

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАЙМОСВЯЗИ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ НЕФТИ В ВОДАХ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

М.М. Монюшко

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

В статье приводятся результаты исследования пространственно-временной изменчивости распределения различных форм нефти в водах Северной Атлантики и влияние океанографических факторов на перераспределение нефти по акватории океана. Для пространственного обобщения проведен дисперсионный анализ, который позволяет обосновать характерные закономерности распределения рассматриваемой формы нефти в морской среде.

Введение. На современном этапе многие авторы, исследуя загрязнение нефтью, рассматривают в основном нефтяную пленку, которая находится на поверхности и совершенно не учитывают другие формы нефти, такие как нефтяные остатки, растворенная и эмульгированная нефть, которая содержится в толще вод Мирового океана.

Исследования, связанные с загрязнением нефтью Северной части Атлантического океана являются одной из важных задач современной экологии, т.к. данная акватория наиболее сильно подвержена антропогенной нагрузке, за счет сосредоточения в данном районе огромного количества предприятий и районов добычи нефти. Кроме этого Северная часть Атлантического океана является наиболее загруженной морским транспортом. Все это значительно влияет на загрязнение нефтью акватории Северной Атлантики.

В связи с тем, что ежегодно увеличивается добыча, а следовательно и перевозка нефти, могут иметь и имеют место не только утечки нефти при освоении подводных месторождений, но и также большие разливы в результате ее транспортировки. Поэтому очень важно проводить изучение различных форм нефти в комплексе, т.к загрязнение нефтью это не только нефтяная пленка, а

также и ее формы (растворенная и эмульгированная, нефтяные контаминанты), которые она образует. Следует проводить комплексный мониторинг нефтяных загрязнений. Особенно в настоящее время это имеет реальную необходимость в связи с глобальной нефтяной катастрофой в Мексиканском заливе, где авария произошла на глубине, и даже в этом случае нефтяная пленка покрыла значительную поверхность акватории и дальнейший прогноз в распределении и переносе нефти за счет гидрометеорологических и океанографических факторов в настоящее время практически не изучено.

Материалы и методы исследования. В работе использовались материалы наблюдений таких международных программ как МАРПОЛМОН-Н, Tasis. Методы обработки и анализа мониторинговой информации проводились по десятиградусным трапециям Марсдена. В работе обработаны данные мониторинга различных форм нефти за период 1976–1992 гг. Исходными данными являются данные натурных исследований загрязнения нефтяной пленкой (НП), растворенной и эмульгированной нефтью (Σ НУ) и нефтяными контаминантами (НК), концентрации которых были усреднены по десятиградусным трапециям Марсдена и отнесены к центру трапеции, поскольку данные по загрязнению различными формами нефти были известны практически в каждой одноградусной трапеции.

Для пространственного обобщения различных форм нефти в Северной части Атлантического океана проведен дисперсионный анализ, который позволяет обосновать характерные закономерности распределения рассматриваемой формы нефти в морской среде. Суть метода сводится к определению географической и случайной составляющих общей пространственной дисперсии рассматриваемого статистического параметра

$$\sigma_P^2 = \sigma_T^2 + \sigma_C^2, \quad (1)$$

где σ_P^2 – полная составляющая дисперсии параметра; σ_T^2 – географическая составляющая дисперсии параметра;

σ_C^2 – случайная составляющая дисперсии параметра.

При этом полная пространственная дисперсия параметра оценивается следующим образом

$$\sigma_{\Pi}^2 = \frac{\sum_{j=1}^k (A_j - A_{cp})^2}{k-1}, \quad (2)$$

где k – число объектов (трапеций), объединенных в одну группу; j – порядковый номер рассматриваемого объекта; A_j – индивидуальная оценка параметра (оценка, выполненная для отдельной трапеции); A_{cp} – осредненная в пределах выделенной группы оценка параметра.

Случайная составляющая пространственной дисперсии параметра определяется как осредненная по группе выделенных объектов дисперсия индивидуальной оценки параметра

$$\sigma_C^2 = \frac{\sum_{j=1}^k \sigma_{A_j}^2}{k}, \quad (3)$$

где σ_{A_j} – среднеквадратическое отклонение индивидуальной оценки параметра A .

Географическая составляющая определяется при помощи обратного расчета (1)

$$\sigma_{\Gamma}^2 = \sigma_{\Pi}^2 - \sigma_C^2. \quad (4)$$

Если выполняется условие

$$\frac{\sigma_C^2}{\sigma_{\Pi}^2} > \frac{\sigma_{\Gamma}^2}{\sigma_{\Pi}^2}, \quad (5)$$

то можно сделать вывод, что пространственное распределение исследуемого параметра большей мерой определяется случайными свойствами объединенных выборок и в меньшей степени физико-

географическими условиями распределения нефти по акватории. Т.е. если условие (5) выполняется, то, как способ географического обобщения выбирается районирование, т.е. осреднение рассматриваемой характеристики в пределах выделенной акватории, если не выполняется – выбирается картирование исследуемой характеристики в виде карт изолиний, что и было, выполнено в данной работе.

Основная часть. Полученные результаты дисперсионного анализа показывают, что нефтяная пленка в пространственном распределении по акватории Северной Атлантики из всех исследуемых трех форм нефти имеет наименьшую географическую составляющую (66 %), т.к. данная форма нефти подвержена не только физико-химическим процессам, доминирующими в морской среде, а также и атмосферному влиянию, которое приводит к интенсивному испарению летучих фракций нефти. Нефтяная пленка является наиболее неустойчивой формой нахождения нефти в морской среде, и в основном имеет антропогенный характер, что подтверждается наибольшей случайной составляющей общей пространственной дисперсии (34 %) из всех рассматриваемых трех форм нефти (табл. 1).

Растворенная и эмульгированная нефть (Σ НУ) является более устойчивой формой нефти в морской среде, т.к. образуется из нефтяной пленки за счет волнения и морских течений, имеет свойство распределяться по всей толще океана и менее разлагается в морской среде. В пространственном распределении по акватории моря в большей степени зависит от океанографических факторов, что доказано проведенными исследованиями, где наибольший вклад в общую дисперсию вносит географическая составляющая – 74 % (табл. 1).

Нефтяные контаминанты (НК), как показали проведенные исследования [1], являются наиболее устойчивой формой нахождения нефтяных углеводородов в морской экосистеме, где они могут находиться в течение многих лет. Результаты расчета общей дисперсии всех трех форм нефти показали, что наибольший

Таблица 1

Результаты дисперсионного анализа

Формы нефтяных углеводородов	Среднее значение параметра	Дисперсия		
		Полная	Случайная составляющая	Географическая составляющая
Нефтяная пленка	24,28 (%)	107,68	36,35 (34 %)	71,33 (66 %)
Растворенная и эмульгированная	0,22 (мг/л)	0,0092	0,0024 (26 %)	0,0068 (74 %)
Нефтяные агрегаты	4,09 (мг/м ²)	5,83	0,72 (12 %)	5,11 (88 %)

вклад географической составляющей (88 %) принадлежит именно НК (табл.1), т.е. наибольшее влияние на их распределение по акватории Северной Атлантики оказывают океанографические, гидрометеорологические факторы пере-

нос течениями, ветер, волнение). При рассмотрении различных форм нефти, определении их взаимосвязи рассчитан множественный коэффициент корреляции между НП и Σ НУ, НК (табл. 2).

Таблица 2

Матрица парных коэффициентов корреляции между НП и Σ НУ, НК

	Нефтяная пленка	Растворенная и эмульгированная нефть	Нефтяные контаминаанты
Нефтяная пленка	1	0,642	0,015
Растворенная и эмульгированная нефть	0,642	1	-0,158
Нефтяные контаминаанты	0,015	-0,158	1

Коэффициент множественной корреляции между НП и Σ НУ, НК показывает достаточно тесную связь и составляет 0,653.

Из табл. 2 видно, что наибольший коэффициент корреляции наблюдается между НП и Σ НУ (0,642), который подтверждается также пространственным распределением рассматриваемых форм нефти (рис. 1а, 1б). Т.к. растворенная и эмульгированная нефть образуется из нефтяной пленки за счет волнения и морских течений, которые вызывают развитие турбулентных пульсаций потока, поэтому нефтяные слюки распадаются на отдельные пятна и распространяются в виде эмульсий раньше, чем возникает тонкая пленка. Находясь в сильно турбулизованном потоке жидкости, пятно нефти разбивается до мельчайших капель, находящихся во взвешенном состоянии, что может привести к внутримассовому загрязнению слоя или всейтолщи воды [4].

Наименьший коэффициент корреляции (0,015) выявлен между НП и НК. Это вполне объяснимо, т.к. нефтяные контаминаанты являются конечными продуктами эволюции тяжелых фракций углеводородов на различной стадии минерализации. Представляют собой вполне сформировавшиеся, сплоченные, скементированные минеральными и органическими частицами комочки. НК являются наиболее устойчивой формой существования нефти в морской среде, где они могут прибывать до 50 лет и больше [5]. Поэтому вполне естественно, что наименьшая взаимосвязь выявлена между НК и нефтяной пленкой, которая подвергается растеканию, растворению, эмульгированию, испарению, физико-химическому окислению и биологической утилизации.

Рассчитанные коэффициенты корреляции подтверждаются также картами пространственного распределения различных форм нефти по акватории океана (рис. 1).

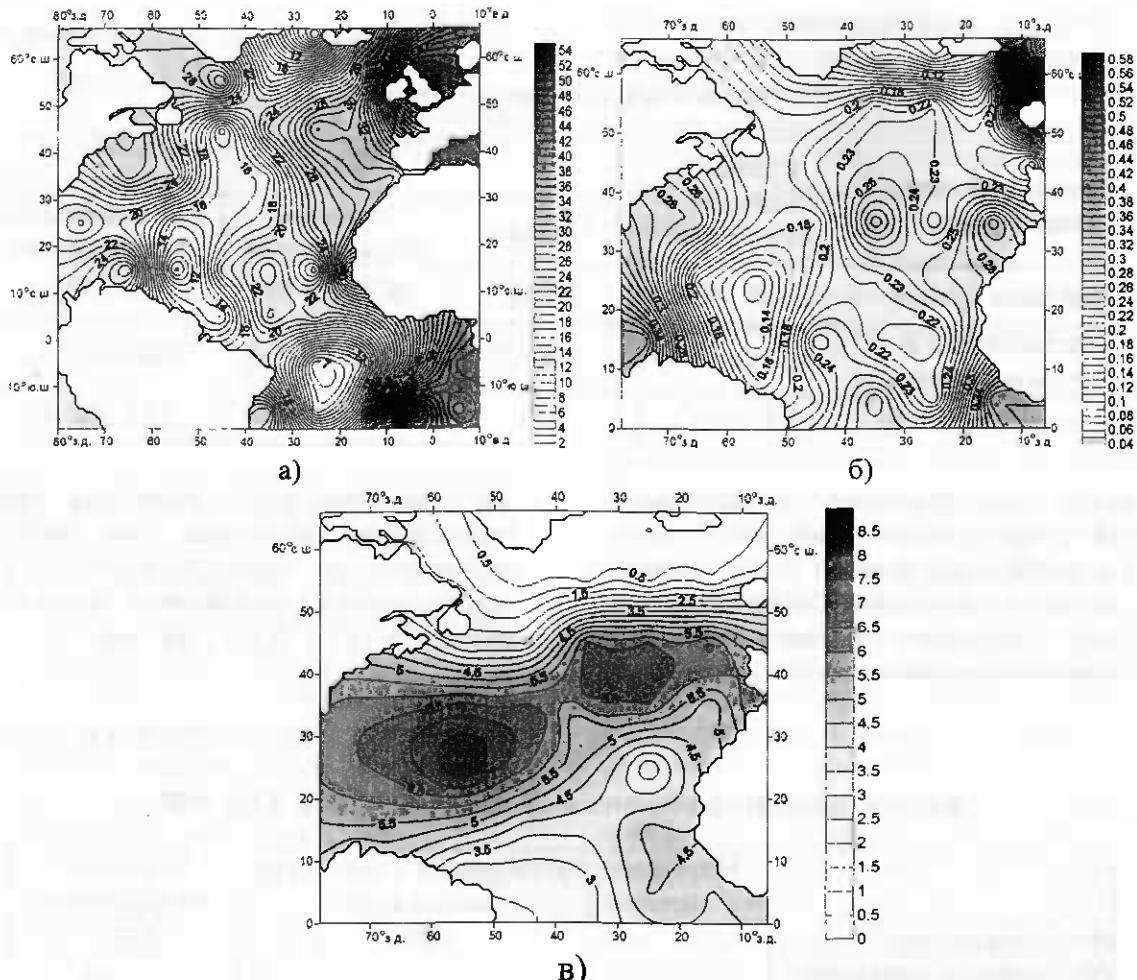
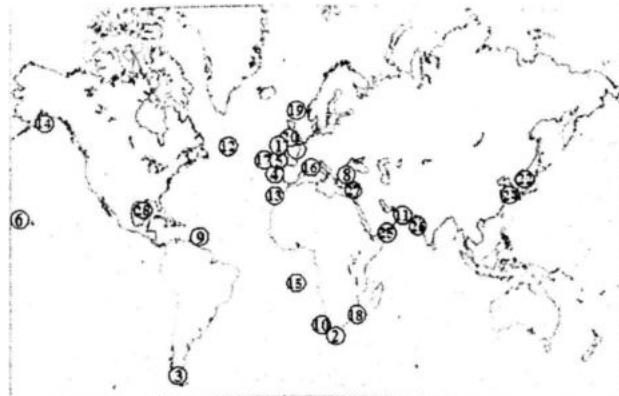


Рис. 1. Пространственно-временное распределение различных форм нефти в Северной части Атлантического океана за период 1976-1992 гг.: а – нефтяная пленка (% встречаемости), б – растворенная и эмульгированная нефть (Σ НУ, мг/л), в – нефтяные загрязнители (мг/м²)

При рассмотрении карт пространственного распределения НП и Σ НУ (рис. 1а, 1б) прослеживается идентичная тенденция, где поля загрязнений имеют ярко выраженный меридиональный характер, что еще раз доказывает репрезентативность данных собранных по содержанию НП и Σ НУ, т.к. за счет физико-химических процессов, переходя из НП в растворенную и эмульгированную форму, затем за счет ветров, течений разносится по акватории всего Мирового океана.

В распределении НП в Северной Атлантике четко прослеживается характерная тенденция уменьшения покрытия НП от берега в открытую часть океана. В районе Гибралтарского пролива покрытие НП составляет 30 %, продвигаясь на запад по 30–40° с.ш. в районе Саргассово моря (40–50° з.д.), эта величина уменьшается в 2 раза и составляет 15 %.

Эта тенденция характерна и для районов 40–50° с.ш. акватории Западной Европы, где покрываемость НП высока и составляет в Бискайском заливе 43% покрытия и уже на 40–50° з.д. уменьшается и составляет 13 %, что в 3 раза меньше (рис. 1а). Такая значительная встречаемость обнаружения НП в районе Западной Европы связана с разливами нефти (рис. 2), т.к. наибольшее количество крупных разливов за период 1967 – 2010 гг. зарегистрировано именно у берегов Западной Европы, не исключая также сбросы точечных источников, грузовые терминалы, порты, нефтеперерабатывающие заводы, расположенные на берегу, которые также вносят большой вклад в загрязнение нефтью прилегающих прибрежных и шельфовых вод, загрязнение которых, вторично разносится течениями по акватории Северной Атлантики.



Р и с. 2. География наиболее крупных разливов нефти за период 1967 – 2010 гг. [6]

Рассматривая пространственное распределение растворенной и эмульгированной нефти, также как и в распределении пленки, можно прийти к выводу, что у материков, где расположены точечные источники, реки, предприятия, районы добычи нефти зарегистрированы максимальные их величины. Именно в этих акваториях преобладающим является антропогенный фактор. Уже в районах, находящихся между 20 и 65° з.д. имеется характерная картина перераспределения нефтяных углеводородов. Средние величины в этих районах по сравнению с береговой и шельфовой зонами материков Западной Европы, Африки, Южной и Северной Америки уменьшаются от 0,6 мг/л до 0,12 мг/л в открытой части океана (рис. 1б). Т.е также как и в распределении пленки установлена тенденция уменьшения содержания сумм нефтяных углеводородов по мере удаления от береговых и шельфовых вод.

Анализ данных показал достаточно широкий диапазон изменений в распределении НК по акватории Северной части Атлантического океана ($0,25\text{--}8,10 \text{ mg/m}^2$, (рис. 1в)). Нефтяные контаминаты встречаются во всех акваториях, включая береговую, шельфовую и открытую части океана. Наибольшие концентрации НК наблюдаются в субтропическом антициклоническом круговороте, максимальные величины зарегистрированы в его халистатической области в Саргассовом море до $8,10 \text{ mg/m}^2$ (рис. 1в).

В круговоротах циклонического и антициклонического характера существуют различия в распределении НК. В Северном субполярном циклоническом круговороте концентрации НК изменяются в пределах $0,25\text{--}0,90 \text{ mg/m}^2$, что в 10–30 раз меньше по сравнению с антициклоническим субтропическим круговоротом, где концентрации НК изменя-

ются в пределах $2,4\text{--}8,10 \text{ mg/m}^2$. В субполярном циклоническом круговороте наибольшие концентрации НК наблюдаются в районе о. Великобритании – $0,9 \text{ mg/m}^2$ (рис. 1в), где Северо-Атлантическое течение разделяется на две ветви. Одна ветвь направлена на север в Норвежское море, вторая ветвь остается в Атлантическом океане, и проходит на запад вдоль Исландии (течение Ирмингера), где концентрации НК составляют $0,4\text{--}0,5 \text{ mg/m}^2$. Таким образом, анализ данных показывает, что в центре циклонического круговорота наблюдаются концентрации меньше ($0,25\text{--}0,3 \text{ mg/m}^2$) чем на его периферии ($0,5\text{--}0,9 \text{ mg/m}^2$). Известно, что в центре субполярного циклонического круговорота находится субполярная дивергенция, которая также может оказывать влияние на уменьшение концентраций НК в центре круговорота. В том числе это связано и с изменением положения субполярного фронта в различные сезоны года, когда общее динамическое состояние вод здесь определяется в основном геострофическими, дрейфовыми течениями и процессами турбулентного и конвективного перемешивания.

Нефтяные контаминаты являются последней фазой деградации нефти в морской экосистеме. В этой форме нефти изменяется физико-химический состав, где основой являются асфальтены, которые длительное время содержатся в морской среде. Нахождение этой формы нефти в Северной Атлантике получило глобальную проблему, как и предыдущие формы (НП, Σ НУ). В отличии от предыдущих форм нефти, значительные величины НК встречаются в халистатических зонах, где скорости течений незначительны (рис. 1в), о чем свидетельствуют исследования в Саргассовом море [1].

Анализ данных полученных результатов позволил оценить в процентном отношении содержание различных форм нефти в Северной Атлантике. По полученным данным и данным Мировых ученых в Мировой океан попадает 8–12 млн. тонн нефти в год [2, 3]. Площадь Атлантики составляет 90,8 млн. км² без

морей. Северная Атлантика составляет около 1/5 акватории Мирового океана, и на ее долю приходится около 2–3 млн.тонн нефти от 8–12 млн.тонн попавших в Мировой океан. Рассчитано содержание различных форм нефти в Северной Атлантике (табл. 3).

Таблица 3

Содержание различных форм нефти в Северной Атлантике
от общего сброса нефти в Мировой океан

Нефтяные пленки	Сумма растворенной и эмульгированной нефти	Нефтяные контамиnantы
0,9 млн. тонн (10 – 12 %)	1,6 млн. тонн (19 – 21 %)	0,8 млн. тонн (10 – 15 %)

Проведенная оценка различных форм нефти показала, что ежегодно в Северную Атлантику попадает 3,3 млн. тонн.

Выводы. 1. Установлена закономерность нахождения максимальных величин встречаемости нефтяной пленки вблизи источников загрязнения. Максимальные величины покрытия НП наблюдаются в районе Англии (53,7 %), Франции (43,4 %), Испании (30 %), побережья Южной Америки (32 %), Западной Африки (45 %), что связано с аварийными разливами и добычей нефти на шельфе.

2. Показано, что растворенная и эмульгированная нефть имеет достаточно четкую тенденцию к уменьшению средних концентраций по мере удаления от прибрежных и шельфовых вод (0,6 мг/л) в открытую часть океана (0,12 мг/л).

3. Установлено, что характер пространственной структуры полей загрязнения НП и ΣНУ в поверхностном слое имеет ярко выраженное меридиональное распределение.

4. Определено, что значительное концентрирование НК (до 8,1 мг/м²) приурочено к основной зоне халистатике Северной Атлантики, которой является Саргассово море.

5. Результаты расчета общей пространственной дисперсии исследуемых форм нефти показали, что наибольший вклад географической составляющей (88 %) принадлежит нефтяным контаминантам.

6. Рассчитаны количественные характеристики содержания различных форм нефти, которые показывают, что ежегодно в Северную Атлантику попадает 3,3 млн. тонн нефти из которой: 0,9 млн. тонн (10–12%) приходится на нефтяную пленку, 1,6 млн. тонн (19–21%) – на растворенную и эмульгированную нефть, 0,8 млн. тонн (10–15%) – на нефтяные контамиnantы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Монюшко М.М. Нефтяные контамиnantы в экосистеме Мирового океана // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2010. – Вып. 13. – С. 281–284.
- Израэль Ю.А. Антропогенная экология океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 528 с.
- Последствия интенсивной добычи нефти // Журнал «Судоходство». – 2008. – № 10.
- Богородский В.В., Кропоткин М.А. Влияние нефтяных загрязнений на процессы, происходящие в водных бассейнах. – Водные ресурсы, 1984, № 1, – С. 161 – 168.
- Бенжицкий А.Г., Третьякова Л.В., Колесникова Е.А. Нефтяные агрегаты в гипонейстали Восточной Атлантики. – Гидробиол. журн. 1978, 14, вып. 3, – С. 53 – 56.
- http://www.odin.tc/disaster/tanker_top.asp