

**МОНИТОРИНГ ВОД
МЕКСИКАНСКОГО ЗАЛИВА
ПОСЛЕ НЕФТИНОГО РАЗЛИВА,
ПРОИЗОШЕДШЕГО В
РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ 20.04.2010 г.**

M.M. Монюшко

Одесский государственный
экологический университет
г. Одесса, ул. Львовская, 15
E-mail: Monuyshko@yandex.ua

Рассматривается загрязнение вод Мексиканского залива после нефтяного разлива произошедшего 20.04.2010 г. Рассмотрена циркуляция вод залива, которая влияет на перераспределение и перенос нефти, как на поверхности, так и в глубинных водных массах по акватории залива и вынос ее в Атлантический океан. Проведены количественные оценки содержания нефтяной пленки, которая вылилась на поверхность в результате аварии.

Введение. Проведен мониторинг вод Мексиканского залива после аварии произошедшей на оффшорной нефтяной платформе Deepwater Horizon, управляемой компанией BP, 20 апреля 2010 года. Скважина, из которой нефть вытекала в море, расположена в Мексиканском заливе на глубине 1525 м, в 64 км к юго-востоку от устья реки Миссисипи. По оценкам экспертов, ежедневно в акваторию залива поступало порядка 5 тысяч баррелей нефти. Затем интенсивность утечки нефти из скважины затонувшей буровой установки в воды Мексиканского залива увеличилась в 20 раз – до 100 тыс. барр в день. В результате образовалось пятно площадью в десятки тысяч километров.

В результате аварии на первом этапе исследований спутниковый снимок четко зафиксировал образование монолитного нефтяного пятна более 1.5 тыс. км² (рис. 1). Толщина пленки составляла более 5 мм. Эта нефтяная пленка сохранилась более 2-х дней и передвигалась по течению. Края пленки четко отражали движение пятна за счет течения. Ветер в это время был незначителен, и основное перемещение происходило за счет поверхностных течений. В течение 2-х

дней плотная нефтяная пленка стала разрушаться и образовывать известные из наших исследований [1, 2] в Северной Атлантике полосы, которые распределялись по направлению течений (рис. 2).



Рис. 1. Образование нефтяного пятна

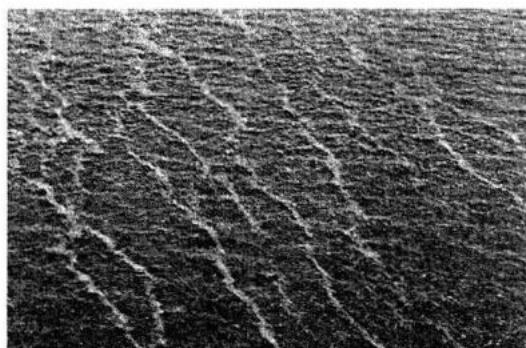


Рис. 2. Распределение НП по течению

Подобные ветровые полосы имеют расстояние равное 5-кратной скорости ветра. Расстояние между полосами может меняться от десятков и до сотен метров. Ленгмюр в 1927 г. разработал теорию движимых ветром вихревых ячеек для обоснования наблюдавшейся им тенденции пятен (нефти), пен, водорослей и плавающего мусора, которые собираются в отдельные параллельные полосы, вытянутые по направлению ветра. Вихревые системы состоят из больших горизонтальных цилиндрических ячеек воды, расположенных параллельно одна другой и под малым углом к направлению ветра. Соседние ячейки врачаются в противоположных направлениях, перемещаясь вниз и образуя узкие полосы в которых встречаются нисходящие потоки соседних вихрей. Аналогично с противоположных сторон вращающихся цилиндров образуются

зоны восходящих потоков, которые у поверхности взаимодействуют с нисходящими потоками. В результате плавающий на поверхности воды материал концентрируется в виде параллельных полос между нисходящими потоками. По всей вероятности полосы нефтяных углеводородов (НУ) формируются по всей площади нефтяных пятен. Циркуляция в нижележащем слое под толстыми пленками НУ подавлена на ранних стадиях растекания пленок, поэтому слой нефти становится сплошным. После образования ветровых полос направление ветра изменяется и поэтому первоначально образовавшиеся ветровые полосы, вновь разбиваются на новые полосы расположенные под углом к первоначальным показателям. Рассеивание НУ и других процессов не изменяется. Коэффициент действия ветра при перемещении НУ составляет 3–5 % в зависимости от толщины пленки. Площадь их может увеличиться во много раз, что следует из полученных карт траектории дрифтеров.

Материалы и методы исследования. Для исследования влияния циркуляции вод Мексиканского залива на перераспределение и перенос нефти на поверхности океана использованы карты поверхностных течений Мексиканского залива, определенные со спутниковых наблюдений, а также карты траектории синтетических дрифтеров, выпущенных в расположении нефтяной платформы за период апрель–август 2010 г. По имеющимся натурным данным различных форм нефти (нефтяная пленка, нефтяные контаминации) за многолетний период (1976–1988 гг.) рассмотрено состояние загрязнения вод в Карибском море и Мексиканском заливе.

Основная часть. Необходимо отметить характерную картину в распределении нефтяной пленки (НП) за счет океанографических факторов и в первую очередь течения. Для исследований влияния циркуляции вод на распространение НП в Мексиканском заливе в работе использованы карты, которые показывают последние оценки исследований поверхностных течений в Мексиканском заливе за период апрель–август 2010 г. Одна из таких карт представлена на

рис. 3. Черной звездой указано расположение оффшорной нефтяной платформы Deepwater Horizon, где произошла авария. Сплошные контуры показывают расположение петлей течений «Loop current», антициклонических и циклонических рингов и вихревых токов.

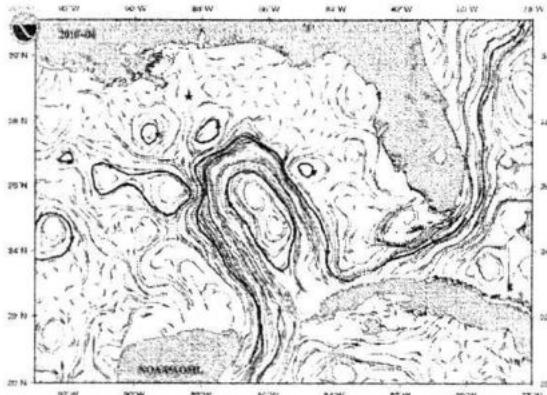


Рис. 3. Карта поверхностных течений Мексиканского залива, определенная со спутниковых наблюдений за период апреля 2010 г

Система течений Мексиканского залива более сложная, чем система Карибского моря. Выходя из Юкатанского пролива в залив, течение верхнего слоя делится на отдельные потоки (рис. 3). Один из них сразу вдоль Кубинского берега поворачивает во Флоридский пролив. Второй описывает петлю с антициклоническим вращением воды в центре восточной части залива (рис. 3). Скорости во втором потоке гораздо больше, чем в первом. Часть его вод, описав петлю, присоединяется к первому потоку и идет во Флоридский пролив, в связи, с чем скорости течения в проливе возрастают. Другая часть снова вовлекается в круговорот. Третья ветвь течения, выходящего из Юкатанского пролива направляется на запад через банку Кампече. Достигнув западного берега, течение раздваивается. Часть его проходит на юг и образует в заливе Кампече циклонический круговорот. Другая часть поворачивает обратно, идет сначала на восток, затем (не доходя до главного антициклонического круговорота) на север и образует второй циклонический круговорот в западной части Мексиканского залива. Этот обширный круговорот, так же как и круговорот в заливе

Кампече, хорошо прослеживается по распределению температуры и солености воды на нескольких верхних горизонтах. Течение, следующее на запад через банку Кампче, а затем образующее северную периферию циклонического круговорота в заливе Кампче, характеризуется значительными скоростями, достигающими 70 см/с, а в отдельные моменты времени, вероятно, и больше. Между Северной периферией циклонического круговорота залива Кампче и южной периферией второго круговорота в его западной части имеет место сходимость течений и опускание вод, что увеличивает количество нефтяных углеводородов на поверхности. Более обширный северный циклонический круговорот находится на той же широте, что и главный антициклонический круговорот в восточной части Мексиканского залива [1]. Между этими двумя круговоротами, а также на северном склоне банки Кампче, существуют более мелкие вихри с циклоническим и антициклоническим вращением, которые сильно усложняют картину циркуляции вод в этой части залива, а также в свою очередь и перераспределение НУ на поверхности, и в первую очередь нефтяных пленок (рис. 3).

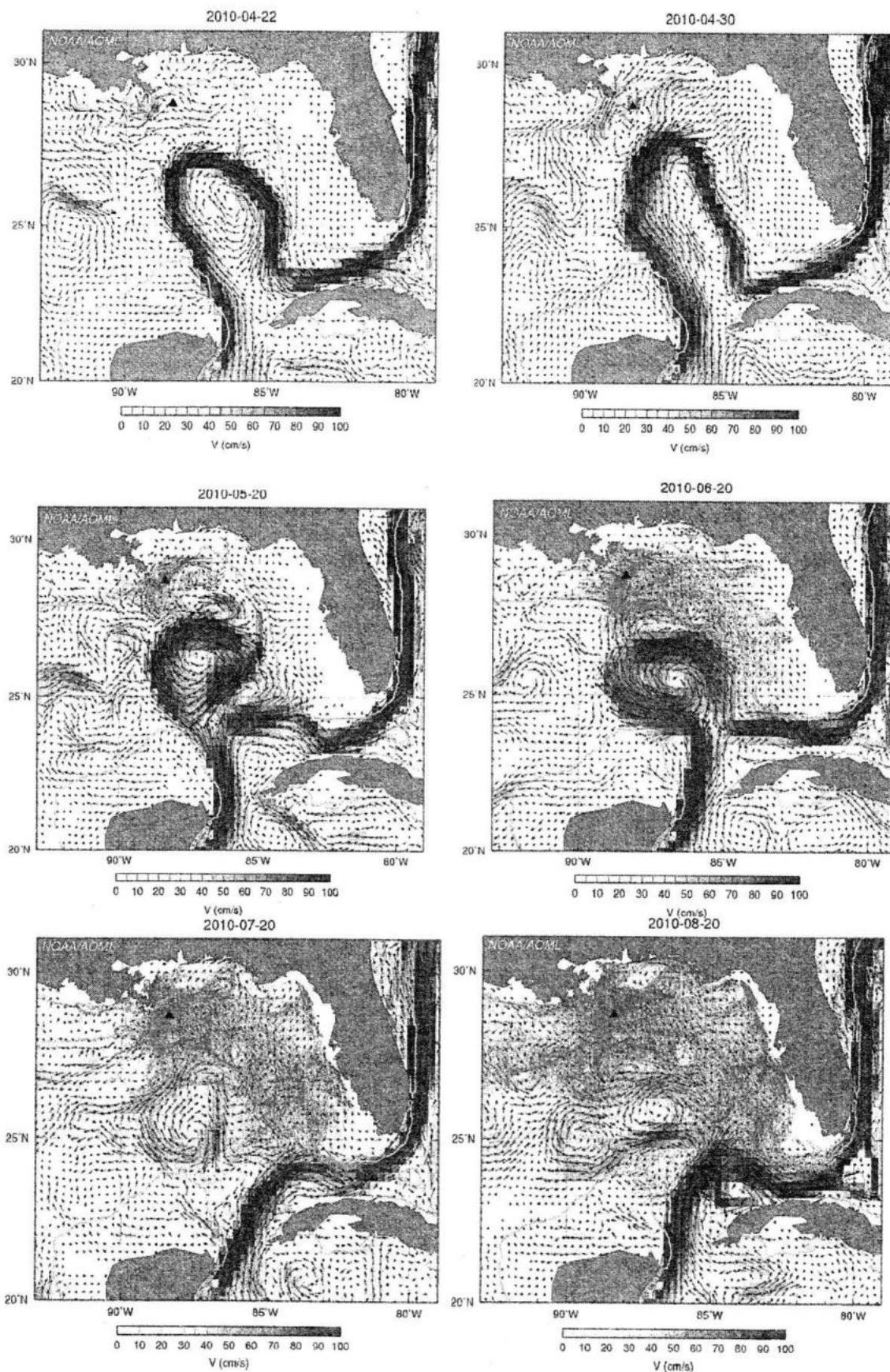
На рис. 4 представлены карты траектории 50 синтетических дрифтеров, выпущенных ежедневно в расположении нефтяной платформы с 20 апреля 2010 г. Расположение нефтяной платформы Deepwater Horizon обозначено черным треугольником (рис. 4). Пути синтетических дрифтеров показаны серым цветом. Штриховка и стрелы показывают скалярные и векторные потоки соответственно на поверхности океана.

Рассматривая спутниковые снимки, предварительно опустив в акваторию Мексиканского залива более 50 дрифтеров, которые имеют положительную плавучесть и снабжены приборами, которые дают данные по температуре и солености и движению поверхностных течений, можно сделать вывод о сложном распространении нефтяной пленки под воздействием ветра и течений. Именно под воздействием таких океанографических факторов происходит перераспределение нефтяной пленки. Часть нефти с устойчивой тенденцией перемещается вдоль полуострова Флорида, вовлекается в основной поток воды и движется в сторону Атлантического

океана, другая часть нефти вовлекается в основной антициклонический круговорот. Основная ось течения направлена вдоль склона Флориды до глубины 480 м. Скорости течения достигают 130 см/с на поверхности, что достаточно быстро перемещает нефтяную пленку в сторону Атлантического океана.

Т.к. скважина, из которой вытекала нефть, находится на глубине 1500 м, то вся глубинная водная масса практически загрязнена нефтью. Течения, выходящие из Мексиканского залива, сточные. Они обусловлены наличием горизонтальных градиентов давления, вызванных подъемом уровня в заливе, что также оказывает значительное влияние на вынос нефтяной пленки в Атлантический океан. В проливе Николас сильное градиентное течение направлено с запада на восток благодаря именно такому расположению узкого канала между о. Куба с юга и банками Кей-Сал и Багамской с севера. Господствующие ветры направлены с востока на запад, которые также оказывают влияние на ветровой дрейф нефтяной пленки в том же направлении, что хорошо видно на рис.4.

Также интересно отметить глубинную циркуляцию вод Мексиканского залива, где складывается совсем другая картина. Глубинное течение, направленное из Атлантического океана в Карибское море, входит через проливы Наветренный и Сомбреро, главным образом в западных частях. Глубинное течение из Наветренного пролива входит через желоб Кайман (ближе к склону о. Куба) и далее к Юкатанскому проливу. В Мексиканский залив течение входит вдоль восточного кубинского склона пролива. Причиной появления сильных глубинных течений обратного направления в Юкатанском проливе является поступление в Мексиканский залив больших объемов воды из Карибского моря, как в верхнем, так и в нижнем слое. Подъем уровня в заливе приводит к появлению значительных горизонтальных градиентов давления и развитию глубинных течений. Сток глубинных вод через проливы Флоридский и Николас вместе с потоком верхних вод невозможен вследствие высоких порогов [1]. Поэтому глубинный поток из Юкатанского пролива проходит, сначала по желобу на север, затем на северо-запад и обходит центральную глубоководную часть Мексиканской котловины против часовой стрелки.



Р и с. 4. Карты траектории синтетических дрифтеров, выпущенных в расположении нефтяной платформы

Вдоль склона отмели Кампче течение вновь входит в Юкатанский пролив и далее в Карибское море. Здесь глубинное течение обходит с запада оконечность хребта Кайман с обширными отмелями, частично входит в желоб Кайман и через восточную часть Наветренного пролива выходит снова в океан (рис. 5).

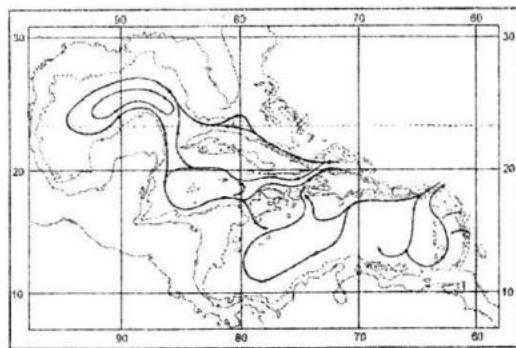


Рис. 5. Схема глубинной циркуляции вод Карибского моря и Мексиканского залива [1]

Глубинные течения также могут перемещать тяжелую нефть, которая в большем количестве находится у дна и выносить ее в Атлантический океан. Из выше изложенного следует, т.к. глубинный поток из Юкатанского пролива проходит по желобу на север, вовлекая нефть в перемещении затем на северо-запад, обходя глубоководную котловину, часть нефти, возможно, сваливается в центральную глубоководную часть Мексиканского залива. Часть глубинной водной массы загрязненная нефтяной пленкой через узкий желоб поднятия Никарагуа выходит к Южной Америке.

Согласно Американской методике, которая постоянно применяется при расчете ущерба аварийных разливов, рассчитано количество нефтяной пленки за период 20.04 – 20.05.2010 г. когда нефть постоянно поступала в акваторию залива. Полученные данные показали, что порядка $100 \cdot 10^3 \text{ км}^2$ площади было покрыто нефтяной пленкой. Толщина пленки была более 1 мм. Оценочные расчеты показали, что количество нефти, которое поднялось на поверхность составляет 210600 тонн.

На основании выше изложенного, представилось интересным провести для

сравнения исследования пространственно-временной изменчивости различных форм нефти по имеющимся натурным данным в Карибском море и Мексиканском заливе. По средним величинам встречаемости НП построена карта пространственно-временного распределения нефти по акватории океана (рис. 6).

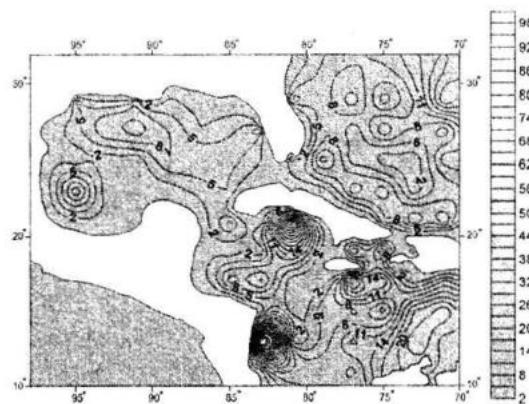


Рис. 6. Пространственно-временное распределение нефтяной пленки (%) в Карибском море и Мексиканском заливе за период 1976–1988 гг.

Проведенный анализ по 2-х градусным квадратам в Карибском море и Мексиканском заливе позволил определить степень покрытия поверхности моря нефтяной пленкой. Анализ полученных результатов показывает значительное загрязнение этой формой нефти. Наибольшая встречаемость НП наблюдается в районе поднятия Никарагуа до 100%, самой мелководной части Карибского моря. Поднятие Никарагуа также известно в литературе как название хребта Ямайка. Также наибольшая встречаемость НП простирается с северо-востока на юго-запад между южной частью о. Кубы и Гондурасским заливом (50–2 %). Интересно отметить, что в данном районе от южного склона Кубы начинается узкий и глубокий желоб Кайман, который вытянут с востока на запад. Западный участок желоба простирается до Гондурасского залива. Параллельно желобу Кайман вдоль северной его стороны простирается хребет Кайман. Северный склон хребта Кайман более пологий, постепенно переходит в дно Юкатанской котловины, южный – крутой, прилегает непосредственно к желобу Кайман и образует с ним единый

склон [1]. Известно, что в районе хребтов находятся залежи нефти, которые из разломов земной коры постоянно просачиваются в морскую среду и часть нефти поднимается на поверхность. Природные потоки нефти в морскую среду по данным различных специалистов составляют 0,5 – 2,5 млн.т. в год.

Значительные загрязнения выявлены в районе Маракайбо и Венесуэльского залива, где поля загрязнений простираются в широтном направлении до о. Гаити и составляют 25–8 %. Такие значительные загрязнения связаны в первую очередь с добывчей нефти в данной акватории, т.к. Венесуэльский залив и лагуна Маракайбо является второй по объему добычи нефти в Мире район. В районе Колумбийской котловины встречаемость НП изменяется в пределах 4–14 %.

Также поля загрязнений НП формируются вдоль северных берегов о. Гаити и Кубы (5–14%), что вероятно связано с водами Северного Пассатного течения, часть которых следует севернее больших Антильских островов и несет долю нефтяных загрязнений, также не исключается и антропогенный фактор (аварии, добывача нефти на шельфе, сбросы балластных, промывочных вод).

В Мексиканском заливе наибольшая встречаемость нефтяных пленок (17 %) наблюдается в западной акватории залива в районе между 22–24°с.ш. и 94–96°з.д. В районе оффшорной нефтяной платформы, где 20.04.2010 г. произошла авария (26–29°с.ш., 87–92°з.д.) обнаружение НП изменяется в пределах 4–13 %. В районе западного шельфа п-ова Флорида встречаемость НП составляет 2–14%. Западный шельф п-ова Флорида довольно ровный с небольшими ступенчатыми хребтами и куполообразными поднятиями. Часто у подножия куполов находятся залежи нефти [1].

Сравнивая анализ полученных результатов исследования нефтяной пленки в Мексиканском заливе в результате аварии, и количество нефтяных пленок за период исследований 1976–1988 гг. были получены следующие количественные оценки. За период 20.04–20.05.2010 г. нефть постоянно поступала в экосистему залива, четко было зафиксировано, что площадь покрытая НП,

как было отмечено выше, составляет более $100 \cdot 10^3 \text{ км}^2$. Таким образом, НП которая поднялась на поверхность по оценочным расчетам составляет 210600 тонн (всего за один месяц), что составляет 23 % от всей нефти попадающей в Северную Атлантику в виде пленки за год. В данном расчете не учтена та нефть, которая испарилась и загрязнила территорию береговых зон. Для сравнения также было рассчитано количество нефти попавшей в Мексиканский залив за период 1976–1988 гг. Результаты исследований показали, что за данный период времени площадь покрытия темноокрашенной НП в заливе составила $27,6 \cdot 10^3 \text{ км}^2$, а количество нефти в среднем составляет 58125 тонн. Таким образом, полученные оценочные данные по количеству нефти попавшей за месяц в Мексиканский залив за счет аварии на нефтяной платформе, во много раз превышают данные загрязнения НП, обработанные за период исследований 1976–1988 гг. Проведенные исследования в данной работе показали, что Карибское море и Мексиканский залив за период 1976–1988 гг. уже значительно были загрязнены, и это состояние ухудшается. Причины, увеличивающие НУ в Северной Атлантике о которых говорилось в проведенных исследованиях [2, 4] подтвердили, что проблема загрязнения нефтью Северной Атлантики не изменилась, а только ухудшилась, имея факт не единственной аварии в этом регионе. Данная экологическая катастрофа, произошедшая 20.04.2010 г. может приравниваться к Чернобыльской аварии для Атлантического океана.

Проведен анализ пространственно-временного распределения нефтяных контаминаントов (НК) по 2-х градусным квадратам в Карибском море и Мексиканском заливе, построена карта пространственного распределения (рис. 7).

Анализ полученных результатов показывает, что концентрирование НК (до $10 \text{ мг}/\text{м}^2$) в Мексиканском заливе приурочено к северо-западной шельфовой акватории, где расположено большое количество нефтяных месторождений и нефть поступает в морскую среду, как за счет постоянного естественного просачивания, так и за счет добывчи нефти на

шельфе. Проведенные исследования показывают давнее загрязнение северо-западной акватории залива, где в настоящее время на оффшорной нефтяной платформе Deepwater Horizon произошла авария, которая во много раз усугубила экологическую обстановку в Мексиканском заливе.

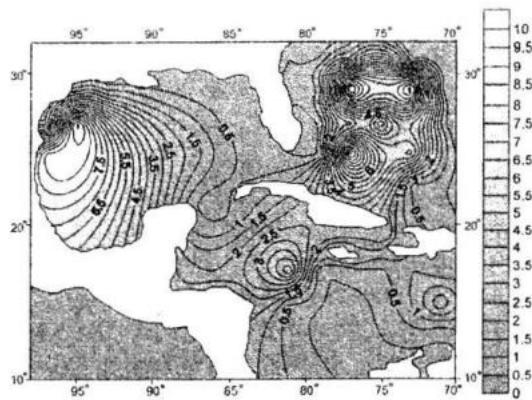


Рис. 7. Пространственно-временное распределение нефтяных контаминантов ($\text{мг}/\text{м}^3$) в Карибском море и Мексиканском заливе за период 1976–1988 гг.

Также концентрирование НК наблюдается в центре залива в антициклоническом круговороте, где имеет место сходимость течений и опускание вод, что приводит к скоплению НК на поверхности в этой акватории до $4.0 \text{ мг}/\text{м}^2$ (рис. 7).

У входа в Юкатанский пролив от основного течения отходит два потока. Один из них сразу вдоль Кубинского берега поворачивает во Флоридский пролив, второй описывает петлю с антициклоническим вращением воды в центре восточной части залива. Такая же тенденция аналогична и для распределения НК в Юкатанском проливе, где часть НК уходит во Флоридский пролив, а часть в Мексиканский залив, что доказывает влияние течений в переносе и перераспределении нефти, в том числе и НК по акватории океана (рис. 7).

В Карибском море наибольшие величины НК встречаются в мористой части акватории между $15\text{--}18^\circ\text{с.ш.}$ и $80\text{--}84^\circ\text{з.д.}$ и составляют $2.5\text{--}5 \text{ мг}/\text{м}^2$. В районе поднятия Никарагуа концентрации НК изменяются в пределах $0.5\text{--}2.0 \text{ мг}/\text{м}^2$ и простираются с юга-запада на северо-восток через пролив Наветренный в Атлантический океан. Концентрирование

НК и максимальные их величины наблюдаются в районе Флоридского течения до $11 \text{ мг}/\text{м}^2$. Данная акватория является западной границей Саргассова моря, где по выполненным в работе исследованиям [4] показано, что наибольшее количество НК, содержащихся в Северной Атлантике встречается в Саргассовом море, которое является халистатической областью океана. Также такое концентрирование НК в данном районе, может быть связано с водами Северного Пассатного течения, большая часть которых в летний период, за счет смещения Азорского максимума к северу, поступает в Гольфстрим, непосредственно минуя Карибское море и Флоридский пролив [3].

Таким образом, за период 1976–1988 гг. зарегистрирована значительная пространственно-временная изменчивость встречаемости НК в заливе. Выполненные исследования в работе [4] показали, что НК в Северной Атлантике встречаются в больших количествах и зависят от общего переноса их циклоническими, и антициклоническими круговоротами. Мексиканский залив также относится к Северной части Атлантического океана, который как показали исследования, постоянно загрязнен НУ.

Сравнивая данные по загрязнению нефтью за период 1976–1988 гг. и данные по разливу нефти в настоящее время можно четко проследить влияние вихрей и течений «Loop Current», которые характерны для Мексиканского залива, на перераспределение поверхностной и подповерхностной нефти в больших количествах по акватории океана.

Исследования ученых Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA) с помощью дрифтеров позволили оценить распространение нефтяной пленки в Мексиканском заливе, как результат аварии на платформе. Показано перераспределение НП по акватории залива и ее перемещение, что хорошо согласуется с поверхностными течениями (рис. 8).

Сравнивая результаты исследований, полученные за период 1976–1988 гг. можно проследить пространственно-временную изменчивость покрытия НП (рис. 6). Район платформы, где в на-

стоящее время произошла авария, характеризовалась степенью покрытия НП до 12 %, в районе Флориды наблюдаются практически такие же величины (8 – 12 %).

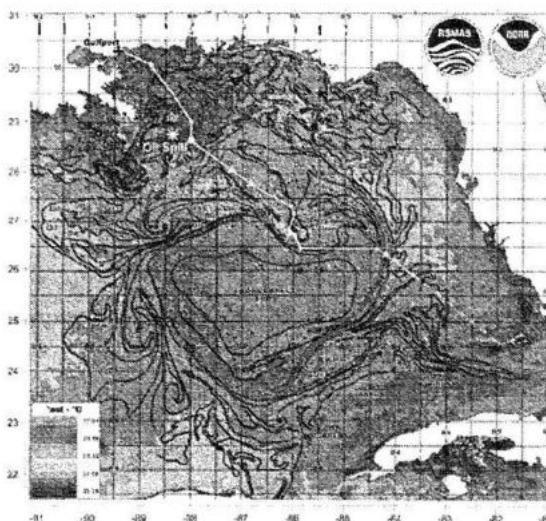


Рис. 8. Циркуляция вод Мексиканского залива и перераспределение нефти, попавшей в залив в результате аварии на нефтяной платформе 20.04.2010 г [5]

Район платформы за период 04.2010 – 05.2010 г. резко отличается от предыдущих исследований в сторону катастрофического увеличения загрязнения нефтью за счет аварии и характеризуется практически плотной толстой монолитной пленкой, которая захватывает значительную акваторию. По мере удаления от платформы пленка разбивается на характерные разрушенные отдельные по размерам пятна, которые распространяются в зависимости от поверхностных течений, что создает пространственную изменчивость в распределении НП. Перераспределение НП четко идет по направлению течений и захватывает огромную акваторию Мексиканского залива. Перемещение НП в большей части направлено во Флоридский пролив (рис. 8).

Сравнивая средние величины пространственно-временного распределения нефтяной пленки в Мексиканском заливе за период 1976–1988 гг. и полученные современные данные 2010 г. выявлены аналогичные характерные особенности в распределении пленки в районе течений «Loop Current». В этом районе независимо от периода исследований зарегистрированы незначительные величины

встречаемости нефтяной пленки (рис. 6, 8). Это может быть общим характерным явлением в распределении пленки, которая зависит от океанографических факторов.

Заключение. Сравнивая проведенные в работе исследования по загрязнению различными формами нефти Мексиканского залива за период 1976–1988 гг. и современные полученные данные 2010 г. можно сделать вывод о хроническом загрязнении района, экологическое состояние которого в настоящее время только ухудшится. Авария произошла на глубине 1500 м, и нефть, попавшая практически на дно, поднимается на поверхность тем самым, загрязняя различные водные массы. Далее нефть, которая поднялась на поверхность, образуя нефтяную пленку, распространяется и перераспределяется за счет океанических факторов, часть из которой опускается в нижележащие слои воды, образуя растворенную и эмульгированную нефть, и нефтяные остатки (контаминаты). Поэтому до сих пор не ясно, какая часть нефти поднимается на поверхность, как изменяется ее физико-химический состав, какая часть нефти остается в различных водных массах, на разделе границ и в слое скачка плотности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.Ф. Суховей. Моря Мирового океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 286 с.
2. Монюшко М.М. Океанографические аспекты распределения различных форм нефтяных углеводородов в Мировом океане // Системы контроля окружающей среды / Сб. науч. тр. МГИ НАНУ. – Севастополь, 2008. – С. 442 – 446.
3. Монин А.С., Каменкович В.М., Корт В.Т. Изменчивость Мирового океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 262 с.
4. Монюшко М. М. Нефтяные контаминаты в экосистеме Мирового океана // Системы контроля окружающей среды / Сб. науч. тр. МГИ НАНУ. – Севастополь, 2010. – С. 281 – 284.
5. Monitoring and Assessing Implications of the Deepwater Horizon oil Spill: Potential Impacts of the Loop Current on Downstream Marine Ecosystems in the Gulf of Mexico and Florida Straits// NF-10-13-DWHL Mission Summary Report, Miami – July 26, 2010.