

И.В.Мезенцева

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

**СЕЗОННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ АССИМИЛЯЦИОННОЙ ЕМКОСТИ
МОРСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К НЕФТЕПРОДУКТАМ
НА ПРИМЕРЕ АКВАТОРИИ ПОРТА ОДЕССА**

Настоящая работа является продолжением исследований, посвященных разработке методики нормирования сбросов загрязняющих веществ в импактных районах Черного моря посредством расчета ассимиляционной емкости экосистем этих районов. В ней осуществлена детализация оценки ассимиляционной емкости морской экосистемы акватории порта Одесса в отношении нефтепродуктов путем изучения ее сезонного изменения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *загрязняющие вещества, нефтепродукты, экосистема, ассимиляционная емкость, порт Одесса, Черное море.*

Одесский морской торговый порт, расположенный у юго-западного побережья Одесского залива в северо-западной части Черного моря, является крупнейшим морским портом Украины. Акватория порта представляет собой небольшую бухту с комплексом причальных сооружений, отделенную от открытой части Одесского залива системой молов. В условиях сложных морфометрических особенностей качество морских вод акватории порта формируется под влиянием основного вдольберегового потока, содержащего загрязняющие вещества (ЗВ), поставляемые стоком рек Днепр и Южный Буг, на который накладывається прессинг интенсивного судоходства и функционирования инфраструктуры города и порта.

Одним из приоритетных ЗВ для исследуемой акватории являются нефтепродукты (НП), содержание которых в период исследований 1996 – 2006 гг. в среднем более чем втрое превышало предельно допустимую концентрацию ($ПДК_{НП} = 0,05 \text{ мг/дм}^3$), в экстремальных случаях достигая 15 – 18 ПДК. Сезонное изменение уровня загрязнения морских вод в целом за период наблюдений характеризовалось максимальным содержанием НП в летне-осенний период, когда среднемесячное содержание их в 4 раза превышало ПДК. Повышенное нефтяное загрязнение поверхностных вод в апреле (более 5 ПДК) формировалось вдольбереговым переносом паводковых вод Днепра и Южного Буга. Минимальным содержанием НП было в январе – феврале, средняя величина в эти месяцы составляла порядка 2 ПДК [1].

При столь высоком уровне загрязнения морских вод акватории порта нормирование поступления ЗВ с промышленными и бытовыми стоками лишь на единицу объема сброса, игнорируя их общий поток и способность водного бассейна в целом к самоочищению, может оказаться неадекватным и привести к значительному ухудшению экологической обстановки. Поэтому, более точной мерой способности экосистемы за счет широкого спектра биологических, физических и химических процессов обеспечить защиту от

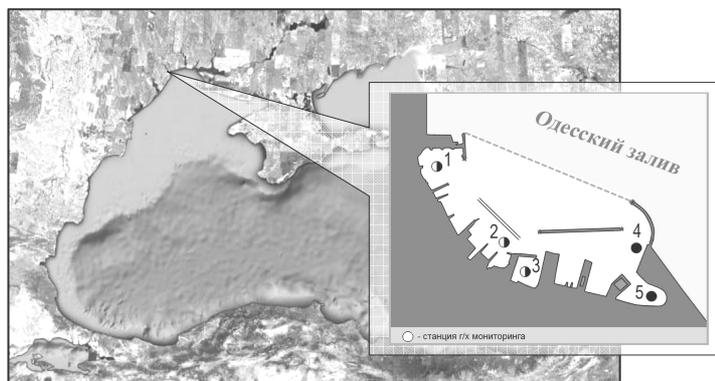


Рис. 1. Схема расположения станций мониторинговых наблюдений за содержанием НП в морских водах акватории порта Одесса в 1996 – 2006 гг.

чужеродного вмешательства следует считать величину ассимиляционной емкости (АЕ). АЕ имеет размерность потока вещества – массы вещества в единице объема, отнесенной к единице времени.

Методы и материалы. Для характеристики АЕ морской экосистемы порта Одесса по отношению к НП рассматривалась портовая акватория с жидкой границей на северо-востоке между северной оконечностью мола Нефтяной гавани и восточной оконечностью рейдового мола (пунктир на врезке, рис.1).

В работе использованы архивные материалы МО УкрНИГМИ по ежедекадным съемкам на станциях I и II категории в акватории порта Одесса (поверхностный, 5 м и придонный горизонты отбора проб). В целом за период 1996 – 2006 гг. массив натуральных данных представлен результатами более 2 тыс. определений содержания НП в морских водах, выполненных методом инфракрасной спектрофотометрии. Характеристика массива данных содержания НП, представлена в табл.1.

Для изучения сезонного изменения величины АЕ были рассмотрены холодный и теплый периоды. С учетом того, что среднемноголетняя (1996 – 2006 гг.) температура морской воды акватории порта Одесса составила 12,0 °С, как холодный сезон рассматривались периоды наблюдений с ноября по апрель 1997 – 2006 гг., когда среднемесячная температура была ниже среднемноголетней, как теплый сезон – периоды с мая по октябрь 1996 – 2006 гг. со среднемесячными температурами выше среднемноголетней. Для холодного сезона среднемноголетняя те-

Таблица 1. Характеристика массива данных мониторинговых наблюдений за содержанием НП (мг/дм³) в морских водах акватории порта Одесса в 1996 – 2006 гг.

хар-ка содержания	сезон	
	теплый	холодный
среднее	0,18	0,14
стандартное отклонение	0,15	0,11
минимум	н. обн.	н. обн.
максимум	0,86	0,89
количество определений	1186	972

температура морской воды составила 5,2 °С, для теплого сезона 18,1 °С.

В основу метода оценки способности морской экосистемы к самоочищению положена концепция, представленная в [2].

Методика расчета величины АЕ морской экосистемы, использованная для акватории порта Одессы, приведена в [3]. Итоговые формулы для оценки среднего значения \bar{A}_{mi} и среднеквадратичного отклонения $\sqrt{D[A_{mi}]}$ ассимиляционной емкости морской экосистемы (m) по отношению к i -ому загрязняющему веществу выглядят так:

$$AE_{mi} = \bar{A}_{mi} \pm \sqrt{D[A_{mi}]},$$

$$\bar{A}_{mi} = \frac{Q_m \cdot C_{thr\ i}}{C_{max\ i}} \cdot \bar{v}_i, \quad D[A_{mi}] = \left(\frac{Q_m \cdot C_{thr\ i}}{C_{max\ i}} \right)^2 \cdot D[v_i],$$

где Q_m – объем воды в расчетной области; $C_{thr\ i}$ – пороговая концентрация загрязняющего вещества; $C_{max\ i}$ – максимальная в экосистеме концентрация загрязняющего вещества; v_i – скорость удаления загрязняющего вещества из экосистемы, среднее значение \bar{v}_i и дисперсия $D[v_i]$ которой определяются по оригинальному алгоритму [4].

Расчет величины АЕ экосистемы акватории порта Одесса проводился исходя из допущения о пространственной однородности полей распространения ЗВ в ее границах. Учитывая тот факт, что границы акватории порта жестко не определены (т.е. проницаемы), рассчитанные величины содержания НП, скорости их удаления и ассимиляционной емкости экосистемы следует рассматривать лишь как относительные, наиболее характерные для ее центральной части.

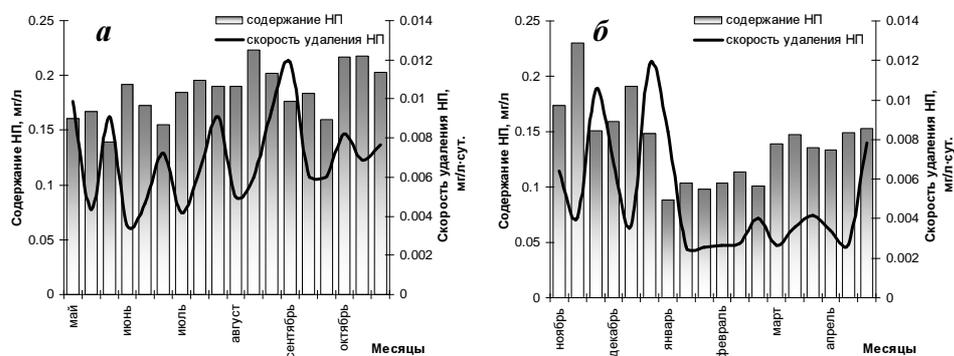
Результаты и обсуждение. Для определения скорости удаления были отобраны 900 значений концентраций НП в теплый период и 742 значения в холодный период. Удельная скорость удаления НП (в пересчете на фиксированный объем 1 дм³) достигала $5,7 \cdot 10^{-2}$ и $4,8 \cdot 10^{-2}$ мг/дм³·сут соответственно (табл.2).

В целом для периода 1996 – 2006 гг. повышенное в сравнении с холодным периодом содержание НП в морских водах (табл.1) компенсировалось более высокой скоростью их удаления в теплый период. Так, если среднесезонное содержание НП в холодный период было на 24 % ниже, чем в теплый, то было меньшим и среднее значение скорости их удаления (соответственно на 22 %).

По среднесезонным значениям внутрисезонное изменение содержания НП в водах акватории порта и скорости их удаления имело существенные отличия для теплого и холодного периодов. В теплый сезон рост загрязненности вод акватории порта НП сопровождался увеличением скорости их удаления. Макси-

Т а б л и ц а 2. Характеристика удельной скорости удаления НП (мг/дм³·сут) из экосистемы акватории порта Одесса в 1996 – 2006 гг.

хар-ка скорости	сезон	
	теплый	холодный
количество значений	550	449
среднесезонное значение	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$
стандартное отклонение	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$
максимальное значение	$5,7 \cdot 10^{-2}$	$4,8 \cdot 10^{-2}$



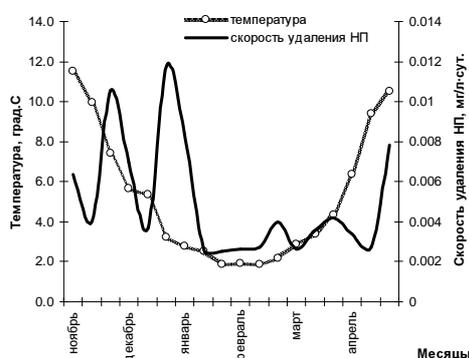
Р и с . 2. Изменение содержания НП в водах акватории порта Одесса и скорости их удаления в теплый (а) и холодный (б) сезоны.

мальной скорости элиминации НП в начале сентября предшествовало увеличение содержания НП в августе (рис.2, а). Сдвиг указанных максимумов на две декады вполне объясним развитием микробиологических процессов, участвующих в удалении НП.

Для ноября и декабря можно отметить закономерность, характерную для теплого периода, рост концентрации НП сопровождался ростом скорости их удаления с определенным временным сдвигом (рис.2, б). Позже, когда сезонное сокращение поступления НП в акваторию порта Одесса происходило на фоне снижения температуры морских вод, падала и скорость удаления ЗВ (рис.2, б; 3).

Понижение среднемесячных температур морских вод до 2,0 – 3,5 °С в январе – марте в значительной степени тормозило как физико-химические процессы, так и реакции микробиотических сообществ, в следствие чего удельная скорость удаления НП из морских вод в январе – апреле снижалась до $2,6 \cdot 10^{-3} - 3,5 \cdot 10^{-3}$ мг/дм³·сут.

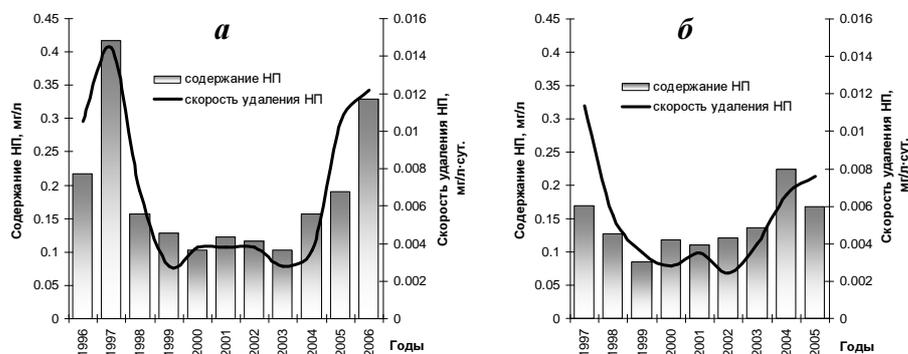
Зависимость изменения скорости элиминации НП от их концентрации в морских водах акватории порта Одесса в теплый сезон четко прослеживается на межгодовом уровне (рис.4, а). За исследуемый период при среднегодовом содержании НП для теплого сезона 0,18 мг/дм³ (табл.1) максимального



Р и с . 3. Изменение скорости удаления НП и температуры морских вод акватории порта Одесса в холодные сезоны 1997 –

уровня загрязнения вод порта достигало в 1997 и 2006 гг. (0,42 и 0,33 мг/дм³ соответственно). Среднесезонная величина удельной скорости удаления НП в эти годы возросла до $1,4 \cdot 10^{-2}$ и $1,2 \cdot 10^{-2}$ мг/дм³·сут соответственно. Для холодного сезона такая зависимость менее однозначна.

Как и при рассмотрении внутрисезонной динамики в холодный период величина скорости удаления, очевидно, в значительной степени определяется температурным режимом морских вод. Так, в 2002 г. среднесезонная температура морских вод



Р и с . 4. Изменение среднего за сезон содержания НП в водах акватории порта Одесса и скорости их удаления для теплого (а) и холодного (б) периодов на межгодовом уровне.

акватории порта Одесса опускалась до 3,6 °С (рис.4, б), что в 1,4 раза ниже среднесезонной для 1997 – 2006 гг. (5,2 °С). Удельная величина скорости удаления НП в этот период снизилась вдвое в сравнении со среднемноголетней для холодного периода (табл.2) и составила $2,4 \cdot 10^{-3}$ мг/дм³·сут. Изменение зависимости скорости удаления НП от концентрации их в водах акватории порта отражает уменьшение коэффициента корреляции от 0,91 для теплого сезона до 0,65 для холодного.

Вместе с тем, такая зависимость достаточна для уравнивания времени пребывания НП в водах порта Одесса, которое в период исследований составляло 26 – 27 суток для обоих сезонов.

Ускорение деградации НП в результате активизации физико-химических и микробиологических процессов в теплый период года определяет в целом большую способность морской экосистемы к самоочищению. Удельная величина АЕ экосистемы акватории порта Одесса для теплого сезона в период 1996 – 2006 гг. в среднем составила 2,92 мг/дм³·сут, для холодного сезона в период 1997 – 2006 гг. 2,17 мг/дм³·сут.

Для акватории порта Одесса в целом АЕ экосистемы в отношении НП может быть оценена в 105 ± 35 т в год для теплого сезона и в 78 ± 43 т в год для холодного. Учитывая, что пределы вариации количественной оценки АЕ экосистемы порта для обоих сезонов достаточно велики, при нормировании сбросов ЗВ в акваторию порта в качестве «порогового» значения целесообразно ориентироваться на минимальное значение АЕ, которое для теплого сезона составило 70 т в год, а для холодного 35 т в год. Двукратное снижение способности морской экосистемы к самоочищению в холодный сезон свидетельствует о большей ее уязвимости в этот период года и должно сопровождаться ужесточением контроля за загрязнением.

Заключение. Полученные результаты показали, что скорость удаления НП из экосистемы акватории порта Одесса в теплый период 1996 – 2006 гг. определялась главным образом их концентрацией, в холодный период также существенное влияние на изменение скорости элиминации оказывал температурный режим морских вод.

Даже при относительно равной средней концентрации НП, поступающих в акваторию порта Одесса, высокая скорость их удаления в теплый пе-

риод существенно увеличивала способность морской экосистемы к самоочищению. Количественная оценка сезонного изменения величины АЕ показала, что в холодный период способность экосистемы акватории порта Одесса к удалению НП снижена вдвое в сравнении с теплым периодом года.

Ослабление способности морской экосистемы к самоочищению в холодный период года диктует необходимость адекватного ужесточения контроля над поступлением загрязняющих веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Совга Е.Е., Мезенцева И.В.* Содержание нефтепродуктов в морской воде в акватории порта Одесса в 1997-2006 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008.– вып.17.– С.290-297.
2. *Израэль Ю.А., Цыбань А.В.* Антропогенная экология океана.– Л.: Гидрометеодиздат, 1989.– 528 с.
3. *Совга О.Є., Мезенцева І.В., Любарцева С.П.* Оцінка асиміляційної місткості екосистеми Дніпровського лиману щодо нафтопродуктів як метод нормування їх скиду в акваторію лиману // Доповіді Національної академії наук України. Математика, природознавство, технічні науки.– 2011.– № 10.– С.105-109.
4. *Совга Е.Е., Любарцева С.П., Мезенцева И.В.* Оценка способности экосистемы акватории Одесского порта к самоочищению в отношении фенолов и нефтепродуктов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010.– вып.22.– С.303-309.

Материал поступил в редакцию 15.10.2012 г.

АНОТАЦІЯ Дана робота є продовженням досліджень, присвячених розробці методики нормування скидів забруднюючих речовин у імпактних районах Чорного моря за допомогою розрахунку асиміляційної ємності екосистем цих районів. У ній здійснена деталізація оцінки асиміляційної ємності морської екосистеми акваторії порту Одеса щодо нафтопродуктів шляхом вивчення її сезонного зміни.

ABSTRACT It is a continuation of studies on the development of a method of rationing discharges of pollutants into the impacted areas of the Black Sea by calculating the assimilative capacity of the ecosystems. It carried detailing assessment of assimilative capacity of the marine ecosystem in the waters of the Odessa port on petroleum products by studying of its seasonal changes.