

Экспериментальные и экспедиционные исследования

УДК 551.46.262.5

Е.Е. Совга, Е.А. Годин, Т.В. Пластун, И.В. Мезенцева*

Оценка гидрохимического режима прибрежных вод Ялтинского залива

В работе приведены результаты анализа сезонного и межгодового распределения биогенных элементов, растворенного кислорода и температуры в водах Ялтинского залива за периоды 1987 – 2004 и 2005 – 2010 гг. Анализировалась изменчивость концентраций неорганических форм азота (аммонийного, нитратного и нитритного) и общего азота, неорганического и общего фосфора, кремния. На основе сравнения годового хода содержания исследуемых биогенных элементов, растворенного кислорода и температуры дана оценка гидрохимического режима вод Ялтинского залива.

Ключевые слова: биогенные элементы, гидрохимический режим вод, Ялтинский залив.

Введение

Прибрежные акватории Южного берега Крыма (ЮБК), в частности Ялтинский залив, являются рекреационно-курортными зонами, испытывающими значительную антропогенную нагрузку с ярко выраженной сезонностью. Так, объем сточных вод Ялты составляет $(37 - 38) \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{год}$, с ними поступает до 73 т общего азота, 10 т фосфора, причем максимум поступления наблюдается в летний период. Большое количество загрязняющих веществ попадает в море не только в составе фиксированных сбросов, но и с ливневым стоком [1].

Анализ годового хода концентраций биогенных азота, фосфора, кремния, определяющих уровень эвтрофирования морской экосистемы, с привлечением данных о температуре морской воды позволяет оценить интенсивность и сезонную изменчивость продукционно-деструкционных процессов и связанных с ними кислородный режим водоема.

Основная цель исследования – определить направленность сезонной и межгодовой изменчивости распределения биогенных элементов, кислорода и температуры в водах Ялтинского залива на основе сравнения данных за 1987 – 2004 и 2005 – 2010 гг.

Материалы и методы

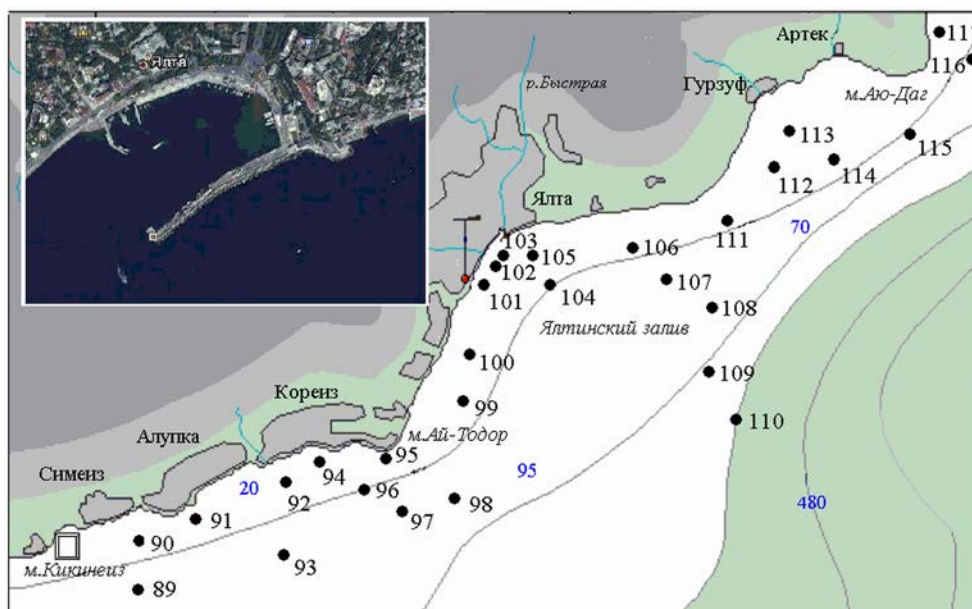
По гидрологии и гидрохимии прибрежных вод ЮБК опубликовано значительное количество работ (см., например, [2 – 4]), которые посвящены ис-

© Е.Е. Совга, Е.А. Годин, Т.В. Пластун, И.В. Мезенцева, 2014

следованиям отдельных элементов гидрометеорологического и гидрохимического режимов. В работе [5] обобщена информация о гидрометеорологических характеристиках прибрежной зоны Ялты на основе всех доступных массивов наблюдений за 1870 – 2003 гг. и о гидрохимическом режиме по данным за 1986 – 2004 гг.

В настоящей работе проанализирован гидрохимический режим акваторий Ялта-порт и Ялта-залив по годовому ходу концентраций биогенных элементов (азота NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , $\text{N}_{\text{общ}}$, фосфора PO_4^{3-} , $\text{P}_{\text{общ}}$ и кремния SiO_2), растворенного кислорода O_2 и температуры воды на нулевом горизонте для периодов 1987 – 2004 и 2005 – 2010 гг. Нулевой горизонт для анализа был выбран исходя из того, что на этом горизонте наиболее четко проявляется влияние атмосферных осадков, ливневых и бытовых стоков.

Рассматривается прибрежная зона Ялтинского залива – пятимильная прибрежная часть моря, простирающаяся от м. Кикинеиз на западе до м. Аю-Даг на востоке. Схема района исследований и распределения станций представлена на рис. 1.



Р и с. 1. Схема района исследований и распределения станций (на врезке – схема акватории Ялта-порт)

Для анализа была сформирована специализированная база данных (таблица), в которую вошли материалы, хранящиеся в Банке океанографических данных МГИ НАН Украины и в архиве Севастопольского отделения ФГБУ «Государственный океанографический институт».

Характеристика базы данных

Акватория	Годы	Количество определений							
		O ₂	N _{общ}	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	P _{общ}	SiO ₂
Ялта-порт	1987-2004	210	155	206	209	209	210	208	200
	2005-2010	169	169	169	169	169	169	169	169
Ялта-залив	1987-2004	2124	1251	2105	2124	2126	2126	2124	2030
	2005-2010*	25	25	25	25	25	25	25	25

*Данные по Ялтинскому заливу за 2005 – 2010 гг. фрагментарны, получены в отдельные сезоны и были использованы для сравнения с данными только за те же сезоны периода 1987 – 2004 гг.

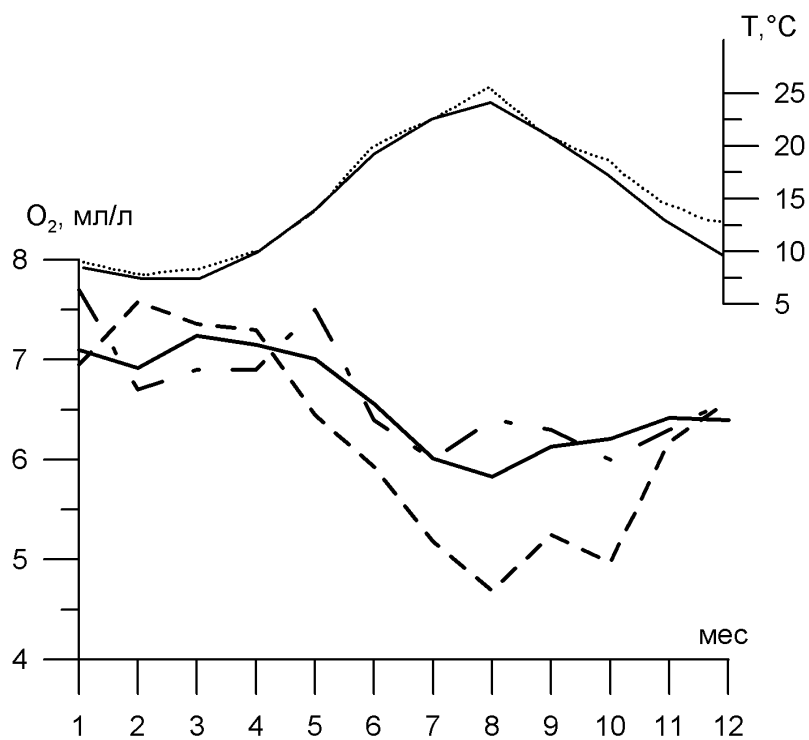
Для определения погрешности серии последовательных измерений химических параметров рассчитывалось среднеквадратическое отклонение, которое использовалось при построении доверительных интервалов. Для получения средних значений годового хода всех химических параметров использовался метод арифметического осреднения достоверной выборки данных.

Результаты и обсуждение

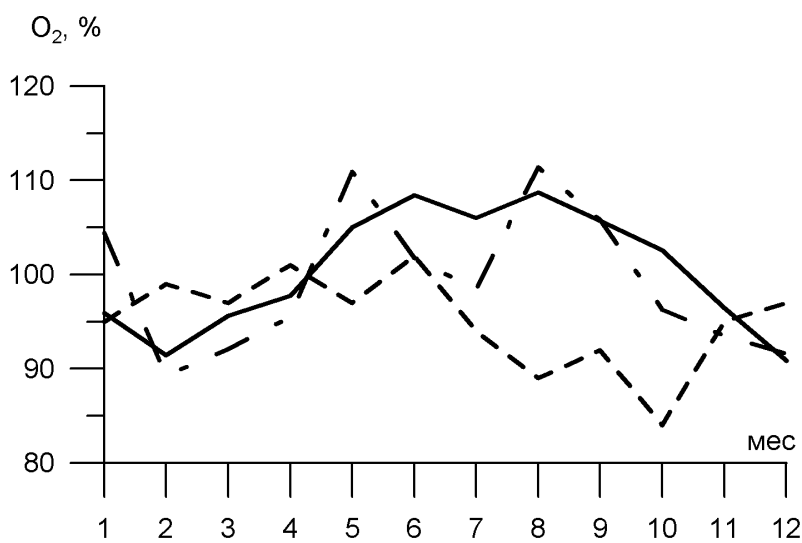
Растворенный кислород. Сравнивался годовой ход среднего содержания растворенного кислорода на нулевом горизонте для акваторий Ялта-порт и Ялта-залив за два периода (рис. 2). Как следует из этого рисунка, с июля по октябрь для акватории Ялтинского порта наблюдается снижение содержания O₂ в 2005 – 2010 гг. по сравнению с периодом 1987 – 2004 гг. и его незначительный рост в зимние месяцы в 2005 – 2010 гг. При этом в 1987 – 2004 гг. как для акватории Ялта-порт, так и для акватории Ялта-залив изменение концентрации кислорода в течение года происходило в пределах 6,5 – 7,5 мл/л. В 2005 – 2010 гг. для акватории Ялта-порт содержание кислорода в течение года менялось в пределах 4,5 – 7,5 мл/л.

Годовой ход степени насыщения вод кислородом представлен на рис. 3. По осредненным данным за 1987 – 2004 гг. степень насыщения вод кислородом была высокой, и даже в летние месяцы для акватории Ялта-порт достигала 110%, близкие значения наблюдались и для акватории Ялта-залив. В период 2005 – 2010 гг. для акватории Ялта-порт величины насыщения вод кислородом находились в пределах 85 – 90% летом и осенью и 95 – 100% зимой и весной.

Температура морской воды. Этот параметр является фактором, который влияет на кинетику процессов, протекающих в морской экосистеме, и сказывается на газовом режиме водоема. Анализ осредненных данных показал, что температура поверхностного слоя вод была несколько повышена в 2005 – 2010 гг. по сравнению с предыдущим периодом практически в течение всего года, особенно в летний сезон. Очевидно, повышение температуры стало фактором, существенно влияющим на понижение содержания кислорода и уменьшение степени насыщения им вод в этот период (рис. 2, 3).



Р и с. 2. Годовой ход осредненного содержания растворенного кислорода на нулевом горизонте для акваторий Ялта-порт (сплошная линия, 1987 – 2004 гг.), Ялта-залив (штрихпунктирная линия, 1987 – 2004 гг.) и Ялта-порт (штриховая линия, 2005 – 2010 гг.), а также годовой ход осредненной температуры для акватории Ялта-порт (тонкая сплошная линия, 1987 – 2004 гг.; пунктирная линия, 2005 – 2010 гг.)



Р и с. 3. Годовой ход осредненного насыщения вод кислородом на нулевом горизонте для акваторий Ялта-порт (сплошная линия, 1987 – 2004 гг.), Ялта-залив (штрихпунктирная линия, 1987 – 2004 гг.) и Ялта-порт (штриховая линия, 2005 – 2010 гг.)

Фосфаты и общий фосфор. Для морских экосистем фосфор является биогенным элементом, определяющим их трофность [6]. Концентрации взвешенного фосфора и хлорофилла *a* прямо пропорциональны. В отличие от других биогенных элементов, например азота, фосфор не образует устойчивых летучих форм, и его поступление в море происходит с бытовыми и промышленными стоками, со смывами удобрений с сельскохозяйственных угодий, а также с эоловыми потоками.

Сравнивался годовой ход среднего содержания фосфатного фосфора на нулевом горизонте для двух периодов для акваторий Ялта-порт и Ялта-залив (рис. 4). Для акватории Ялта-порт со значительной техногенной нагрузкой более высокие концентрации (около 30 мкг/л) отмечены для периода 1987 – 2004 гг. (рис. 4). В этот же период для Ялтинского залива средние концентрации фосфатов варьировали от 8 мкг/л летом до 15 мкг/л зимой, ранней весной и осенью. Для акватории Ялта-порт в 2005 – 2010 гг. содержание фосфатов изменялось от 10 до 20 мкг/л в течение года.

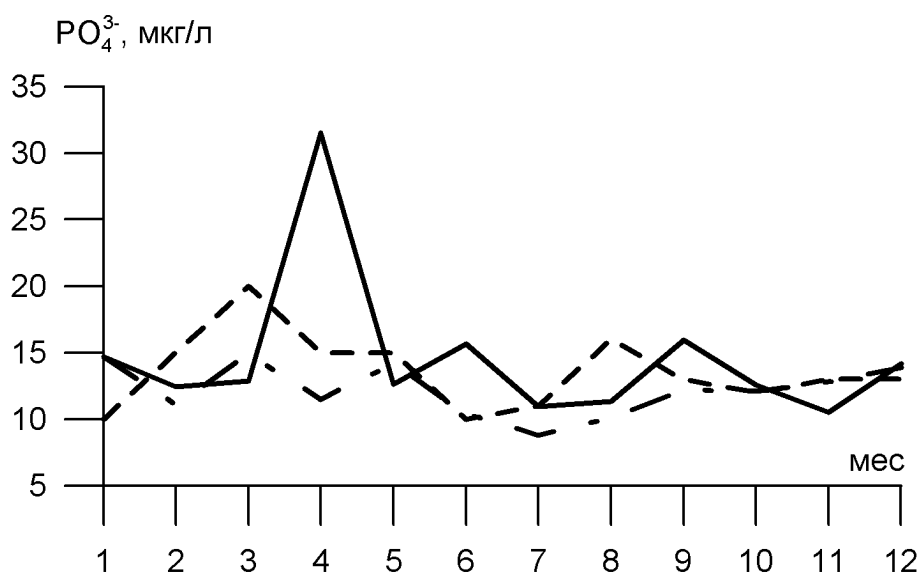
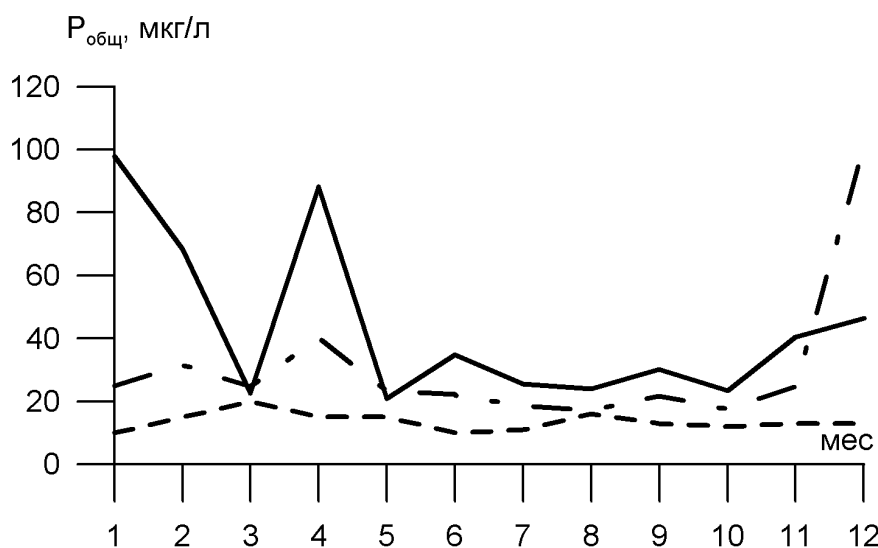


Рис. 4. Годовой ход осредненного содержания фосфатов на нулевом горизонте для акваторий Ялта-порт (сплошная линия, 1987 – 2004 гг.), Ялта-залив (штрихпунктирная линия, 1987 – 2004 гг.) и Ялта-порт (штриховая линия, 2005 – 2010 гг.)

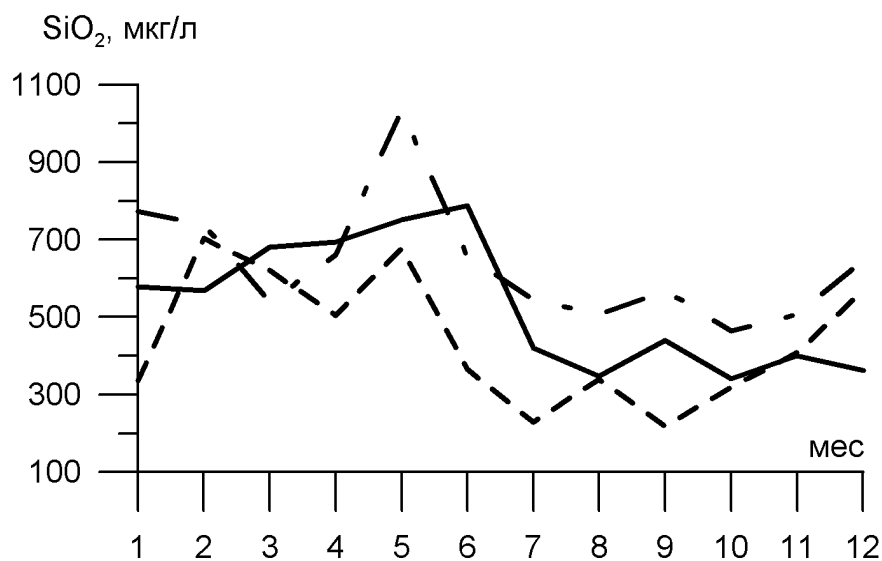
Особый интерес представляет рассмотрение закономерностей годового хода концентраций общего фосфора – суммы его органической и минеральной форм. Сравнительная оценка содержания общего фосфора на нулевом горизонте по годовому ходу за оба периода представлена на рис. 5.

Сравнение графиков на рис. 5 и 4 (фосфаты) показывает, что в 1987 – 2004 гг. в водах акватории Ялта-порт преобладали органические формы фосфора с максимальным содержанием в январе и апреле. В этот же период в Ялтинском заливе увеличение органических форм фосфора имело место только в декабре. В 2005 – 2010 гг. для акватории Ялта-порт годовой ход среднего содержания общего фосфора изменялся в очень незначительных пределах от 10 до 20 мкг/л.



Р и с. 5. Годовой ход осредненного содержания общего фосфора на нулевом горизонте для акваторий Ялта-порт (сплошная линия, 1987 – 2004 гг.), Ялта-залив (штрихпунктирная линия, 1987 – 2004 гг.) и Ялта-порт (штриховая линия, 2005 – 2010 гг.)

Распределение кремния. Из сравнения годового хода содержания кремния за два изучаемых периода для акваторий Ялта-порт и Ялта-залив (рис. 6) следует, что период 1987 – 2004 гг. характеризовался более высокими значениями содержания кремния для обеих акваторий. При этом для акватории Ялта-порт экстремальные значения совпадают по месяцам для обоих периодов: минимумы – в июле и сентябре, максимумы – в мае.

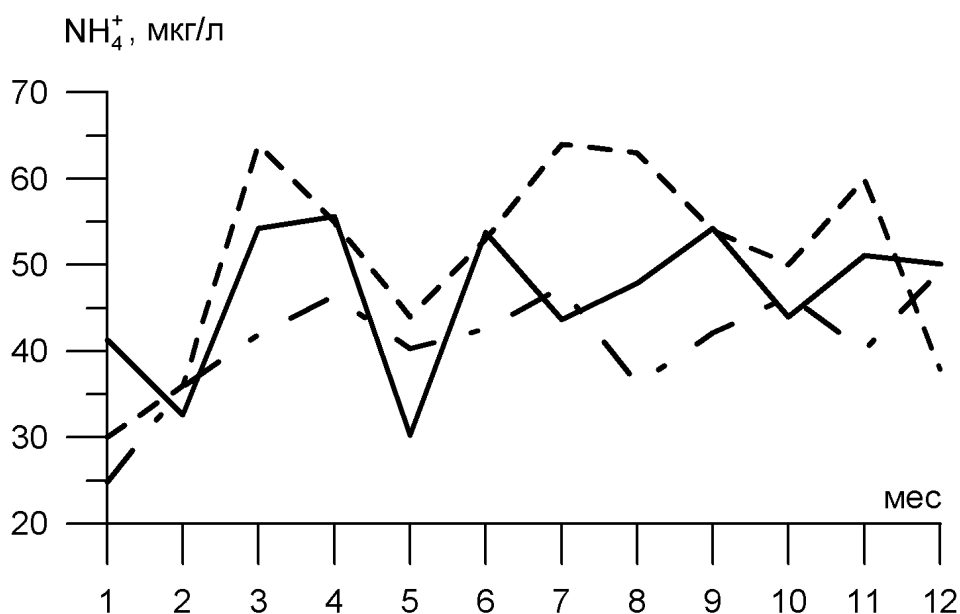


Р и с. 6. Годовой ход осредненного содержания кремния на нулевом горизонте для акваторий Ялта-порт (сплошная линия, 1987 – 2004 гг.), Ялта-залив (штрихпунктирная линия, 1987 – 2004 гг.) и Ялта-порт (штриховая линия, 2005 – 2010 гг.)

Неорганический и общий азот. 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 $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_4^+$ [7].

Приведенные реакции определяют сезонное распределение форм азота, поскольку аммонификация и нитрификация более эффективны в зимний и весенний периоды, когда содержание кислорода достигает максимальных величин как за счет снижения температуры и большей его растворимости, так и за счет фотосинтеза, хотя процесс фотосинтеза может одновременно снижать содержание некоторых форм азота.

Азот аммонийный. Аммонийный азот является формой азота наиболее предпочитаемой морской биотой [8]. Кроме того, что аммонийный азот образуется в процессе бактериальной аммонификации, он может поступать также с атмосферными осадками, бытовыми стоками и из глубинных слоев вод при апвеллинге. В соответствии с данными работы [9], неорганические формы азота в дождевых осадках, отобранных на ЮБК в районе океанографической платформы ЭО МГИ НАН Украины за период 2004 – 2008 гг., представлены в основном нитратами (53%) и аммонием (45%).



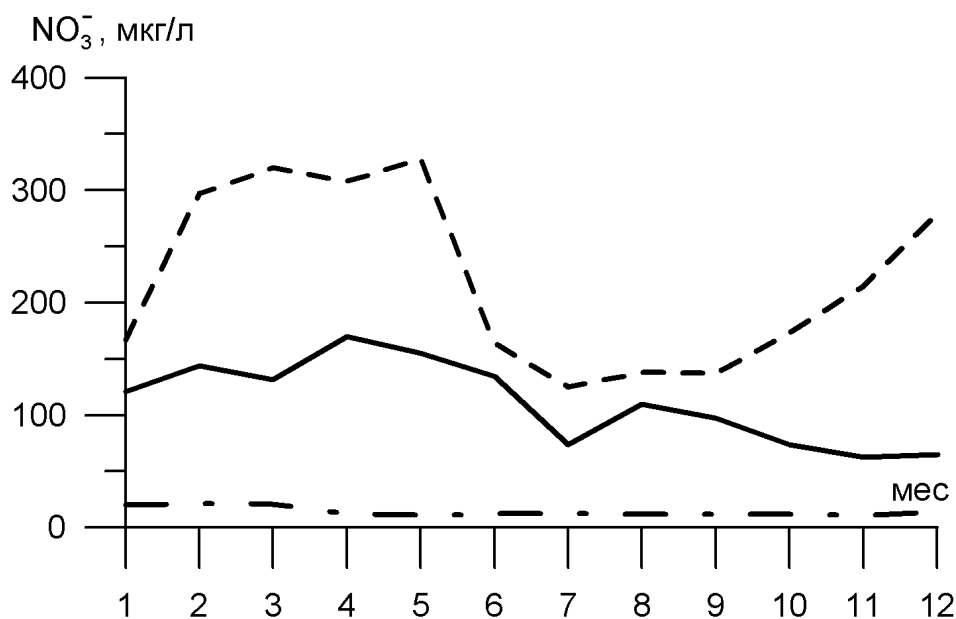
Р и с. 7. Годовой ход осредненного содержания аммонийного азота на нулевом горизонте для акваторий Ялта-порт (сплошная линия, 1987 – 2004 гг.), Ялта-залив (штрихпунктирная линия, 1987 – 2004 гг.) и Ялта-порт (штриховая линия, 2005 – 2010 гг.)

Сравнительные оценки среднего содержания аммонийного азота в поверхностном слое вод для акваторий Ялта-порт и Ялта-залив за два изучаемых периода представлены на рис. 7. Видно, что более высокие concentra-

ции аммония в 2005 – 2010 гг. характерны для акватории Ялта-порт. При этом максимальные и минимальные значения наблюдаются практически в одни и те же месяцы в 1987 – 2004 и 2005 – 2010 гг., что является подтверждением поступления и убыли аммония в одни и те же сезоны года (минимум отмечался в мае, а максимум – в марте и в июле – августе для 2005 – 2010 гг. и в сентябре для 1987 – 2004 гг.). Период 1987 – 2004 гг. для акватории Ялта-залив характеризовался более низкими значениями без выраженных максимумов и минимумов.

Азот нитратный. Азот нитратный, являясь неорганическим соединением азота в высшей степени окисления, в процессе метаболизма живых организмов переходит в соединения азота низкой степени окисления и выводится во внешнюю среду в виде аммиака или иона аммония.

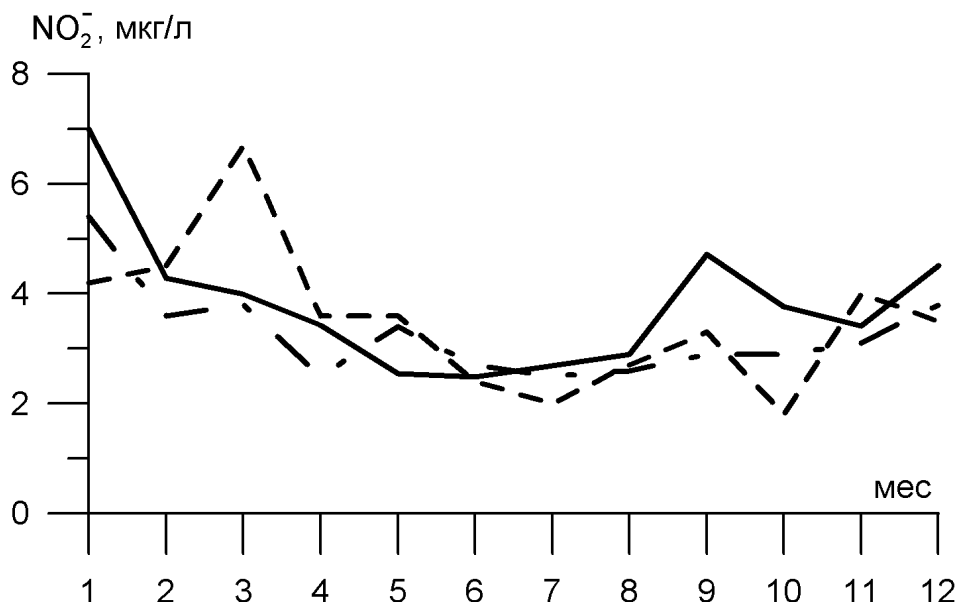
Кривая годового хода нитратов для акватории Ялта-залив для периода 1987 – 2004 гг. (рис. 8) отражает более низкое содержание нитратов (от 10 до 25 мкг/л) по сравнению с 2005 – 2010 гг. Кривые годового хода нитратов для акватории Ялта-порт для обоих периодов существенно различаются (рис. 8). Причем период 2005 – 2010 гг. характеризуется более высокими значениями (от 170 до 340 мкг/л) по сравнению с предшествующим периодом (от 80 до 150 мкг/л). Такие различия, по-видимому, связаны с ростом техногенных нагрузок акватории Ялта-порт.



Р и с. 8. Годовой ход осредненного содержания нитратов на нулевом горизонте для акваторий Ялта-порт (сплошная линия, 1987 – 2004 гг.), Ялта-залив (штрихпунктирная линия, 1987 – 2004 гг.) и Ялта-порт (штриховая линия, 2005 – 2010 гг.)

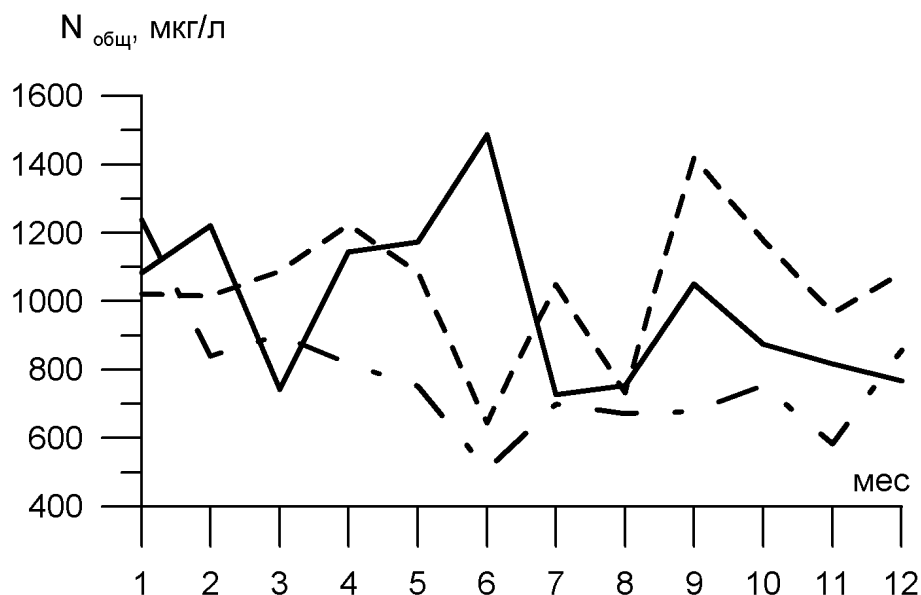
Азот нитритный. Азот нитритный – промежуточный продукт реакций денитрификации и нитрификации, является наиболее неустойчивой формой неорганического азота, в небольших количествах продуцируется практически круглогодично.

Для акватории Ялта-порт в 2005 – 2010 гг. однозначного увеличения содержания нитритов на нулевом горизонте не наблюдалось (рис. 9) в отличие от нитратов (рис. 8) и аммония (рис. 7). В этот период увеличение нитритов наблюдается только зимой и весной, а в 1987 – 2004 гг. – летом и осенью.



Р и с. 9. Годовой ход осредненного содержания нитритов на нулевом горизонте для акваторий Ялта-порт (сплошная линия, 1987 – 2004 гг.), Ялта-залив (штрихпунктирная линия, 1987 – 2004 гг.) и Ялта-порт (штриховая линия, 2005 – 2010 гг.)

Общий азот. Особый интерес представляет рассмотрение закономерностей годового хода концентрации общего азота как суммы его органической и минеральной форм за два исследуемых периода для акваторий Ялта-порт и Ялта-залив (рис. 10). Из рисунка следует, что период 1987 – 2004 гг. характеризовался сильной изменчивостью содержания общего азота для акватории Ялта-порт. В то же время для акватории Ялта-залив годовой ход содержания общего азота изменялся более монотонно со значительно более низкими концентрациями, за исключением января. В 2005 – 2010 гг. для акватории Ялта-порт также характерна значительная амплитуда содержания общего азота с тенденцией к увеличению осенью.



Р и с. 10. Годовой ход осредненного содержания общего азота на нулевом горизонте для акваторий Ялта-порт (сплошная линия, 1987 – 2004 гг.), Ялта-залив (штрихпунктирная линия, 1987 – 2004 гг.) и Ялта-порт (штриховая линия, 2005 – 2010 гг.)

Заключение

Кислородный и температурный режимы исследуемых акваторий находятся в противофазе, особенно это проявилось в 2005 – 2010 гг. В этот период при явном положительном тренде температуры во все сезоны содержание растворенного кислорода в поверхностном слое вод уменьшается, особенно с мая по октябрь. Следует отметить, что для акватории Ялта-порт в оба периода максимальные значения содержания кислорода оставались на одном уровне. При этом его минимальные значения уменьшились для периода 2005 – 2010 гг. примерно на 2 мл/л, что отразилось и на степени насыщения поверхностных вод кислородом до уровня 90%, свидетельствуя о неблагоприятном экологическом состоянии вод.

Содержание неорганического фосфора (фосфатов) характеризуется увеличением в 1987 – 2004 гг. для акватории Ялта-порт, более выраженным весной. В этот же период для акватории Ялта-залив существенного повышения содержания фосфатов не отмечено. Для акватории Ялта-порт в 2005 – 2010 гг. роста содержания фосфатов также не наблюдалось.

Для акватории Ялта-порт отмечено явное преобладание общего фосфора в 1987 – 2004 гг., менее выраженное для акватории Ялта-залив.

Содержание кремния в поверхностном слое вод акватории Ялта-порт значительно уменьшилось в 2005 – 2010 гг. по сравнению с периодом 1987 – 2004 гг.

Отмечено повышение содержания аммонийного азота в 2005 – 2010 гг., особенно в акватории Ялта-порт, при совпадении по времени (в мае) минимальных концентраций для двух периодов (по-видимому, из-за весеннего усиления фотосинтеза).

За период 2005 – 2010 гг. отмечено еще большее повышение содержания нитратного азота по сравнению с аммонийным. Если для акватории Ялта-порт в 1987 – 2004 гг. максимальное содержание нитратов составило 160 мкг/л, то в период 2005 – 2010 гг. – 340 мкг/л.

Полученные данные не показывают однозначного увеличения содержания нитритов в 2005 – 2010 гг. (за исключением весеннего периода для акватории Ялта-порт), как это наблюдалось для нитратов.

Период 1987 – 2004 гг. характеризовался сильной изменчивостью содержания общего азота для акватории Ялта-порт. В то же время для акватории Ялта-залив его годовой ход был более монотонным со значительно более низкими концентрациями, за исключением января.

Таким образом, гидрохимический режим акватории Ялта-порт в 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.

Полученные результаты свидетельствуют о неблагоприятном экологическом состоянии поверхностного слоя вод акватории Ялта-порт в исследуемые периоды. Вместе с тем окончательное заключение о тенденциях и причинах изменчивости экологического состояния акваторий Ялта-порт и Ялта-залив можно сделать только после анализа данных, характеризующих гидрохимический режим придонного слоя вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев В.И., Дорогунцов С.И., Совга Е.Е. и др.* Оценка уровня антропогенных нагрузок на прибрежные зоны и экотоны Черноморского побережья Украины // *Морской гидрофизический журнал*. – 2001. – № 1. – С. 55 – 63.
2. *Зац В.И., Лукьяненко О.Я., Яцевич Г.В.* Гидрометеорологический режим Южного берега Крыма. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 120 с.
3. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том IV. Черное море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия.* – СПб.: Гидрометеиздат, 1991. – 429 с.
4. *Климат и опасные гидрометеорологические явления Крыма / Под ред. Г.Т. Логвинова, М.Б. Барабаш.* – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 318 с.
5. *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.
6. *Рябинин А.И., Мальченко Ю.А., Боброва С.А. и др.* Загрязнение вод Черного моря эвтрофирующими микроэлементами // V Междунар. симпоз. «Экологические проблемы Черного моря». – Одесса: ОЦНТЭИ, 2003. – С. 238 – 242.

7. *Harvey H.W.* The Chemistry and Fertility of Sea Water. – England, Cambridge: Cambridge University Press, 1966. – 300 p.
8. *Vaccaro R.F.* Inorganic Nitrogen in Sea Water // Chemical Oceanography / Eds. J. P. Riley, G. Skirrow. – London: Academic Press, 1965. – 1, chap. 9. – 450 p.
9. *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: МГИ НАН Украины, 2005. – Вып. 12. – С. 215 – 219.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь
*Севастопольское отделение ФГБУ
«Государственный океанографический институт»,
Севастополь
E-mail: science-mhi@mail.ru

Материал поступил
в редакцию 09.01.13
После доработки 28.05.13

АНОТАЦІЯ У роботі приведені результати аналізу сезонного та міжрічного розподілу біогенних елементів, розчиненого кисню і температури у водах Ялтинської затоки за періоди 1987 – 2004 і 2005 – 2010 рр. Аналізувалася мінливість концентрацій неорганічних форм азоту (амонійного, нітратного і нітритного) і загального азоту, неорганічного і загального фосфору, кремнію. На основі порівняння річного ходу вмісту досліджуваних біогенних елементів, розчиненого кисню і температури дана оцінка гідрохімічного режиму вод Ялтинської затоки.

Ключові слова: біогенні елементи, гідрохімічний режим вод, Ялтинська затока.

ABSTRACT Results of analysis of seasonal and interannual distribution of nutrients, dissolved oxygen and temperature in the Yalta bay waters for the periods 1987 – 2004 and 2005 – 2010 are represented. Concentrations' variability of inorganic forms of nitrogen (ammonium, nitrate and nitrite) and total nitrogen, inorganic and total phosphorus, and silicon was analyzed. Hydrochemical regime of the Yalta bay waters is assessed based of comparison of annual variations of content of the nutrients under study, dissolved oxygen and temperature.

Keywords: nutrients, hydrochemical regime of waters, Yalta bay.