

Е.Е.Совга*, С.П.Любарцева*, И.В.Мезенцева**

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

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

ОЦЕНКА СПОСОБНОСТИ ЭКОСИСТЕМЫ АКВАТОРИИ ОДЕССКОГО ПОРТА К САМООЧИЩЕНИЮ В ОТНОШЕНИИ ФЕНОЛОВ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Работа посвящена рассмотрению механизма оценки способности экосистемы акватории Одесского порта к самоочищению в отношении нефтепродуктов и фенолов (сумма), как продолжение подробного анализа уровня загрязнения вод акватории порта Одесса целым комплексом органических загрязняющих веществ антропогенного происхождения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *нефтепродукты, фенолы, ассимиляционная емкость, скорость и время удаления токсического вещества.*

В условиях прогрессирующего антропогенного воздействия для сохранения потенциала морских экосистем импактных районов требуется проведение исследований в двух генеральных направлениях:

1) комплексные мониторинговые наблюдения за содержанием загрязняющих веществ (как в биотических, так и в абиотических компонентах экосистем), способные дать прогностическую оценку экологической ситуации;

2) изучение ассимиляционной емкости (АЕ) экосистем в целях определения условий для сохранения (а зачастую и восстановления) генофонда морских акваторий путем выработки стратегии управления качеством морской среды и научно обоснованного нормирования потоков антропогенного загрязнения с учетом способности экосистем к самоочищению.

Характеристика уровня загрязнения морских вод и донных отложений акватории порта Одесса на основе мониторинговых наблюдений за содержанием нефтепродуктов (НП), фенолов (сумма) и синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) подробно рассмотрена в [1]. Показано, что для исследуемой акватории приоритетным является фенольное загрязнение морских вод. Однако, поскольку в отдельные годы нефтяное загрязнение достигало и даже превышало уровень фенольного, то для акватории порта целесообразно рассматривать способность экосистемы к самоочищению в отношении как фенолов (сумма), так и НП.

Согласно концепции, разработанной Ю.А.Израэлем и А.В.Цыбань [2 – 4], любая морская экосистема (m) занимает ограниченный объем, который может быть, четко установлен. Следовательно, АЕ каждой конкретной экосистемы также представляет собой конечную величину, характеризующую объективно существующее свойство морской среды к трансформации и удалению ЗВ без ущерба для ее экологического состояния.

Основными путями удаления ЗВ, определяющими АЕ морских экосистем, являются гидродинамический перенос, биохимическая трансформация

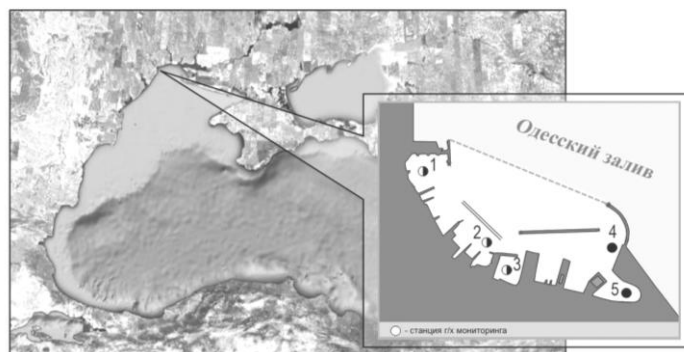


Рис. 1. Схема расположения станций гидрохимического мониторинга в акватории порта Одесса в 1996 – 2006 гг.

и депонирование в донные отложения. Независимо от доминирования любого из указанных путей в различных районах моря, в целом все они способствуют снижению уровня загрязнения морской воды до естественного состояния экосистемы.

Методы и материалы. В работе рассматривалась портовая акватория Одессы с жидкой границей на северо-востоке между северной оконечностью мола Нефтяной гавани и восточной оконечностью рейдового мола (пунктир на рис.1). Для оценки уровня загрязнения морских вод акватории порта использованы натурные данные 1996 – 2006 гг. [5], полученные в соответствии с Программой улучшения качества базовых наблюдений за загрязнением и мониторинга окружающей природной среды (Приказ № 57 Министерства экологии и природных ресурсов Украины от 08.02 2002 г.). Программа мониторинга качества морской среды порта Одесса предусматривает определение содержания в морских водах нефтепродуктов (НП), фенолов (сумма) согласно [6, 7].

Массив натурных данных 1996 – 2006 гг., проанализированный в работе, представлен результатами 3002 определений содержания НП и фенолов (сумма) в водах акватории порта Одесса. Наблюдения за загрязнением морских вод проводились ежедекадно. В целом за период 1996 – 2006 гг. было выполнено 774 съемки (27 – 36 в год). Пробы воды отбирались на трех горизонтах (поверхностном, 5 м и придонном). Характеристика массива полученных данных по содержанию ЗВ представлена в табл.1.

Реализация модели оценки АЕ экосистемы акватории Одесского порта проводилась в три этапа. На первом этапе оценивался уровень загрязненности морских вод с целью выявления приоритетных для исследуемой акватории органических ЗВ.

На первом этапе реализации концепции АЕ также оценивалась возможность использования модели, ограниченная условием сохранения экологического благополучия экосистем, когда среднее содержание приоритетного (*i*-ого) вещества не превышает критического. Под критической рассматривалась максимальная концентрация этого вещества, не вызывающая необратимого биологического изменения в морской экосистеме. В соответствии с [2] в качестве критической концентрации использовалась полулетальная (LC_{50}) для биологических сообществ экосистемы.

Т а б л и ц а 1. Характеристика массива данных мониторинговых наблюдений за содержанием ЗВ в морских водах акватории порта Одесса в 1996 – 2006 гг.

характеристика	фенолы (мкг/дм ³)	НП (мг/дм ³)
среднее	7	0,17
стандартное отклонение	4	0,14
экссесс	4	4,52
асимметричность	1	2,01
минимум	н. обн.	н. обн.
максимум	28	0,89
количество определений	710	2295

Поскольку различные компоненты биотического сообщества любой экосистемы обладают дифференциальной чувствительностью к содержанию ЗВ, то для определения критического для экосистемы содержания *i*-ого вещества следует рассматривать биологический вид, дающий максимальный отклик на загрязнение среды обитания по выбранному показателю. Однако, для акватории Одесского порта специализированных работ по выявлению индикаторных видов в отношении НП и фенолов (сумма) не проводилось. Поэтому, для реализации модели оценки АЕ были использованы результаты исследований по определению критического и порогового содержания НП, проведенных в других прибрежных районах Черного моря. Согласно [8], учитывая «суммационное действие» в условиях хронического нефтяного загрязнения экосистемы на нейстонные сообщества, к которым относятся многие популяции морских организмов на ранних стадиях развития, в качестве критической принята концентрация НП равная 10 мг/дм³, в качестве пороговой 1 мг/дм³. Для фенолов (сумма) ввиду отсутствия соответствующих исследований по определению контрольных значений в качестве пороговой использовалась предельно допустимая концентрация (ПДК = 1 мкг/дм³), в качестве критической – концентрация десятикратно превышающая ПДК.

Второй этап реализации концепции АЕ состоял в количественной оценке изменения содержания в морских водах приоритетных ЗВ с целью расчета времени пребывания их в экосистеме акватории Одесского порта.

В отличие от бокс-модели, предложенной в [2, 3], для оценки времени пребывания каждого из указанных соединений в морской среде τ был предложен статистический метод [9]. Для чего была введена удельная скорость удаления ЗВ из экосистемы ν .

$$\tau = \frac{C}{\nu}, \quad (1)$$

где τ – время пребывания ЗВ в экосистеме; C – содержание ЗВ в лиманных / морских водах; ν – удельная скорость элиминации ЗВ из экосистемы.

Удельную скорость удаления ЗВ из экосистемы выбранного района, являющуюся случайной величиной, определяли через изменение концентрации ЗВ в морской воде в единицу времени.

$$\nu_n = \frac{C_n - C_{n+1}}{t_n - t_{n+1}}, \quad (2)$$

где v_n – удельная скорость элиминации ЗВ из экосистемы в выбранный период убывания концентрации $[t_n, t_{n+1}]$; C_n и C_{n+1} – концентрации ЗВ в лиманных / морских водах в момент времени t_n и t_{n+1} соответственно; $n = 1, \dots, N$; где N – объем выборки.

По соотношению средней концентрации исследуемого i -го вещества и средней скорости его удаления (для всех выбранных периодов) рассчитывалось время пребывания в экосистеме.

$$\tau_i = \frac{C_{cp\ i}}{v_{cp\ i}}, \quad (3)$$

где τ_i – время пребывания ЗВ в экосистеме; $C_{cp\ i}$ – среднее содержание ЗВ в лиманных / морских водах; $v_{cp\ i}$ – средняя скорость элиминации ЗВ из экосистемы.

На третьем этапе на основе модели, описанной в [2], с учетом статистического метода расчета времени удаления токсического вещества, проводилась оценка АЕ экосистемы акватории Одесского порта по отношению к приоритетным ЗВ.

Результирующая формула для оценки АЕ морской экосистемы (m) по отношению к i -ому ЗВ выглядит так:

$$A_{mi} = Q_m \frac{C_{por\ i}}{C_{max\ i}} \cdot v_{cp\ i}, \quad (4)$$

где A_{mi} – ассимиляционная емкость морской экосистемы; Q_m – объем воды в расчетной области; $C_{por\ i}$ и $C_{max\ i}$ – пороговая и максимальная концентрации ЗВ; $v_{cp\ i}$ – средняя скорость элиминации ЗВ из экосистемы.

Расчет величины АЕ экосистемы проводился исходя из допущения о пространственной однородности полей распространения ЗВ в ее границах. Однако, поскольку граница с открытой частью Одесского залива жестко не определена (т.е. проницаема), то рассчитанную на единицу объема величину АЕ следует рассматривать лишь как относительную, наиболее характерную для центральной части выбранной акватории.

Достоверность полученного значения АЕ определялась характеристиками массива данных по каждому i -ому ЗВ и значений, использованных для расчета скорости удаления его из экосистемы. Таким образом, АЕ, являющаяся случайной величиной, исходя из выражения (4), пропорциональна случайной величине скорости удаления i -ого ЗВ, которая описывается средним значением $v_{cp\ i}$ и дисперсией $Var[v_i]$ выборки.

Результирующие формулы для оценки среднего значения и среднеквадратичного отклонения ассимиляционной емкости AE_{mi} морской экосистемы m по отношению к i -ому ЗВ выглядят так:

$$AE_{mi} = A_{cp\ mi} \pm \sqrt{Var[A_{mi}]}, \quad (5)$$

если
$$Var[A_{mi}] = \left(\frac{Q_m C_{por\ i}}{C_{max\ i}} \right)^2 Var[v_i] \quad (6)$$

Результаты и обсуждение. На первом этапе реализации концепции АЕ рассматривался уровень загрязнения морских вод фенолами (сумма) и НП, являющихся как показано в [10] приоритетными для акватории порта Одесса.

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

характеристика скорости	фенолы (сумма)	НП
количество значений	262	1060
диапазон изменения	6 – 158	0,36 – 20,80
стандартное отклонение	26	2,73
среднее за период	31 ± 9	2,42 ± 1,52

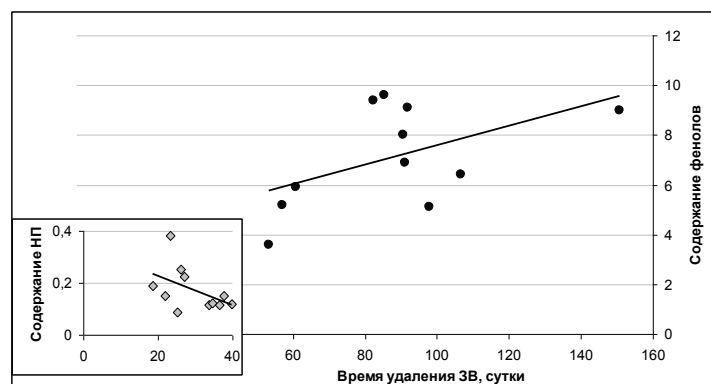
Среднее содержание исследуемых ЗВ (табл.1) было ниже соответствующих критических концентраций, что отвечает условию использования выбранного метода оценки АЕ морских экосистем.

Для определения скорости удаления ЗВ были отобраны 452 значения концентраций фенолов (сумма) и 1759 значений концентраций НП. Удельная скорость удаления каждого из ЗВ (в пересчете на фиксированный объем – 1 дм³) варьировала в широком диапазоне (табл.2). По среднегодовым значениям соответственно скорость элиминации фенолов (сумма) изменялась от 18 до 45 мкг в год, НП – от 1,11 до 5,83 мг в год.

Расчетное время удаления фенолов (сумма) из акватории порта Одесса в среднем за период исследований 1996 – 2006 гг. составляло 88 дней, изменяясь от 53 – 57 (1996, 1998 гг.) до 150 дней (2002 г.). Удаление НП из акватории порта Одесса происходит значительно быстрее (19 – 40 дней), расчетное время элиминации их в среднем за период исследования составило 29 дней. Следует отметить, что меньшая токсичность нефтяных углеводородов в сравнении с фенольным комплексом, при допущении равенства скоростей осаждения в донные отложения или гидродинамического выноса за пределы района, обусловила существенный вклад биологической составляющей в процесс их деградации. Так скорость удаления НП в значительной степени зависит от концентрации их в воде (коэффициент корреляции составил 0,95). Еще одной отличительной особенностью процесса очищения морских вод от НП является обратная зависимость между временем удаления их и уровнем загрязненности вод. То есть, как показано на рис.2, чем меньше нефтяное загрязнение вод, а, следовательно, и скорость деградации НП, тем дольше пребывают они в водах акватории порта. В отношении фенольного загрязнения вод, очевидно, превалируют физико-химические пути удаления токсического вещества из экосистемы в сравнении с гидробиологической деструкцией. Зависимость скорости элиминации от концентрации фенолов (сумма) в воде менее выражена (коэффициент корреляции составил 0,52), и время очищения пропорционально уровню загрязненности вод.

По итогам мониторинговых наблюдений периода с 1996 по 2006 гг. средняя удельная величина АЕ экосистемы порта в отношении фенолов (сумма) составила 1,16 мкг/дм³ в год, в отношении НП 2,6 мг/дм³ в год.

Для акватории порта Одесса в целом АЕ экосистемы в отношении фенолов (сумма) может быть оценена в $0,042 \pm 0,011$ т в год, в отношении НП



Р и с . 2 . Зависимость времени удаления фенолов (мкг/дм^3) и НП (мг/дм^3) из экосистемы и среднегодового содержания их в морских водах акватории порта Одесса.

$93,5 \pm 61,4$ т в год. Вариация количественной оценки АЕ составляет от 0,031 до 0,053 т в год для фенолов и от 32 до 155 т в год для НП. Учитывая, что пределы вариации количественной оценки АЕ достаточно велики, для предотвращения дальнейшей деградации и восстановления генофонда экосистемы порта при нормировании сбросов ЗВ в акваторию в качестве «порогового» значения целесообразно ориентироваться на минимальное значение АЕ (0,031 т/год для фенолов и 32 т/год для НП).

Так как АЕ характеризует поток токсического вещества, то о создании благоприятных условий для развития экосистемы акватории Одесского порта можно было бы говорить лишь при равномерном внесении ЗВ в объемах, не превышающих величину АЕ. При их неоднородном поступлении опасность для экосистемы представляют источники, которые создают нагрузку, превышающую соответствующую удельную величину АЕ исследуемого района. Более того, величина её не может быть сопоставима с залповым аварийным загрязнением морской экосистемы в локальной точке. Однако, к примеру, в 1997 г. только в результате аварии на т/х «*Monte Chiaro*» в морские воды акватории порта Одесса было сброшено 0,987 т НП [11]. В то же время АЕ всей экосистемы порта даже в расчете на одни сутки в среднем составила 0,09 т НП. Столь значительное превышение АЕ, безусловно, не могло не привести к необратимой деградации биотической компоненты экосистемы.

Заключение. Из изложенного выше следует:

- Удаление НП из акватории порта Одесса происходит значительно быстрее, чем фенолов (сумма). Расчетное время элиминации фенолов в среднем за период исследований 1996 – 2006 гг. составляло 88 дней, НП – 29 дней.

- Высокое содержание НП способствует ускорению процесса биохимической деградации токсического вещества и сокращению времени его удаления. Зависимость скорости элиминации от концентрации фенолов (сумма) в воде менее выражена, и время очищения пропорционально уровню загрязненности вод.

- Для акватории порта Одесса в целом АЕ экосистемы в отношении фенолов (сумма) может быть оценена в $0,042 \pm 0,011$ т в год, в отношении НП $93,5 \pm 61,4$ т в год.

- В качестве «порогового» значения целесообразно ориентироваться на минимальное значение АЕ (0,031 т/год для фенолов и 32 т/год для НП).
- Определение АЕ экосистемы позволяет нормировать плановые поступления фенолов (сумма) и НП в акваторию Одесского порта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Совга Е.Е., Мезенцева И.В.* Комплексная характеристика качества морской воды и донных отложений порта Одесса в 1996 – 2006 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.– вып.19.– С.154-160.
2. *Израэль Ю.А., Цыбань А.В.* Антропогенная экология океана. – М.: Гидрометеоздат, 1989. – 528 с.
3. *Израэль Ю.А., Цыбань А.В.* Об ассимиляционной емкости Мирового океана // Докл. АН СССР.– 1983.– т.272, № 3.– С.702-705.
4. *Израэль Ю.А.* Экология и контроль состояния природной среды. Изд. 2-е.– М.: Гидрометеоздат, 1984.– 560 с.
5. *Ежегодные гидрохимические данные качества морских вод (Черное и Азовское моря).* Архив МО УкрНИГМИ.– Севастополь, 1996-2006.
6. *Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши* / Под ред. А.Д. Семенова.– Л.: Гидрометеоздат, 1977.– 542 с.
7. *Руководство по химическому анализу морских вод.* РД 52.243-92 / Под ред. С.Г.Орадовского.– С.-Пб., 1993.– 200 с.
8. *Овен Л.Е., Гордина А.Д., Миронов О.Г.* Ихтиофауна черноморских бухт в условиях антропогенного воздействия.– Киев: Наукова думка, 1993.– С.46-66.
9. *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.
10. *Мезенцева И.В.* Комплексная характеристика качества вод Днепровского лимана в 1996 – 2006 гг. // Пятая Междунар. научно-практ. конф. «Проблемы природопользования, устойчивого развития и техногенной безопасности регионов». Часть II.– Днепропетровск, 2009.– С.68-69.
11. *Ежегодник качества морских вод по гидрохимическим показателям.* Т.1. Черное море / Под ред. А.И.Рябиной, Н.П.Клименко, С.А.Шибасовой. Архив МО УкрНИГМИ.– Севастополь, 1998.

Материал поступил в редакцию 4.11.2010 г.