для практической оценки этой скорости часто вводят т.н. ветровой коэффициент, как правило, составляющий порядка 3 % от скорости приводного ветра (Stolzenbach et al., 1977). Скорость перемещения нефтяного пятна, рассчитанная с помощью ве-

трового коэффициента, описывающего совокупное влияния ветра на пленку нефти на поверхности моря, включая волновые процессы, суммируется со скоростью течения, обусловленного другими причинами. В рамках данной работы мы оценим влияние погрешности расчета приводного ветра на рассеяние прогнозируемого местоположения нефтяного разлива, имея в виду, что для скоростей течений справедливы те же самые предположения. В работе (Зацева и др., 2014) было проведено сравнение данных наблюдений на гидрометеорологической станции на побережье Баренцева моря и результатов расчетов по модели Гидрометцентра России. При отсутствии систематических ошибок в расчете скорости ветра, тем не менее отклонения между наблюдаемыми и модельными данными имели приблизительно нормальное распределение с нулевым средним и среднеквадратическим отклонением (СКО) порядка 2–3 м/с. Особенностью изменчивости этой случайной величины является довольно большой радиус временной автокорреляционной функции. В течение этого промежутка времени, в среднем, модельные результаты будут либо превышать данные наблюдений, либо занижать, и, соответственно, коэффициент рассеяния лагранжевых частиц, перемещающихся в рассматриваемом случае под действием течений и ветра, является функцией времени. В цитируемой работе было получено, что рассеяние координат центра пятна относительно наиболее вероятного положения аналогично процессу диффузии с переменным по времени коэффициентом диффузии:

$$K(t) = (\alpha \cdot \sigma_w)^2 T_u (1 - \exp(-t/T_u)) = K_{\max} (1 - \exp(-t/T_u)), \quad (1)$$

где α — ветровой коэффициент, σ_w — СКО погрешности расчетов скорости ветра, T_u — лагранжев масштаб турбулентности (Озмидов, 1986) ($\alpha = 0,03$, $\sigma_w = 2,9$ м/с, $T_u = 11$ ч, $K_{\max} \approx 300$ м²/с). Для сравнения: часто используемый на практике метод, связывающий значение коэффициента горизонтальной диффузии с масштабом явления (Озмидов, 1986) соотношением типа $K_L = aL^{4/3}$, где a — числовой коэффициент, L — характерный пространственный масштаб, дает существенно меньшие значения коэффициента турбулентного обмена. По этой причине оценку рассеяния возможного местоположения разлива нефти в момент времени t после начала сброса следует проводить на основании погрешности метеорологического прогноза.

Обратим внимание, что существуют модели нефтяного разлива, в которых длительный аварийный разлив нефти представляется в виде набора дискретных разливов — порций, или спиллетов (от англ. *spillet*), которые с определенной периодичностью поступают от источника загрязнения на поверхность воды (Становой, 2007; Liungman, 2011; Spaulding et al., 1994). Способ описания конкретного разлива нефти с помощью ансамбля спиллетов хорошо известен и применяется главным образом потому, что это наиболее простой способ представления для описания деформации нефтяного слика в неоднородном поле течений и за счет контакта с берегом, а также для учета диффузионного рассеяния нефтяного загрязнения.

В данной работе предметом исследования является не размер и не конфигурация области загрязнения, а местоположение нефтяного пятна в целом. По этой причине предлагаемая методика определения области возможного обнаружения разлива нефти после аварийного сброса в морскую среду рассматривается как дополнение к моделям нефтяного разлива на поверхности моря, вне зависимости от их конкретной численной реализации. Наряду с традиционно рассчитываемыми параметрами разлива, к которым относятся наиболее вероятное положение, размеры, количество нефти на поверхности и в водной толще, на берегу и на дне, изменения плотности и вязкости

разлитого нефтепродукта, имеется практическая потребность определять область его возможного обнаружения. Отметим, что каждому расчету распространения разлива соответствует свой сценарий гидрометеорологических условий¹, эволюция во времени наиболее вероятного местоположения центра разлива и траектории.

Рассеяние координат мгновенного точечного разлива с коэффициентом рассеяния (1) определяется соотношением

$$\frac{d}{dt}\sigma^2(t) = 2K(t), \quad \sigma^2(t) = 2K_{\max} \left(t - T_u \left(1 - \exp(-t/T_u) \right) \right), \quad (2)$$

Обозначим функцию плотности распределения координат центра разлива $G(x, t)$, ее эволюция в диффузионном процессе описывается прямым дифференциальным уравнением Колмогорова

$$\frac{\partial G}{\partial t} + \frac{\partial G u_i}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} K_L \frac{\partial G}{\partial x_j}, \quad (3)$$

где u_i — компонента скорости среды по соответствующей координате, $i, j = 1, 2$, а K_L — коэффициент рассеяния.

Решением для мгновенного точечного источника и изотропного по пространству коэффициента горизонтальной диффузии (рассеяния) в однородном поле скоростей в рассматриваемом случае является

$$G(x, y, t) = \frac{1}{2\pi\sigma^2(t)} \exp \left[-\frac{(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2}{2\sigma^2(t)} \right], \quad G(x, y, 0) = \delta(x_0, y_0), \quad (4)$$

$$x_c(t) = x_0 + \int_0^t u_x(t') dt', \quad y_c(t) = y_0 + \int_0^t u_y(t') dt', \quad (5)$$

где дисперсия определяется выражением (2), (x_0, y_0) — координаты источника разлива, (x_c, y_c) — координаты положения центра разлива нефти в рассматриваемом метеорологическом сценарии (наиболее вероятного).

Отметим, что выражение (4)–(5) справедливо в условиях открытого моря. Для реального разлива, который, как правило, является продолжительным и происходит в неоднородных по пространству скоростях течений и ветра, а также при наличии берегов пространственной симметрии области рассеяния нет и решение невозможно получить аналитическими методами.

В случае непрерывно действующего источника функция плотности распределения $f(x, t)$ запишется в виде суперпозиции решений (5) уравнения (4) для точечных источников

$$f(x, y, t) = \int_0^t \dot{M}(t') G(x - x_c(t', t), y - y_c(t', t), t - t') dt' \Big/ \int_0^t \dot{M}(t') dt', \quad (6)$$

$$x_c(t_1, t_2) = x_0 + \int_{t_1}^{t_2} u_x(x, y, t') dt', \quad y_c(t_1, t_2) = y_0 + \int_{t_1}^{t_2} u_y(x, y, t') dt', \quad (7)$$

¹ Сценарий гидрометеорологических условий (СГМУ) — набор последовательных полей скорости ветра и течений, температуры, солёности и плотности морской воды, характеристик ветрового волнения, позволяющий описать эволюцию нефтяного разлива под действием факторов природной среды (Зацева и др., 2014, 2015; Зацева и др., 2016). СГМУ может быть результатом как оперативного прогноза гидрометеорологических полей, так и ретроспективного прогноза, или реанализа.

где M — мощность источника. Выражения (7) в отличие от (5) определяют координаты наиболее вероятного положения элементарных разливов, представляющих части одного разлива нефти продолжительностью t_s , $t_l \in [0, t_s]$ на момент времени $t_2 \in [0, t]$.

Для полученной функции плотности распределения построим следующий функционал, зависящий от уровня плотности вероятности c_l

$$F(c, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y, t) \theta(f(x, y, t) - c_l) dy dx, \quad \theta(z) = \begin{cases} 0, & z < 0 \\ 1, & z \geq 0 \end{cases}, \quad (8)$$

где θ — функция Хэвисайда.

Очевидно, что $F(c, t)$ — убывающая по переменной c функция и для нее можно определить значение уровня плотности вероятности

$$c_l(F_l, t) = \min_{F(c, t) \geq F_l} (c), \quad (9)$$

которому соответствует значение вероятности нахождения разлива внутри области, ограниченной изолинией со значением не меньшим, чем F_l .

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

Для решения уравнений (4) и (6) традиционно используют метод дискретных частиц (Климонтович, 1994; Коротенко и др., 1990), метод облаков (Бао-Shi-Shiau, 1998; Архипов и др., 2000) и стохастический метод дискретных облаков (Котеров и др., 2010). Последний из перечисленных является частным случаем методов SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) для невзаимодействующих частиц (Бровченко и др., 2002). Каждый из подходов имеет свои достоинства и недостатки. Метод частиц предполагает использование значительных вычислительных ресурсов, и его применение позволяет хорошо описывать процессы на границах области, когда таковые возникают в задаче. Метод облаков требует меньших вычислительных затрат, применим в слабо меняющихся полях скоростей течений, и решения, полученные с его использованием, плохо разрешают области скачков. В данной работе использован стохастический метод дискретных облаков, предполагающий распределение полной дисперсии между дисперсией каждого из облаков и дисперсией центров облаков и наследующий недостатки и достоинства двух других методов.

Для ансамбля дискретных облаков суммарная дисперсия является суммой дисперсии облака и дисперсии центров облаков

$$\sigma_c^2 = \alpha \sigma_\Sigma^2, \quad \sigma_{xy}^2 = (1 - \alpha) \sigma_\Sigma^2, \quad (10)$$

где σ_Σ^2 — полная дисперсия, σ_c^2 — дисперсия облаков, σ_{xy}^2 — дисперсия центров облаков, α — настроечный параметр, при $\alpha = 0$ метод вырождается в метод дискретных частиц, а при $\alpha = 1$ — в метод облаков.

Методика построения границ области вероятного обнаружения разливов состоит из нескольких шагов. На первом шаге в ячейках равномерной регулярной сетки определяется плотность распределения частиц/облаков, т.е. в центре ячейки рассчитывается отношение суммы вклада в плотность от каждого облака к площади ячейки, с учетом обозначенной в (6) нормировки. В случае метода дискретных частиц метод определения плотности распределения также традиционен и определяется отношением числа частиц, находящихся внутри ячейки, к площади ячейки и общему количеству частиц. Полученная таким образом сеточная плотность распределения

вероятности f_{ij} (i, j — индексы для ячеек сеточной области) является оценкой плотности вероятности согласно соотношению (6). На втором шаге для получения оценки функционала, задаваемого соотношением (8), строится ранжированный ряд значений полученной на сетке функции плотности распределения, а также дискретное представление функционала (8).

$$F_l(t) = F(c_l, t) = \sum_{i,j} f_{ij} \theta(f_{ij} - c_l) A_{ij}, \quad \theta(z) = \begin{cases} 0, & z < 0 \\ 1, & z \geq 0 \end{cases}, \quad (11)$$

где l пробегает значения от 1 до числа, равного количеству различных значений c_l плотности вероятности f_{ij} , A_{ij} — площадь ячейки. Полученная эмпирическая функция F_l является убывающей, так же как и функция, заданная соотношением (8). F_l принимает значения в пределах $[0, 1]$, и для любого значения вероятности может быть определен уровень плотности вероятности (линейной или иного вида интерполяцией), изолинии которого для f определяют зону, внутри которой находится разлив с заданной вероятностью.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Для иллюстрации результатов изложенной методики приведены результаты расчетов распространения нефтепродуктов для двух гипотетических сценариев технической аварии в Белом море. В качестве гидрометеорологических условий (поля ветра и течений) использовались архивные данные — поля течений и приводного ветра, используемые при расчетах распространения нефти в программном комплексе SPILLMOD в Северном УГМС, поступающие дважды в сутки из оперативного модуля ЕСИМО Гидрометцентра РФ на сервер Государственного океанографического института для обеспечения функционирования расчетно-модельных комплексов экспресс-анализа распространения аварийных разливов нефти (Гитис и др., 2012).

На рис. 1 приведены поля вероятности обнаружения разлива для заблаговременности прогноза в 12, 24 и 48 ч при длительности разлива в 1 ч (рис. 1 а, б, в) и 48 ч (рис. 1 г, д, е). Кружками внутри областей обозначено местоположение разлива без учета неопределенности в задании ветра. Видно, что поля вероятности для «мгновенного» разлива обладают выраженной симметрией (рис. 1 а, б, в), а длительного — вытянуты в направлении дрейфа (рис. 1 г, д, е). При приближении к берегу происходит некоторая их деформация (рис. 1 в, е), обусловленная как скоростями течений, так и непосредственно взаимодействием с береговой линией, в конце вторых суток от начала разлива размеры области с вероятностью обнаружения нефти 95 % достигают 50 км (см. рис. 1 в, е). Результаты расчетов для мгновенного источника (рис. 1 а, б, в) можно сравнить с аналитическим решением, которое можно получить, используя соотношения для функционала (8), соотношение (4), описывающее эволюцию точечного источника, а также соотношение (2). В таблице 1 для случая мгновенного точечного разлива приведены полученные аналитически значения размера (диаметра) области, ограничивающей зоны обнаружения нефтяного разлива с соответствующей вероятностью, и результаты численных расчетов этих областей. Согласно полученным данным совпадение неплохое для 12 ч и 1 суток от начала сброса, и различие не превышает одного километра. На вторые сутки различие данных возрастает, достигая 5 км (до 10 %), данное отличие обусловлено, по-видимому, влиянием берегов при моделировании.

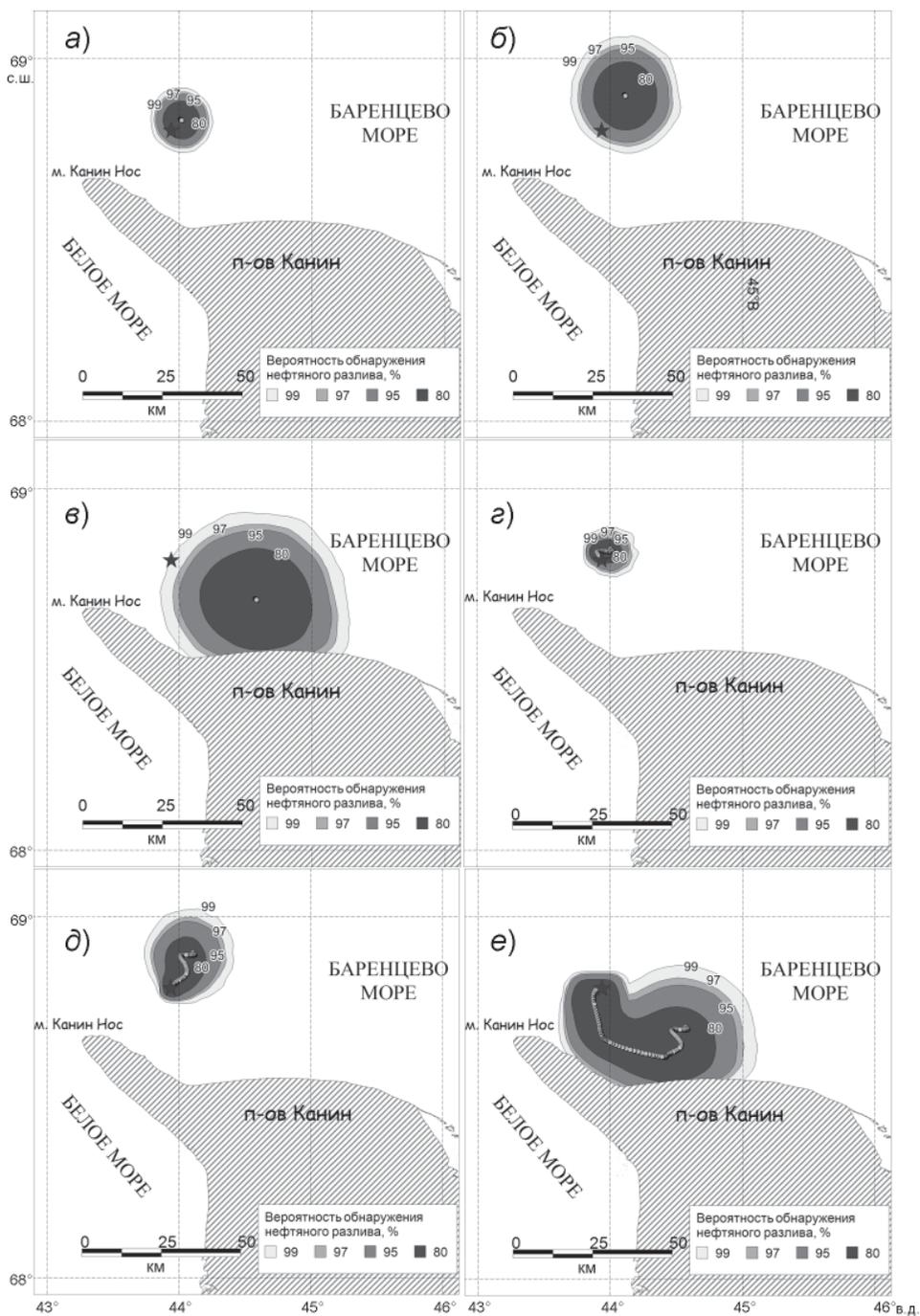


Рис. 1. Вероятность обнаружения разлива: а, б, в — сценарий мгновенного сброса; г, д, е — сценарий длительного сброса (в течение 48 ч); з, д, з — 12 ч после начала разлива; б, в — одни сутки после начала разлива; в, е — двое суток после начала разлива.

**Сравнение расчетных данных и полученных аналитически данных
для случая мгновенного точечного разлива**

Сроки	Размер области, км							
	Получено аналитически				Численные расчеты			
12 ч от начала разлива	11,4	15,6	16,9	19,3	11,5	15,8	17,2	20
24 ч от начала разлива	19,9	27,2	29,4	33,7	20,7	27,7	30,3	34,6
48 ч от начала разлива	32,1	43,8	47,4	54,4	34,3	48,3	52,1	60,1
Значения вероятности обнаружения нефтяного разлива	80 %	95 %	97 %	99 %	80 %	95 %	97 %	99 %

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования предложена методика определения зоны вероятного обнаружения нефтяного разлива для прогнозных расчетов. Методика позволяет учесть погрешности расчета приводного ветра и получить оценку зон морской акватории, внутри которых предполагается нахождение разлива с заданными уровнями вероятности. Определяемая характеристика, наряду с траекториями движения и конфигурациями разлива, позволяет локализовать область поиска разлива при проведении операций по его ликвидации. Приведенное уравнение для оценки плотности распределения координат центра области нефтяного загрязнения решается численными методами. Предлагаемая методика расчета области возможного обнаружения разлива нефти после аварийного сброса в морскую среду может быть использована как *дополнение к любой модели нефтяного разлива* на поверхности моря. Изложенная методика проиллюстрирована примерами расчетов для гипотетического разлива на основе реального гидрометеорологического прогноза на основе архивных данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проектов № 14-07-00434, № 15-07-04871, № 14-07-00513.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архипов Б.В., Котеров В.Н., Солбаков В.В.* Модель АКС для прогноза распространения промышленных сбросов с морских буровых платформ. М.: ВЦ РАН, 2000. 71 с.
- Бровченко И.А., Мадерич В.С.* Численный лагранжевый метод моделирования распространения поверхностных пятен нефти // Прикладная гидромеханика. 2002. № 4 (76). С. 23–31.
- Гитис В.Г., Вайниток А.П., Дерендяев А.Б., Зацева С.Н., Ивченко А.А., Белов С.В., Белова К.В.* Сервис ЕСИМО по интерактивному моделированию гидрометеорологических и гидрофизических процессов, экспресс анализу аварийных разливов нефти // Мат. конф. «Использование средств и ресурсов Единой государственной системы информации об обстановке в мировом океане для информационного обеспечения морской деятельности в Российской Федерации» (ЕСИМО'2012) 24–28 сентября 2012 г. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ–МЦД», 2012. С. 47–51.
- Зацева С.Н., Дианский Н.А., Журавель В.И., Ивченко А.А., Коротенко К.А., Солбаков В.В., Становой В.В., Фомин В.В.* Моделирование разливов нефти в море для планирования мероприятий по обеспечению экологической безопасности при реализации нефтегазовых проектов. Ч. 1. Методология // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 4 (106). С. 27–39.
- Зацева С.Н., Дианский Н.А., Журавель В.И., Ивченко А.А., Коротенко К.А., Солбаков В.В., Становой В.В., Фомин В.В.* Моделирование разливов нефти в море для планирования меро-

приятный по обеспечению экологической безопасности при реализации нефтегазовых проектов. Ч. 2. Особенности реализации прикладных задач // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. № 1 (107). С. 5–18.

Зацева С.Н., Ивченко А.А., Солбаков В.В., Становой В.В., Москвичев А.С. К оценке области возможного обнаружения нефтяного загрязнения при прогнозировании распространения аварийных разливов нефти в море // Проблемы Арктики и Антарктики. 2014. № 4 (102). С. 61–70.

Климонтович Ю.Л. Нелинейное броуновское движение // Успехи физических наук. 1994. Т. 164. № 8. С. 811–844.

Коротенко К.А., Леявин С.Н. Расчет переноса примеси в море методом блуждающих частиц // Океанология. 1990. Т. 30. Вып. 5. С. 930–936.

Котеров В.Н., Юрезанская Ю.С. Моделирование переноса взвешенных веществ на океаническом шельфе. Горизонтальное рассеяние // Журнал вычислит. мат. и мат. физики. 2010. Т. 50. № 2. С. 375–387.

Озмидов Р.В. Диффузия примеси в океане. Л.: Гидрометиздат, 1986. 300 с.

Становой В.В., Лавренов И.В., Неелов И.А. Система моделирования разливов нефти в ледовитых морях // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 77. С. 7–16.

Bao-Shi-Shiau, Jia-Jung Juang. Numerical Study on the Far Field Diffusion of Ocean Dumping for Liquid Waste // Proceedings of the Eighth International Offshore and Polar Engineering Conference. Canada. May 24–29. 1998. P. 327–334.

Dominicis M. De., Bruciaferri D., Gerin R., Pinardi N., Poulain P. M., Garreaud P., Zodiatis G., Perivoliotis L., Fazioli L., Sorgente R., Manganiello C. A multi-model assessment of the impact of currents, waves and wind in modelling surface drifters and oil spill // Deep Sea Res. Part II. Topical Studies in Oceanography. April 2016. DOI: 0.1016/j.dsr2.2016.04.002. 33 p.

Liungman O., Mattsson J. Scientific Documentation of Seatrack Web; physical processes, algorithms and references. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, 2011. 32 p.

Spaulding M.L., Odulo A., Kolluru V.S. A hybrid model to predict the entrainment and subsurface transport of oil // Proc. of the 15th Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar, Environment Canada. 1992. P. 67–92.

Stolzenbach K., Madsen O.S., Adams E.E., Pollack A.M., Cooper C.K. A Review and Evaluation of Basic Techniques for Predicting the Behavior of Surface Oil Slicks // MIT Report. 1977. № MITSG 227-8. 325 p.

V.V. SOLBAKOV, S.N. ZATSEPA, A.A. IVCHENKO, V.V. STANOVOY

METHOD OF ESTIMATION OF THE PROBABLE DETECTION AREA OF OIL POLLUTION ON THE SEA SURFACE

The method of estimation of the probable detection area of oil pollution on the sea surface is proposed. The mathematical formulation of the problem for the instant and continuous oil dumping is submitted, and it is proposed the numerical method of its decision. Results of the calculations for the Barents Sea are presented. The proposed method is useful for the information support of the accidents involving oil spill on the sea surface, regardless of the specific model for simulation of the oil pollution spreading.

Keywords: mathematical modeling, oil spills in sea, detection of oil spill area.