

В.А.Иванов¹, Е.Е.Совга¹, И.В.Мезенцева²

¹Морской гидрофизический институт РАН, г.Севастополь

²Севастопольское отделение Государственного океанографического института им. Н.Н.Зубова, г.Севастополь

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КИСЛОРОДА В АКВАТОРИИ ЯЛТИНСКОГО ПОРТА ЗА ПЕРИОД 2013 – 2017 ГГ.

Исследуется распределение биогенных элементов (азота общего, нитратного, нитритного, аммонийного, фосфора общего и фосфатного, кремния) и растворенного кислорода в поверхностных и придонных водах акватории Ялтинского морского порта за период 2013 – 2017 гг. Это позволило оценить современное экологическое состояние поверхностных и придонных вод акватории по сравнению с периодом 2003 – 2012 гг. В исследуемый период в водах акватории отмечен рост общего содержания азота как по средним, так и по максимальным значениям, который происходит на фоне снижения содержания неорганических форм (аммонийного и нитратного азота) в отличие от предыдущего периода. Аэрация вод в исследуемый период в целом остается недостаточной, особенно в поверхностном слое вод.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: биогенные элементы, кислород, соленость, поверхностные и придонные воды, порт Ялта

doi: 10.22449/2413-5577-2019-2-86-93

Введение. Прибрежные акватории Южного берега Крыма (ЮБК), включая Ялтинский залив, являются рекреационно-курортными зонами, испытывающими значительную антропогенную нагрузку с ярко выраженным сезонным максимумом. Кроме антропогенной нагрузки, поверхностные воды исследуемой акватории подвержены и влиянию ряда природно-климатических факторов, таких как прибрежный апвеллинг, интенсивные прибрежные течения, ливневые стоки и атмосферные осадки, которые в определенной мере сказываются на распределении ряда гидрологических и гидрохимических параметров.

Акватория морского порта Ялта ограничена защитным молом от акватории Ялтинского залива и имеет глубины до 8,5 м. Навигация в порту осуществляется во все сезоны года, производятся небольшие судо-корпусные работы и ремонт дизельных двигателей.

Гидрологический и гидрохимический режимы ЮБК, включая акваторию Ялтинского порта, освящены в достаточном количестве работ [1 – 3]. В работе [4] осуществлено обобщение гидрометеорологических характеристик прибрежной зоны Ялты на основе всего имеющегося материала наблюдений гидрометеослужбы Украины за период 1970 – 2003 гг. и гидрохимических условий за период 1986 – 2001 гг. Кроме биогенных элементов и растворенного кислорода, в [4, 5] приведена информация о содержании загрязняющих веществ в водах прибрежной зоны Ялты (нефтепродуктов, СПАВ, фенолов, хлорорганических пестицидов и ПХБ и некоторых тяжелых металлов).

© В.А.Иванов, Е.Е.Совга, И.В.Мезенцева, 2019

Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. вып.2. С.86-93.

лых металлов) на двух горизонтах (поверхностном, придонном).

Для азота и фосфора как биогенных элементов особенности их распределения в прибрежных акваториях, сезонный и годовой ход позволяют определить уровень эвтрофикации водоема, его первичную продукцию, степень рециркуляции биогенных элементов. Неорганический азот поступает в море в виде азота нитритного, нитратного и аммонийного с речными водами, бытовыми и промышленными стоками, атмосферными осадками. Круговорот азота в поверхностном слое вод связан с процессами нитрификации $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ и аммонификации $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_4^+$ [6].

Биогенный кремний является жизненно необходимым элементом для построения скелета и клеточных мембран некоторых гидробионтов.

В монографии [4] обобщены данные о гидрометеорологических характеристиках прибрежной зоны Ялты на основе всего доступного массива наблюдений по 2003 г. и гидрохимического режима за период 1986 – 2004 гг. В [7] приведены результаты анализа сезонной и межгодовой изменчивости распределения биогенных элементов, кислорода и температуры в водах Ялтинского порта и Ялтинского залива по годовому ходу азота (NO_2^- , NO_3^- , NH_3 , $\text{N}_{\text{общ.}}$), фосфора (PO_4^{3-} , $\text{P}_{\text{общ.}}$) и кремния (SiO_2) на нулевом (поверхностном) горизонте на основе сравнения данных двух временных интервалов 1987 – 2004 и 2005 – 2010 гг. В [7] показано, что гидрохимический режим акватории Ялтинского порта в период 2005 – 2010 гг. на фоне увеличения температуры характеризовался уменьшением содержания растворенного кислорода, неорганического фосфора и кремния и существенным увеличением содержания солевых форм азота (особенно нитратов) по сравнению с периодом 1987 – 2004 гг. Представлена информация о распределении в водах акватории Ялтинского залива, Ялтинского порта, район Гурзуфа, Алупки следующих гидрохимических параметров: соленость, температура, концентрация кислорода, насыщенность вод O_2 , кремневая кислота, все формы азота (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , $\text{N}_{\text{общ.}}$), формы фосфора (PO_4^{3-} , $\text{P}_{\text{общ.}}$).

По данным [7] следует констатировать, что период 2005 – 2010 гг. характеризовался изменением экологического состояния акватории Большой Ялты в сторону его ухудшения за счет увеличения температуры, уменьшения содержания растворенного кислорода, неорганического фосфора и кремния и существенного увеличения содержания всех солевых форм азота: аммония, нитратов, нитритов по сравнению с периодом 1987 – 2001 гг. Причина такой ситуации, на наш взгляд, связана с увеличением объема сбросных вод населенных пунктов ЮБК, увеличением в них содержания солевых форм азота, которые поступают в море без надлежащей очистки вследствие неконтролируемой хаотичной застройки 100 м зоны побережья. Если не будут приняты соответствующие меры на уровне государственных органов и органов местного самоуправления, то такая ситуация отрицательно отразится на рекреационном потенциале ЮБК.

В [8] оценена сезонная и межгодовая динамика биогенных элементов и растворенного кислорода на фоне изменения температуры, солености вод поверхностного и придонного горизонтов акватории Ялтинского порта во все сезоны года за последнее десятилетие (2003 – 2012 гг.) при существующих антропогенных нагрузках. Показано, что сезонное изменение содержа-

ние общего фосфора определяется динамикой его минеральной составляющей. Снижение содержания фосфатов и общего фосфора к июню связано с возрастающим биологическим потреблением минеральной формы фосфора в поздневесенний период.

Для нитратов и нитритов, а также кремния сезонное изменение их содержания в достаточной степени определяется природными факторами, в том числе режимом температуры и солености вод, о чем свидетельствует высокое значение корреляционной зависимости.

Снижение содержание общего азота на фоне роста его минеральной составляющей в 2010 – 2011 гг., как и в отношении фосфора, может указывать на негативную реакцию биологической компоненты среды на ухудшение качества морских вод.

Аэрация вод в целом была недостаточной. В поверхностных водах относительное содержание растворенного кислорода составило 95 % насыщения, дефицит кислорода мог достигать 9 – 30 %. Лучше были аэрированы придонные воды (98 % насыщения), где дефицит кислорода не превышал 14 %.

Таким образом, антропогенная нагрузка оказывает влияние как на динамику биогенных элементов, так и на кислородный режим исследуемой акватории и более выражена в поверхностном слое по сравнению с придонным, что, по-видимому, связано с различной интенсивностью динамики водных масс на поверхностном и придонном горизонтах.

Цель настоящей работы – в плане продолжения исследований, представленных в [8], оценить динамику биогенных элементов и растворенного кислорода на фоне изменения температуры, солености вод поверхностного и придонного горизонтов акватории Ялтинского порта во все сезоны года за период 2013 – 2017 гг. и дать оценку изменения экологической ситуации в акватории в сравнении с периодом 2003 – 2012 гг.

Методы и материалы. Работа основана на материалах архива Севастопольского отделения Государственного океанографического института, представленных в ежегодных справочных материалах [9] за указанный выше период (табл.1). Выполнен анализ многолетней сезонной и межгодовой изменчивости содержания биогенных элементов на поверхностном горизонте и у дна на основе данных ежемесячных натуральных мониторинговых наблюдений с использованием методов математической статистики.

Т а б л и ц а 1. Характеристика базы использованных данных за период 2013 – 2017 гг.

показатель хар-ка содержания	кисло- род, %	биогены, мкг/л						
		PO ₄ ³⁻	P _{общ.}	SiO ₃	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	N _{общ.}
максимальное	128	35	45	3090	14	300	43	3980
минимальное	74	н.п.о.	н.п.о.	41	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	100
среднее	95	8	13	540	3	62	20	1200
количество определений	720	240	240	240	240	240	240	240

Примечание: н.п.о. – концентрация ниже предела количественного определения

Результаты и обсуждение. Сезонная изменчивость в период 2013 – 2017 гг. Содержание общего фосфора, как и в предыдущий период исследований [8], в целом определялось его неорганической формой (рис.1). Вклад минеральной составляющей изменялся от 47 (июль, декабрь) до 69 – 76 % (март, апрель). Корреляционная зависимость среднемесячных значений общего фосфора к фосфатам составила 0,75. Среднее содержание фосфора возрастает в мае – июле (15 – 17 мкг/л) с последующим осенним снижением к октябрю – ноябрю. Внутригодовое изменение содержания фосфора может быть описано полиномом четвертой степени с достоверностью аппроксимации 0,64.

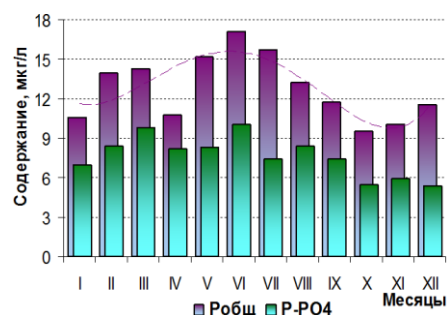


Рис. 1. Внутригодовое изменение содержания общего фосфора и его минеральной составляющей в водах акватории порта Ялта.

Азот в водах акватории представлен в основном органической формой. Содержание минерального азота (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+) в период исследования в сумме не превышало 10 – 11 %. Концентрация нитритов в основном фиксировалась на уровне нижнего предела количественного определения. Максимальные концентрации аммонийного, нитритного и нитратного азота в поверхностных водах достигали 43; 14 и 300 мкг/л, в придонных – 40; 6 и 48 мкг/л соответственно. В целом поверхностные воды содержали азота значительно больше, чем придонные. И если в течение года для общего азота и аммония превышение составляло 1,2 – 3,1 раза, то среднее содержание нитратного азота у поверхности было в 3,3 – 6,4 раза выше, чем у дна, достигая в феврале разницы на порядок.

Для внутригодового изменения содержания азота, особенно аммонийного, наиболее предпочитаемого морской биотой [10], характерны весенний и осенний минимумы (рис.2), обусловленные усилением сезонного биологического потребления минерального азота. Наблюдается связь содержания

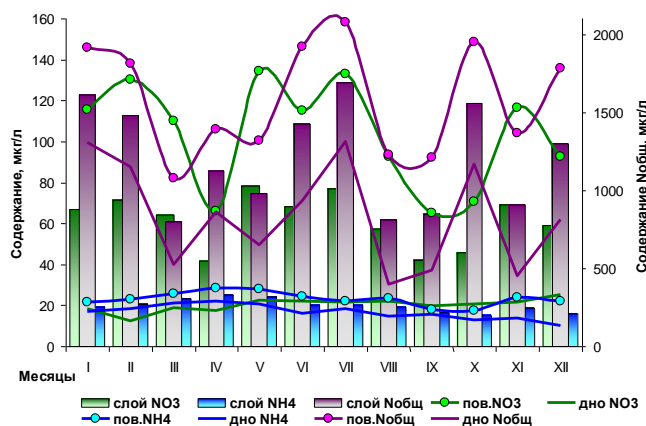
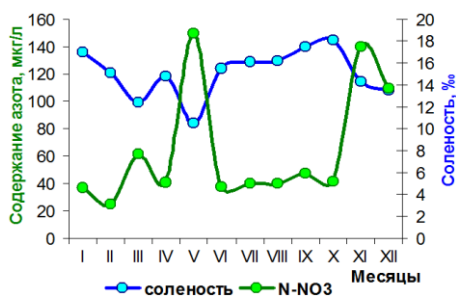


Рис. 2. Внутригодовое изменение содержания общего азота и его минеральных составляющих в водах акватории порта Ялта.



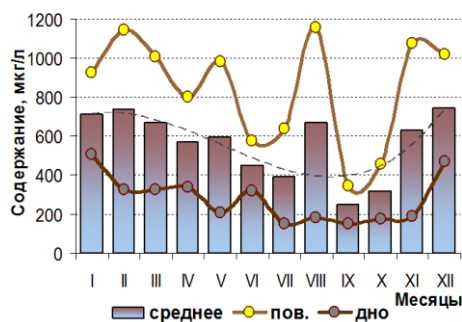
Р и с . 3 . Внутригодовое изменение содержания нитратного азота и солёности поверхностных вод акватории порта Ялта в 2017 г.

Содержание кремния в исследуемый период изменялось в поверхностных водах от 270 до 1550 мкг/л, в придонных – от 100 до 480 мкг/л. Максимальные концентрации в 2016 и 2017 гг. достигали 3090 и 2440 мкг/л соответственно. Внутригодовое изменение содержания кремния характеризуется снижением содержания в 2,6 раза от января – февраля к сентябрю – октябрю с последующим возвратом к максимальным величинам в декабре (рис.4) и может быть описано полиномом третьей степени с достоверностью аппроксимации 0,59.

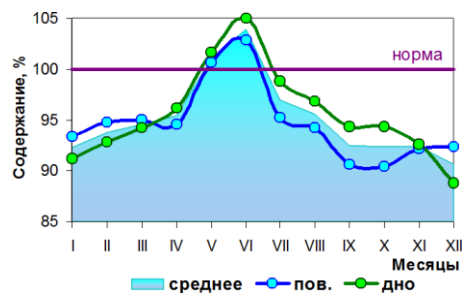
Аэрация вод, как и в предыдущие годы [8], в целом была недостаточной. Относительное содержание растворенного кислорода в среднем за год составляло 94 – 96 % насыщения, изменяясь на поверхностном горизонте в пределах 74 – 127 % насыщения, на придонном 76 – 128 %. По среднемесячным значениям насыщение вод кислородом только в мае и июне превышало 100 % норматив, в осенне-зимний период дефицит растворенного кислорода в слое поверхность – дно достигал 7 – 9 % насыщения (рис.5). Обращает на себя внимание тот факт, что в теплый период (с апреля по октябрь) аэрация поверхностных вод на 1 – 4 % хуже, чем придонных.

По абсолютным значениям содержание растворенного кислорода варьировало в пределах 5,74 – 12,25 мг/л на поверхности и 6,44 – 11,40 мг/л у дна.

азота с увеличением пресноводного стока в результате паводков рек ЮБК или интенсивных атмосферных осадков. В последних, согласно [11], неорганические формы азота представлены в основном нитратами (53 %) и аммонием (45 %). На рис.3 на примере 2017 г. показана обратная зависимость ($R = -0,7$) содержания нитратного азота с показателем солёности поверхностных вод, когда максимальные содержания нитратного азота соответствуют водам более низкой солёности от 12 до 14 ‰.



Р и с . 4 . Внутригодовое изменение среднего содержания кремния в водах акватории порта Ялта.



Р и с . 5 . Внутригодовое изменение относительного содержания растворенного кислорода в водах акватории порта Ялта.

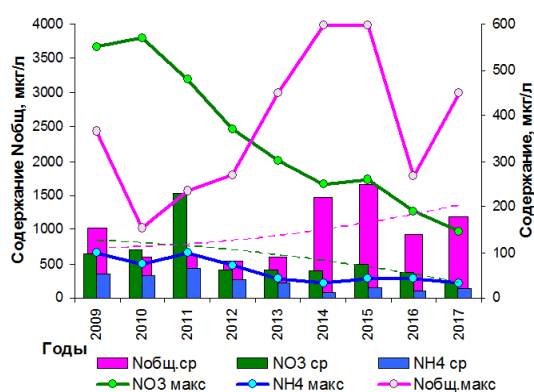
Межгодовая изменчивость. В период 2013 – 2016 гг. продолжалось обозначенное в [8] снижение общего содержания фосфора. Изменение содержания фосфатов не было однозначным, т.к. наблюдалось снижение в поверхностных водах, на фоне роста концентраций в более глубоких слоях.

Тенденция снижения среднегодовых значений содержания общего азота, обозначенная в [8], с 2011 – 2012 гг. сменилась на противоположную (рис.6). Так, если в 2011 – 2012 гг. воды исследуемого района содержали в среднем 560 – 570 мкг/л азота, то в 2014 – 2015 гг. его содержание возросло до 1500 – 1700 мкг/л. Как по средним, так и по максимальным значениям концентрации изменилась в сравнении с [8] направленность динамики годовых величин и для минерального азота. Среднегодовое содержание нитратов снизилось с 220 мкг/л в 2011 г. до 38 мкг/л в 2017 г. Экстремальные концентрации в поверхностных водах снизились с 550 – 570 мкг/л в 2009 – 2010 гг. до 150 мкг/л в 2017 г. Максимальные концентрации аммонийного азота в 2011 г. достигали 99 мкг/л, а в 2017 г. уже не превышали 32 мкг/л. И только содержание нитритов осталось без изменения, лишь по максимальным значениям незначительно превышая нижний предел количественного определения.

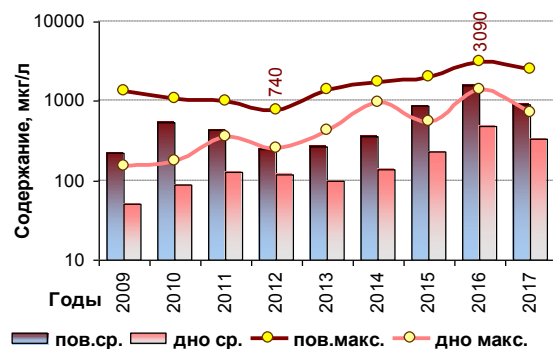
Стремительный рост концентрации кремния достиг своего многолетнего максимума в 2016 г. (рис.7), когда в сравнении с 2009 г. среднее содержание в поверхностных и придонных водах возросло в 7 – 10 раз.

Примечательно, что если у поверхности экстремальные за год значения увеличились в 2 – 3 раза, то в придонных водах они возросли в 10 – 16 раз.

Как было указано выше, аэрация вод исследуемой акватории в целом была недостаточной. Среднегодовые значения относительно содержания растворенного кислорода у поверхности составили 92 – 96 % насыщения, у дна были немногим выше (94 – 97 % насыщения). По абсолютным значениям концентрация кислорода изменялась значительно: 5,74 – 12,25 мг/л в поверхностных водах и 6,44 – 11,40 мг/л в придонных водах. Как показано в [8], продолжается наметившаяся в 2008 –



Р и с . 6 . Межгодовые изменения содержания азота общего, нитратного и аммонийного в акватории порта Ялта.



Р и с . 7 . Межгодовое изменение содержания кремния в водах акватории порта Ялта.

была недостаточной. Среднегодовые значения относительно содержания растворенного кислорода у поверхности составили 92 – 96 % насыщения, у дна были немногим выше (94 – 97 % насыщения). По абсолютным значениям концентрация кислорода изменялась значительно: 5,74 – 12,25 мг/л в поверхностных водах и 6,44 – 11,40 мг/л в придонных водах. Как показано в [8], продолжается наметившаяся в 2008 –

2009 гг. негативная тенденция к ухудшению аэрации вод в слое поверхность – дно от 97 % насыщения в 2008, 2009 и 2011 гг. до 94 – 95 % насыщения в 2016 – 2017 гг. Минимальные за последнее десятилетие значения были зафиксированы в 2016 г.

Выводы. Проведенный анализ изменения содержания биогенных элементов и растворенного кислорода в акватории Ялтинского порта за период 2013 – 2017 гг. позволяет сделать следующие выводы.

Сезонное изменение концентраций общего фосфора определяется динамикой его минеральной составляющей. Снижение содержания фосфатов и общего фосфора к июню связано с возрастающим биологическим потреблением минеральной формы фосфора в поздневесенний период. В содержании общего и минерального фосфора в период 2013 – 2017 гг. отмечено небольшое снижение его содержания по сравнению с предыдущим временным интервалом за исключением 2017 г., когда содержание общего и минерального фосфора незначительно возросло.

Для нитратов и нитритов, а также кремния сезонное изменение их содержания в достаточной степени определяется природными факторами, в том числе режимом температуры и солености вод, о чем свидетельствует высокое значение корреляционной зависимости.

Обращает на себя внимание увеличение содержания азота в водах акватории Ялтинского порта в 2013 – 2017 гг. в отличие от предыдущего периода, как по средним, так и по максимальным значениям. Вместе с тем, рост общего содержания азота происходит на фоне снижения концентраций его неорганических форм (аммонийного и нитратного азота), что указывает на значительный вклад органической составляющей.

Аэрация вод в исследуемый период в целом была недостаточной. В поверхностных водах относительное содержание растворенного кислорода составляло 92 – 96 % насыщения, дефицит кислорода мог достигать 26 %. Лучше были аэрированы придонные воды (94 – 97 % насыщения), где дефицит кислорода не превышал 24 %.

Таким образом, антропогенная нагрузка оказывает влияние как на динамику биогенных элементов, так и на кислородный режим исследуемой акватории и более выражена на поверхностном горизонте по сравнению с придонным. С учетом снижения за исследуемый период содержания минеральных форм азота можно было бы отметить некоторое улучшение экологической ситуации в акватории, однако этого нельзя сделать однозначно, поскольку продолжается негативное изменение аэрации вод и наблюдается увеличение содержания общего азота за счет его органической составляющей, причины которого пока не ясны.

Работа выполнена в рамках госзадания по теме 0827-2018-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей» (шифр «Прибрежные исследования») и частично в рамках договора № 145/2018 от 22.10.2018 г. между ООО «Проектный институт «Геоплан» и ФГБУН МГИ «Математическое моделирование и гидробиологические исследования для разработки проектной документации по объекту «Реконструкция санатория «Жемчужина».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зац В.И., Лукьяненко О.Я., Яцевич Г.В. Гидрометеорологический режим Южного берега Крыма.– Л.: Гидрометеоздат, 1966.– 120 с.
2. Гидрометеорология и гидрохимия моря СССР. Т.IV. Черное море. Вып.1. Гидрометеорологические условия.– СПб.: Гидрометеоздат, 1991.– 429 с.
3. Климат и опасные гидрометеорологические явления Крыма / Под ред. Г.Т.Погинова, М.Б.Барабаш.– Л.: Гидрометеоздат, 1982.– 318 с.
4. Иванов В.А., Репетин Л.Н., Мальченко Ю.А. Климатические изменения гидрометеорологических и гидрохимических условий прибрежной зоны Ялты.– Севастополь: МГИ НАН Украины, 2005.– 163 с.
5. Рябинин А.И., Мальченко Ю.А., Боброва С.А., Холопцев А.В. Загрязнение вод Черного моря эвтрофирующими микроэлементами // V Международный симпозиум «Экологические проблемы Черного моря».– Одесса: ОЦНТЭИ, 2003.– С.238-242.
6. Harvey H.W. The Chemistry and fertility of sea water.– Cambridge, England: Cambridge University Press, 1966.– 300 p.
7. Совга Е.Е., Годин Е.А., Пластун Т.В., Мезенцева И.В. Оценка гидрохимического режима прибрежных вод Ялтинского залива // Морской гидрофизический журнал.– 2014.– № 3.– С.48-59.
8. Мезенцева И.В., Совга Е.Е., Годин Е.А., Пластун Т.В. Многолетняя изменчивость содержания биогенных элементов в акватории Ялтинского порта // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь, 2013.– вып.27.– С.255-262.
9. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник / Под ред. А.Н.Коршенко.– Обнинск: «Арטיפекс», 2018.
10. Vaccaro R.F. Inorganic nitrogen in the sea / Ed. by J.P.Riley, G.Skirrow / Chemical Oceanography.– London: Academic Press, 1965.– 1, Chap.9.– 450 p.
11. Чайкина А.В., Холопцев А.В. Особенности гидрохимического состава атмосферных осадков летнего периода 2004 г. в районе пос. Качивели (Южный берег Крыма) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь, 2005.– вып.12.– С.215-219.

Материал поступил в редакцию 25.03.2019 г.

V. A. Ivanov, E. E. Sovga, I. V. Mezentseva

LONG-TERM DYNAMICS OF BIOGENIC ELEMENTS AND OXYGEN IN THE YALTA PORT WATER AREA IN 2013 – 2017

The distribution of biogenic element content (total nitrogen, nitrate, nitrite, ammonium, total phosphorus and phosphate, silicon) and dissolved oxygen in the surface and bottom waters of the Yalta seaport in 2013 – 2017 is investigated. The current ecological state of the water area is estimated in comparison with the state of 2003 – 2012. In the period under study, in the water area the total nitrogen content was noted to increase both in average and maximum values, which occurs on a background of a decrease in the content of inorganic forms (ammonium and nitrate nitrogen) in contrast to the previous period. As a whole the water aeration in the period under study remains insufficient, especially in the surface water layer.

KEYWORDS: nutrients, oxygen, salinity, surface and near-bottom waters, the Yalta port