

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

*Морское отделение Украинского гидрометеорологического института,
г.Севастополь

**Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В АКВАТОРИИ ЯЛТИНСКОГО ПОРТА

Исследуется распределение содержания биогенных элементов (азота нитратного, нитритного, аммонийного, фосфора фосфатного, кремния) и растворенного кислорода, их связь с гидрологическими параметрами (температурой и соленостью вод) в поверхностных и придонных водах акватории Ялтинского морского порта за период 2003 – 2012 гг.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: акватория порт Ялта, биогенные элементы, кислород, соленость.

Введение. Прибрежные акватории Южного берега Крыма (ЮБК), включая воды Ялтинского залива, являются рекреационно-курортными зонами, испытывающими значительную антропогенную нагрузку с ярко выраженным сезонным максимумом.

Морской порт Ялта расположен в глубине Ялтинского залива. Ограниченная гаванью с защитным молом (рис.1) акватория порта имеет глубины до 8,5 м. Навигация в порту осуществляется во все сезоны года, производятся небольшие судо-корпусные работы и ремонт дизельных двигателей.

Цель настоящей работы – 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 последнее десятилетие (2003 – 2012 гг.) при существующих антропогенных нагрузках.



Р и с . 1 . Расположение района мониторинга.

В работе продолжены исследования состояния морских вод отдельных акваторий ЮБК по материалам современного мониторинга [1, 2]. В монографии [1] обобщены данные о гидрометеорологических характеристиках прибрежной зоны Ялты на основе всего доступного массива наблюдений по 2003 год и гидрохимического режима за период 1986 – 2004 гг. В работе [2] приведены результаты анализа сезонной и межгодовой изменчивости распределения биогенных элементов, кислорода и температуры в водах Ялта-порт и Ялта-залив по годовому ходу азота (NO_2^- , NO_3^- , NH_3 , $N_{общ}$), фосфора (PO_4^{3-} , $P_{общ}$) и кремния (SiO_2) на нулевом (поверхностном) горизонте на основе сравнения данных двух временных интервалов 1987 – 2004 и 2005 –

Т а б л и ц а 1. Характеристика базы использованных данных за период 2003 – 2012 гг.

| показатель хар-ка содержания | темпера- тура, °С | соле- ность, ‰ | кислород | | биогены, мкг/л | | | | | | |
|------------------------------------|----------------------|-------------------|----------|-----|----------------|-----------|---------|--------|--------|--------|-----------|
| | | | мл/л | % | PO_4 | $P_{общ}$ | SiO_3 | NO_2 | NO_3 | NH_4 | $N_{общ}$ |
| максимальное | 29,0 | 18,09 | 7,96 | 131 | 54 | 92 | 1290 | 10 | 580 | 160 | 3300 |
| минимальное | 6,1 | 5,72 | 4,09 | 70 | 2 | 4 | 0 | 0 | 5 | 7 | 140 |
| среднее | 14,9 | 16,02 | 6,28 | 96 | 11 | 20 | 280 | 3 | 120 | 46 | 880 |
| количество определений | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 |

2010 гг. В работе [2] показано, что гидрохимический режим акватории Ялта-порт 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.

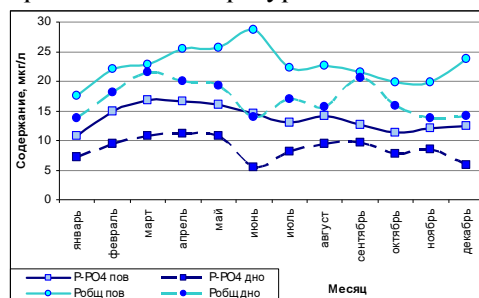
Материалы и методы. В работе использованы материалы Банка океанографических данных МГИ НАН Украины и архива Морского отделения УкрГМИ (табл.1).

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.

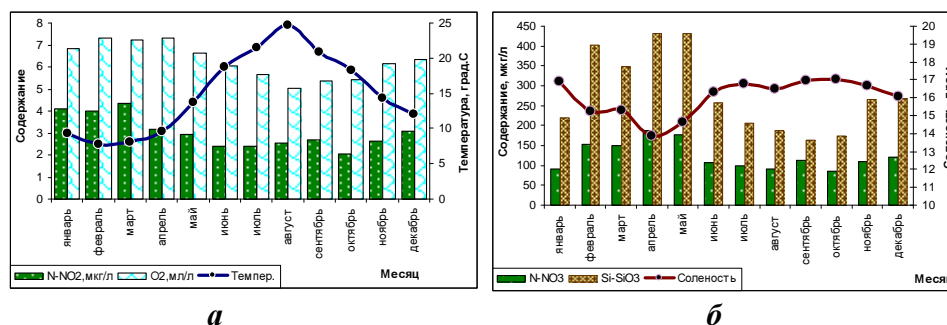
Результаты и обсуждение. Сезонная изменчивость. Содержание фосфора общего определяется динамикой его минеральной составляющей (рис.2). Корреляционная зависимость средних за 2003 – 2012 гг. месячных значений фосфора общего к фосфатам составляет 0,79. Снижение обеих форм к июню связано с возрастающим биологическим потреблением в поздневесенний период. Как показано на рис.2, концентрация фосфора выше в поверхностных водах. Так, в июле она превышает содержание в водах придонного слоя в 2 – 2,6 раза. Содержание фосфора может быть описано полиномами третьей степени с достоверностью аппроксимации 0,79 для фосфора общего и 0,62 для его минеральной формы.

Сезонное изменение содержания нитратов и нитритов определяется природными факторами, в том числе режимом температуры и солености вод. Максимум содержания нитритов в слое поверхность – дно характерен для периода гидрологической зимы (январь – март). Повышение температуры морских вод определяет снижение содержания нитритов вследствие ускорения процессов их окисления, что сопровождается снижением содержания растворенного кислорода (рис.3, а).

Максимальное среднемесячное



Р и с . 2. Изменение среднемесячного содержания фосфора в 2003 – 2012 гг.



Р и с . 3 . Изменение среднемесячного содержания нитритов, растворенного кислорода и температуры вод (а), нитратов, кремния и солености вод (б) в 2003 – 2012 гг.

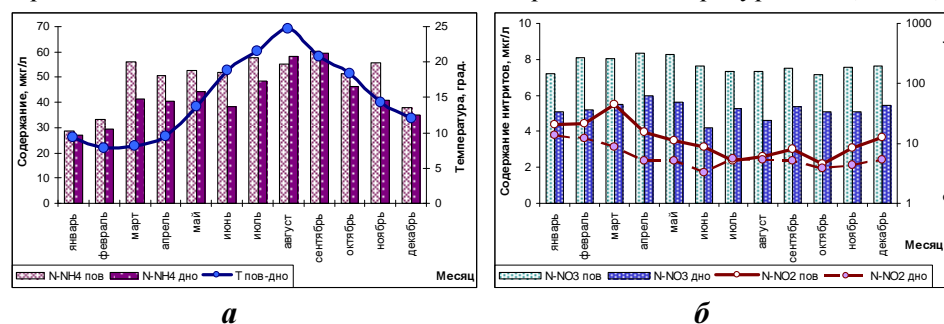
(для 2003 – 2012 гг.) содержание нитратов (150 – 190 мкг/л) наблюдается с февраля по май, когда под влиянием увеличения объемов берегового стока величина солености морских вод снижается до 13,87 – 15,32 ‰ (рис.3, б).

Для остального периода года характерно содержание нитратов 90 – 120 мкг/л, при величине солености вод 16,02 – 17,02 ‰. Коэффициенты корреляционной зависимости сезонного изменения содержания минеральных элементов биогенного комплекса от гидрологических параметров представлены в табл.2.

Так как весеннее поступление неорганических форм азота связано с увеличением берегового стока, сезонная динамика более выражена в водах поверхностного горизонта (рис.4, а). Максимум нитритов в поверхностных водах достигается в марте (6 мкг/л), нитратов – в феврале – мае (260 – 310 мкг/л). Второе менее выраженное повышение их содержания, наблюдается в сентябре на обоих горизонтах (до 3 и 180 мкг/л соответственно). Снижение концентрации нитратов и нитритов в летне-осенний вегетационный период определяется интенсивным ростом морской флоры.

Содержания их в толще вод по сравнению с зимне-весенним периодом (февраль – май) снижается в 1,3 – 1,6 раза.

Внутригодовое изменение концентрации аммонийного азота также более выражено в поверхностном слое (рис.4, б). В 2003 – 2012 гг. максимальная определяемая концентрация его в периоды с марта по ноябрь достигала в поверхностных водах 78 – 130 мкг/л, в придонных 61 – 98 мкг/л. В холодный период не превышала 78 и 69 мкг/л соответственно. Увеличение содержания аммонийного азота совпадает с ростом температуры вод (табл.2).



Р и с . 4 . Изменение среднемесячного содержания нитратов и нитритов (а) и аммонийного азота и температуры вод (б) в 2003 – 2012 гг.

Т а б л и ц а 2. Коэффициенты корреляционной зависимости между биогенными элементами и гидролого-гидрохимическими параметрами в 2003 – 2012 гг.

| параметры | температура, °С | растворенный кислород, мл/л | соленость, ‰ |
|------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------|
| фосфаты, мкг/л | – | – | – 0,81 |
| нитриты, мкг/л | – 0,83 | 0,82 | – |
| нитраты, мкг/л | – 0,60 | 0,73 | – 0,96 |
| азот аммонийный, мкг/л | 0,74 | – 0,67 | – |
| кремний, мкг/л | – 0,70 | 0,83 | – 0,94 |

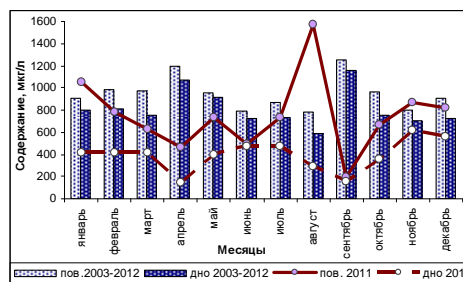
симуму биомассы фитопланктона [3]. В весенний максимум содержание его в поверхностных водах ежегодно варьировало от 880 до 1790 мкг/л, в придонных – от 510 до 2230 мкг/л. В сентябре диапазоны изменения концентрации соответственно составляли 510 – 2230 и 350 – 3300 мкг/л. Исключением был 2011 г. (рис.5), когда содержание азота общего было значительно ниже среднемноголетнего. Минимальное среднемноголетнее содержание азота общего (за исключением 2011 г.) фиксировалось в августе – 700 и 590 мкг/л в поверхностных и придонных водах соответственно.

Сезонная динамика концентрации кремния аналогична нитратам (рис.3, б) и характеризуется повышенным содержанием в феврале-мае, по видимому, за счет поступления более опресненных, обогащенных кремнием вод. На поверхностном горизонте максимум среднемесячных (за 2003 – 2012 гг.) значений достигался в феврале-мае (590 – 660 мкг/л), на придонном (270 мкг/л в апреле) был менее выражен. Минимум приходился на июль-октябрь, когда содержание снижалось соответственно до 240 – 300 мкг/л у поверхности и до 160 – 210 мкг/л у дна. Многолетнее сезонное изменение содержания кремния может быть описано полиномом третьей степени с достоверностью аппроксимации 0,8.

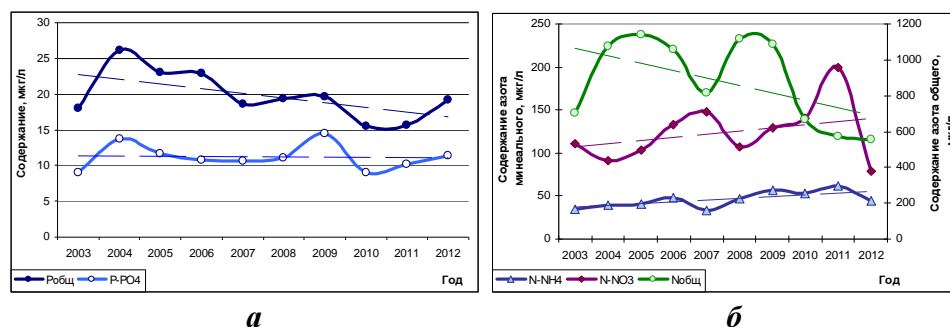
Межгодовая изменчивость. В исследуемый период (2003 – 2012 гг.) наблюдается значительное изменение годовых величин концентрации фосфора общего. Снижение его содержания с 26 мкг/л в 2004 году до 19 мкг/л в 2010 – 2011 гг. более выражено в придонных водах (соответственно с 25 до 12 мкг/л). Многолетнее изменение содержание фосфора общего может быть описано полиномами третьей степени с достоверностью аппроксимации 0,71. Связь изменения среднегодового содержания фосфора общего с его минеральной формой менее выражена (коэффициент корреляции составляет 0,64). Межгодовое изменение фосфатов имеет два выраженных максимума (14 – 15 мкг/л)

Многолетнее сезонное изменение содержания аммонийного азота может быть описано квадратным уравнением с достоверностью аппроксимации 0,79.

Сезонная динамика азота общего имеет два выраженных максимума в апреле (1130 мкг/л) и сентябре (1210 мкг/л), которые соответствуют весеннему и летнему мак-



Р и с . 5. Изменение среднемесячного содержания азота общего в 2003 – 2012 гг.



Р и с . 6. Изменение среднегодового содержания фосфора (а) и азота (б) в 2003 – 2012 гг.

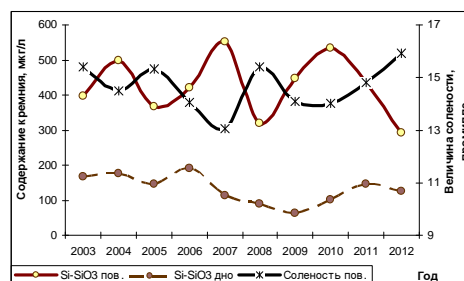
в 2004 и 2009 гг. и минимумы (9 мкг/л) в 2003 и 2010 гг. В те же годы наблюдается максимум и для общего фосфора (рис.6, а).

Многолетнее изменение концентрации неорганических форм азота неоднозначно (рис.6, б). На фоне роста концентрации нитратного и аммонийного азота общее содержание азота снижается. Изменение годовых величин азота общего согласуется с изменением содержания фосфора общего и его минеральной составляющей (коэффициент корреляции соответственно 0,73 и 0,61), что указывает на единый источник их поступления. Среднегодовое содержание азота общего снижается от 1060 – 1140 мкг/л в 2004 – 2006 и 2008 – 2009 гг. до 560 – 570 мкг/л в 2011 – 2012 гг. Концентрация аммонийного азота, напротив, возрастает от 33 – 34 мкг/л в 2003 и 2007 гг., достигая в 2011 г. максимума 62 мкг/л. В 2011 г. также достигает максимума (200 мкг/л) содержание нитратов.

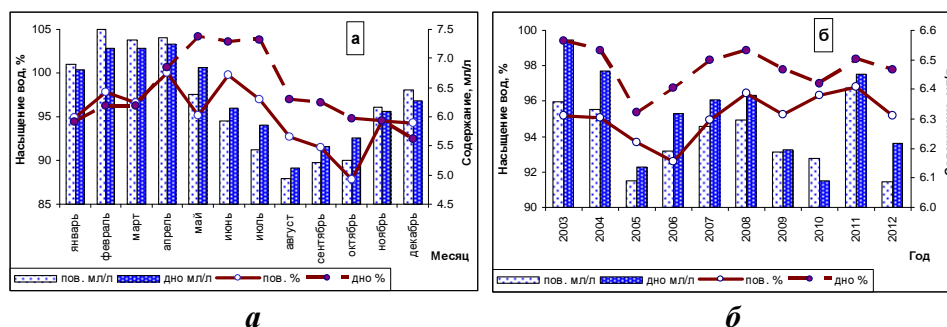
Среднегодовое содержание кремния в слое поверхность-дно в период исследования варьировало в диапазоне 210 – 340 мкг/л. Поверхностные воды содержали его в среднем в 2 – 7 раз больше, чем придонные (рис.7). Для поверхностных вод четко выражена обратная зависимость концентрации кремния от величины солености (коэффициент корреляции составляет - 0,89) при отсутствии связи между содержанием его и соленостью придонных вод. Изменение среднегодовых величин содержания кремния характеризуется выраженными максимумами (с дискретностью в 3 года), когда концентрация его в слое поверхность-дно достигала 340 – 320 мкг/л, с последующим значительным снижением до 260 – 210 мкг/л.

Кислородный режим. В рассматриваемый период относительное содержание растворенного кислорода достигало или превышало барьер 100 %-ого насыщения вод лишь в 22 – 30 % случаев от общего количества определений (рис.8).

В поверхностных водах относительное содержание в целом составило 95 % насыщения, и было достаточным лишь в апреле и июне (рис.8, а). В остальные месяцы дефицит кис-



Р и с . 7. Изменение среднегодового содержания кремния и солености вод в 2003 – 2012 гг.



Р и с . 8 . Сезонное (а) и межгодовое (б) изменение аэрации вод в 2003 – 2012 гг.

лорода мог достигать 9 – 30 % насыщения.

Придонные воды были аэрированы значительно лучше (98 % насыщения). В весенне-летний период (с апреля по июль) относительное содержание составило 101 – 104 % насыщения, а дефицит кислорода в остальные месяцы не превышал 14 %. Абсолютное содержание кислорода было максимальным с февраля по апрель (7,24 – 7,34 мл/л – рис.8, а), значительно снижаясь в летне-осенний период (до 5,03 мл/л в августе).

Внутригодовое изменение концентрации растворенного кислорода может быть описано полиномом третьей степени с достоверностью аппроксимации 0,92. Среднегодовое содержание кислорода в 2003 – 2012 гг. варьировало в диапазоне 6,12 – 6,46 мл/л, находясь в обратной зависимости от температуры вод (коэффициент корреляционной зависимости – 0,87). Относительное содержание его ежегодно было недостаточным (рис.8, б) и, более того, в поверхностных водах на 1 – 4 % насыщения ниже, чем в придонных.

Заключение. Проведенный анализ динамики биогенных элементов в акватории Ялтинского порта позволяет сделать следующие выводы.

Сезонное изменение содержание 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 так же 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 общего содержание 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 на поверхностном горизонте по сравнению с придонным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов В.А., Репетин Л.Н., Мальченко Ю.А.* Климатические изменения гидрометеорологических и гидрохимических условий прибрежной зоны Ялты / Препринт.– Севастополь, МГИ НАН Украины, 2005 .- 163 с.
2. *Совга Е.Е., Годин Е.А., Пластун Т.В., Мезенцева И.В.* Оценка гидрохимического режима прибрежных вод Ялтинского залива // Морской гидрофизический журнал.– 2014.– № 2. (в печати)
3. *Беляев В.И., Жаров Н.А., Давыдова Е.П.* Расчет годового хода компонент экосистемы шельфа // Системный анализ и моделирование процессов на шельфе.– Севастополь: МГИ АН УССР, 1983.– С.29-37.

Материал поступил в редакцию 23.08.2013 г.

АНОТАЦІЯ Досліджується розподіл вмісту біогенних елементів (азоту нітратного, нітритного, амонійного, фосфору фосфатного, кремнію) та розчиненого кисню, їх зв'язок з гідрологічними параметрами (температурою та солоністю вод) в поверхневих і придонних водах акваторії Ялтинського морського порту за період 2003 – 2012 рр.

ABSTRACT Distribution of content of biogenic elements (nitrate, nitrite and ammonium nitrogen, phosphate phosphorous, and silicone) and dissolved oxygen, their correlation with hydrological parameters (seawater temperature and salinity) in the surface and near-bottom waters in the area of the commercial sea port of Yalta during 2003 – 2012 are considered in the paper.