

М.А.Мыслина<sup>1</sup>, А.В.Вареник<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

<sup>2</sup>Севастопольское отделение Государственного океанологического института им. Н.Н.Зубова, г. Севастополь

## ПОСТУПЛЕНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКОГО АЗОТА С АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ НА АКВАТОРИЮ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ В 2015 – 2016 ГГ.

Обсуждаются результаты оценки поступления неорганического азота с атмосферными осадками на акваторию Севастопольской бухты на основе данных, полученных при анализе атмосферных осадков, отобранных на территории МГС «Севастополь». Максимальные и средневзвешенные значения концентраций азота в 2016 г. были в 1,4 раза выше, чем в 2015 г. Во внутригодовом изменении средневзвешенной концентрации азота в период 2015 – 2016 гг. не выявлено четкого сезонного хода. Показано, что при поступлении атмосферных осадков на акваторию бухты соотношение Редфилда в атмосферных осадках и поверхностном слое Севастопольской бухты может значительно смещаться в сторону неорганического азота.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** неорганический азот, атмосферные осадки, Севастопольская бухта

doi: 10.22449/2413-5577-2019-1-78-82

**Введение.** Исследование морских акваторий является актуальным на протяжении многих десятилетий. Продолжительное влияние на морские акватории промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод, речного стока, морского транспорта, ливневых вод, стекающих с сельскохозяйственных, промышленных и населенных территорий, может привести к таким последствиям, как интенсификации продуцирования нового органического вещества.

Севастопольская бухта как морская экосистема представляет большой интерес, что обуславливается специфическими условиями формирования гидрохимической структуры её вод. Она принадлежит к числу морских акваторий, подверженных постоянному антропогенному и техногенному воздействию [1], так как бухта является градообразующим элементом и служит базой военно-морского флота с характерными зонами активного судоходства, промышленно-производственной и хозяйственной инфраструктурой, районом проведения дноуглубительных и прочих гидротехнических работ. Эти факторы могут приводить к нарушению экологического равновесия в акватории.

Изучение миграции биогенных элементов в водных экосистемах является одним из основных направлений экологических исследований, так как знание о биогеохимических потоках необходимо для оценки гидрохимического и гидрологического режимов акваторий.

Одним из источников поступления биогенных веществ в морские экосистемы являются сухие и влажные атмосферные выпадения. Этот источник  
© М.А.Мыслина, А.В.Вареник, 2019

*Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. вып.1. С.78-82.*

ник действует не только вблизи урбанизированных и промышленных регионов на берегу моря, но и обеспечивает транспортировку и распределение веществ по всей поверхности Черного моря [2]. Одним из основных биогенных элементов является азот, который необходим для существования морских организмов, так как он используется в процессе фотосинтеза фитопланктона. При этом избыток азота может вызывать процессы эвтрофирования водного объекта и ухудшение качества воды.

Цель работы – оценить величину поступления форм азота с атмосферными осадками на акваторию Севастопольской бухты.

**Методы и материалы.** Для определения величины поступления неорганического азота с атмосферными осадками на акваторию Севастопольской бухты в 2015 – 2016 гг. проводился отбор проб атмосферных осадков



Рис. 1. Станция отбора проб атмосферных осадков.

на территории Морской гидрометеорологической станции (МГС) «Севастополь», расположенной на Павловском мысу (рис.1). Общее количество проб составило 157 (в 2015 г. – 85 проб, в 2016 г. – 72 пробы). Отбор проб, а также регистрация метеоусловий, при которых выпадали осадки, осуществлялся сотрудниками МГС.

Пробы отбирались в постоянно закрытый осадкосборник, открывающийся только на время выпадения осадков, что исключало попадание посторонних примесей. Лабораторный анализ содержания неорганического азота в атмосферных осадках осуществлялся стандартными методами гидрохимического анализа:

- нитраты и нитриты – восстановление нитратов до нитритов при помощи медно-кадмиевого редуктора и последующее определение нитритов без редуктора на одном канале автоанализатора биогенных элементов АА П *BRAN* + *LUEBBE* и суммы нитратов с нитритами на другом канале прибора;
- ион аммония – спектрофотометрический метод, в основе которого лежит фенол-гипохлоритная реакция с образованием интенсивно окрашенного голубого соединения – индофенола.

**Результаты и обсуждение.** В результате исследований было установлено, что основными формами неорганического азота являлись аммонийный и нитратный азот (рис.2). Вклад нитритов в общее содержание неорганического азота в атмосферных осадках был наименьшим, так как они являются промежуточным продуктом окисления аммония до нитратов.

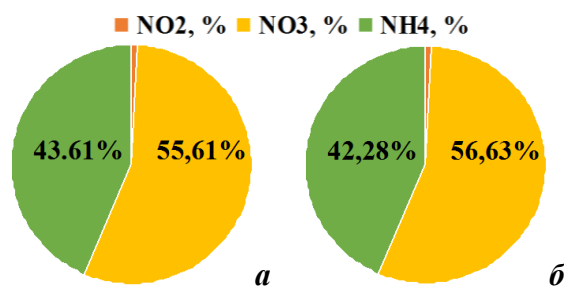
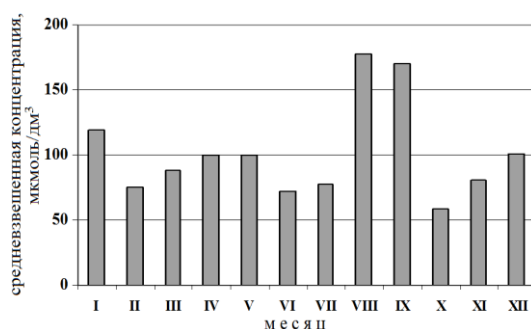


Рис. 2. Вклад форм азота в общее содержание неорганического азота в 2015 г. (а) и 2016 г. (б).

Т а б л и ц а . Концентрация неорганического азота в атмосферных осадках в 2015 – 2016 гг.

концентрация, мкмоль/л	2015 г.	2016 г.
максимальная	288,8	411,5
минимальная	29,3	29,4
средневзвешенная	73,3	92,6



Р и с . 3 . Внутригодовое изменение средневзвешенной концентрации неорганического азота в 2015 – 2016 гг.

При этом зафиксированы пики концентраций неорганического азота в пробах, отобранных в августе и сентябре 2015 – 2016 гг. Объясняться данные пики могут тем фактом, что в эти месяцы наблюдались единичные случаи выпадения дождей, характеризовавшиеся небольшим количеством осадков и большим «сухим» периодом между случаями выпадения осадков.

Годовое поступление суммы неорганических форм азота с атмосферными осадками в 2015 и 2016 гг. составило 23,6 и 26,7 ммоль/м<sup>2</sup> соответственно. Анализ полученных данных показал, что увеличение потока азота в 2016 г. вызвано увеличением концентрации азота в пробах: при меньшем количестве осадков в 2016 г. содержание неорганического азота в пробах было значительно выше, что и привело к увеличению потока азота в этом году.

Для оценки влияния атмосферных осадков на акваторию Севастопольской бухты было получено пространственное распределение содержания неорганического азота в поверхностном слое, а также рассчитано соотношение Редфилда [4] в этом слое для неорганического азота и неорганического фосфора ( $N : P$ ). Пространственное распределение построено по результатам ежеквартальных съемок отдела биогеохимии моря Морского гидрофизического института РАН в 2015 – 2016 гг. Соотношение содержания неорганического азота и неорганического фосфора в Севастопольской бухте было рассчитано с учетом гидрологического сезона.

Анализ данных показал, что максимальные концентрации неорганического азота в 2015 и 2016 гг. фиксировались в кутовой части Южной бухты (рис.4) и составляли 10,5 и 20,5 мкмоль/л соответственно. Накопление неорганического азота в Южной бухте происходит вследствие высокой антропогенной нагрузки на данный участок бухты.

Максимальная концентрация неорганического азота за период наблюдения была определена в 2016 г. и составила 411,5 мкмоль/л, что в 1,4 раза больше, чем значение максимальной концентрации, определенной в 2015 г., при этом минимальные концентрации были практически равны (табл.).

Из полученных ранее данных [3] было известно, что внутригодовое изменение содержания неорганического азота имеет выраженный сезонный ход, определяемый источниками поступления азота в атмосферу, к примеру, работой котельных в холодный период года. Однако наши данные (рис.3) показали практически полное отсутствие четкого сезонного изменения.

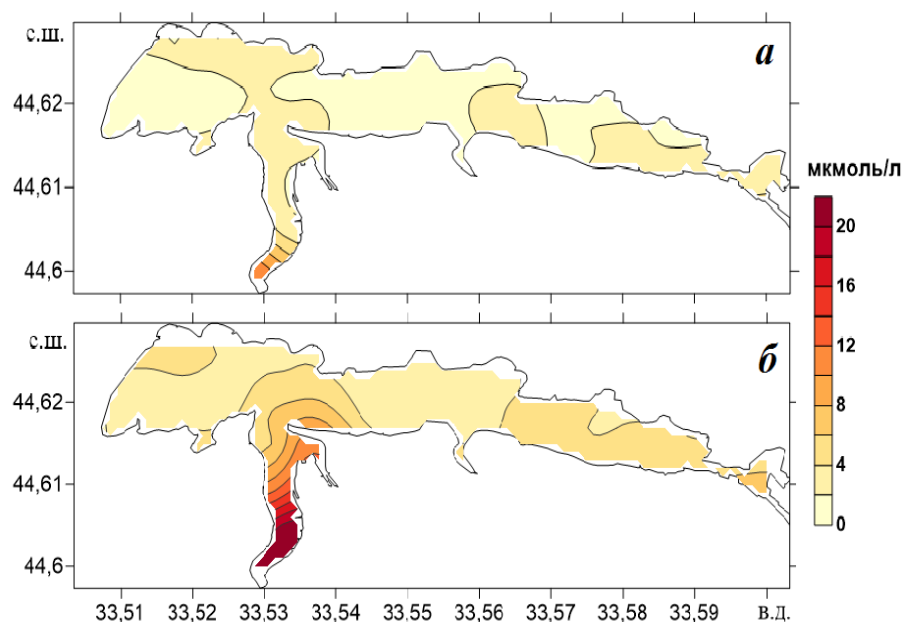


Рис. 4. Пространственное распределение неорганического азота в поверхностном слое вод Севастопольской бухты в 2015 г. (а) и 2016 г. (б).

Годовое соотношение содержания неорганического азота и фосфора в атмосферных осадках составило 190 : 1, что значительно превышает величину классического соотношения Редфилда для морских экосистем.

При рассмотрении сезонных различий в соотношении  $N : P$  оказалось, что соотношение Редфилда в атмосферных осадках и поверхностном слое Севастопольской бухты в зимне-летний период практически не отличаются (162 : 1 – для атмосферных осадков, 139 : 1 – для морских вод).

Наряду с этим в осенний период соотношение Редфилда в поверхностном слое бухты составило 41 : 1, что в 4,5 раза меньше, чем в атмосферных осадках (184 : 1).

Учитывая, что в прибрежных районах Черного моря, включая и Севастопольскую бухту, неорганический фосфор и кремний находятся в более низких концентрациях по сравнению с неорганическим азотом, то при определенных условиях именно эти элементы могут стать лимитирующими для развития различных видов фитопланктона. Следовательно, поступление атмосферных осадков с высокими концентрациями неорганического азота могут смещать равновесие морской экосистемы.

**Заключение.** В ходе работы было определено поступление неорганического азота с атмосферными осадками в акваторию Севастопольской бухты в 2015 – 2016 гг. Максимальные и средневзвешенные значения концентраций азота в 2016 г. были в 1,4 раза выше, чем в 2015 г.

Показано, что в отличие от предыдущих исследований четкий сезонный ход концентраций неорганического азота в 2015 – 2016 гг. не наблюдался.

При рассмотрении пространственного распределения концентрации неорганического азота в поверхностном слое Севастопольской бухты опреде-

лили, что за исследуемый период повышенное содержание азота в 2016 – 2016 гг. наблюдалось в кутовой части Южной бухты. При этом максимальная концентрация элемента в 2016 г. была практически в 2 раза больше, чем в 2015 г.

При анализе соотношения Редфилда в атмосферных осадках и поверхностном слое Севастопольской бухты было определено, что в осенний период соотношение Редфилда в поверхностном слое бухты было в 4,5 раза меньше, чем в атмосферных осадках. Сделан вывод о том, что поступление атмосферных осадков с высокими концентрациями неорганического азота могут смещать равновесие морской экосистемы.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН МГИ РАН № 0827-2018-0004 и проекта РФФИ 18-05-80028 Опасные явления «Исследование и оценка роли гидрофизических и биогеохимических процессов в формировании зон дефицита кислорода и сероводородного заражения прибрежных районов Крымского полуострова и Керченского пролива».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Совга Е.Е., Мезенцева И.В., Хмара Т.В., Сленчук К.А.* О перспективах и возможностях оценки самоочистительной способности акватории Севастопольской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– 2014.– вып.28.– С.153-164.
2. *Вареник А.В., Козловская О.Н.* Поступление биогенных элементов с атмосферными осадками на поверхность Черного моря в 2010 – 2013 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– 2014.– вып.28.– С.99-107.
3. *Varenik A., Konovalov S., Stanichny S.* Quantifying importance and scaling effects of atmospheric deposition of inorganic fixed nitrogen for the eutrophic Black Sea // Biogeosciences.– 2015.– 12.– P.6479-6491.
4. *Redfield A.C.* On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton.– James Johnstone Memorial Volume, University Press of Liverpool, 1934.– P.176-192.

Материал поступил в редакцию 28.01.2019 г.

M.A.Myslina, A.V.Varenik

#### INORGANIC NITROGEN DEPOSITION WITH THE ATMOSPHERIC PRECIPITATIONS TO THE SEVASTOPOL BAY IN 2015 – 2016

The results of the quantifying of inorganic nitrogen input to the Sevastopol Bay obtained by the analysis of atmospheric precipitation, selected on the marine hydro-meteorological station «Sevastopol» are discussed. The maximum and weighted average values of nitrogen concentration in 2016 was in 1,4 times more than in 2015. In the annual changes of the weighted average nitrogen concentration in 2015 – 2016 significant seasonal variation was not found. It is shown that the Redfield ratio may significantly shift towards inorganic nitrogen due to the flux of atmospheric precipitation on the Bay waters.

KEYWORDS: inorganic nitrogen, atmospheric precipitations, the Sevastopol Bay