

Опыт создания оперативных моделей расчета распространения аварийных разливов нефти в Баренцевом море

С. Н. Зацепа¹, кандидат физико-математических наук, А. А. Ивченко
Государственный океанографический институт им. Н. Н. Зубова

В. В. Солбаков², кандидат физико-математических наук
Вычислительный центр им. А. А. Дородницына РАН,
Государственный океанографический институт им. Н. Н. Зубова

В. В. Становой³
ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

Обсуждаются вопросы обеспечения прогноза распространения нефти в Баренцевом море. Наряду с традиционными представлениями о том, что реализация прогноза основана на использовании математической модели нефтяного разлива, следует принимать во внимание, что и гидрометеорологический прогноз, и сведения об источнике аварии зачастую известны с определенной погрешностью или неизвестны вовсе. Предлагается ввести ошибки метеорологического прогноза в рассмотрение как искусственное рассеяние траектории(й) распространения нефти, чтобы традиционный «однотраекторный» подход рассматривать как расчет наиболее вероятного распространения нефтяного разлива с одновременной оценкой зоны вероятного обнаружения нефтяного загрязнения. Дополнительно обсуждаются действия прогнозиста при недостаточной и неполной информации о разливе нефти.

Ключевые слова: Баренцево море, математическое моделирование, аварийные разливы нефти, погрешность метеорологического прогноза, область вероятного обнаружения разлива.

Значительный рост объемов добычи, переработки и транспортировки нефти пришелся на середину второй половины прошлого века. Увеличилось количество танкеров и их водоизмещение, а катастрофические последствия произошедших аварий, сопровождавшихся разливами нефти, привели к повышенному вниманию к экологическим проблемам со стороны общества и органов власти. У авторов имеется практический опыт расчетов распространения разливов нефти в море при авариях танкеров в Керченском проливе (2007 г.), в районе мыса Корк (Ирландия, Атлантический океан, 2009 г.), в районе бухты Китовая (остров Итуруп, Охотское море,

2012 г.). Ниже представлены некоторые результаты анализа расчетов распространения нефти в указанных инцидентах.

Каждый аварийный разлив нефти в море уникален, это связано с большим количеством факторов и процессов, определяющих его эволюцию. При фонтанировании скважины на дне моря пластовый продукт поднимается к поверхности в виде плавучей струи, содержащей пластовую воду, капли нефти и пузырьки газа. Растекание нефти по поверхности моря сопровождается испарением легколетучих фракций и образованием прямых и обратных эмульсий. Физические и химические свойства попавшей в море нефти постоянно меняются под действием гидрометеорологических факторов, главные из которых — ветер и ветровое волнение. Нефть или нефтепродукты с поверхности моря могут проникать в водную толщу и опускаться на дно при попадании в распресненные воды, как это происходило, например, при разливе мазута в Керченском проливе

¹ e-mail: zatsepa@gmail.com.

² e-mail: alivch@orc.ru.

³ e-mail: myqwerty@mail.ru.

⁴ e-mail: vstanovoy@yandex.ru.

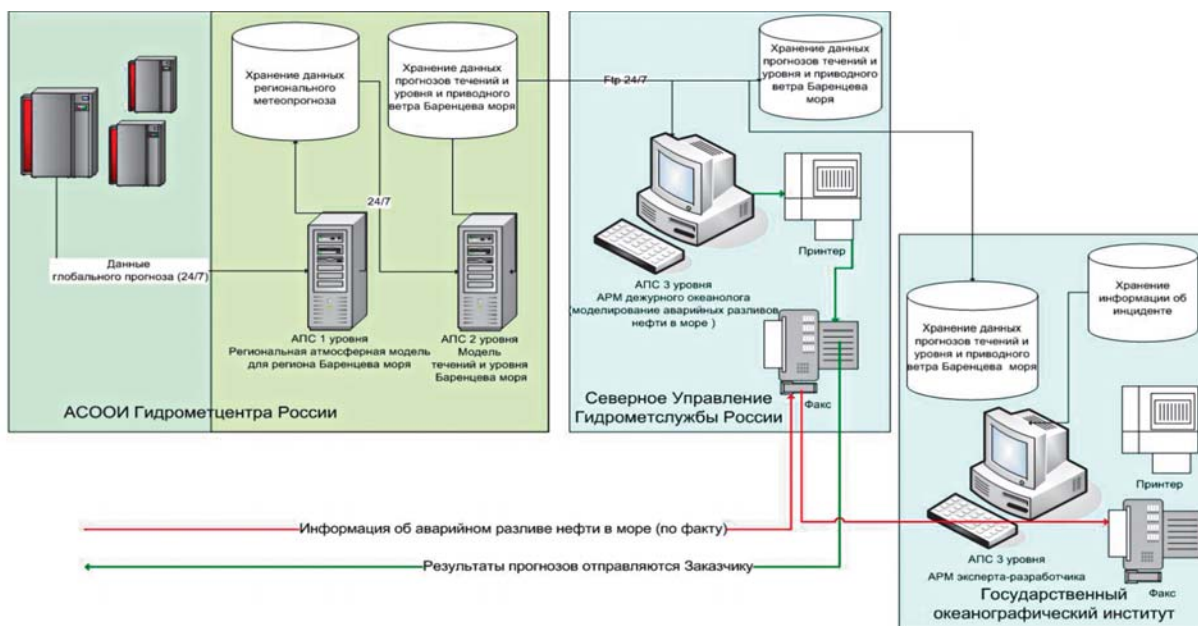


Рис. 1. Схема технологической линии прогнозирования аварийных разливов нефти для Баренцева моря (АПС – аппаратно-программные средства, АРМ – автоматизированное рабочее место, 24/7 – обеспечение прогноза 24 часа в сутки 7 дней в неделю)

и выходе пятна в Азовское море. Изученность процессов физико-химической трансформации нефти в морской среде сегодня не может считаться достаточной. Сложность построения моделей физических процессов, отвечающих за судьбу нефти в море, и затем математической формулировки задачи, обусловлена помимо прочего сильной изменчивостью свойств нефти и нефтепродуктов (от газоконденсата до мазута) и весьма значительным разнообразием гидрометеорологических условий, в которых может происходить распространение нефтяного загрязнения.

Принятие эффективных управленческих решений, направленных на минимизацию негативных последствий аварийной ситуации, возможно при наличии прогноза распространения разлива нефти. В состав прогностической информации для операции по ликвидации аварийного разлива нефти должны входить данные о местоположении, конфигурации разлива, представленные на электронной карте района аварии, и сведения о количестве нефти на поверхности моря, об изменении вязкости и плотности нефтепродукта, обусловленном выветриванием. Моделирование распространения нефти строится на основе региональных гидрометеорологических прогнозов. Пространственная и временная изменчивость гидрометеорологических параметров приводит к значительным объемам обработки и передачи данных и требует использования автоматизированных средств подготовки прогнозов.

В 2011 г. усилиями специалистов ГОИН и Гидрометцентра была разработана, реализована, сдана в эксплуатацию и поддерживается технологическая

линия (ТЛ) для обеспечения оперативного прогнозирования распространения аварийных разливов нефти при чрезвычайных ситуациях на Каспийском и Баренцевом морях. ТЛ была реализована на технических средствах Гидрометцентра в отделе морских гидрологических прогнозов с использованием локальной вычислительной сети Гидрометцентра. Позже была организована передача данных региональных гидрометеорологических прогнозов, размещенных на ресурсах Гидрометцентра России, Единой системы информации об обстановке в Мировом океане, через Интернет на рабочие места прогнозистов в Дагестанском центре по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Северном управлении Гидрометслужбы (УГМС) России.

Схема ТЛ для Баренцева моря приведена на рис. 1. Согласно регламенту два раза в сутки по расписанию на рабочее место прогнозиста в Северном УГМС, где установлено специализированное программное обеспечение SPILLMOD¹, поступают данные оперативного прогноза по Баренцеву морю. В Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте в опытную эксплуатацию введена технология расчетов распространения нефти в арктических морях при наличии ледового покрова. В ее состав входят Оперативная океанографическая система для Северного Ледовитого океана (ООС-СЛО), модуль расчета

¹ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010612856 «Модель прогноза/расчета распространения и трансформации аварийного разлива нефти в море (SPILLMOD)». Авторы: Овсienко С. Н., Ивченко А. А., Зацепя С. Н.

распространения нефтяного загрязнения OilMARS и модуль, отвечающий за взаимодействие с другими информационными системами. ООС-СЛО — автоматизированная система, дважды в сутки по расписанию выпускающая гидрометеорологическую продукцию: поля гидрологических характеристик включая морское ветровое волнение, поля характеристик ледовых условий, необходимую метеорологическую информацию.

Практическая реализация разработанных методов расчета распространения нефти связана с рядом проблем, от решения которых зависит качество прогнозирования. Для получения достоверного прогноза распространения нефти на основе решения математической задачи об эволюции разлива в морской среде нужно как минимум знать, что разлилось, где разлилось, когда разлилось и сколько нефти или нефтепродукта попало в море.

Составление адекватного прогноза распространения аварийного разлива нефти возможно только при наличии полной информации об источнике разлива, гидрометеорологических условиях в точке разлива и на прилегающей акватории. Как правило, получение и использование необходимой информации встречает трудности.

Источниками разливов нефти в море являются объекты нефтедобычи (разведочные и добычные платформы) и транспортировки нефти (трубопроводы и танкеры), а также суда обеспечения, перевозящие судовое топливо и мазут. Сброс нефти при аварийной ситуации может продолжаться длительное время.

В реальности в тот момент, когда регистрируется авария, как правило, неизвестно, сколько нефти уже вытекло и сколько вытечет до момента ее локализации. Как должен действовать прогнозист в условиях отсутствия информации о масштабе сброса и режиме истечения? На наш взгляд, при отсутствии информации следует использовать консервативные оценки и рассматривать сброс нефти как продолжительный процесс, начало которого положено самим фактом аварии, а окончание не определено. Продолжительность сброса, таким образом, будет определена как разность времени начала аварии и последнего момента, на который дается гидрометеорологический прогноз. Уточнение информации о разливе необходимо производить постоянно в течение всей кампании по борьбе с ним, и прогноз должен даваться всякий раз, когда поступают новые данные прогнозов течений и ветра и когда появляется возможность уточнить сведения о типе нефти и характеристиках сброса.

При невозможности получения информации об объеме и интенсивности утечки нефти или нефтепродукта прогнозирование следует проводить, исходя из максимально возможных значений [1; 2]:

- нефтеналивное судно — 2 танка;
- нефтеналивная баржа — 50% общей грузоподъемности;

- стационарные и плавучие добывающие установки и нефтяные терминалы — 1500 т;
- трубопровод при прорыве — 25% максимального объема прокачки в течение 6 ч и объем нефти между запорными задвижками на прорваном участке трубопровода;
- трубопровод при проколе — 2% максимального объема прокачки в течение 14 дней;
- стационарные объекты хранения нефти и нефтепродуктов — 100% объема максимальной емкости одного объекта хранения.

Указанные в постановлении объемы разливов следует считать наихудшим сценарием технической аварии, который нужно использовать только в случае, если другим путем определить параметры разлива не представляется возможным.

Положение источника (за исключением аварий на платформах, координаты которых известны) и время начала аварийного разлива определяются либо на основании сообщения с аварийного судна, либо на основании спутниковой информации, при этом за момент начала принимается момент обнаружения разлива или пятна (момент снимка), а положение разлива определяется по координатам точек контура пятна. Поскольку между моментом снимка и получением спутниковой информации проходит какое-то время (от нескольких часов до нескольких суток) на предварительную обработку спутникового изображения, дешифрирование и подготовку информации о контурах нефтяных пятен, то последующие снимки обнаруженного пятна используются уже для коррекции результатов расчета.

Часто прогнозирование распространения нефти или нефтепродуктов проводится по факту обнаружения на поверхности моря нефтяных пятен, происхождение которых неизвестно. Обычно это следствие несанкционированных сбросов топлива с судов, промывки танков или таяния загрязненного ледового покрова. В ситуации, когда неизвестен тип нефтепродукта, попавшего в морскую среду в результате аварии, моделирование следует проводить по наихудшему сценарию, выбирая из набора типов нефти и нефтепродуктов наименее летучие.

Целесообразно до возникновения аварийной ситуации все потенциальные источники разливов в регионе ответственности УГМС представить в виде отдельного картографического слоя, включающего расположение стационарных объектов, трубопроводные системы, типовые маршруты движения танкеров и судов обеспечения.

Анализ результатов расчетов, как правило, предполагает оценку возможности воздействия разлива нефти на уязвимые объекты в море и на побережье. С этой целью результаты представляются в формате геоинформационных систем (ГИС), а зачастую программное обеспечение сразу строится как ГИС-приложение либо с использованием ГИС-технологий. Следует отметить, что траектория распространения разлива нефти в тех случаях, когда о ней можно

говорить², определяется расположением источника и гидрометеорологическими условиями. Таким образом, наличие угрозы воздействия нефтяного разлива на уязвимые объекты и особо охраняемые природные территории можно спрогнозировать, не имея полного набора информации об источнике разлива, однако для оценки масштабов воздействия необходимо уточнить все параметры разлива включая дату и время, координаты, объем, интенсивность сброса, тип нефти или нефтепродукта с максимальной детализацией.

Поскольку прогноз распространения нефтяного разлива — это классический пример «прогноза на прогнозе», желательно, чтобы пользователь имел представление о том, насколько точно на текущий момент возможно определение положения нефтяного пятна и его конфигурации. В литературе встречаются оценки качества прогнозов метеорологических параметров; в частности, оценка точности краткосрочных прогнозов сильных ветров, полученных с использованием двух различных моделей, для Дальневосточного региона приведены в [3]. Региональная модель Гидрометцентра, исследуемая в цитируемой статье, также используется для задания входных условий при расчете течений и уровня в Баренцевом море.

Чтобы оценить ошибки прогноза распространения нефти, мы сравнили данные наблюдений с трехчасовой дискретностью на гидрометеорологической станции (ГМС) Варандей за 2013 г. из архива, размещенного на сайте <http://rp5.ru>, и результаты расчетов по методу краткосрочного прогноза уровня моря, скоростей течений и температуры воды в Баренцевом и Белом морях [4] с заблаговременностью 24 ч. Для расчетов полей скоростей ветра

² При продолжительном истечении нефти более корректно рассматривать последовательные конфигурации нефтяного разлива.

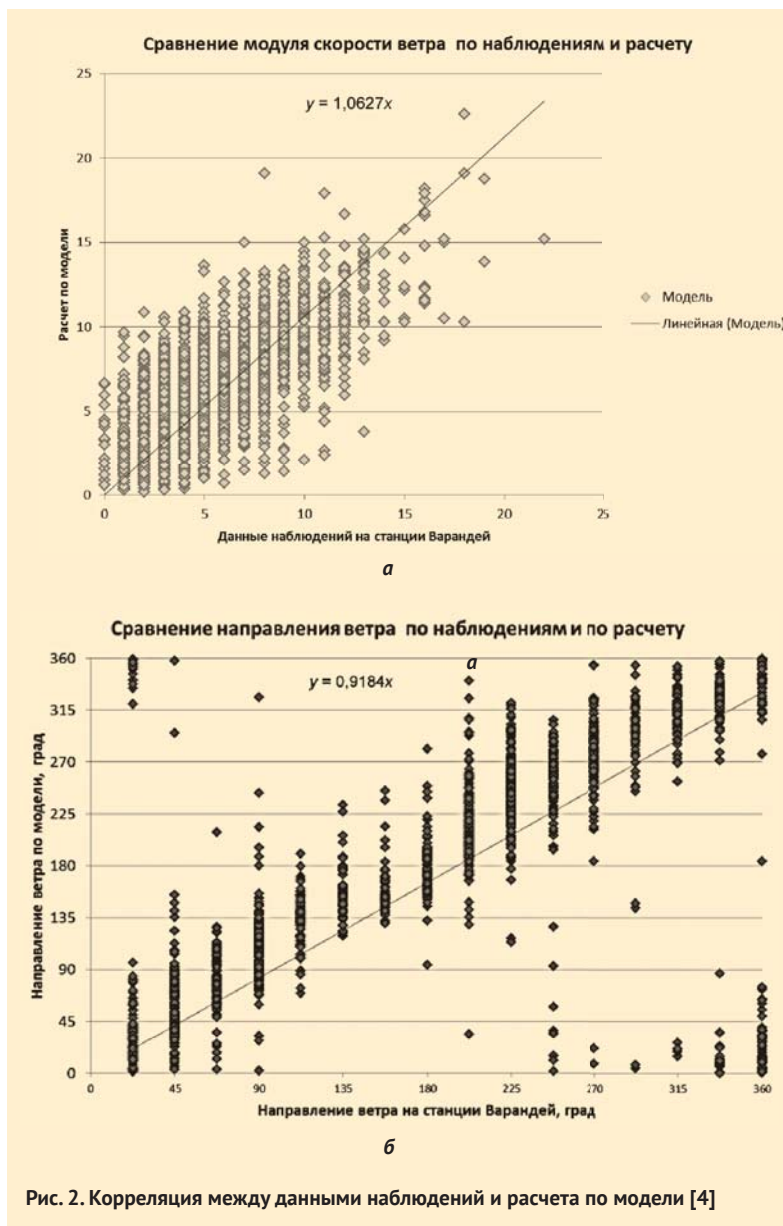


Рис. 2. Корреляция между данными наблюдений и расчета по модели [4]

в [4] используются поля приземного давления, рассчитанные по региональной модели [5].

Расхождение в направлении ветра при скоростях более 3 м/с показано на рис. 2б. Сплошными линиями на диаграммах показаны линии линейной регрессии измеренных и рассчитанных модуля и направления ветра. Уравнения линейной регрессии, приведенные на диаграммах (рис. 2а и 2б), показывают, что в расчетных данных по модели [4] нет значительной систематической погрешности, по крайней мере для района, примыкающего к ГМС Варандей, а диаграмму рассеяния отклонений скорости ветра (рис. 3) приближенно можно считать симметричной.

Статистический анализ временных рядов отклонений скорости ветра от наблюдаемых значений показал, что распределение ошибки расчета скорости с увеличением длины ряда стремится к приближенно нормальному распределению, где, естественно, отсутствуют большие значения расхождений между наблюдениями и расчетом. Однако и функция распределения ошибок, и нулевое среднее и дисперсия не в полной мере характеризуют анализируемую случайную величину.

На рис. 4 приведен фрагмент ряда наблюдаемых и рассчитанных значений U -компоненты (зональной) скорости ветра. В некоторые достаточно длительные промежутки времени наблюдаемые значения скорости ветра превышают расчетные, но бывает и наоборот.

Из графика автокорреляционной функции (АКФ) (рис. 5) для погрешности компонент рассчитанной скорости ветра видно, что промежутки времени τ порядка 50 ч можно считать радиусом корреляции или лагом для рассматриваемого временного ряда. Погрешность при расчете скорости ветра, показанная на рис. 6, выраженная через среднеквадратичное отклонение результатов расчета от данных наблюдений, определяется из соотношения

$$|\sigma_u| = -0,01|u_s| + 2,9, \quad (1)$$

что можно рассматривать как примерно постоянное значение 2,9 м/с.

Отметим, что в работе [3] были получены значения для СКО скоростей ветра в пределах от 2 до 6,5 м/с в зависимости от используемой модели.

В модели PADM (система SeaTrackWeb) [6], в которой нефтяной разлив имитируется ансамблем лагранжевых частиц, для того чтобы реализовать идею неопределенности в имитации переноса, каждой частице присваивалась дополнительная случайная скорость, величина которой зависит от погрешности в оценке прогностической скорости ветра. Случайные «добавки» к скорости движения частицы на поверхности моря в [6] определяются соотношениями:

$$\begin{aligned} u' &= \sigma_{stw} P \cos(2\pi Q), \\ v' &= \sigma_{stw} P \sin(2\pi Q), \end{aligned} \quad (2)$$

где P — нормально распределенная случайная величина; Q — равномерно $[0, 1]$ распределенная.

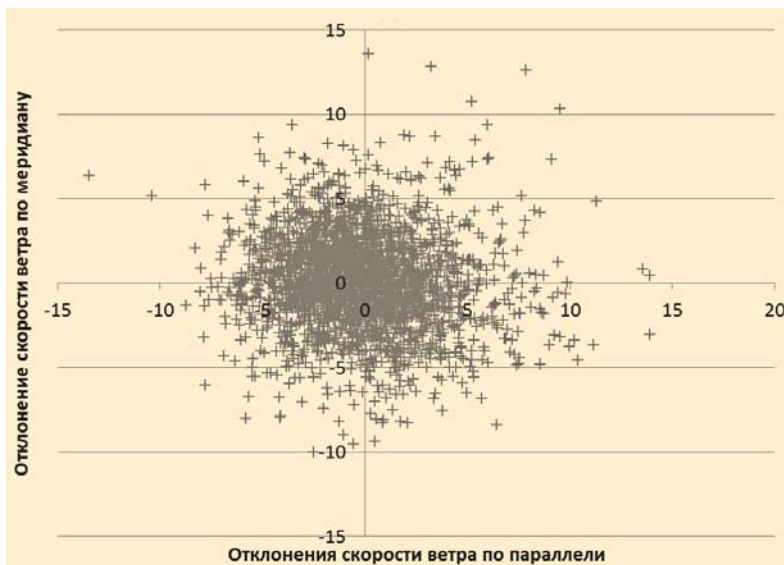


Рис. 3. Диаграмма рассеяния отклонений расчетной скорости ветра от наблюдений

Параметр σ_{stw} задается как стандартное отклонение ошибки прогноза скорости ветра $\sigma_w = \Delta W / 1,41$, где ΔW — погрешность в расчете модуля скорости по модели HIRLAM, умноженный на коэффициент $\alpha = 0,02$, чтобы привести к скорости индуцированного ветром течения.

Погрешность в расчете модуля скорости в [6] определена следующим образом:

$$\Delta W = \begin{cases} 2, & \text{если } W \leq 2 \text{ м/с,} \\ 1,7 + 0,195W, & \text{если } W > 2 \text{ м/с,} \end{cases} \quad (3)$$

где ΔW — абсолютная ошибка оценки скорости ветра W метеорологического прогноза HIRLAM, которая покрывает 85% наблюдаемых значений скорости ветра³.

Дополнительные скорости переноса частиц u', v' в [6] задаются одинажды в начале моделирования и сохраняются неизменными для каждой частицы.

В модели [6] пульсации скорости течения, определенные непосредственно по оценке дисперсии ошибок в определении скорости ветра, приводят к рассеянию частиц R_{un} на поверхности моря за время t после начала аварии в соответствии с соотношением

$$\overline{R_{un}^2} = (t\sigma_{stw})^2 = 4\tilde{K}_L t, \quad (4)$$

что эквивалентно рассеянию в диффузионном процессе с коэффициентом диффузии, линейно зависящим от времени:

$$\tilde{K}_L = \frac{\sigma_{stw}^2 t}{4}. \quad (5)$$

³ Частное сообщение L. Haggmark (Liungman O., Mattsson J. Scientific Documentation of Seatrack Web physical processes, algorithms and references // http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.15600!Seatrack%20Web%20Scientific%20Documentation.pdf).



Рис. 4. Наблюденная на станции и рассчитанная по модели скорость ветра

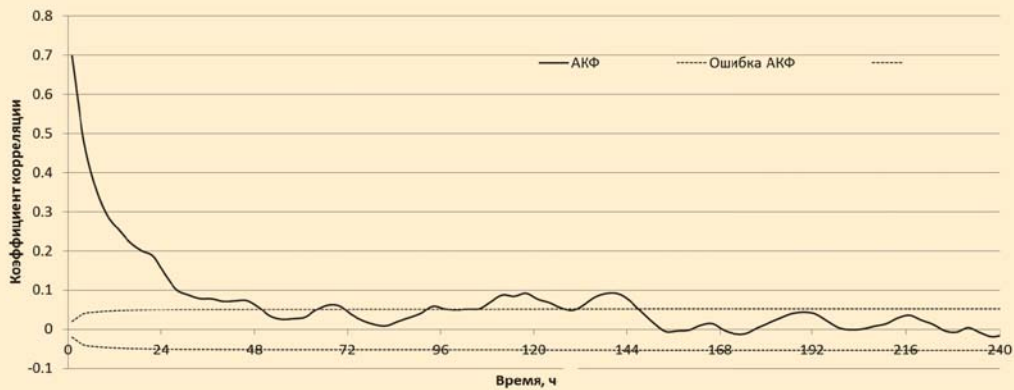


Рис. 5. Автокорреляционная функция для ошибки расчета скорости ветра

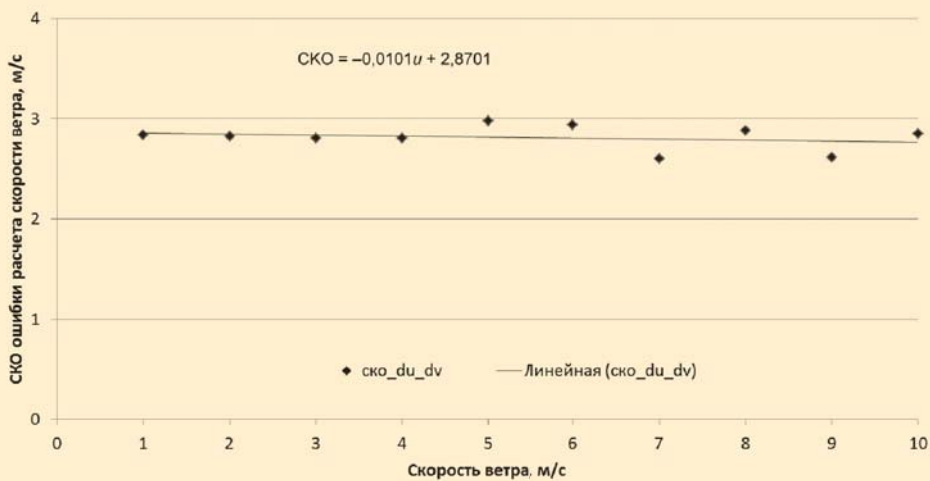


Рис. 6. Зависимость СКО рассчитанной скорости ветра от модуля скорости ветра

Отметим, что в настоящей работе используется термин «диффузия» (лат. *diffusio* — распространение) лишь как наиболее употребимый для обозначения рассеивания чего бы то ни было. Искомой величиной является определение вероятного местонахождения разлива нефти и отдельных его частей. По этой причине термин «коэффициент диффузии» мы не идентифицируем с реальными физическими процессами, но используем по аналогии для описания

процедуры расчета области возможного обнаружения разлива нефти.

Рассеяние частиц при наличии временной корреляции между скоростями пульсаций рассмотрено в [7], и средний квадрат отклонения частиц от центра $\overline{R_x(t)^2}$ определен выражением

$$\overline{R_x(t)^2} = 2 \left[\int_0^t u'(\zeta) d\zeta \right]^2 = \overline{(u')^2} \int_0^t (t-\zeta) R_u(\zeta) d\zeta, \quad (6)$$

где $R_u(\zeta_2 - \zeta_1) = \overline{u'(\zeta_1)u'(\zeta_2)} / \overline{(u')^2}$ — по определению [7] лагранжевы коэффициент корреляции, или в нашем случае автокорреляционная функция. В выражении (6) сделаны предположения, что $\overline{(u')^2}$ не зависит от координаты и времени, коэффициент корреляции зависит только от разности моментов времени и $R_u(\zeta)$ — четная функция.

Коэффициент диффузии в рассматриваемом случае [7] записывается так:

$$K_L(t) = \overline{(u')^2} \int_0^t R_u(\zeta) d\zeta. \quad (7)$$

Интеграл $\int_0^t R_u(\zeta) d\zeta = T_u$ имеет размерность времени и называется лагранжевым масштабом турбулентности [7].

В нашем случае этот временной масштаб соответствует промежутку, на котором сохраняется коррелятивная связь между пульсациями скорости, которые мы ассоциируем со случайными ошибками метеорологического прогноза.

При больших временах выражение (6) приближенно равно

$$\overline{R_x(t)^2} \approx 2\overline{(u')^2} T_u t, \quad (8)$$

и для коэффициента диффузии имеем выражение

$$K_L = (\alpha\sigma_u)^2 T_u \quad (9)$$

при $t \gg T_u$. При малых временах разложение функции $R_u(\zeta)$ приводит (6) к виду

$$\overline{R_x(t)^2} \approx \overline{(u')^2} t^2 = (\alpha\sigma_u)^2 t^2, \quad (10)$$

что соответствует линейному по времени росту коэффициента диффузии

$$K_L(t) = (\alpha\sigma_u)^2 t. \quad (11)$$

Использование общего выражения (6) для оценки неопределенности в положении разлива нефти на поверхности моря представляется труднореализуемым и практически нецелесообразным. При оценке возможного рассеяния местоположения разлива нефти или его частей следует при временах $t \leq T_u$ использовать соотношение (11), а при $t > T_u$ — соотношение (9). Таким образом, получим несколько завышенную оценку рассеяния на временах порядка T_u , что представляется в практических приложениях оправданным в силу очевидного упрощения вычислительной процедуры и, вообще говоря, по причине

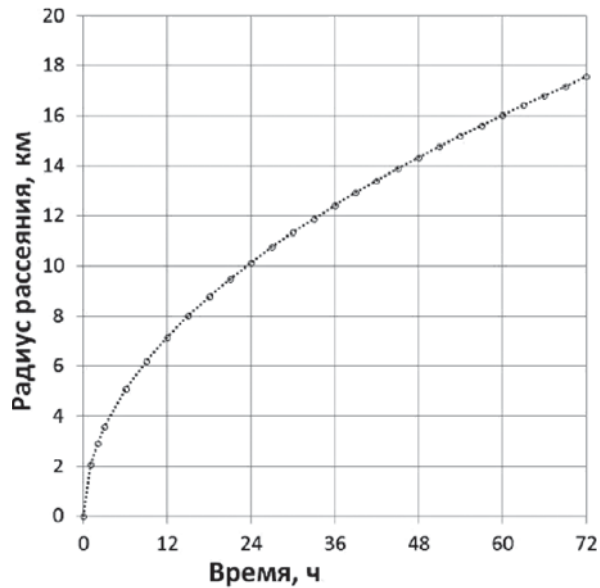


Рис. 7. Оценка радиуса рассеяния при расчете местоположения разлива нефти на поверхности моря

недостаточности данных для надежного определения $R_u(\zeta)$.

Максимальное значение коэффициента «диффузии» для оценки неопределенности в положении разлива нефти на поверхности моря, рассчитанное по соотношению (7) и $R_u(\zeta)$, соответствующему АКФ (см. рис. 5), при больших временах и $\alpha = 0,03$ оказывается численно равно $K_L \approx 300 \text{ м}^2/\text{с}$, а значение параметра T_u приближенно равно 11 ч. Изменение условного радиуса области, в которую с вероятностью 63% попадает разлив нефти, при $K_L = 300 \text{ м}^2/\text{с}$ описывается соотношением

$$R_{\text{RMS}}(t) = 2\sqrt{K_L t} \quad (12)$$

и показано на рис. 7. Приведенное в (12) соотношение представляет собой так называемую RMS (root mean square) оценку «радиуса» области вероятного попадания разлива нефти. Так как вероятность попадания случайной точки $((x, y), x = N(0, \sigma), y = N(0, \sigma))$ в круг D с радиусом R

$$P(D) = \iint_D f_{x,y}(u, v) du dv = \frac{1}{2\pi} \iint_{u^2+v^2 \leq R^2} e^{-\frac{u^2+v^2}{2\sigma^2}} du dv = 1 - e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}} \quad (13)$$

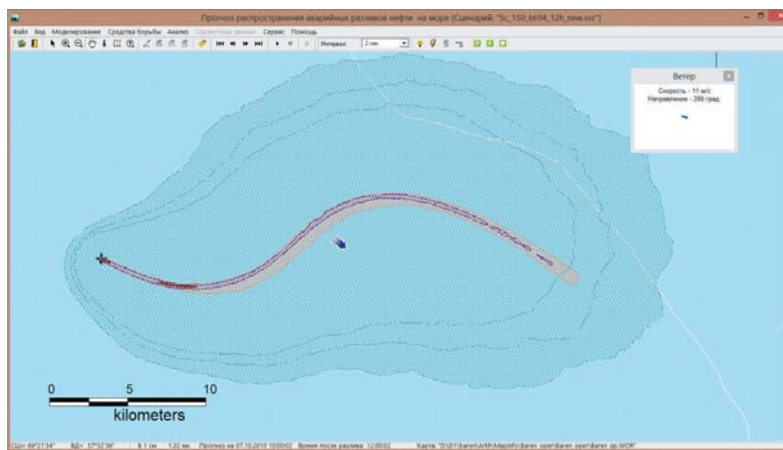
то радиус области с 95%-ным попаданием определится как $R_{95\%} = 1,73 R_{\text{RMS}}$.

Приведенная оценка для радиуса рассеяния, по-видимому, справедлива лишь для пространственно однородных полей течений и ветра и условий

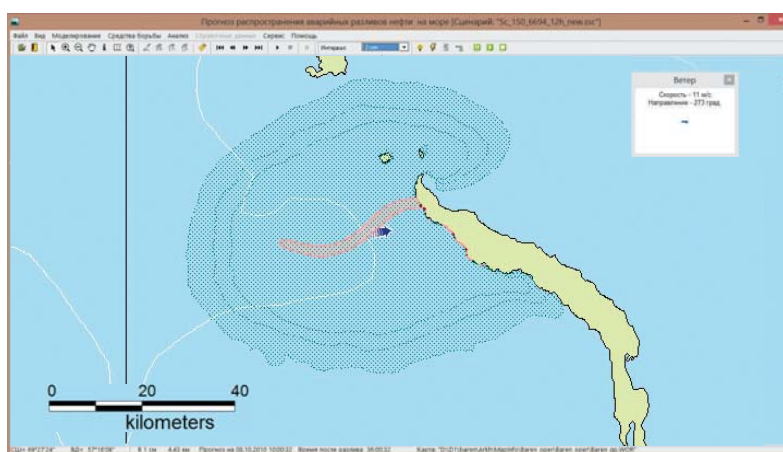
открытого моря. Если нефтяной разлив попадает в искусственные (боны) или природные (заливы, особенности береговой линии) ловушки, данная оценка неправомерна.

Отметим, что данные оценки получены для ГМС Варандей и могут быть распространены на акваторию Печорского моря (например, для района платформы Приразломная). Чтобы получить оценки для всей акватории Баренцева моря, необходимо провести подобный анализ для других береговых станций.

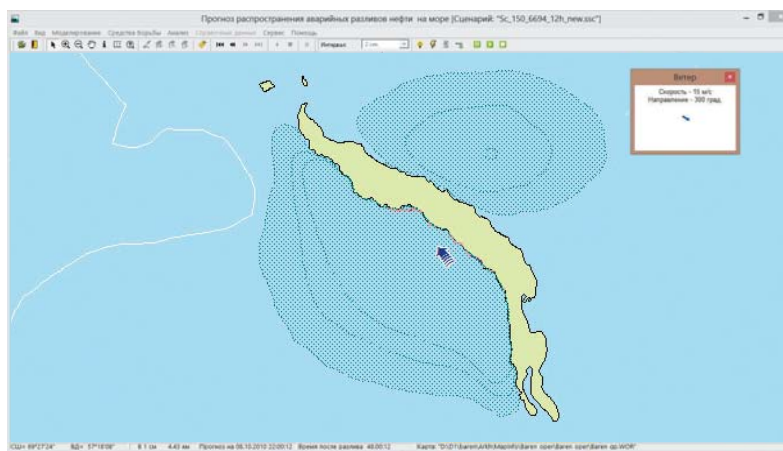
Описания неопределенности в местоположении пятна нефти на поверхности моря только радиусом рассеяния в общем случае недостаточно. Для продолжительных разливов нефти область ее вероятного обнаружения может иметь довольно сложную геометрию. Погрешность в данных метеорологического прогноза приведет к существенно большему областям рассеяния вблизи берега за счет трансформации течениями и взаимодействия нефтяного пятна с берегом. По этой причине для каждой «порции» нефти, попавшей на морскую поверхность в результате аварии, следует наряду с традиционным моделированием физико-химической трансформации рассчитывать рассеяние ансамбля ассоциированных частиц в искусственном диффузионном процессе с коэффициентом диффузии, определенном соотношением (9). В этом случае невозможно получить аналитическое решение для вероятности обнаружения нефтяного слика, и необходим численный расчет. Предлагается использовать следующий алгоритм. После расчета траекторий перемещения частиц, имитирующих квазидиффузионное рассеяние при распространении разлива нефти, и определения частот попаданий в ячейки сетки, определенной по координатам ансамбля частиц, значения частот ранжируются, выбираются ячейки с наибольшими значениями относительных частот, в совокупности составляющих заданный



а



б



в

Рис. 8. Расчет распространения разлива нефти с учетом ошибок прогноза ветра: а – 12 ч, б – 36 ч, в – 48 ч

процент P попадания в область. Отобранные ячейки оконтуриваются, и полученный контур называется областью обнаружения нефтяного слика с вероятностью P .

Ниже рассмотрен сценарий распространения нефти при гипотетической аварии танкера. По сценарию технической аварии 1800 т нефти вытекает на морскую поверхность за 12 ч. В расчете были использованы ветер и течения, рассчитанные по модели [4].

На рис. 8 приведено распределение толщины нефти на поверхности моря, а также области с вероятностями обнаружения нефти, равными 97%, 80% и 50%. Наиболее вероятные конфигурации разлива нефти показаны темным контуром, а зоны возможного обнаружения нефти, рассчитанные с учетом погрешности метеорологического прогноза, — светло-синим контуром со штриховкой. Вектор в геометрическом центре зоны нефтяного загрязнения показывает скорость суммарного течения (приливного и дрейфового), а в дополнительной окошке, представляющей копию экрана в системе прогнозирования SPILLMOD, можно видеть скорость и направление ветра.

На рис. 8а (через 12 ч после начала сброса нефти) разлив нефти еще не «оторвался» от источника. Заметим, что область возможного обнаружения нефтяного пятна формируется не мгновенным ветром, но его историей от начала аварии до момента, на который дается прогноз.

На рис. 8б (через 36 ч после начала сброса нефти) наиболее вероятное движение пятна сопровождается выносом нефти на остров Долгий, при этом область возможного обнаружения нефтяного пятна захватывает «затененную» островом от ветра акваторию.

Конфигурация на рис. 8в (через 48 ч после начала разлива) свидетельствует о том, что при наиболее вероятном выносе разлива нефти на западное побережье острова Долгий сохраняется вероятность загрязнения акватории в более обширных областях, в том числе на восточном побережье острова.

Заключение. При составлении прогнозов распространения нефтяных разливов неизбежно возникают ошибки различной природы. Их источником могут быть неточности в задании исходных данных, среди которых тип и количество нефти на поверхности, время начала сброса и координаты источника, поля приводного ветра, течений и уровня моря и не всегда точные параметризации процессов для всех диапазонов природных условий.

Повышение качества прогноза распространения нефтяного разлива в море для принятия обоснованных управленческих решений возможно за счет инфраструктурной информационной поддержки.

С одной стороны, нужно обращать внимание на уменьшение погрешности региональных гидрометеорологических прогнозов (ветер, течение и волнение) и сфокусировать на этом усилия. Прогноз распространения нефтяного разлива — классический пример «прогноза на прогнозе». При оценке прогнозов, как правило, используются допустимые диапазоны параметров, при попадании в которые прогноз считается оправдавшимся. Если прогностическая величина дается в виде градации, то это попадание в соседние градации, если она дается в виде абсолютной величины, то определяются допустимые пределы этой величины. В итоге может возникнуть парадоксальная ситуация, когда прогнозы полей ветра и течения оправдались, а прогноз распространения нефтяного разлива не оправдался, и пятно

загрязнения неожиданно вышло к берегу или вышло совсем не в том месте, где прогнозировалось.

С другой стороны, качественный прогноз невозможен без разработки регламента информационного взаимодействия между заказчиками прогноза и специалистами по прогнозированию. В случае ЧС прогнозирование должно осуществляться практически непрерывно в течение всей операции по ликвидации аварийного разлива нефти и корректироваться по мере поступления данных об источнике (тип нефти или нефтепродукта, время, координаты и режим сброса), и, если возможно, прогноз перемещения нефтяного пятна должен корректироваться по данным мониторинга для уменьшения области вероятного обнаружения нефти, обусловленной погрешностями расчета перемещения нефти по поверхности моря.

«Усвоение» данных прогноза распространения нефти в море может быть более эффективным при использовании ГИС-ориентированных моделей, чтобы выходную продукцию можно было интегрировать с другой информацией, необходимой для выработки стратегии борьбы с разливом и принятия решений по локализации и ликвидации разлива нефти.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Русского географического общества в рамках научных проектов № 13-05-41214, № 14-07-00513 и 14-07-00434.

Литература

1. Постановление Правительства РФ «О неотложных мерах по ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов» от 21 августа 2000 г. № 613.
2. Постановление Правительства РФ «О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации» от 15 апреля 2002 г. № 240.
3. Вербицкая Е. М., Любицкий Ю. В., Романский С. О. Оценка точности краткосрочного прогноза сильных ветров над акваторией дальневосточных морей, рассчитанного по региональным гидродинамическим моделям // Труды ДВНИГМИ. — 2012. — Вып. 154. — С. 22—40.
4. Попов С. К., Зильберштейн О. И., Лобов А. Л. и др. Метод краткосрочного прогноза уровня Баренцева и Белого морей // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов: Информ. сб. № 41 ФГБУ «Гидрометцентр России». — М., 2014. — С. 98—110.
5. Лосев В. М. Региональная гидродинамическая модель Гидрометцентра России // 80 лет Гидрометцентру России. — М.: Триада ЛТД, 2010. — С. 36—58.
6. Liungman O., Mattsson J. Scientific documentation of Seatrack Web; physical processes, algorithms and references. 1 Mar. 2011 // [http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.15600!Seatrack Web Scientific Documentation. pdf](http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.15600!Seatrack%20Web%20Scientific%20Documentation.pdf) на 29.07.2014.
7. Озмидов Р. В. Диффузия примеси в океане. — Л.: Гидрометиздат, 1986. — 280 с.