

**Природно-климатические и антропогенные факторы,  
определяющие самоочистительную способность  
морских мелководных экосистем  
в отношении восстановленных форм азота**

**Е. Е. Совга<sup>1\*</sup>, И. В. Мезенцева<sup>2</sup>, Т. В. Хмара<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*

<sup>2</sup> *Севастопольское отделение Государственного океанографического  
института им. Н. Н. Зубова, Севастополь, Россия*

*\*e-mail: science-mhi@mail.ru*

Поступила 6.07.2021 г.; принята к публикации 12.08.2021 г.; опубликована 25.09.2021 г.

Рассмотрены природно-климатические и антропогенные факторы, определяющие различия в самоочистительной способности экосистем акваторий Севастопольской бухты (западной, центральной, восточной ее частей и Южной бухты) в отношении восстановленных форм азота (аммония и нитритов) путем расчета ассимиляционной емкости. Учтены интенсивность источников поступления исследуемых форм азота, скорости выведения из экосистемы, динамическая ситуация в исследуемых акваториях и в бухте в целом, а также расположение рекреационных объектов. Впервые оценены факторы, определяющие дополнительное поступление восстановленных форм азота, связанное с процессами гипоксии при летней стратификации вод на локальных заглубленных участках дна в верхнем слое донных отложений с учетом их гранулометрического состава. Кроме того, приняты во внимание накопление органического вещества и его деструкция за счет окисленных форм азота и образования восстановленных его форм. С помощью гидродинамической модели рассчитаны течения в центральной и южной частях Севастопольской бухты. Результаты расчетов соответствуют системе течений в указанных акваториях бухты по экспериментальным данным при различных ветровых условиях в регионе. Согласно результатам расчетов, существует вероятность, что при определенных гидрометеоситуациях из Южной бухты в воды центральной части Севастопольской бухты будет поступать дополнительное количество аммония и нитритов.

**Ключевые слова:** Севастопольская бухта, Южная бухта, система течений, самоочистительная способность, аммоний, нитриты, донные отложения.

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2020-0004 «Прибрежные исследования».

© Совга Е. Е., Мезенцева И. В., Хмара Т. В., 2021



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Для цитирования: Совга Е. Е., Мезентцева И. В., Хмара Т. В. Природно-климатические и антропогенные факторы, определяющие самоочистительную способность морских мелководных экосистем в отношении восстановленных форм азота // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2021. № 3. С. 23–36. doi:10.22449/2413-5577-2021-3-23-36

## Natural-climatic and anthropogenic factors determining the self-purification capacity of shallow-water marine ecosystems in relation to reduced nitrogen forms

E. E. Sovga<sup>1\*</sup>, I. V. Mezentseva<sup>2</sup>, T. V. Khmara<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

<sup>2</sup> Sevastopol Branch of the N. N. Zubov State Oceanographic Institute, Sevastopol, Russia

\*e-mail: science-mhi@mail.ru

Submitted 6.07.2021; revised 12.08.2021; published 25.09.2021

The paper considers natural-climatic and anthropogenic factors that determine differences in the self-purification capacity of the Sevastopol Bay ecosystems (its western, central, eastern parts and the Yuzhnaya Bay) in relation to the reduced nitrogen forms (ammonium and nitrites) by calculating the assimilation capacity. The authors took into account the intensity of the input sources of the studied forms of nitrogen, the rate of excretion from the ecosystem, the dynamic situation in the studied water areas and in the entire bay as well as the location of recreational facilities. For the first time, the factors were assessed that provide additional input of reduced forms of nitrogen associated with hypoxia during summer water stratification in local deepened areas in the upper bottom sediment layer, taking into account their particle size distribution. Further, the authors considered accumulation of organic matter and its destruction due to oxidized nitrogen forms and formation of reduced forms thereof. The currents in the central and southern parts of the Sevastopol Bay were calculated using a hydrodynamic model. The calculation results correspond to the current system in the mentioned water areas of the bay according to *in situ* data at different wind situations in the region. According to the calculations, it is possible that under certain hydrometeorological situations additional amount of ammonium and nitrites would flow from the Yuzhnaya Bay into the central part of the Sevastopol Bay.

**Keywords:** Sevastopol Bay, Yuzhnaya Bay, current system, self-purification ability, ammonium, inorganic nitrogen, bottom sediments

**Acknowledgements:** the research is performed under state task on topic № 0827-2020-0004 “Coastal studies”.

**For citation:** Sovga, E.E., Mezentseva, I.V. and Khmara, T.V., 2021. Natural-climatic and anthropogenic factors determining the self-purification capacity of shallow-water marine ecosystems in relation to reduced nitrogen forms. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (3), pp. 23–36. doi:10.22449/2413-5577-2021-3-23-36 (in Russian).

### Введение

Экологическое благополучие экосистем морских мелководных акваторий, независимо от проводимых природоохранных мероприятий, в первую очередь определяется их самоочистительной способностью, интенсивность которой зависит от целого ряда взаимно обусловленных факторов. Природа

этих факторов определяется как естественными процессами динамического переноса, так и антропогенными, связанными с объемами загрязняющих веществ (ЗВ), поступающих в акваторию не только из береговых источников, но и из донных отложений. Значительную роль играет также перераспределение и трансформация ЗВ биологической компонентой водоема, включая процессы самоочищения и накопления в гидробионтах. Оценка способности мелководных акваторий к самоочищению может быть выполнена через расчет их ассимиляционной емкости (АЕ) по отношению к преобладающему ЗВ или их комплексу.

Севастопольская бухта относится к мелководным акваториям, которые связаны с открытым морем узкими проливами и характеризуются сложным географическим и морфометрическим строением, наличием источников пресных вод и зон их смешения с морскими водами. Самоочистительная способность экосистем таких акваторий значительно снижена и зависит от многих факторов как природного, так и антропогенного происхождения, а гидролого-гидрохимические параметры их вод характеризуются значительной пространственно-временной изменчивостью.

Для б. Севастопольской эта изменчивость определяется интенсивностью водообмена с сопредельной акваторией Черного моря, особенностями циркуляции вод внутри бухты, режимом р. Черной и поступлением сточных вод [1]. В зависимости от локализации источников загрязнения, морфометрии и гидрометеорологических условий, в б. Севастопольской образуются как относительно «чистые» зоны, так и зоны устойчивого высокого загрязнения (например, б. Южная). Способность к самоочищению экосистем восточной, центральной, западной и южной (б. Южная) частей б. Севастопольской (рис. 1) разная и зависит от уровня антропогенной нагрузки, локализации по побережью источников загрязнения, гидродинамического режима как акватории в целом, так и отдельных ее частей. При оценке самоочистительной способности мелководных экосистем в отношении биогенных элементов, кроме перечисленных выше факторов, необходимо учитывать и сезонность биологических процессов (теплый и холодный периоды), которые



Р и с . 1 . Расположение районов исследования Севастопольской бухты

F i g . 1 . Location of the Sevastopol Bay's areas under study

определяют включение биогенных элементов в состав первичной продукции водоема, депонирование в донные отложения и последующую их рециркуляцию в результате деструкции органического вещества. В первую очередь это относится к неорганическим формам азота (нитриты, нитраты и аммоний) как преобладающим ЗВ в муниципальных и ливневых стоках.

Выполненный в работе [2] анализ содержания и распределения всех неорганических форм азота показал, что преобладающей формой азота как ЗВ для всех частей б. Севастопольской определены нитраты, доля которых в общем содержании минерального азота составляет от 67 % (центральная часть бухты) до 91 % (б. Южная). Согласно данным [2], в период наблюдений (1998–2012 гг.) по суммарному содержанию неорганического азота воды центрального района в среднем были в полтора раза чище сопредельных акваторий и в пять раз чище крайне загрязненной акватории б. Южной. Выполненный в работе [2] расчет АЕ экосистем западной, центральной, восточной частей б. Севастопольской и б. Южной показал различия в их самоочистительной способности в отношении нитратов как преобладающей формы неорганического азота. Из-за разного объема выделенных акваторий б. Севастопольской их самоочистительная способность оценивалась по удельной ассимиляционной емкости ( $AE_{уд}$ ), которая рассчитывается на единицу объема (1 л).

Цель настоящей работы – оценить факторы, определяющие возможные причины различий в самоочистительной способности экосистем западной, центральной, восточной и южной частей б. Севастопольской в отношении нитритов и аммония на основе сравнения с полученными ранее значениями АЕ в отношении нитратов.

#### **Материалы и методы исследований**

Для определения самоочистительной способности отдельных акваторий б. Севастопольской использован алгоритм оценки АЕ, доработанный для морских акваторий в соответствии с процедурой многолетнего ведомственного гидрохимического мониторинга. Расчет АЕ осуществлялся по методике [3] с использованием балансового метода [4].

Для расчета АЕ экосистем различных частей б. Севастопольской использовался массив данных 1998–2012 гг., представленный в работе [2] и составивший 4144 элемент-определения. Средние за период наблюдений значения содержания всех форм неорганического азота не превышали соответствующую ПДК (таблица), что позволило принимать ее в качестве порогового значения для оценки АЕ морских экосистем.

Для оценки влияния речного стока на экологическое состояние кутовой части акватории б. Севастопольской и устьевой части р. Черной анализировался массив экспедиционных данных о гидрологическом и гидрохимическом режимах указанной акватории за 2007–2017 гг. из Банка океанографических данных МГИ.

Динамика вод в центральной и южной частях б. Севастопольской рассчитывалась с использованием гидротермодинамической численной трехмерной нестационарной модели (*Model for Estuarine and Coastal Circulation Assessment*) [5] при разных ветровых ситуациях в акватории.

Параметры, характеризующие экологическое состояние отдельных районов и всей Севастопольской бухты

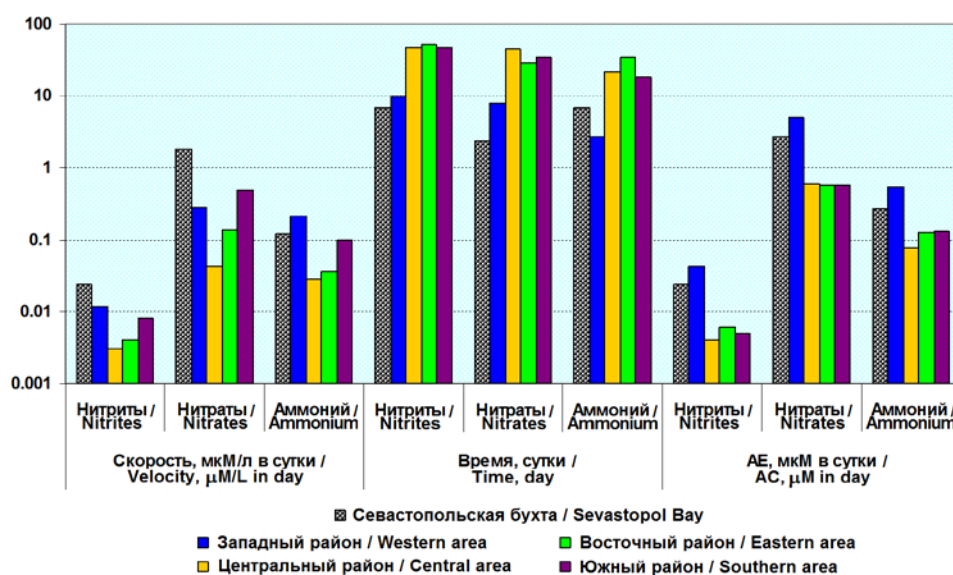
Parameters characterizing the ecological state of separate regions and the entire Sevastopol Bay

Район / Area	Концентрация форм неорганического азота, мкМ/л / Concentration of inorganic nitrogen forms, µM/L					
	Нитриты (ПДК 1.70) / Nitrites (TLV 1.70)		Нитраты (ПДК 645) / Nitrates (TLV 645)		Аммоний (ПДК 207) / Ammonium (TLV 207)	
	Среднее / Mean	Максимум / Max	Среднее / Mean	Максимум / Max	Среднее / Mean	Максимум / Max
Севастопольская бухта / Sevastopol Bay	0.17	1.48	4.07	143	0.75	8.31
Западный район / Western area	0.12	0.42	2.46	13.3	0.57	8.18
Центральный район / Central area	0.12	0.91	1.65	13.9	0.68	8.31
Восточный район / Eastern area	0.20	0.96	3.25	43.0	1.05	5.12
Южный район / Southern area	0.23	1.48	12.60	143.0	0.95	8.17

### Результаты и обсуждение

Проведен анализ полученных ранее значений самоочистительной способности в отношении нитритов, нитратов и аммония путем расчета АЕ экосистем б. Южной и западной, центральной и восточной частей б. Севастопольской. По снижению самоочистительной способности в отношении нитратов (рис. 2) исследуемые акватории можно расположить в ряд: западная часть ( $AE_{уд} = 5.104$  мкМ/сут); центральная часть ( $AE_{уд} = 0.593$  мкМ/сут); восточная часть ( $AE_{уд} = 0.586$  мкМ/сут); южная часть ( $AE_{уд} = 0.580$  мкМ/сут). И если по скорости удаления нитратов (рис. 2) западная часть б. Севастопольской уступает южной части (0.278 и 0.490 мкМ/л/сут соответственно), то требуемое для самоочищения акватории время в примыкающем к открытой части моря западном районе (8 сут) значительно меньше, чем для остальных выделенных акваторий (28–44 сут). Таким образом, в отношении нитратов высокой самоочистительной способностью отличается только западная часть Севастопольской бухты.

В отношении аммония и нитритов этот ряд немного меняется: западная часть так и остается самой чистой ( $AE_{уд}$  равна 0.540 и 0.043 мкМ/сут соответственно), а далее следуют: южная часть (0.132 и 0.005 мкМ/сут соответственно); восточная часть (0.126 и 0.006 мкМ/сут соответственно); центральная часть (0.077 и 0.004 мкМ/сут соответственно). Как показано на рис. 2, скорость удаления нитритов и аммония максимальна для западной части (0.012 и 0.209 мкМ/(л·сут) соответственно).



Р и с . 2 . Графическое представление параметров, характеризующих экологическое состояние отдельных акваторий Севастопольской бухты по отношению к неорганическим формам азота

Fig . 2 . Graphical presentation of parameters characterizing the ecological state of separate water areas of the Sevastopol Bay in relation to inorganic forms of nitrogen

Для остальных выделенных акваторий она варьирует в диапазонах 0.003–0.008 мкМ/(л·сут) для нитритов и 0.028–0.100 мкМ/(л·сут) для аммония. Таким образом, по содержанию нитритов и аммония наиболее проблемной оказывается центральная часть бухты, для которой отмечена самая низкая скорость их удаления (0.003 и 0.028 мкМ/(л·сут) соответственно) и самая низкая АЕ<sub>уд</sub> (0.004 и 0.077 мкМ/(л·сут) соответственно).

Приведенная на рис. 2 информация позволяет сделать некоторые предположения о факторах, определяющих самоочистительную способность конкретных акваторий в отношении различных неорганических форм азота.

Высокая вариативность способности к самоочищению зависит

- от интенсивности поступления и концентрации указанных неорганических форм азота в водах акватории;
- времени их элиминации из экосистемы;
- гидродинамических процессов, способствующих выведению неорганических форм азота за пределы экосистемы;
- возникновения условий вторичного поступления форм азота из донных отложений в процессе деструкции органических веществ в придонном слое вод при возникающей гипоксии.

Так, повышение содержания аммония и нитритов в мелководных акваториях связывают с увеличением поставок органического вещества и сезонной стратификацией вод, сопровождающейся образованием гипоксии и окислением органического вещества за счет окисленных форм азота (нитраты и нитриты) с образованием дополнительного количества восстановленных форм азота (аммоний).

Такие явления довольно подробно изучались в восточной кутовой части бухты по материалам экспедиционных исследований МГИ [6]. Из работы [6] следует, что образующийся в мае – июне термоклин и слой менее соленых вод на горизонте 10–14 м ослабляют вертикальный обмен. Это приводит к потреблению растворенного кислорода в процессе минерализации взвешенного органического вещества за счет окисленных форм азота. В экспедициях МГИ за последние 11 лет зафиксировано пять случаев возникновения гипоксических условий в летнее время в восточной кутовой части бухты, при этом в сентябре 2009 и 2014 гг. процесс потребления растворенного кислорода завершился образованием сероводорода [6]. Это явление получило подтверждение и в 2015 г. [7], когда было показано влияние конкретного зимне-весеннего паводка (февраль 2015 г.): в восточной части бухты отмечено увеличение содержания нитратов. При этом в период межени (сентябрь 2015 г.) там же обнаружено уменьшение содержания окисленных форм азота (нитратов) и увеличение содержания аммония. Однако обнаруженные аномалии ограничены как локальными участками кутовой части бухты, так и незначительным временным интервалом их проявления: для нитратов это зимне-весенний паводок, а для аммония – период летнего прогрева вод (межень), когда увеличение содержания аммония до 35.19 мкг/л наблюдалось в придонном слое на станции с глубиной 19 м [7]. Поэтому, как показал наш анализ, эти явления только в незначительной степени отразились на самоочистительной способности восточной акватории бухты в отношении аммония (рис. 2).

Причинами самой низкой удельной АЕ центральной части бухты в отношении аммония и нитритов могут являться как дополнительные источники их поступления, так и особенности динамического режима этой акватории, обеспечивающие либо накопление этих форм азота, либо более медленное их удаление из экосистемы.

Остановимся вначале на возможных дополнительных источниках поступления аммония и нитритов в центральную часть акватории Севастопольской бухты. Так, в работе [8] рассмотрено влияние ливневой и муниципальной канализаций на рекреационно привлекательные акватории бухты на примере рекреационных объектов, расположенных в районе городских пляжей «м. Хрустальный» и «Ушакова балка», а также вблизи б. Северной, стоки которых обеспечивают сезонное увеличение концентрации аммония в центральной части бухты.

Еще одним дополнительным источником восстановленных форм азота могут быть донные отложения в центральной части бухты [9]. В этой работе анализируется влияние гранулометрического состава донных отложений на образование метана в донных отложениях бухты при разложении органического вещества в условиях дефицита кислорода. Локальный максимум  $\text{CH}_4$  в центральной части хорошо согласуется с распределением мелкодисперсной фракции отложений в верхнем 5-сантиметровом слое осадков, что может способствовать образованию дополнительного количества аммония и нитритов в условиях метаногенеза (рис. 3).

Согласно данным работы [9], для донных отложений бухты характерно неравномерное распределение мелкодисперсной фракции: в центральной части

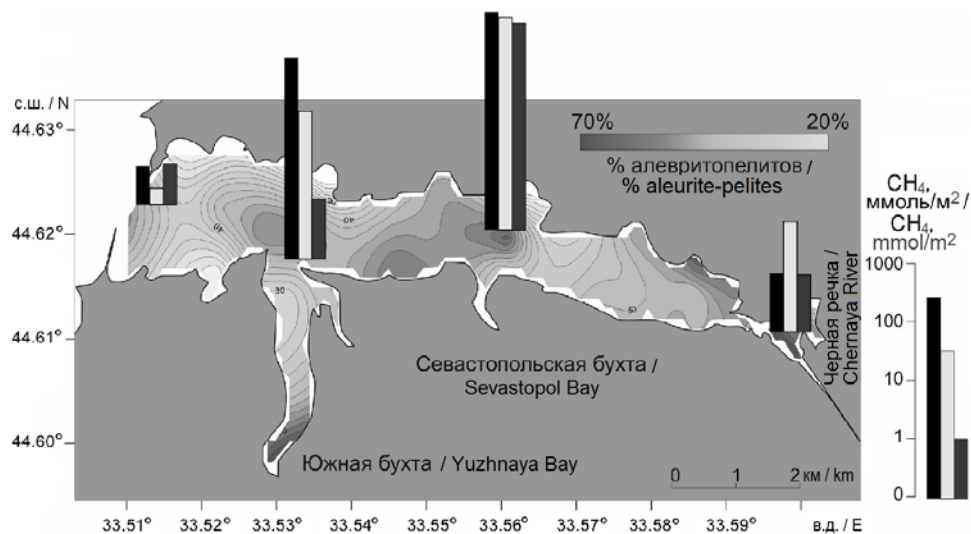


Рис. 3. Карта-схема распределения мелкодисперсной фракции (процент алевроитопелитов) в верхнем 5-сантиметровом слое осадков (цит. по [9])

Fig. 3. Schematic map of the distribution of the finely dispersed fraction (% aleurite-pelites) in the upper 5 cm layer of sediments (according to [9])

ее содержание достигает 70 %, тогда как в устьевой части не превышает

20 % при преобладании песка. Известно, что чем мельче фракция отложений, тем больше органического вещества она содержит, что в свою очередь влияет как на биологическую продуктивность микробного звена, так и на перспективу образования зон гипоксии. В работе [9] показано, что в донных отложениях в центральной части бухты отмечены устойчивые высокие концентрации метана, а в устьевой части р. Черной – значительно более низкие. В условиях метаногенеза, очевидно, будут преобладать и восстановленные формы азота.

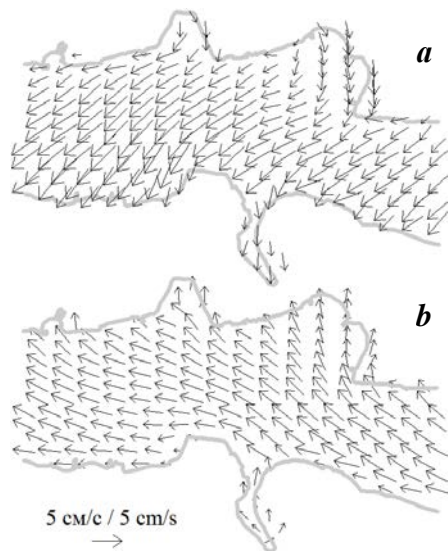


Рис. 4. Структура поверхностных течений в центральной части бухты, рассчитанная при северном (а) и южном (б) ветрах скоростью 5 м/с

Fig. 4. Structure of surface currents in the central part of the bay, calculated with north (a) and south (b) winds of 5 m/s

Остановимся на особенностях динамического режима в центральной части бухты как на возможной причине увеличения концентрации восстановленных форм азота и уменьшения АЕ данной акватории в отношении аммония и нитритов. Центральная часть б. Севастопольской имеет среднюю глубину 13.1 м с максимальными значениями по фарватеру до 19.5 м. По результатам сезонных натурных измерений [10, 11],



в глубоководной части бухты профили скорости течений имели хорошо выраженную двухслойную структуру.

В центральной части б. Севастопольской находятся два встречных потока – один с востока на запад со стороны р. Черной и второй со стороны открытой части моря. Это способствует формированию в этой части бухты буферной зоны, на которой как бы замыкаются разнонаправленные потоки, в том числе и с загрязнением.

В силу расположения центральной части бухты течения здесь в основном определяются ветром. Прямой поток западного направления в поверхностном слое вод формируется под воздействием восточного ветра, а также сохраняется при северном и южном ветрах (рис. 4). Это объясняется ориентацией, морфометрией бухты и поступлением с востока речных вод, создающих уклон водной поверхности и обуславливающих стоковые течения.

При продольном ветре в поверхностном слое выявляется наличие струйных течений вдоль берегов в направлении продольной оси бухты. Скорость этих течений увеличивается с ростом скорости ветра без изменения направления. При скорости ветра 5 м/с расчетные скорости течений у берега достигают 0.1 м/с, при скорости 10 м/с скорость течения достигает 0.30 м/с. На рис. 5 представлены результаты расчета с использованием гидродинамической модели для течений в центральной части бухты при западном ветре разной силы.

В придонном слое при всех направлениях ветра картина идентична: поток направлен с запада на восток и сохраняется на всей протяженности этой части бухты, на отмелях участка наблюдаются разного рода циркуляционные образования (рис. 6).

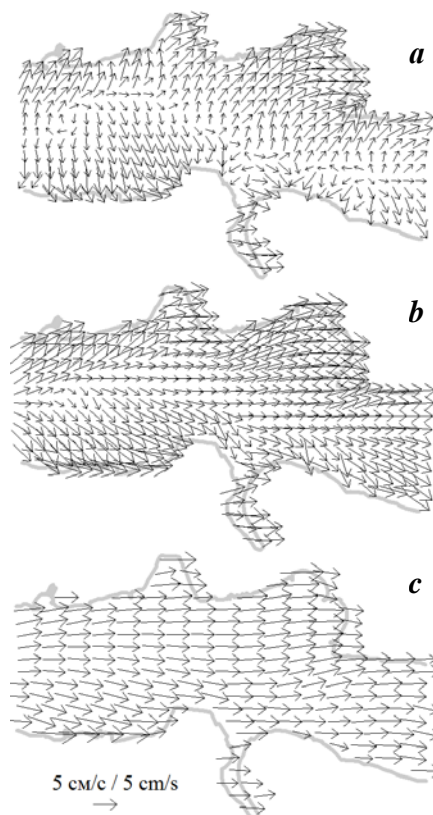


Рис. 5. Структура поверхностных течений в центральной части бухты, рассчитанная при западном ветре скоростью 5 м/с (а), 7 м/с (б) и 10 м/с (с)

Fig. 5. Structure of surface currents in the central part of the bay, calculated at a west wind of 5 m/s (a), 7 m/s (b) and 10 m/s (c)

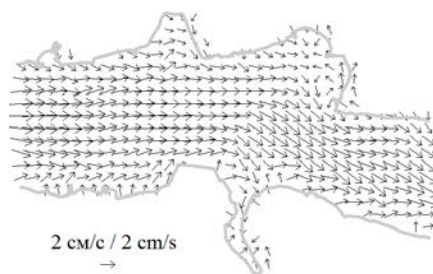


Рис. 6. Структура придонных течений в центральной части бухты

Fig. 6. Structure of bottom currents in the central part of the bay

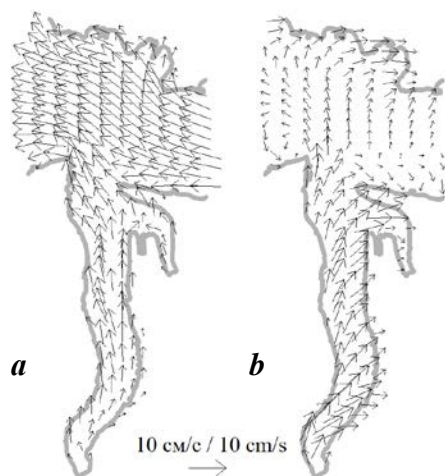


Рис. 7. Структура поверхностных течений в Южной бухте, рассчитанная при южном ветре 10 м/с (а) и западном ветре 5 м/с (б)

Fig. 7. Structure of surface currents in the Yuzhnaya Bay calculated for a south wind of 10 m/s (a) and west wind of 5 m/s (b)

Еще одной возможной причиной пониженной самоочистительной способности центральной части бухты может быть поступление в ее воды дополнительного количества аммония и нитритов с водами б. Южной при ее вентилировании в условиях определенных гидрометеоситуаций (рис. 7). При затрудненном водообмене б. Южной с прилегающей акваторией в воды бухты поступают рекордные объемы бытовых и ливневых стоков [12]. В вершине б. Южной с одинаковой повторяемостью наблюдается юго-восточное, северо-восточное и северо-западное течения. Ветры всех направлений, кроме южного, способствуют, как правило, поступлению воды в б. Южную или подпору ее вод. При преобладании ветров южных румбов происходит перестройка циркуляции и термохалинных полей (рис. 7), из б. Южной могут выноситься воды, загрязненные бытовыми стоками, а в результате загрязненные воды, выносимые направленным на север поверхностным течением, могут достигать центральной части бухты.

На рис. 7 представлены результаты расчета с использованием гидродинамической модели для течений в б. Южной при южных и западных ветрах, способствующих выносу загрязненных вод из ее акватории.

Проведенные нами расчеты подтвердили возможность поступления дополнительного количества аммония и нитритов в воды центральной части б. Севастопольской из б. Южной при определенной гидрометеоситуации (см. таблицу).

**Заключение**  
 1. Рассмотрены природно-климатические и антропогенные факторы, определяющие различия в самоочистительной способности экосистем акваторий б. Севастопольской (западной, центральной, восточной ее частей и б. Южной) в отношении восстановленных форм азота (аммония и нитритов) путем расчета АЕ. Учтена интенсивность источников поступления исследуемых форм азота, включая расположение рекреационных объектов, скорости выведения из экосистемы и динамическую ситуацию в исследуемых акваториях и в бухте в целом.

2. Впервые приведены оценки факторов, определяющих дополнительное поступление восстановленных форм азота. Оно связано с гипоксией при летней стратификации вод на локальных заглубленных участках дна в верхнем слое донных отложений, а также с деструкцией органического вещества за счет окисленных форм азота и образованием восстановленных его форм.

3. Приведены предварительные причины снижения АЕ в отношении восстановленных форм азота (аммония и нитритов) экосистемы центральной части акватории б. Севастопольской. Как возможная причина такого снижения рассматриваются различия в гранулометрическом составе донных отложений этой части бухты с максимальным содержанием (до 70 %) мелкодисперсной фракции, которая максимально сорбирует органическое вещество. Это способствует возникновению локальных участков метаногенеза, в условиях которого могут преобладать и накапливаться восстановленные формы азота.

4. С использованием гидродинамической модели рассчитаны течения в центральной части б. Севастопольской и б. Южной при определенной гидрометеоситуации. Расчеты подтвердили возможность поступления дополнительного количества аммония и нитритов в воды центральной части б. Севастопольской из б. Южной.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов / В. А. Иванов [и др.]. Севастополь : МГИ НАНУ, 2006. 90 с. URL: [http://mhi-ras.ru/assets/files/gidrologo-gidrohimicheskij\\_rezhim\\_sevastopolskoj\\_buhty\\_2006.pdf](http://mhi-ras.ru/assets/files/gidrologo-gidrohimicheskij_rezhim_sevastopolskoj_buhty_2006.pdf) (дата обращения: 16.08.2021).
2. *Совга Е. Е., Мезенцева И. В., Слепчук К. А.* Сравнение ассимиляционной емкости и индекса трофности различных частей акватории Севастопольской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 3. С. 63–76. doi:10.22449/2413-5577-2020-3-63-76
3. Оценки самоочищающей способности экосистемы Севастопольской бухты по отношению к неорганическим формам азота / В. А. Иванов [и др.] // Процессы в геосредах. 2015. № 2 (2). С. 55–65.
4. *Израэль Ю. А., Цыбань А. В.* Антропогенная экология океана. М. : Гидрометеоздат, 1989. 528 с.
5. *Иванов В. А., Тучковенко Ю. С.* Прикладное математическое моделирование качества вод шельфовых морских экосистем. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. 368 с.
6. *Кондратьев С. И., Видничук А. В.* Локальная сезонная гипоксия и образование сероводорода в придонных водах Севастопольской бухты в 2009–2019 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 2. С. 69–90. doi:10.22449/2413-5577-2020-1-69-90
7. *Совга Е. Е., Хмара Т. В.* Влияние стока реки Черной в периоды паводка и межени на экологическое состояние кутовой части акватории Севастопольской бухты // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 1. С. 31–40. doi:10.22449/0233-7584-2020-1-31-40
8. Поиск оптимального расположения проектируемых выпусков городской канализации в Севастопольской бухте с помощью численного моделирования и геоинформационного анализа / Ю. Н. Рябцев [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2021. № 1. С. 111–128. doi:10.22449/2413-5577-2021-1-111-128
9. Пространственно-временная изменчивость содержания метана в Севастопольской бухте и его эмиссии в атмосферу / Т. В. Малахова [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2020. № 3. С. 73–80.

10. Течения в Севастопольской бухте по данным ADCP-наблюдений (июнь 2008 года) / А. Н. Морозов [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2012. № 3. С. 31–43.
11. Течения в Севастопольской бухте по данным ADCP-наблюдений, ноябрь 2014 г. / Е. М. Лемешко [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. Вып. 28. С. 25–30.
12. О перспективах и возможностях оценки самоочистительной способности акватории Севастопольской бухты / Е. Е. Совга [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. Вып. 28. С. 153–164.

*Об авторах:*

**Совга Елена Евгеньевна**, ведущий научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), доктор географических наук, **ORCID ID: 0000-0002-0670-4573**, **SPIN-код: 8675-2443**, **ResearcherID: A-9774-2018**, *esovga@mhi-ras.ru*

**Мезенцева Ирина Владимировна**, старший научный сотрудник, Севастопольское отделение Государственного океанографического института им. Н. Н. Зубова (299011, Россия, Севастополь, ул. Советская, д. 61), кандидат географических наук, **ORCID ID: 0000-0001-9771-0380**, *mez-irina@mail.ru*

**Хмара Татьяна Викторовна**, младший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, 2), **Scopus Author ID: 6506060413**, **ResearcherID: C-2358-2016**, *xmara@mhi-ras.ru*

*Заявленный вклад авторов:*

**Совга Елена Евгеньевна** – постановка задачи исследования, анализ методов расчета ассимиляционной емкости, сопоставление величин ассимиляционной емкости экосистем различных частей Севастопольской бухты, формирование статьи

**Мезенцева Ирина Владимировна** – проведение расчета ассимиляционной емкости экосистем частей Севастопольской бухты, анализ результатов расчета

**Хмара Татьяна Викторовна** – проведение расчетов, подготовка графических материалов; обсуждение результатов исследования, анализ литературных данных, представление данных в тексте и их анализ, редактирование рукописи

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

#### REFERENCES

1. Ivanov, V.A., Ovsyany, E.I., Repetin, L.N., Romanov, A.S. and Ignatyeva, O.G., 2006. *Hydrological and Hydrochemical Regime of the Sebastopol Bay and Its Changing under Influence of Climatic and Anthropogenic Factors*. Sevastopol: MHI NAS of Ukraine, 90 p. (in Russian).
2. Sovga, E.E., Mezentseva, I.V. and Slepchuk, K.A., 2020. Comparison of Assimilative Capacity and Trophic Index for Various Parts of the Sevastopol Bay Water Area. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (3), pp. 63–76. doi:10.22449/2413-5577-2020-3-63-76 (in Russian).
3. Ivanov, V.A., Mezentseva, I.V., Sovga, E.E., Slepchuk, K.A. and Khmara, T.V., 2015. Assessment Self-Purification Ability of the Sevastopol Bay Ecosystem in Relation to Inorganic Forms of Nitrogen. *Processes in Geomedia*, (2), pp. 55–65 (in Russian).

4. Izrael, Yu.A. and Tsyban, A.V., 1989. [*Anthropogenic Ecology of the Ocean*]. Moscow: Gidrometeoizdat, 529 p. (in Russian).
5. Ivanov, V.A. and Tuchkovenko, Yu.S., 2008. *Applied Mathematical Water-Quality Modeling of Shelf Marine Ecosystems*. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika, 311 p. (in Russian).
6. Kondratev, S.I. and Vidnichuk, A.V., 2020. Local Seasonal Hypoxia and Hydrogen Sulphide Formation in the Bottom Waters of the Sevastopol Bay in 2009–2019. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (2), pp. 107–121. doi:10.22449/2413-5577-2020-2-107-121 (in Russian).
7. Sovga, E.E. and Khmara, T.V., 2020. Influence of the Chernaya River Runoff during High and Low Water on the Ecological State of the Apex of the Sevastopol Bay Water Area. *Physical Oceanography*, 27(1), pp. 28-36. doi:10.22449/1573-160X-2020-1-28-36
8. Ryabtsev, Yu.N., Verzhevskaia, L.V., Rauen, T.V., Tsyganova, M.V., Nikishin, V.V. and Bagaev, A.V., 2021. Search for an Optimal Configuration of Projected Municipal Sewerage Outfalls in the Sevastopol Bay using Computational Modelling and Geoinformation Analysis. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 111–128. doi:10.22449/2413-5577-2021-1-111-128 (in Russian).
9. Malakhova, T.V., Malakhova, L.V., Budnikov, A.A. and Ivanova, I.N., 2020. Spatio-Temporal Dynamics of Methane Content in the Sevastopol Bay and its Emission to the Atmosphere. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria 5, Geografia*, (3), pp. 73–80 (in Russian).
10. Morozov, A.N., Lemeshko, E.M., Shutov, S.A. and Zima, V.V., 2012. [Currents in the Sevastopol Bay according to ADCP Observational Data (June 2008)]. *Morskoy Gidrofizicheskiy Zhurnal*, (3), pp. 31–43 (in Russian).
11. Lemeshko, E.M., Morozov, A.N., Shutov, S.A., Zima, V.V. and Chepyzhenko, A.A., 2014. [Currents in the Sevastopol Bay according to ADCP Observational Data (June 2008)]. In: MHI, 2014. *Ekologicheskaya Bezopasnost' Pribrezhnykh i Shel'fovykh Zon i Kompleksnoe Ispol'zovanie Resursov Shel'fa* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources]. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika. Iss. 28, pp. 25–30 (in Russian).
12. Sovga, E.E., Mezentseva, I.V., Khmara, T.V. and Slepchuk, K.A., 2014. [On Prospects and Possibility of Assessment of Self-Purification Ability of the Sevastopol Bay Water Area]. In: MHI, 2014. *Ekologicheskaya Bezopasnost' Pribrezhnykh i Shel'fovykh Zon i Kompleksnoe Ispol'zovanie Resursov Shel'fa* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources]. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika. Iss. 28, pp. 153–164 (in Russian).

*About the authors:*

**Elena E. Sovga**, Leading Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Dr.Sci. (Geogr.), **ORCID ID: 0000-0002-0670-4573**, **SPIN-code: 8675-2443**, **ResearcherID: A-9774-2018**, [esovga@mhi-ras.ru](mailto:esovga@mhi-ras.ru)

**Irina V. Mezentseva**, Senior Research Associate, Sevastopol Branch of the N. N. Zubov State Oceanographic Institute (61 Sovetskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Geogr.), **ORCID ID: 0000-0001-9771-0380**, [mez-irina@mail.ru](mailto:mez-irina@mail.ru)

**Tat'yana V. Khmara**, Junior Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), **Scopus Author ID: 6506060413**, **ResearcherID: C-2358-2016**, [xmara@mhi-ras.ru](mailto:xmara@mhi-ras.ru)

*Contribution of the authors:*

**Elena E. Sovga** – research task setting, analysis of methods of assimilative capacity calculation, comparison of assimilative capacity and trophic index for ecosystems of various parts of the Sevastopol Bay, article formation

**Irina V. Mezentseva** – calculation of assimilative capacity of the ecosystems of the western, central and eastern parts of the Sevastopol Bay, analysis of calculation results

**Tatiana V. Khmara** – preparation of graphics, discussion of study results, literature data analysis, presentation of data in the text and their analysis, manuscript editing

*All the authors have read and approved the final manuscript.*