

Е.Е.Совга*, И.В.Мезенцева**

**Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь*

***Морское отделение Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института, г.Севастополь*

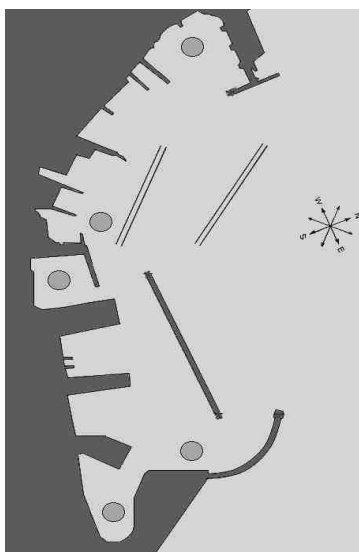
СОДЕРЖАНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ВОДЕ АКВАТОРИИ ПОРТА ОДЕССА В 1997 – 2006 ГГ.

На основе обширного экспериментального материала проанализированы характеристики сезонной многолетней изменчивости содержания нефтепродуктов в морской воде в районе п.Одесса. Получены аналитические зависимости изменчивости содержания нефтяных углеводородов во времени. Оценена ассимиляционная емкость экосистемы акватории п.Одесса, позволяющая нормировать плановое поступление нефтепродуктов в морскую среду с сохранением основных свойств существующей экосистемы.

Экологическое состояние морских экосистем в значительной степени определяется объемами поступающих загрязняющих веществ (ЗВ). Известно, что возможность морской экосистемы трансформировать их не безгранична. Поэтому крайне важно определить границу, максимальное количество ЗВ, которое не вызовет необратимых последствий для экосистемы.

Способность экосистемы выдерживать добавление некоторого количества ЗВ без развития каких-либо значимых биологических последствий впервые было описана в терминах ассимиляционной емкости Керном [1]. Позднее эти вопросы были рассмотрены более подробно Ю.А.Израэлем и А.В.Цибань [2 – 4]. По определению Ю.А.Израэля ассимиляционная емкость характеризует способность экосистемы к динамическому накоплению токсических веществ, а также возможность их активного удаления с сохранением основных свойств этой экосистемы. При изучении ассимиляционной емкости морской экосистемы рассматриваются совместно физические, химические и биологические процессы трансформации конкретного загрязняющего вещества, которые определяют активность природного самоочищения. Разработанная Ю.А.Израэлем и А.В.Цибань концепция ассимиляционной емкости, базирующаяся на результатах разносторонних океанологических исследований, была апробирована на экосистеме Балтийского моря для бенз(а)пирена, полихлорбифенилов и ряда металлов. Сопоставление полученных значений ассимиляционной емкости с современным поступлением указанных соединений в Балтийское море позволило дать рекомендации по контролю локальных источников поступления бенз(а)пирена и полихлорбифенилов с целью ограничения связанных с ними сбросов загрязняющих веществ допустимыми значениями.

Район исследований настоящей работы включает акваторию п.Одесса с жидкой границей на северо-востоке между северной оконечностью мола Нефтяной гавани и восточной оконечностью рейдового мола. Наименьшие глубины (от 3,3 м) наблюдаются мористее мола Нефтяной гавани, нового и



Р и с . 1 . Схема расположения станций гидрохимического мониторинга (●) в акватории п.Одесса.

старого волноломов. Глубина подходного канала к Нефтяной гавани более 13,3 м.

Для портовой акватории, расположенной в юго-западной части мелководного Одесского залива, характерны основные особенности его гидрологического режима. Значительная сезонная изменчивость обусловлена географическим местоположением, климатическими условиями, влиянием стока рек Днепра и Южного Буга, а также рядом факторов антропогенного воздействия.

Ассимиляционная емкость акватории п.Одесса определяется как гидродинамическими процессами адвекции и диффузии, обеспечивающими перенос примеси, так и процессами сложной биогеохимической трансформации нефтепродуктов.

Целью настоящей работы является изучение сезонной и межгодовой изменчивости содержания нефтепродуктов (НП) в морской воде в районе п.Одесса для оценки ассимиляционной емкости локальной экосистемы исследуемой акватории по отношению к указанному загрязняющему веществу.

Методы и материалы. В работе использованы натурные данные 1996 – 2006 гг., полученные сотрудниками Одесского гидрометцентра Черного и Азовского морей Государственной гидрометеорологической службы Украины. Наблюдения проводились ежеквартально на станциях в районе п.Одесса (рис.1). Горизонты опробования: поверхностный, 5-ти метровый и придонный. Определение валового содержания НП в пробах морской воды проводилось методом инфракрасной спектроскопии [5]. Объем массива полученных данных составляет 2286 значений.

Результаты и обсуждение. Содержание НП в морской воде исследуемого района за период 1997 – 2006 гг. изменялось от «не обнаружено» до 0,89 мг/л в поверхностном слое и до 0,54 мг/л в придонном (табл.1). Среднее значение для массива составило 0,17 мг/л, медиана 0,12 мг/л, СКО 0,14 мг/л.

Пространственно-временная изменчивость содержания НП в акватории п.Одесса. Концентрации нефтепродуктов на поверхностном горизонте практически всегда превышали предельно допустимую (ПДК = 0,05 мг/л). Исключением стал лишь 1996 г. (табл.1). На придонном горизонте концентрация ниже предельно допустимой фиксировалась только в 9 % от общего количества определений.

Вертикальное распределение среднего за период исследования содержания НП в целом характеризовалось достаточно равномерным изменением концентраций с глубиной (рис.2).

Преобладание загрязнения поверхностного слоя объясняется как физико-химическими свойствами НП, так и основными путями поступления

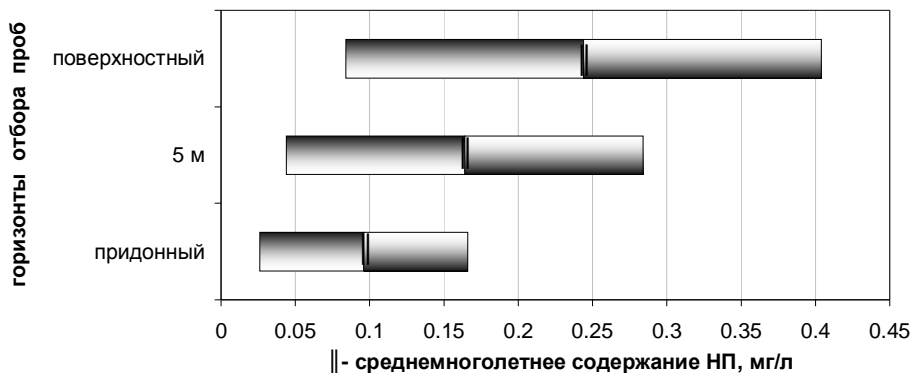
Т а б л и ц а 1. Диапазоны изменения содержания НП в морской воде п.Одесса.

год	содержание НП, мг/л					
	поверхность		горизонт 5 м		дно	
	максим.	миним.	максим.	миним.	максим.	миним.
1996	0,67	н. обн.	0,50	н. обн.	0,42	н. обн.
1997	0,89	0,09	0,68	0,05	0,54	н. обн.
1998	0,56	0,10	0,36	0,05	0,21	н. обн.
1999	0,27	0,07	0,21	н. обн.	0,14	0,03
2000	0,24	0,05	0,18	0,03	0,13	н. обн.
2001	0,35	0,08	0,22	н. обн.	0,13	н. обн.
2002	0,27	0,05	0,19	0,03	0,14	н. обн.
2003	0,56	0,09	0,33	0,06	0,18	0,03
2004	0,51	0,11	0,44	0,07	0,34	н. обн.
2005	0,78	0,11	0,62	0,05	0,31	н. обн.
2006	0,86	0,07	0,67	н. обн.	0,45	н. обн.

их в акваторию. Например, согласно [6] до 83 % НП поступает с ливневыми стоками, которые по гидрохимическим и микробиологическому показателям характеризуются как неочищенные или недостаточно очищенные. Так как значительная часть стоков попадает в акваторию по рельефу, то поверхностные воды в районе Одессы только с этим источником получают до 70 т НП в год.

Однако, говоря о вертикальном распределении, следует отметить, что в 1999 – 2001 и 2005 гг. зафиксирован ряд случаев, когда нарушалось правильное вертикальное распределение. Например, с июля по октябрь 2000 г. содержание НП в придонных водах зачастую было выше, чем на промежуточном горизонте 5 м (рис.3). Превышение придонных концентраций составило в это время от 0,01 до 0,04 мг/л.

Вероятно, подобные ситуации не определяются особенностями поступления НП в морскую акваторию и не носят сезонного характера. Это



Р и с . 2. Вертикальное распределение среднего за 1996 – 2006 гг. содержания НП в морской воде п.Одесса и СКО.

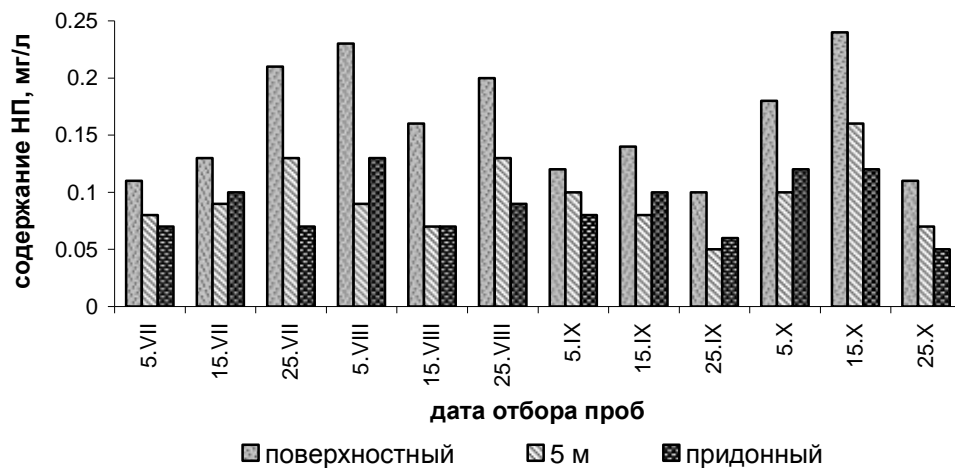


Рис. 3. Изменение содержания НП с 5 июля по 25 октября 2000 г. в морской воде в районе п.Одесса.

явление более характерно для придонного горизонта и может быть объяснено вторичным поступлением НП из верхнего техногенно трансформированного слоя морских донных отложений. Так, часть их эмульгируется и, осаждаясь, например, с взвешенным веществом или с пеллетами гидробионтов, накапливается в верхнем слое морских донных отложений. В связи с процессами адвекции, диффузии, а также в процессе биологического взмучивания НП вновь поступают в придонную воду. Происходит так называемое вторичное загрязнение.

Сезонное изменение уровня загрязнения морской воды по данным за десять лет характеризуется минимальным содержанием НП в январе – феврале (рис.4). Средняя для слоя поверхность - дно величина в эти месяцы составила порядка 0,10 мг/л (2 ПДК). Максимальное загрязнение наблюдалось в октябре и составило 0,21 мг/л (> 4 ПДК).

В целом внутригодовое изменение содержания НП хорошо описывается уравнением второй степени ($y = -0,0015x^2 + 0,0286x + 0,0636$) с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,88$.

Если рассматривать весь период наблюдений последовательно (рис.5), то обращает на себя внимание максимальное загрязнение морской воды в 1997 г., когда среднегодовое значение содержания НП составило 0,38 мг/л (> 7 ПДК).

Аномально высокое загрязнение акватории п. Одесса в указанном году обусловлено значительным аварийным поступлением НП. Так, только в результате аварии на т/х «Monte Chiaro» в морскую воду было сброшено 0,987 т НП, по вине работников СРЗ «Украина» 0,527 т НП. В целом в 1997 г. отмечено 11 аварийных разливов НП, с которыми в акваторию поступило 1,622 т НП. Для сравнения, в 1998 г. в этом районе зафиксировано 54 случая аварийных разливов НП, в результате которых в морскую среду поступило 0,325 т НП [7].

За исключением 1997 г. содержание НП в период с 1996 по 2006 гг. снизилось с 0,19 мг/л (1996 г.) до 0,09 мг/л (2000 г.) с последующим ростом

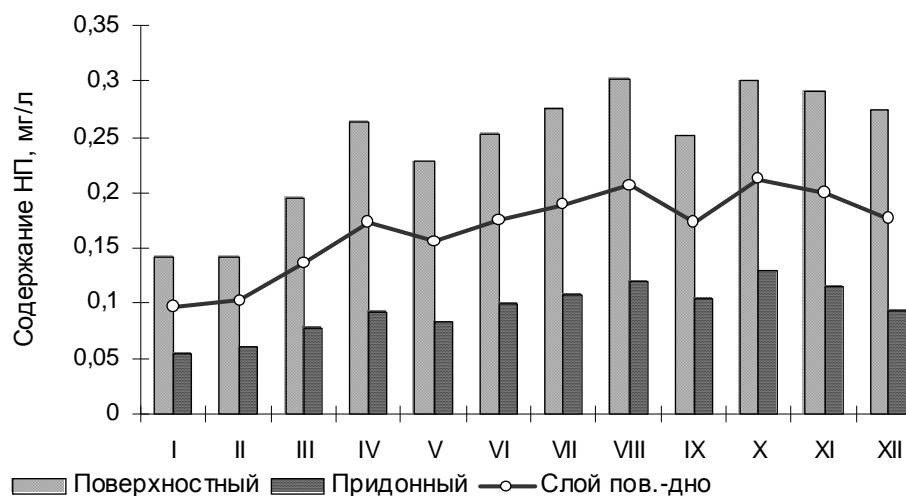


Рис. 4. Внутригодовое изменение содержания НП в 1996 – 2006 гг. в морской воде в районе п.Одесса.

до 0,15 мг/л (2004 г.) и далее до 0,22–0,25 мг/л (2005, 2006 гг. соответственно).

Изменение среднегодовых значений для слоя поверхность-дно достаточно хорошо описывается уравнением второй степени ($y = 0,0045x^2 - 18,086x + 18090$). Коэффициент детерминации R^2 составляет 0,92. Среднее для 1997 г. значение содержания НП согласно критерию Стьюдента оценивалось как экстремальное и было исключено из выборки данных.

Оценка ассимиляционной емкости морской экосистемы. Оценка ассимиляционной емкости (АЕ) морской экосистемы в районе п.Одесса производилась по формуле, предложенной Ю.А.Израэлем [8] для расчета АЕ экосистемы Балтийского моря по содержанию бенз(а)пирена, полихлорбифенилов и ряда металлов:

$$A = V k \frac{C_{крит}}{\tau}, \quad (1)$$

где A – ассимиляционная емкость морской экосистемы; V – объем, выбран-

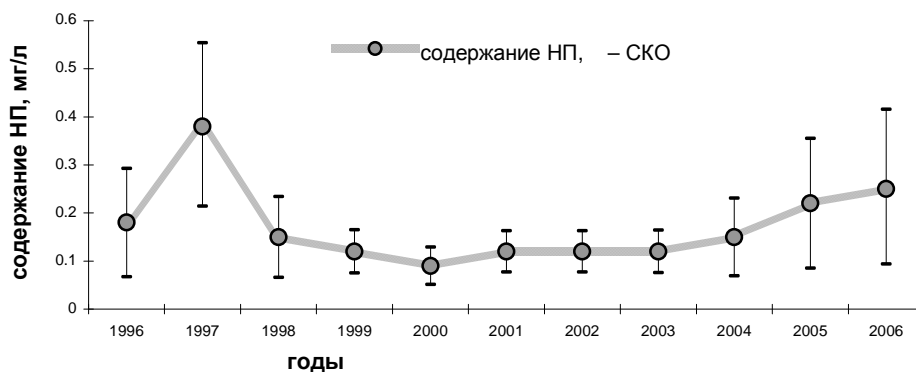


Рис. 5. Многолетнее изменение среднегодового содержания НП в 1996 – 2006 гг. в морской воде в районе п.Одесса.

ный для расчета; k – коэффициент запаса, отражающий экологические условия протекания процесса загрязнения с учетом пространственно-временной неоднородности в распределении загрязняющего вещества; $C_{крит}$ – критическая концентрация ЗВ в морской экосистеме; τ – время пребывания вещества в экосистеме.

Коэффициент запаса рассчитывался как произведение биологического и пространственно-временного коэффициентов по формуле:

$$k = \frac{C_{пор}}{C_{пол}} \cdot \frac{C_{ср}}{C_{макс}}, \quad (2)$$

где $C_{пор}$ – пороговая концентрация вещества; $C_{пол}$ – полулетальная концентрация вещества; $C_{ср}$ – средняя концентрация вещества; $C_{макс}$ – максимальная концентрация вещества.

Под критической рассматривается максимальная концентрация вещества, не вызывающая необратимое биологическое изменение в морской экосистеме. По предложению Ю.А.Израэля она приравнивается к полулетальной для биологических сообществ экосистемы.

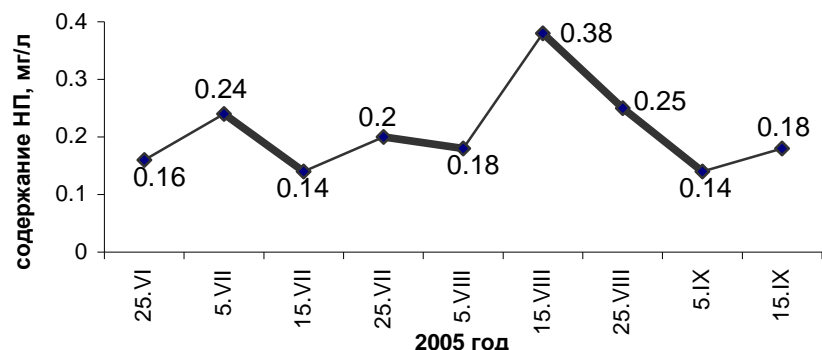
Оценка времени пребывания НП в экосистеме или времени их «жизни» в экосистеме вызвала затруднение. Автор формулы, рассмотрев все расходные статьи баланса, выбрал наиболее значимые. Время химической и биологической трансформации, время депонирования ЗВ в морские донные отложения определялись экспериментальным путем в натуральных условиях. Время выноса за пределы Балтийского моря рассчитывалось как вынос вещества через проливы. И по сумме этих расходных составляющих оценивалось время пребывания вещества в экосистеме.

Исследуя такое сложное органическое соединение, как растворенные в морской воде нефтяные углеводороды, и определяя только валовое их содержание, нельзя ни качественно, ни количественно оценить фракционный состав. Так, согласно [9], для акватории порта более характерны «старые» НП, частично трансформированные, потерявшие легкие и легкоокисляющиеся фракции. В тоже время аварийные ситуации определяют большое разнообразие поступающих ЗВ. И поскольку в ретроспективе сложно определить соотношение тяжелых и легких, долго- и короткоживущих фракций, мы попытались оценить интегральное время пребывания НП в портовой акватории через изменение концентрации их в единицу времени. Рассматривая разницу концентраций на убывающем участке (отрезки кривой на рис.6, выделенные жирной линией) как расход вещества за определенный период времени, определили скорость удаления НП из системы. По соотношению средней концентрации и средней скорости (для полного массива данных) оценивалось время пребывания вещества в экосистеме. Объем выборки, использованный для оценки τ , составил 1962 значения.

Используя полученные в ходе исследования значения, по следующей формуле рассчитываем величину АЕ морской экосистемы в районе п.Одесса.

$$A = V \cdot \frac{C_{пор} \cdot C_{ср}}{C_{макс} \cdot \tau}. \quad (3)$$

Ассимиляционная емкость рассматриваемого района за период 1996 – 2006 гг. оценивается в 1,9 мг/л в год, что составляет порядка 69 т в год для



Р и с . 6 . Изменение содержания НП с 25 июня по 15 сентября 2005 г. в морской воде в районе п.Одесса с выделением участков, на которых оценивалось время удаления ЗВ из экосистемы.

всей акватории порта.

В табл.2 для сравнения представлена величина АЕ Ялтинского порта (по данным 2005 г.). Значительное отличие указанных акваторий по этому показателю характеризует как уровень их загрязнения, так и способность к рассеиванию и выносу вещества за пределы экосистемы.

Факт загрязнения акватории п. Одесса НП является бесспорным и подтвержден многочисленными измерениями. Нормирование поступления загрязняющего вещества с промышленными и бытовыми стоками лишь на единицу объема сброса, игнорируя общий поток его и возможности АЕ водного бассейна в целом, может оказаться неадекватным и привести к значительному ухудшению экологической обстановки.

Заключение. Таким образом, из изложенного выше следует:

- Мониторинг содержания нефтепродуктов в 1996 – 2006 гг. показал высокий уровень загрязнения морской воды в районе п.Одесса.
- Нарушение вертикального распределения содержания нефтепродуктов свидетельствует о наличии вторичного загрязнения путем поступления их в придонную воду из верхнего слоя морских донных отложений.
- Внутригодное изменение уровня загрязнения по многолетним (1996 – 2006 гг.) данным характеризуется ростом содержания нефтепродуктов от января (0,10 мг/л) к августу, октябрю, ноябрю (0,19 – 0,21 мг/л).
- После снижения содержания нефтепродуктов в 1998 – 2004 гг. (0,09 – 0,15 мг/л) вновь наметился рост загрязнения до 0,22 – 0,25 мг/л в 2005 – 2006гг.

Т а б л и ц а 2 . Параметры оценки ассимиляционной емкости экосистем Одесского и Ялтинского портов в 2005 г.

параметр	п.Одесса	п.Ялта
среднее содержание НП, мг/л	0,22	0,027
максимальное содержание НП, мг/л	0,78	0,19
время пребывания НП в системе, день/год	33	6,5
ассимиляционная емкость, мг/(л год)	3	8

- Получены функциональные зависимости сезонной и межгодовой изменчивости содержания нефтепродуктов, которые могут быть использованы для моделирования процессов самоочищения акватории.
- Впервые оценена ассимиляционная емкость экосистемы акватории п.Одесса по указанному показателю. Она составила 69 т нефтепродуктов в год.
- Определение ассимиляционной емкости экосистем отдельных акваторий Черного моря позволяет нормировать плановые поступления нефтепродуктов и любых других загрязняющих веществ в этих районах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Stebbing A.* Assimilative capacity // *Mar. Poll. Bull.*– 1981.– v.12, № 11.– P.45-58.
2. *Израэль Ю.А., Цыбань А.В.* Об ассимиляционной емкости Мирового океана // Докл АН СССР.– 1983.– т.272, № 3.– С.702-705.
3. *Израэль Ю.А.* Экология и контроль состояния природной среды. Изд. 2-е.– М.: Гидрометеиздат, 1984.– 560 с.
4. *Израэль Ю.А., Цыбань А.В., Венцельм М.В., Шигаев В.В.* Научное обоснование экологического нормирования антропогенного воздействия на морскую экосистему (на примере Балтийского моря) // *Океанология.*– 1988.– т.28, вып.2.– С.64-71.
5. *Руководство по химическому анализу морских вод.* РД 52.243-92 / Под ред. С.Г.Орадовского.– СПб, 1993.– 200 с.
6. *Сапко О.Ю., Тучковенко Ю.С.* Оценка вклада антропогенных источников в загрязнение морской среды Одесского региона // *Метеорология, климатология и гидрология.*– 2003.– т.47.– С.130-139.
7. *Ежегодник качества морских вод по гидрохимическим показателям.* Т.1. Черное море / Под ред. А.И.Рябины, Н.П.Клименко, С.А.Шибяевой.– Севастополь: МО УкрНИГМИ, 1998, 1999.
8. *Израэль Ю.А., Цыбань А.В.* Антропогенная экология океана.– М.: Гидрометеиздат, 1989.– 528 с.
9. *Альтман Э.Н., Безбородов А.А., Богатова Ю. И.* и др. Практическая экология морских регионов. Черное море / Под ред. В.П.Кеонджяна, А.М.Кудина, Ю.В.Терехина.– Киев: Наукова думка, 1990.– С.203-213.

Материал поступил в редакцию 03.09.2008 г.