

АССИМИЛЯЦИОННАЯ ЕМКОСТЬ ЭКОСИСТЕМ МОРСКИХ МЕЛКОВОДНЫХ АКВАТОРИЙ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ КАК МЕТОД ОЦЕНКИ ИХ САМООЧИСТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ

Е.Е. Совга¹⁾, И.В. Мезенцева²⁾, Е.А. Котельянец¹⁾

¹⁾ ФГБУН Морской гидрофизический институт РАН,
РФ, 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2; *science-mhi@mail.ru*

²⁾ ФГБУ Севастопольское отделение ГОИН им. Н.Н. Зубова,
РФ, 299011, г. Севастополь, ул. Советская, 61; *lab_sea_chem@mail.ru*

Резюме. Рассмотрена реализация двух методов количественного определения способности морских экосистем к самоочищению (балансового и синоптического). На основе материалов многолетних мониторинговых исследований осуществлен сравнительный анализ ассимиляционной емкости наиболее экологически неблагополучной части Севастопольской бухты (Южная бухта) с более чистой частью ее акватории, граничащей с открытым морем, по отношению к неорганическим формам азота, как приоритетным загрязняющим веществам в муниципальных и ливневых стоках. По материалам комплексного океанографического исследования содержания нефтепродуктов оценена ассимиляционная емкость, техногенная нагрузка и время ассимиляции нефтепродуктов экосистемой для центральной части акватории Севастопольской бухты, где наблюдалось значительное превышение допустимого уровня нефтяного загрязнения вод. Выполнена оценка экологического благополучия исследуемых районов акватории Севастопольской бухты, как в отношении неорганических форм азота, так и нефтепродуктов.

Ключевые слова. Экосистема, Севастопольская бухта, неорганические формы азота, нефтепродукты, ассимиляционная емкость, экологическое благополучие.

ASSIMILATION CAPACITY OF THE MARINE SHALLOW WATER ECOSYSTEMS WITH VARIOUS ANTHROPOGENIC IMPACTS AS THE ESTIMATION METHOD OF ITS SELF-PURIFICATION ABILITY

E.E. Sovga¹⁾, I.V. Mezentseva²⁾, E.A. Kotelyanets¹⁾

¹⁾ Marine Hydrophysical Institute of Russian Academy of Sciences,
2, Kapitanskaya, Sevastopol, 299011, Russia

²⁾ Sevastopol Division of Federal State Budget Institution "N.N. Zubov State Oceanographic Institute",
61, Soviet str., Sevastopol, 299011, Russia

Abstract. The two methods (balance and synoptic ones) of quantitative determination of the ability of marine ecosystems to self-purification is considered. Bas-

ing on the multi-annual monitor, the assimilation capacity of the most environmentally unfavorable part of the Sevastopol Bay (the South Bay) with the clean water area nearby open sea was comparatively analyzed with regard to inorganic nitrogen as priority pollutant of a municipal and storm sewage. Using a single oceanographic survey of petroleum, the assimilation capacity, technogenic load and the time of petroleum products assimilation by the ecosystem were estimated for the central Sevastopol Bay, where the permissible level of oil pollution in water was significantly exceeded. The ecological welfare of the investigated areas in the Sevastopol Bay has been estimated with respect to as inorganic nitrogen as petroleum products.

Keywords. Ecosystem, Sevastopol Bay, inorganic nitrogen, petroleum products, assimilation capacity, ecological welfare.

Введение

Экологическое состояние морских прибрежных мелководных экосистем в результате активного использования их в хозяйственной деятельности в настоящее время определяется как критическое. Одним из путей его нормализации является оценка способности акваторий к самоочищению через расчет ассимиляционной емкости (АЕ) по отношению к конкретному (приоритетному) загрязняющему веществу (ЗВ). Разработанная Ю.А. Израэлем и А.В. Цыбань концепция АЕ, базирующаяся на результатах разносторонних океанологических исследований, была апробирована на экосистеме Балтийского моря для бенз(а)пирена, полихлорбифенилов и ряда токсичных металлов (Cu, Zn, Pb, Cd, Hg) (Израэль, Цыбань, 1989). АЕ, характеризующая способность морской экосистемы выдерживать добавление некоторого количества ЗВ без развития необратимых биологических последствий, имеет размерность потока вещества – массы вещества в единице объема, отнесенной к единице времени.

Фактическая сложность оценки АЕ имеет два аспекта. Первый относится к трудностям определения причинно-следственной связи между загрязнением и биологическими последствиями. Второй аспект связан с трудностями прямого и обратного перехода от единиц потока (в которых измеряется АЕ) к единицам массы в которых измеряется концентрация загрязняющего вещества (ЗВ) в окружающей среде.

Для преодоления трудностей первого аспекта прибегают к поиску самого уязвимого звена в экосистеме, ориентируясь на которое устанавливают порог уязвимости для всей экосистемы (Монахов и др., 2005). Для преодоления трудностей второго аспекта используют балансовый метод (Израэль, Цыбань, 1989), что не всегда возможно, поскольку наблюдения за загрязнением большинства морей перестали носить регулярный характер, а перерывы между наблюдениями значительно превышают время обновления внутренней среды исследуемых объектов.

Ранее балансовый метод был успешно реализован для оценки АЕ акваторий Одесского и Николаевского портов в отношении нефтепродуктов (НП) и

фенолов (Мезенцева и др., 2010; Мезенцева, 2014) а также для оценки АЕ экосистемы Днепровского лимана с учетом районирования его акватории по интенсивности антропогенных нагрузок (Совга и др., 2011).

Одним из районов повышенной антропогенной нагрузки является Севастопольская бухта, которая представляет собой полузамкнутую акваторию эстуарного типа с затрудненным водообменом. Акватория подвержена постоянному техногенному воздействию как зона активного судоходства и проведения гидротехнических работ, а так же база военно-морского флота РФ со всей характерной промышленно-производственной и хозяйственной инфраструктурой. Впервые реализованная для акваторий Севастопольской бухты с различным уровнем антропогенной нагрузки методика расчета АЕ позволит на научной основе нормировать плановые сбросы ЗВ в зависимости от уровня экологического состояния конкретных районов ее акватории.

Цель настоящей работы – осуществить сравнительный анализ способности к самоочищению и экологического благополучия отдельных районов Севастопольской бухты, в том числе наиболее экологически неблагополучной ее части (Южная бухта), с более чистой частью акватории, граничащей с открытым морем. Основная задача исследования - определение способности морских акваторий к самоочищению по отношению к неорганическим формам азота, как приоритетным ЗВ в канализационных и ливневых стоках, и по отношению к НП, как приоритетному показателю для районов развитого судоходства, на основе использования различных методов количественной оценки (АЕ) исследуемых экосистем.

Методы и материалы

В основу работы легли результаты мониторинговых наблюдений Морского гидрофизического института РАН (МГИ), выполненных в акватории Севастопольской бухты на 36 станциях за период 1998-2012 гг. (схема станций на рис. 1). В работе использована информация по содержанию в морской воде неорганических форм азота (нитраты, нитриты, аммоний) из банка океанографических данных МГИ и результаты анализа содержания НП в воде и донных отложениях Севастопольской бухты при использовании материалов комплексной съемки в октябре 2008 г., выполненные в лаборатории филиала МГУ в г. Севастополе по методике Минздрава России (Определение массовой концентрации..., 2001).

Сравнительный анализ способности к самоочищению в отношении форм минерального азота выполнен для наиболее экологически неблагополучной части Севастопольской бухты (бухта Южная – район S) и более чистой части ее акватории, граничащей с открытым морем (район W). Выбор наиболее загрязненной и наиболее чистой частей акватории Севастопольской бухты основан на результатах районирования бухты Севастопольской бухты по уровню антропогенных нагрузок (Иванов и др., 2006) и по особенностям ее

морфологического строения (Стокозов, 2010). В бухте выделяются зоны слабого, умеренного, сильного и очень сильного загрязнения (рис. 2).

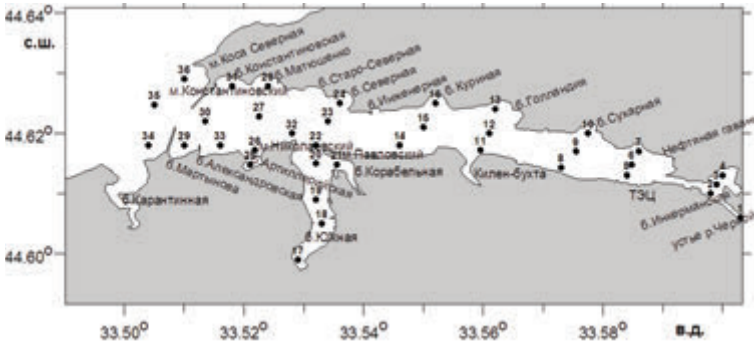


Рисунок 1. Схема станций гидрохимического мониторинга Севастопольской бухты



Рисунок 2. Расположение районов слабого (W – западный район), умеренного (E - восточный район), сильного (C – центральный район) и очень сильного (S – южный район) загрязнения Севастопольской бухты (Иванов и др., 2006)

Оценка АЕ экосистем выделенных районов Севастопольской бухты осуществлялась с использованием балансового метода (Израэль, Цыбань, 1989). При указанном методе наиболее сложным является расчет интегрального времени пребывания ЗВ в исследуемой экосистеме, которое в значительной степени определяется физико-химическими свойствами конкретного ЗВ, гидродинамическими параметрами акватории и комплексом процессов (физических, химических, микробиологических) отвечающих за деструкцию ЗВ или его вынос за пределы исследуемой акватории.

Итоговые формулы для оценки среднего значения \bar{A}_{mi} и среднеквадратичного отклонения $\sqrt{D[A_{mi}]}$ АЕ морской экосистемы (m) по отношению к i -ому ЗВ выглядят так:

$$AE_{mi} = \bar{A}_{mi} \pm \sqrt{D[A_{mi}]}, \tag{1}$$

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

где Q_m – объем воды в расчетной области; $C_{thr i}$ – пороговая концентрация ЗВ; $C_{max i}$ – максимальная в экосистеме концентрация ЗВ; v_i – скорость удале-

ния ЗВ из экосистемы, среднее значение \bar{v}_i и дисперсия $D[v_i]$ которой определяются по оригинальному алгоритму (Sovga, 2015).

Для Южной бухты (район S) и части Севастопольской бухты, примыкающей к открытому морю (район W), оценивалась способность к самоочищению по отношению к неорганическим формам азота (нитриты, нитраты и аммонийный азот), как приоритетным загрязняющим веществам в муниципальных и ливневых канализационных стоках, а также активно участвующих в продукционно-деструкционных процессах морской экосистемы. Для расчета АЕ экосистемы района S использован массив данных по трем формам азота (табл. 1), составивший 714 определений, а для района W – 1117 определений, полученных за временной интервал 1998-2012 гг.

Для диагностики экологического благополучия акватории с учетом АЕ использовали показатель P_i , характеризующий степень отклонения нагрузки для i -го компонента в год от AE_i и рассчитываемый по формуле (Шаврак, 2013):

$$P_i = \frac{(C_i - ПДК_i) \cdot V_i}{M_i} - 1 \tag{3}$$

где C_i – среднее содержание i -го ЗВ, V_i – объем воды в расчетной области, M_i – расчетная допустимая согласно АЕ масса вещества для акватории в год.

Таблица 1. Характеристика базы данных по неорганическим формам азота для отдельных районов Севастопольской бухты

Характеристика, единицы измерения	NO ₂ ⁻		NO ₃ ⁻		NH ₄ ⁺	
	Район S	Район W	Район S	Район W	Район S	Район W
Количество определений	240	373	225	351	249	393
Пороговое значение концентрации, мкМ/л	1.43		221.43		20.71	
Среднее содержание, мкМ/л	0.23	0.12	12.59	2.45	0.95	0.57
Максимальная концентрация, мкМ/л	1.48	0.42	142.79	13.31	8.17	8.18

Согласно Шаврак (2013) состояние системы рассматривалось как благополучное, если $P_i \leq -1$. При этом $C_i \leq ПДК_i$, т.е. уровень загрязнения не превышает допустимый. При относительном благополучии $-1 \leq P_i \leq 0$, исходный уровень загрязнения нивелируется с помощью процессов самоочищения до допустимого уровня. Состояние экосистемы с $P_i > 0$ является экологически неблагоприятным. Нагрузка на экосистему, превышающая ее самоочищающую способность, нарушает нормальное функционирование системы.

Для оценки экологического неблагополучия акватории были рассчитаны величины АЕ по отношению к НП синоптическим методом (Монахова и др., 2011) по данным съемки в октябре 2008 г. Для реализации указанного метода достаточно использовать данные комплексной океанографической съемки, что позволяет условно оценивать АЕ водных экосистем не подпадающих под государственный либо ведомственный мониторинг. Однако, оценка АЕ экосистемы не опирающаяся на ряд многолетних наблюдений не может характеризовать базовую способность акватории к самоочищению, т.к. в основу данного метода закладывается предположение, что обнаруженное по результатам съемки неоднородное распределение загрязняющих веществ в однородной по физическим параметрам водной массе является следствием протекающих в ней процессов самоочищения, точкой отсчета времени для которых является прохождение последнего шторма на акватории (потому данный метод назван «синоптическим»).

Для расчета АЕ экосистемы одного из районов Севастопольской бухты по отношению к НП использовались данные океанографической съемки бухты в октябре 2008 г. Исследования нефтяного загрязнения вод проводились на 16 станциях на поверхностном горизонте практически на всей акватории Севастопольской бухты. Из полученных данных следует, что повышенные концентрации НП наблюдались в центральной части бухты (район С на рис. 2). Максимальное загрязнение вод превышало ПДК ($\text{ПДК}_{\text{НП}} = 0.05 \text{ мг л}^{-1}$) в 12 раз при диапазоне концентраций от 0.01 до 0.59 мг л^{-1} .

Оценка АЕ с использованием синоптического метода (Монахова и др., 2011) осуществляется по формуле:

$$A = [(C_{\text{макс}} - C_{\text{мин}}) / N] \cdot C_{\text{пдк}} / C_{\text{макс}}, \quad (4)$$

где A – ассимиляционная емкость (мг л^{-1} в сутки), C – соответствующие индексу концентрации ЗВ (мг л^{-1}), N – период времени, прошедший после последнего шторма (в нашем случае 2 суток).

Нагрузку (H , мг л^{-1} в сутки) ЗВ на экосистему можно рассчитать по формуле:

$$H = (C_{\text{макс}} - C_{\text{сп}}) / N, \quad (5)$$

При $H \geq A$ делается вывод об экологическом неблагополучии водной массы, при $H \leq A$, наоборот, об экологическом благополучии.

Также можно рассчитать время (t , сутки), необходимое экосистеме для того, чтобы ассимилировать без ущерба для себя, массу ЗВ до уровня ПДК. Соответственно данный расчет производится только при условии, что $C_{\text{макс}} \geq \text{ПДК}$. Для этого используется формула:

$$t = (C_{\text{макс}} - C_{\text{пдк}}) / A, \quad (6)$$

Результаты и обсуждение

Южный район Севастопольской бухты, к которому относятся бухта Южная и бухта Килен, характеризуется затрудненным водообменом с основной акваторией. В виду ограниченного водообмена с основной акваторией и как традиционное место расположения многочисленных корабельных причалов, по объему промышленных, бытовых и ливневых стоков Южная бухта занимает первое место среди других севастопольских бухт. Для ее кутовой части характерны распресненные области, при этом интенсивность распреснения вод непостоянна в течение года. Это объясняется тем, что юго-западное побережье Севастопольской бухты примыкает к развитой сети разломно-трещинных зон в бассейне р. Черной, а также балки Сардинаки, которая способна дренировать подземный сток с больших площадей при значительных запасах подземных вод. Значительная их доля в процессе субмаринной разгрузки поступает в Южную бухту, что и регистрируется по пониженной солености и повышенному содержанию кремнекислоты (Геворгиз и др., 2002) .

Поверхностные воды Южной бухты (особенно в кутовой части) характеризуются максимальными концентрациями соединений азота (табл. 1). В соответствии с информацией, приведенной в работе Иванова и др. (2015), в акваторию Южной бухты сбрасываются неочищенные стоки ливневых канализаций и неочищенные сточные воды, имеются стоянки судов. Вместе с тем следует отметить, что средние за период наблюдений значения содержания всех форм неорганического азота не превышали соответствующие ПДК, величины которых были использованы в качестве порогового значения.

Сравнительные величины АЕ экосистем акваторий Южной бухты (район S) и более чистого района W для неорганических форм азота представленные на рис. 3. При расчете АЕ исследуемых в работе акваторий бухты использовались данные морфометрических параметров (Стокосов, 2010).

Как показано на рис. 3, акватория Южной бухты (район S) отличается повышенными значениями максимальных концентраций по сравнению с более чистой акваторией (район W). В отношении нитратов наблюдается превышение более чем на порядок, для нитритов – более чем в три раза, и только для аммония содержание его в исследуемых акваториях находится в одних и тех же пределах.

Максимальные значения удельной скорости удаления в период исследования для Южной бухты достигали 0.03 мкМ л^{-1} в сутки для нитритов, 2.10 мкМ л^{-1} в сутки для нитратов и 0.32 мкМ л^{-1} в сутки для аммонийного азота, превышая средние по соответствующим показателям значения скорости удаления в 3.5-4 раза. Соответственно максимальные значения удельной скорости удаления для акватории района W достигали 0.066 мкМ л^{-1} в сутки для нитритов, 1.28 мкМ л^{-1} в сутки для нитратов и 0.94 мкМ л^{-1} в сутки для аммония. Для более чистой акватории превышения средних скоростей удаления составили от 4.5 до 5.5 раз. По-видимому, это связано с преобладанием биологических процессов в более чистых акваториях (рециркуляция неорга-

нических форм азота) над процессами антропогенными, однако ответ на этот вопрос требует дополнительных исследований.

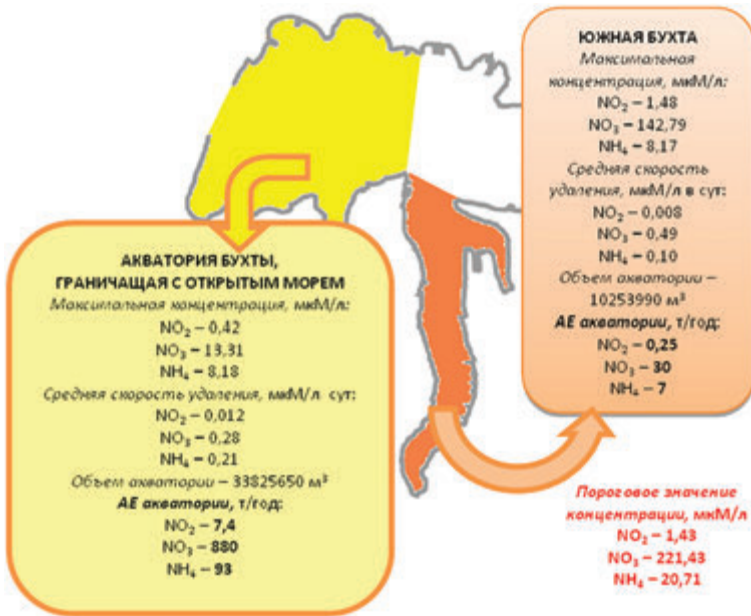


Рисунок 3. Балансовый метод расчета АЕ экосистем отдельных районов Севастопольской бухты с различным уровнем антропогенной нагрузки по отношению к неорганическим формам азота

Согласно полученным оценкам способности экосистемы Южной бухты к самоочищению количество поступающего за год в исследуемую морскую акваторию неорганического азота не должно превышать 0.25 тонн для нитритов, 30 тонн для нитратов и 7 тонн для аммонийного азота. Следует обратить внимание, что показанное количественное ограничение сбросов неорганического азота в акваторию допустимо только при равномерном, плановом поступлении загрязнения. В случаях аварийных залповых сбросов при оценке способности к самоочищению данной экосистемы следует ориентироваться на удельную величину АЕ, составляющую для нитритов 0.0048, для нитратов 0.58 и для аммонийного азота 0.13 мкМ л⁻¹ в сутки. Во сколько раз в настоящее время превышен этот уровень в Южной бухте, либо находится ниже его, оценить довольно сложно, поскольку нет точных данных о суммарных объемах неорганического азота, поступающего в указанную акваторию с ливневыми и муниципальными стоками. Для района W величина АЕ выше и предельная нагрузка может составлять соответственно для нитритов 7.4 тонны в год, для нитратов 880 тонн в год и 93 тонны в год для аммонийного азота.

Полученные расчетным путем удельные (в пересчете на 1 л) величины АЕ для каждой из форм неорганического азота отличаются от соответствующих ПДК, что позволяет более точно оценить предел способности конкретной экосистемы к самоочищению.

Нормирование сбросов с учетом приведенных количественных ограничений, в которых учтены все процессы утилизации, будет способствовать улучшению экологической ситуации как в акватории Южной бухты, так и в акватории, примыкающей к открытому морю, а, следовательно, уменьшит нагрузку на акваторию Севастопольской бухты в целом.

Расчет показателя благополучия по усредненным данным за 1998-2012 гг. показал, что по всем формам неорганического азота экосистемы выделенных районов попадают в зону устойчивого благополучия (рис. 4). Нагрузка на рассматриваемые акватории не превышает ее самоочистительную способность и, соответственно, не нарушает нормальное функционирование системы.

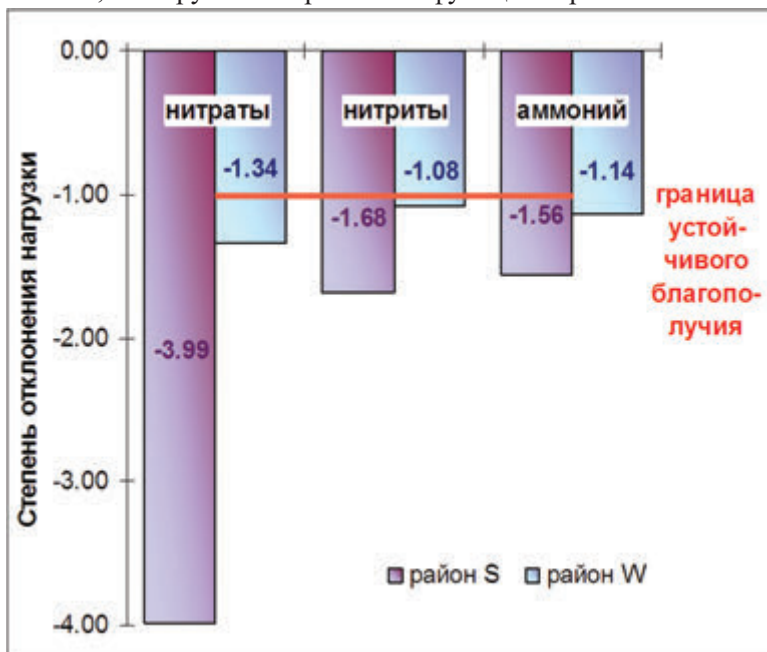


Рисунок 4. Показатель экологического благополучия отдельных районов Севастопольской бухты с различным уровнем антропогенной нагрузки по отношению к неорганическим формам азота

Оценка АЕ экосистемы центральной части (район С) Севастопольской бухты по отношению к НП выполнена синоптическим методом. Результаты показали следующие величины:

АЕ района С по отношению к НП составила:

$$A = [(0.59 - 0.01) / 2] \cdot 0.05 / 0.59 = 0.0243 \text{ (мг л}^{-1} \text{ в сутки) или } 8.869 \text{ (мг л}^{-1} \text{ в год).}$$

С использованием данных работы Стокозова Н.А. (2010) для объема поверхностного слоя вод центральной части Севастопольской бухты ($V = 872620 \text{ м}^3$) АЕ слоя 0-0.5 м составила 7.739 т в год.

Нагрузка (H) на исследуемую акваторию составила:

$$H = (0.59 - 0.142) / 2 = 0.224 \text{ (мг л}^{-1} \text{ в сутки)}$$

Поскольку нагрузка (H) превышает АЕ (A) можно сделать вывод об экологическом неблагополучии исследуемой части акватории Севастопольской бухты в отношении НП. Можно также рассчитать время (t , сутки), необходимое экосистеме для ассимиляции без ущерба ее функционирования массу ЗВ до уровня ПДК:

$$t = (0.59 - 0.05) / 0.0243 = 22.2 \text{ (суток)}$$

Таким образом, расчеты, а также данные работы Иванова и др. (2016) показали, чем в большей степени концентрация НП превышает ПДК, тем больше времени потребуется экосистеме для ассимиляции загрязняющего вещества.

Для района С по отношению к НП показатель благополучия (Π) по Шаврак (2013) составил -0.99. Несмотря на то, что среднее содержание НП в районе С превышает соответствующее ПДК, отрицательный знак показателя благополучия позволяет предположить наличие резерва в способности экосистемы к самоочищению. Вместе с тем, поскольку значение показателя находится в диапазоне от 0 до -1, благополучие экосистемы является относительным.

Выводы

Оценены возможности применения разработанного ранее балансового метода расчета АЕ морской экосистемы для выработки рекомендаций по нормированию сбросов ЗВ. Впервые по отношению к неорганическим формам азота, как приоритетным загрязняющим веществам в ливневых и муниципальных стоках, получены сравнительные оценки АЕ двух районов Севастопольской бухты: Южной бухты, как наиболее загрязненной ее части, и более чистой акватории бухты, примыкающей к открытому морю.

Показано, что самоочистительная способность экосистемы Южной бухты зависит в основном от уровня антропогенных нагрузок, в то время как для экосистемы акватории Севастопольской бухты, примыкающей к открытому морю, эта способность определяется как наличием антропогенных нагрузок, так и влиянием биологических продукционно-деструкционных процессов, связанных с рециркуляцией неорганических форм азота.

Показано, что при равномерных плановых сбросах количество поступающего за год в акваторию Южной бухты неорганического азота не должно превышать для нитритов 0.25 тонн, для нитратов 30 тонн и для аммонийного азота 7 тонн. Для акватории, примыкающей к открытому морю очистительная способность акватории (АЕ) имеет более высокие значения и составляет в год для нитритов 7.4 тонны, для нитратов 880 тонн и для аммонийного азота 93 тонны.

По данным океанографической съемки Севастопольской бухты в октябре 2008 года синоптическим методом выполнена оценка АЕ по отношению к нефтепродуктам для центральной части акватории Севастопольской бухты. АЕ для слоя 0-0.5 м указанного района составила 7.739 тонн в год. Рассчитаны экологическая нагрузка и время ассимиляции НП экосистемой до уровня ПДК, которое при заданных параметрах составило 22.2 суток.

Расчет показателя благополучия экосистемы по усредненным данным за 1998-2012 гг. показал, что по всем формам неорганического азота экосистемы выделенных районов попадают в зону устойчивого благополучия. Нагрузка на рассматриваемые акватории не превышает ее самоочистительную способность и, соответственно, не нарушает нормальное функционирование системы.

В отношении НП показатель благополучия экосистемы составил величину -0.99. Несмотря на то, что средний уровень нефтяного загрязнения вод центральной части Севастопольской бухты в период исследования (октябрь 2008 г.) превышал соответствующее ПДК, отрицательный знак показателя благополучия позволяет предположить наличие резерва в способности экосистемы к самоочищению. Вместе с тем, поскольку значение показателя находится в диапазоне от 0 до -1, благополучие экосистемы является относительным.

На примере использования двух методов расчета АЕ морских экосистем (балансового и синоптического) показано, что синоптический метод, реализуемый для акваторий, не подпадающих под действие мониторинговых исследований, позволяет условно оценить экологическое состояние экосистемы только на период выполнения съемки. Балансовый метод оценки АЕ морских экосистем, учитывающий более длительное их функционирование, позволяет в случае необходимости конкретизировать величину АЕ с учетом межгодового и/или сезонного изменения способности к самоочищению.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам № 0827-2014-0010 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем Черного и Азовского морей на основе современных методов контроля состояния морской среды и гридтехнологий» (шифр «Фундаментальная океанология») и №. 4.3.14 «Оценка текущего состояния и тенденций изменения гидрохимического режима и уровня загрязнения вод морей Российской Федерации».

Список литературы

Геворгиз Н.С., Кондратьев С.И., Ляшенко С.В., Овсяный Е.И., Романов А.С. 2002. Результаты мониторинга гидрохимической структуры Севастопольской бухты в теплый период года. – Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа, вып. 6. – Севастополь, ЭКОСИ-Гидрофизика, с. 131-148.

Иванов В.А., Мезенцева И.В., Совга Е.Е., Слепчук К.А., Хмара Т.В. 2015. Оценки самоочищающей способности экосистемы Севастопольской бухты по отношению к неорганическим формам азота. – Процессы в геосредах, № 2, с. 55-65.

Иванов В.А., Катунина Е.В., Совга Е.Е. 2016. Оценки антропогенных воздействий на экосистему акватории Гераклеяского полуострова в районе расположения глубинных стоков. – Процессы в геосредах, № 5(1), с. 62-68.

Иванов В.А., Овсяный Е.И., Репетин Л.Н., Романов А.С., Игнатъева О.Г. 2006. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов.– Препринт. Севастополь, МГИ НАН Украины, 90 с.

Израэль Ю.А., Цыбань А.В. 1989. Антропогенная экология океана. – М., Гидрометеоздат, 528 с.

Мезенцева И.В., Совга Е.Е., Любарцева С.П. 2010. Оценка способности экосистемы акватории Одесского порта к самоочищению в отношении нефтепродуктов и фенолов. – Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон и комплексное использование ресурсов шельфа, вып. 22. – Севастополь, ЭКОСИ-Гидрофизика, с. 303-309.

Мезенцева И.В. 2014. Комплексная характеристика качества вод акватории Николаевского морского торгового порта в 2008-2012 гг. – Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа, вып. 28.– Севастополь, ЭКОСИ-Гидрофизика, с. 220-224.

Монахов С.К., Курапов А.А., Попова Н.В. 2005. Оценка ассимиляционной емкости акватории и экологическое нормирование сброса загрязняющих веществ в море. – Вестник ДНЦ РАН, т. 20, с. 58-65.

Монахова Г.А., Абдурахманов Г.М., Ахмедова Г.А. и др. 2011. Оценка ассимиляционной емкости акватории лицензионного участка «Северо-Каспийская площадь» в отношении углеводородов с использованием нового «синоптического» метода. – Юг России: экология, развитие, № 4, с. 207-212.

Определение массовой концентрации нефтепродуктов в воде (методические указания) мук 4.1.1013-01. 2001. – Москва, Минздрав России. – Электронный ресурс. URL: http://www.gosthelp.ru/text/MUK41101301_Opredeleniemas.html.

Совга Е.Е., Мезенцева И.В., Любарцева С.П. 2011. Ассимиляционная емкость экосистемы Днепровского лимана по отношению к нефтепродуктам как метод нормирования их сбросов в акваторию лимана. – Доклады НАН Украины, № 10, с. 105-109.

Стокосов Н.А. 2010. Морфометрические характеристики Севастопольской и Балаклавской бухт. – Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа, вып. 23. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, с. 198-208.

Шаврак Е.И. 2013. Ассимиляционная емкость цимлянского водохранилища и устойчивость аккумуляционных процессов. – Вестник ВГУ, Серия география, геоэкология, № 2, с. 93-98.

Sovga E., Mezentseva I., Verzhenskaia L. 2015. Assimilation Capacity of the Ecosystem of Sevastopol Bay. – Proceedings of the Twelfth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment MEDCOAST' 2015, 6-10 October 2015. – Varna, Bulgaria, vol. 1, pp. 317-326.

References

Gevorgiz N.S., Kondrat'ev S.I., Liashenko C.V., Ovsianyi E.I., Romanov A.S. 2002. Rezultaty monitoringa gidrokhimicheskoi struktury Sevastopol'skoi bukhty v teplyi period goda [Results of monitoring the hydrochemical structure of the Sevastopol Bay in the warm period of the year]. *Ekologicheskaja bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa* [Ecological safety of coastal and shelf zones and

integrated use of shelf resources]. Sevastopol, EKOSI-Gidrofizika Publ., no. 6, pp. 131-148.

Ivanov V.A., Mezentseva I.V., Sovga E.E., Slepchuk K.A., Khmara T.V. 2015. Otsenki samoochishchaishechnoi sposobnosti ekosistemy Sevastopol'skoi bukhty po otnosheniiu k neorganicheskim formam azota [Estimates of the self-cleaning ability of the ecosystem of the Sevastopol bay in relation to inorganic forms of nitrogen]. *Protsessy v geosredakh – Processes in geo-environments*, no. 2, pp. 55-65.

Ivanov V.A., Katunina E.V., Sovga E.E. 2016. Otsenki antropogennykh vozdeistvii na ekosistemu akvatorii Gerakleiskogo poluostrova v raione raspolozheniia glubinnykh stokov [Estimations of anthropogenic impacts on the ecosystem of the water area of the Heraklion peninsula in the area of deep water flows]. *Protsessy v geosredakh – Processes in geo-environments*, no. 5 (1), pp. 62-68.

Ivanov V.A., Ovsyani E.I., Repetin L.N., Romanov A.S., Ignat'eva O.G. 2006. *Gidrologo-gidrokhimicheskii rezhim Sevastopol'skoi bukhty i ego izmeneniia pod vozdeistviem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov* [Hydrological-hydrochemical regime of the Sevastopol bay and its changes under the influence of climatic and anthropogenic factors]. Sevastopol, MGI NAS of Ukraine Publ., 90 p.

Izrael' Iu.A., Tsyban' A.V. 1989. *Antropogennaia ekologiya okeana* [Anthropogenic ecology of the ocean]. Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 528 p.

Mezentseva I.V., Sovga E.E., Liubartseva S.P. 2010. Otsenka sposobnosti ekosistemy akvatorii Odesskogo porta k samoochishcheniiu v otnoshenii nefteproduktov i fenolov [Assessment of the ability of the ecosystem of the water area of the port of Odessa to self-purification in relation to oil products and phenols]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnykh i shel'fovyykh zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa* [Environmental safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources]. Sevastopol, ECOSY-Hydrophysics Publ., no. 22, pp. 303-309.

Mezentseva I.V. 2014. Kompleksnaia kharakteristika kachestva vod akvatorii Nikolaevskogo morskogo tovgovogo porta v 2008-2012 gg. [The complex characteristic of water quality in the water area of the Nikolaev Sea Commercial Port in 2008-2012]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa* [Ecological safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources]. Sevastopol, ECOSY-Hydrophysics Publ., no. 28, pp. 220-224.

Monakhov S.K., Kurapov A.A., Popova N.V. 2005. Otsenka assimilatsionnoi emkosti akvatorii i ekologicheskoe normirovanie sbrosa zagriazniaiushchikh veshchestv v more [Evaluation of the assimilation capacity of the water area and the ecological standardization of the discharge of pollutants into the sea]. *Vestnik DNTs RAN – Bulletin of the Scientific Center of the Russian Academy of Science*, vol. 20, pp. 58-65.

Monakhova G.A., Abdurakhmanov G.M., Akhmedova G.A. i dr. 2011. Otsenka assimilatsionnoi emkosti akvatorii litsenzionnogo uchastka «Severo-Kaspiiskaia ploshchad'» v otnoshenii uglevodorodov s ispol'zovaniem novogo «sinopticheskogo» metoda [Assessment of the assimilation capacity of the water area of the license area "North Caspian Area" for hydrocarbons using a new "synoptic" method]. *Iug Rossii: ekologiya, razvitiye – South of Russia: ecology, development*, no. 4, pp. 207-212.

Opreделение массовой концентрации нефтепродуктов в воде (методические указания) мук 4.1.1013-01. [Determination of the mass concentration of petroleum products in water (methodical instructions) for flour 4.1.1013-01]. 2001. Moscow, Ministry of Health of Russia. Available at: <http://www.gosthelp.ru/text/MUK41101301Opredefleniemas.html>.

Sovga E.E., Mezentseva I.V., Liubartseva S.P. 2011. Assimiliatsionnaia emkost' ekosistemy Dneprovskogo limana po otnosheniiu k nefteproduktam kak metod normirovaniia ikh sbrosov v akvatoriiu limana [Assimilation capacity of the ecosystem of the Dnieper estuary in relation to oil products as a method of rationing their discharges into the estuary]. *Doklady NAN Ukrainy – Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, no. 10, p. 105-109.

Stokozov N.A. 2010. Morfometricheskie kharakteristiki Sevastopol'skoi i Balaklavskoi bukht [Morphometric characteristics of the Sevastopol and Balaklava bays]. *Ekologicheskaiia bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa* [Ecological safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources]. Sevastopol, ECOSY-Hydrophysics, no. 23, pp. 198-208.

Shavrak E.I. 2013. Assimiliatsionnaia emkost' tsimlianskogo vodokhranilishcha i ustoichivost' akumulatsionnykh protsessov [Assimilation capacity of the Tsimlyansk reservoir and stability of accumulation processes]. *Vestnik VGU, Seriiia geografiia, geoekologiiia – Bulletin of the VSU, Geography, Geoecology*, no. 2, pp. 93-98.

Sovga E., Mezentseva I., Verzhavskaia L. 2015. Assimilation Capacity of the Ecosystem of Sevastopol Bay. – Proceedings of the Twelfth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment MEDCOAST' 2015, 6-10 October 2015. – Varna, Bulgaria, vol. 1, pp. 317-326.

Статья поступила в редакцию: 07.04.2017

После переработки: 22.05.2017