

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Ибрахема Мохамеда Абд Аллах Мохамед Абд Эльмоати на тему: «Пространственно-временная изменчивость траекторий и состава разливов нефти в Суэцком заливе», представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук по научной специальности 1.6.17. Океанология

Целью исследования является изучение путей распространения и трансформации разливов нефти в результате аварийных утечек с танкеров в Суэцком заливе в трех важнейших районах: Хургада, порт Айн Сухна и южный вход в Суэцкий канал. Необходимо также определить районы, которые в будущем могут пострадать от аварийных разливов нефти в Суэцком заливе.

Актуальность темы работы

Мировой спрос на сырую нефть продолжает расти, несмотря на нынешние попытки перейти на другие, экологически более чистые и возобновляемые источники энергии. Значительное увеличение объемов добычи и транспортировки нефти приводит к продолжению инцидентов с утечками или разливами нефти. Среди различных причин разливов нефти в морскую среду аварии танкеров занимают ведущее место. Вероятность таких аварий в Суэцком заливе и Суэцком канале, через которые перемещаются 10% ежегодной добычи нефти, особенно высока. С 1970-х годов произошло несколько аварий с разливами нефти в Суэцком заливе, что нанесло значительный ущерб побережью и коралловым рифам. Разливы нефти в морскую среду не только могут неблагоприятно воздействовать на морские и прибрежные экосистемы (повреждение коралловых рифов и других морских сред обитания, вред морским млекопитающим, рыбам и птицам), но и нанести ущерб курортной и туристской инфраструктуре, рыболовству, самому движению судов через Суэцкий канал и отраслям промышленности, которые используют морскую воду (добыча морской соли, прибрежные электростанции, опреснительные установки). В последние годы общественные требования к сохранению устойчивого экологического состояния морской среды вынудили правительства разрабатывать надлежащие планы действий в чрезвычайных ситуациях с разливами нефти. Оценка воздействия разливов нефти на уязвимые районы необходима для разработки эффективных планов ликвидации разливов нефти. Такие оценки могут быть получены с помощью прогностических математических моделей для моделирования траекторий и состояния нефтяных пятен. Информация о потенциальных регионах, которые могут пострадать от разливов нефти, и будет служить основой для разработки систем реагирования на чрезвычайные ситуации и оперативного прогнозирования.

Несмотря на высокую судоходную активность и потенциальную угрозу подвергнуться воздействию нефтяных разливов в водах Египта, в настоящее время отсутствуют надежные исторические записи о разливах нефти, проводится весьма ограниченный мониторинг нефтяных пятен и реализуются самые минимальные меры реагирования на разливы. Поскольку защита прибрежной зоны от разливов нефти является приоритетной задачей для Египта, Египет должен иметь эффективную стратегию реагирования на разливы нефти для борьбы с загрязнением от прибрежных и морских

разливов нефти. Моделирование движения и состояния нефтяных разливов необходимо перед началом любой стратегии реагирования.

Именно решению задачи моделирования движения и состояния нефтяных разливов в Суэцком заливе и определения потенциально опасных районов, которые могут пострадать от разливов нефти, и посвящена настоящая работа.

Структура и объём диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списков рисунков и таблиц, благодарностей и списка цитируемой литературы. Полный объём диссертации на английском языке составляет 124 страницы с 40 рисунками и 14 таблицами. Объём русскоязычного перевода – 135 страниц. Список литературы содержит 245 ссылок.

Основные результаты, полученные в диссертационной работе

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, описана степень изученности проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, обоснован выбор методов исследования, доказана достоверность полученных результатов, приведены положения, выносимые на защиту. Охарактеризованы научная новизна, практическая значимость работы, личный вклад автора в полученные результаты. Приведен список публикаций автора по теме диссертации и список конференций, на которых работа докладывалась.

В **первой главе** дан обзор происхождения, распространения и эволюции нефтяных разливов в океанах и морях. Перечислены основные причины морских разливов нефти с указанием, что крупнейшие источники разливов нефти за последние два десятилетия связаны с авариями при транспортировке нефти танкерами. Рассмотрено негативное воздействие разливов нефти на морскую среду и побережье, особенно опасное в случае крупных разливов. Описаны механизмы растекания нефти и последующего перемещения и трансформации образующегося нефтяного пятна (дрейф, испарение, эмульгирование, естественная дисперсия, растворение, фотоокисление, осадкообразование, биodeградация). Дан обзор существующих систем для моделирования нефтяных разливов и конкретных расчетов разливов нефти в различных частях Мирового океана.

Во **второй главе** обсуждаются модельные комплексы, используемые для прогноза траектории и судьбы разлива нефти в Суэцком заливе, и исходные данные. Дано подробное обоснование выбора и описание двух совместно используемых модельных комплексов: 1) общая среда для оперативного моделирования нефти NOAA (модель разлива нефти) (GNOME) и 2) модель выветривания разливов нефти (ADIOS2). Дано физико-географическое описание Суэцкого залива и обзор модельных расчетов разливов нефти, выполненных ранее для этого района. На основе данных об инцидентах, связанных с разливами нефти в период с 1998 по 2005 год, выделены районы залива, в которых аварийные разливы нефти встречались наиболее часто: 1) Хургада, 2) порт Айн-Сухна, 3) южный вход в Суэцкий канал.

При описании модели разлива нефти GNOME рассмотрены движущие силы для нефтяного пятна (течение, ветер, диффузия), выбрасывание нефти на берег и производимые моделью траектории разливов нефти. GNOME предлагает два решения для сценария разлива нефти: 1) "решения с наилучшей оценкой" "best estimate solutions"; 2) "решение с

минимальным сожалением" "minimum regret solutions" или траектория неопределенности. Решение "наилучшей оценки" показывает результат моделирования при условии, что все входные данные считаются точными. Второе решение предсказывает менее вероятную траекторию, учитывающую неопределенности входных данных (такие как ошибки оценки скорости ветра или скорости течений). Модель выветривания разливов нефти ADIOS2 позволяет рассчитать характеристики основных процессов выветривания: испарения, эмульгирования и естественной дисперсии нефти. Глава завершается описанием необходимых для расчетов исходных данных о береговой линии, температуре поверхности моря, скорости ветра, скорости морских течений, а также о местоположении разлива нефти, объёме разлива и типе нефти (выбрана арабская легкая сырая нефть).

Три последующие главы посвящены обсуждению результатов расчетов разлива нефти в трех указанных выше районах Суэцкого залива с помощью системы, объединяющей модели GNOME и ADIOS2.

В **третьей главе** приведены результаты расчетов на период 4,5 суток по двум сценариям разлива нефти в феврале и августе 2021 г. в результате гипотетической аварии в проливе Губал примерно в 50 км к северу от Хургады. Разлив нефти в летнем сценарии (август) двигался в юго-западном направлении под влиянием северо-восточного ветра и через 21 час достиг острова Ашрафи, а затем островов Джубал, Гейсум и Тавила. В зимнем сценарии (февраль) нефть двигалась в юго-восточном направлении под воздействием северо-западного ветра, и ей потребовалось 42 часа, чтобы достичь островов Малый Джубал и Шадван. Таким образом, при любом разливе нефти в этом регионе северные острова Красного моря, имеющие важное экономическое значение, будут подвержены сильному загрязнению. Показано, что распространение нефти сопровождалось интенсивным испарением и слабой дисперсией (объем нефти уменьшился соответственно на 27% и 1,3% в конце рассматриваемого периода). Количество воды в эмульсии начало расти сразу после попадания нефти в воду, достигнув 90% через 108 ч. Объем нефтяной эмульсии увеличивался до начала её попадания на сушу, после чего уменьшался. Полученные результаты могут послужить основой для разработки эффективного плана действий в чрезвычайных ситуациях для смягчения последствий возможных будущих аварий с разливом нефти в проливе Губал.

В **четвертой главе** обсуждаются аналогичные расчеты, выполненные на трое суток для случая разлива нефти на судоходном маршруте в 5 км от порта Айн-Сухна для условий 2020 года. В зимнем сценарии, в котором преобладал северо-западный ветер, 46 тонн разлившейся нефти достигли берега через 42 часа в 22,7 км от места разлива, покрыв затем почти 14,2 км западного побережья Суэцкого залива. В летнем сценарии преобладающим ветром был северо-восточный, нефтяной разлив двигался на юго-запад и уже через 21 час нефть достигла берега в 10,5 км от места разлива. В конце расчета оказалось, что нефти в воде нет и вся не выветрившаяся нефть (705 тонн) загрязнила около 10 км западного побережья залива. Результаты показывают, что район к югу от порта Айн-Сухна, где расположено множество курортов и коралловых рифов, будет наиболее уязвим для загрязнения. Согласно результатам расчетов, в обоих сценариях скорость испарения и эмульгирования нефти в процессе распространения нефтяного пятна была высокой, в то время как естественное рассеивание было небольшим.

В **пятой главе** рассматривается аварийный случай разлива нефти примерно в 2 км от южного входа в Суэцкий канал. В отличие от двух предыдущих ситуаций, 3-суточные

расчеты выполнены только для зимнего сценария для условий 2021 года. Четыре расчетных сценария отличаются друг от друга ветровыми условиями. Движение разлитой нефти в сценарии №1 с переменным ветром, заданным по данным реанализа, происходило в юго-восточном направлении. Через три часа после начала моделирования нефтяное пятно достигло южного входа в Суэцкий канал и нефть стала накапливаться на восточной стороне Суэцкого залива. Через 72 часа примерно 37,2% нефти покрыло около 34 километров восточного побережья Суэцкого залива. В то же время примерно 35,9% нефти прошло 30 км от источника разлива и оставалось плавающим. В сценарии 2 с постоянным (4м/с) северо-западным ветром нефтяной разлив достиг восточного берега Суэцкого залива в течение двух часов. В конце моделирования примерно 70,5% всей нефти было выброшено на восточное побережье Суэцкого залива и только 3,6% оставалось плавающим. Таким образом, согласно сценариям №1 и №2, в которых господствовал северо-западный ветер под угрозой загрязнения нефтью оказались судоходная трасса Суэцкого канала и примерно 30-38 километров пляжей к югу от Суэцкого канала, где расположены существующие и планируемые курорты. Постоянный северный ветер в сценарии № 3 заставил разлитую нефть двигаться в южном направлении, и большая часть нефти (73,8 %) оставалась на плаву до конца моделирования и не угрожала пляжам. В сценарии № 4 с постоянным ветром северо-восточного направления разлив двигался в юго-западном направлении к западному побережью Суэцкого залива. Разлитая нефть достигла Зеленого острова в течение двух часов, а через 72 часа примерно 60,3% частиц нефти прошли расстояние в 40 км к югу от порта Аль-Адабия до порта Айн Сухна. Согласно результатам, во всех сценариях значительная часть разлитой нефти, почти четверть, испарилась, а более двух третей эмульгировалась.

В **заключении** обобщены результаты всех сценарных расчетов разливов нефти в Суэцком заливе и указаны области применимости полученных результатов при планировании реагирования на потенциальные разливы нефти в Суэцком заливе, оценке рисков этих разливов, информировании лиц, принимающих решения, и оценке воздействия разливов нефти на окружающую среду

Степень обоснованности положений и выводов

В диссертационной работе автор выполнил сравнительный анализ полученных результатов расчетов отдельных ситуаций разливов нефти в Суэцком заливе, выполненных при варьировании внешних условий, необходимом для охвата диапазона их сезонных изменений. Кроме того, результаты моделирования учитывают неопределенности в задании скорости и направления ветра и компонент поверхностной скорости течений. Всё это свидетельствует в пользу обоснованности защищаемых положений и основных выводов диссертационной работы.

Достоверность и научная новизна

Достоверность полученных результатов и выводов основана на использовании хорошо апробированных, надёжных моделей разливов нефти, успешно прошедших обширную верификацию по спутниковым данным и натурным наблюдениям в других районах Мирового океана с сильно различающимися условиями.

Научная новизна результатов состоит в том, что, во-первых, впервые выполнены расчеты возможного распространения и состояния нефтяных пятен в случае аварии с разливом нефти вблизи южного входа в Суэцкий канал, порта Айн Сухна и у побережья Хургады. Во-вторых, впервые определены районы моря и побережья, наиболее подверженные загрязнению нефтью в указанных случаях. В-третьих, впервые на основе модели GNOME выполнен расчет количества нефти, накапливающейся на побережье Суэцкого залива.

Полученные результаты в полной мере отражены в публикациях автора в трёх статьях в рецензируемых журналах квартилей Q1 и Q3 и доложены на двух международных конференциях.

Научная и практическая значимость

Выполненные расчеты распространения и поведения нефтяного пятна в Суэцком заливе на основе математических моделей разлива нефти имеют важное значение как для практических приложений, так и для научно обоснованных оценок воздействия разливов нефти на окружающую среду. Во-первых, настоящее исследование может помочь в совершенствовании планирования мер реагирования, поскольку оно дает представление о потенциальном движении и распространении нефти в случае разлива, позволяя лучше подготовиться и спланировать меры реагирования для минимизации последствий разлива. Во-вторых, исследование может быть использовано для оценки риска разливов нефти в Суэцком заливе и разработке предупредительных мер по снижению рисков. В-третьих, результаты настоящего исследования представляют собой важную информацию для политиков, способствующую принятию научно обоснованных решений в отношении правил по предотвращению и ликвидации разливов нефти, которые защищали бы окружающую среду и местную инфраструктуру, включая промышленные объекты. Наконец, разработанный модельный комплекс может быть использован для оценки воздействия на окружающую среду перспективных нефтегазовых проектов в Суэцком заливе путем моделирования разливов нефти в различных условиях и принятия обоснованных решений о целесообразности реализации проекта. Таким образом, научная и практическая значимость данного исследования весьма значительна: полученные результаты могут быть использованы для улучшения планирования мер реагирования, оценки рисков, выработки политики и оценки воздействия на окружающую среду.

Замечания и недостатки диссертации

1. В обзоре существующих моделей нефтяного разлива отсутствует российская модель SPILLMOD, разработанная в Государственном океанографическом институте им.Н.Н.Зубова коллективом авторов (С.Н.Зацепа, С.Н.Овсиенко и др.). Модель внедрена в оперативную практику Северного управления Гидрометслужбы РФ (Баренцево и Белое моря) и Дагестанский ЦГМС, филиал Северо-Кавказского УГМС (Каспийское море).

2. Модель GNOME включает алгоритм диффузионного переноса нефти в воде (глава 2). Вместе с тем, в работе никак не обсуждается вклад горизонтальной турбулентной диффузии в перемещение нефтяного разлива и по морской поверхности в выполненных

расчётах (главы 3-5). Коэффициент диффузии K не входит также в число параметров разлива нефти (таблицы 3.1, 4.1, 5.1) и его значение в конкретных расчетах не приводится.

3. Правая часть уравнения (2.7) безразмерна, тогда как левая часть есть коэффициент диффузии D , определенный выше (на с. 45) как размерный, в $\text{см}^2 \text{с}^{-1}$.

4. Не ясно, как используются в модели GNOME неопределенности (ошибки либо естественные колебания) в продольной и поперечной компонентах скоростей течений (таблицы 3.1, 4.1, 5.1). И на основании каких данных эти неопределенности принимаются равными 10% от заданного значения?

5. С.191. «...средняя скорость ветра достигала 5,4 миль в час.» Судя по рис.3.3, должно быть «...средняя скорость ветра достигала 5,4 м/с.»

6. С.192 (примерно то же на с.206). «Черные точки представляют собой наилучшее решение, предполагая, что входные параметры не имеют неопределенностей. Напротив, красные точки отражают минимальное решение сожаления, которое учитывает неопределенность ветра и волны». Как конкретно учитывается эта неопределенность в задании скорости ветра? Что касается параметров волн, то они вообще в работе не обсуждаются.

7. С.197, 1-ый абзац. Вместо «13 февраля» должно быть «13 августа».

8. С.199, 2-ой абзац. Вместо «первый сценарий произошел в августе» должно быть «первый сценарий произошел в феврале»

9. С.201, 1-ый абзац. «...естественный процесс дисперсии в сценарии №1 (зима) начался после шести часов моделирования, в то время как в сценарии №2 (лето) начался в первый час.» Хотелось бы понять, с чем связан такой результат. Ветер и, значит, ветро-волновое перемешивание, от которого зависит естественная дисперсия, как правило, зимой сильнее, чем летом. Поэтому, казалось бы, естественная дисперсия должна начаться раньше зимой.

10. С.202. В разделе **3.5 Выводы** сказано, что «Ограничением данного исследования является то, что в текущей версии модели отсутствует модуль для прогнозирования разрушения пятна из-за волн, которые могут повлиять на его боковое движение». Какой физический механизм разрушения пятна имеется в виду? Опрокидывающиеся волны? Вообще, в диссертации отсутствует обсуждение влияния ветровых волн на распространение нефтяного разлива.

11. Текст на с.219 «Через три часа после начала моделирования в 3 часа ночи около 0,84% (177 метрических тонн) нефти...» не соответствует данным таблицы 5.2

12. Следует отметить низкое качество русскоязычного перевода текста диссертации, особенно ряда терминов, таких как *beaching*, *breaking waves*, *whitecaps* и другие, которое затрудняло восприятие текста.

Заключение

Высказанные замечания не являются принципиальными и в целом не снижают благоприятного впечатления от диссертационной работы и высокой оценки её научного содержания.

Диссертация Ибрахема Мохамеда Абд Аллах Мохамед Абд Эльмоати на тему: «Пространственно-временная изменчивость траекторий и состава разливов нефти в Суэцком заливе», соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель **Ибрахем Мохамед Абд Аллах Мохамед Абд Эльмоати** заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по научной специальности 1.6.17. Океанология. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не установлены.

Член диссертационного совета,
Доктор физ.-мат. наук,
главный научный сотрудник
Санкт-Петербургского Филиала Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН
(СПбФ ИО РАН)

Рябченко Владимир Алексеевич

02.11.2023г.

Подпись В.А.Рябченко удостоверяю:

начальник отдела кадров СПбФ ИО РАН В.В.Любавская

