

УДК 574.58:502.4:574.474 (477.75)

DOI: 10.25684/NBG.scnote.009.2018.04

## ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ АКВАТОРИИ ОСОБО ОХРАНЯЕМОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ «МЫС МАРТЬЯН» И ПРОБЛЕМА РЕАЛИЗАЦИИ ЕЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПО ФАКТОРАМ ЭВТРОФИКАЦИИ, РАДИОАКТИВНОГО И ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД

*Егоров В.Н.<sup>1,2</sup>, Плугатарь Ю.В.<sup>1</sup>, Малахова Л.В.<sup>1,2</sup>, Мирзоева Н.Ю.<sup>1,2</sup>, Гулин С.Б.<sup>2</sup>, Поповичев В.Н.<sup>2</sup>, Садогурский С.Е.<sup>1</sup>, Малахова Т.В.<sup>2</sup>, Щуров С.В., Проскурнин В.Ю.<sup>2</sup>, Бобко Н.И.<sup>2</sup>, Марченко Ю.Г.<sup>2</sup>, Стецюк А.П.<sup>2</sup>*

1 – Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН,  
e-mail: egorov.ibss@yandex.ru

2 – Институт морских биологических исследований РАН

В докладе представлены основные результаты работ 2017 г., направленные на определение морфологических, гидрохимических и гидродинамических характеристик акватории, на изучение радиоактивного и химического загрязнения и эвтрофикации ее вод, а также на оценку допустимых потоков антропогенного воздействия, нормированных по фактору вмещающей емкости водного депо.

Работы проводились в рамках реализации программы исследований ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН» – «Реализация концепции устойчивого развития морской рекреационной акватории Никитского ботанического сада в отношении радиоактивных и химических загрязнений» и ФГБУН «Института морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН» (г. Севастополь) с использованием спутникового навигатора Garmin GPS 12XL и высокочастотного эхолота Garmin-300. Концентрации радионуклидов, хлорорганических соединений и биогенных элементов в воде измерялись по стандартизированным методикам, первичная продукция фитопланктона оценивалась радиоуглеродным методом по <sup>14</sup>C, а тяжёлые металлы определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на масс-спектрометре PlasmaQuant MS в Научно-образовательном центре коллективного пользования «Спектрометрия и хроматография» ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН».

В рамках гидродинамического раздела работ была осуществлена привязка акватории «Мыс Мартьян» к спутниковым географическим координатам и построена ее батиметрическая карта, показанная на рис. 1.

Установлено, что заповедная акватория характеризуется пологим рельефом дна, средняя ее глубина составляет 10 м, а максимальная 20 м. Район вытянут вдоль берега на 1,6 км, а ее водная граница удалена от берега на 500 м. Площадь акватории составляет 560000 м<sup>2</sup>, а объем воды – 5300000 м<sup>3</sup>. Оценка гидродинамических характеристик региона показала, что прибрежная полоса заповедной зоны характеризуется слабыми течениями.

В 80-90% случаев измеренные их скорости в этом районе не превышают 20 см. с<sup>-1</sup>. С удалением от берега скорости течений в 5 милях мористее возрастают до 100-150 см. с<sup>-1</sup>. Очевидно, что чем ниже интенсивность обновления вод, тем при меньших потоках поступления в акваторию загрязняющих веществ их концентрация достигнет предельно допустимых санитарных уровней (ПДК). Поэтому оценки предельно допустимых потоков поступления загрязняющих веществ должны нормироваться исходя из реализации сценариев наиболее застойного состояния вод акватории.

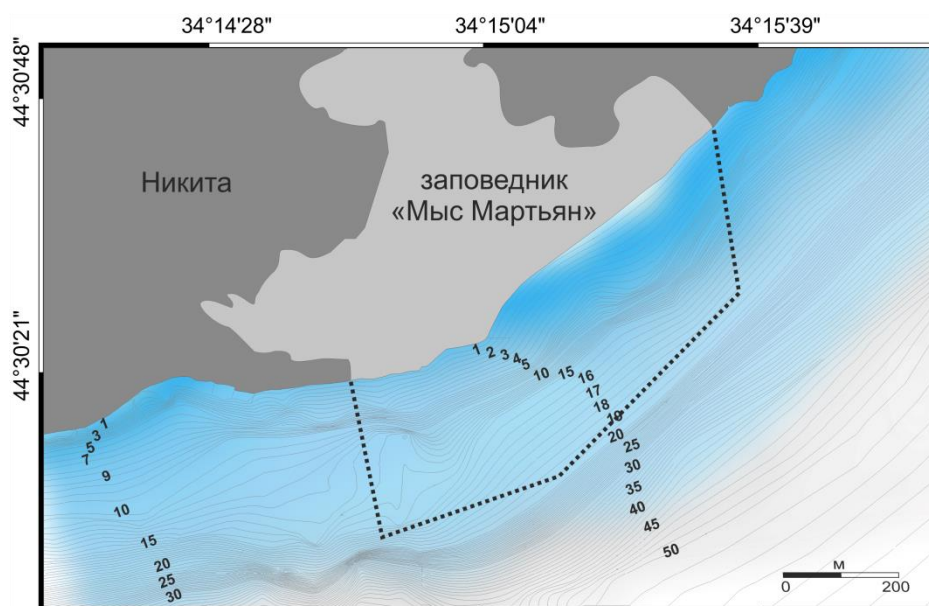


Рис. 1. Батиметрическая карта акватории ООПТ «Мыс Мартьян»

Такой критический по гидродинамическому водообмену режим соответствует минимальной скорости течений 5 см. с<sup>-1</sup>, при котором полное обновление вод заповедной зоны произойдет за 5-6 часов. Проведенное 24 августа 2017 года гидроакустическое зондирование на частоте 210 кГц в акватории у мыса Мартьян позволило получить эхограммы, соответствующие разным типам грунтов и местам обитания бурой водоросли цистозеры. В результате этой съемки были впервые обнаружены 26 площадок струйных газовыделений на глубинах от 2,5 до 31,2 м. Погружения дайверов у мыса Монтедор (в непосредственной близости от границ акватории «Мыс Мартьян») позволили обнаружить 20.09.17 г. пузырьковые потоки газа со дна на глубине 2,5 м в точке с координатами 44°30'15" N, 34°14'02" E. Последующее визуальное обследование показало, что 24.09.2017 г. газовыделения здесь стали менее интенсивными. После штормового периода (в течение пяти суток) на берегу напротив этой площадки образовался вал гравия высотой до одного метра. Наблюдения 05.10.2017 и 14.10.2017 г. показали, что после упомянутого шторма пузырьковые газовыделения в этом месте отсутствовали.

По современным представлениям, обнаруженный феномен является значимым биогеохимическим фактором формирования экологического состояния региона.

Поэтому изучение закономерностей газовой разгрузки дна заповедной зоны «Мыс Мартьян» является актуальным направлением последующих исследований.

Эвтрофикационные характеристики региона исследовались в сравнительном плане: в акватории особо охраняемой природной территории «Мыс Мартьян» и в приустьевой зоне реки Водопадная. Они оценивались по концентрации биогенных элементов в воде и первичной продуктивности фитопланктона. Результаты измерений сведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Концентрации биогенных элементов и первичная продукция фитопланктона в акватории «Мыс Мартьян» ( $44^{\circ} 30.329' N$ ,  $34^{\circ} 14.301' E$ ) и в приустьевой зоне реки Водопадная ( $44^{\circ} 29.153' N$ ,  $34^{\circ} 09.653' E$ )

Мыс Мартьян (пгт Никита)				Река Водопадная (г. Ялта)			
Дата	Первичная продукция, $мгС \cdot м^{-3} \cdot сут^{-1}$	Концентрация биогенного элемента в воде, $мкг \cdot л^{-1}$		Дата	Первичная продукция $мгС \cdot м^{-3} \cdot сут^{-1}$	Концентрация биогенного элемента в воде, $мкг \cdot л^{-1}$	
31.03.17		аммоний нитриты нитраты фосфаты	2,0±0,1 1,2±0,1 5,0±0,2 4,5±0,1	02.04.17		аммоний нитриты нитраты фосфаты	4,0±0,1 2,5±0,1 20,0±0,6 5,0±0,1
19.04.17	3,4	аммоний нитриты нитраты фосфаты	15,0±0,7 0,5±0,1 17,0±0,5 0,5±0,1	19.04.17	18,5	аммоний нитриты нитраты фосфаты	25,0±1,2 0,6±0,1 36,8±1,1 5,0±0,1
30.06.17	112,8	аммоний нитриты нитраты фосфаты	30,0±1,0 0,8±0,1 7,6±0,2 14,4±0,2	30.06.17	201,0	аммоний нитриты нитраты фосфаты	52,2±2,5 1,6±0,1 9,2±0,3 76,1±1,1
14.12.17	23,3	аммоний нитриты нитраты фосфаты	21,0±1,0 0,4±0,1 6,5±0,2 3,0±0,2				
09.01.18	10,2	аммоний нитриты нитраты фосфаты	5,0±2,5 1,4±0,1 11,8±0,3 3,0±0,2	09.01.18	31,5	аммоний нитриты нитраты фосфаты	10,0±2,5 1,7±0,1 21,3±0,2 4,0±0,2

Представленные в табл. 1 данные показали, что в приустьевой зоне реки Водопадная концентрации минерального фосфора и всех форм азота, а также первичной продуктивности фитопланктона, во всех случаях были выше, чем в акватории мыса Мартьян. Концентрация минерального фосфора у мыса Мартьян в среднем составляла 35%, суммарно аммония, нитритов и нитратов – 56%, а продукция фитопланктона 35% от соответствующих показателей в приустьевой зоне реки Водопадная. Это свидетельствует о меньшей эвтрофированности изучаемой нами акватории особо охраняемой природной территории «Мыс Мартьян».

По существующей шкале оценки степени эвтрофирования обе исследованные акватории в весенний и зимний периоды можно отнести к мезотрофным водам. Однако в летний период, как в акватории мыса Мартьян, так и в приустьевой зоне реки Водопадная, первичная продукция фитопланктона превышала пороговый уровень гипертрофности вод, составляющий  $100 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$ .

Для определения степени лимитирования первичной продукции минеральным фосфором и соединениями азота было использовано соотношение Рэдфилда.

$$R_{\text{atom}} = 1.53(1.35 \text{ NO}_2 + \text{NO}_3 + 3.44 \text{ NH}_4)/\text{PO}_4,$$

где:  $\text{NO}_2$  – концентрации нитритов;  $\text{NO}_3$  – нитратов;  $\text{NH}_4$  – аммония и  $\text{PO}_4$  – фосфатов в морской воде ( $\text{мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ ).

Как известно, из расчетной величины соотношения Рэдфилда следует, что при  $R_{\text{atom}} > 16$  первичная продукция фитопланктона лимитирована по  $\text{PO}_4$ , а при  $R_{\text{atom}} < 16$  по соединениям атомарного азота. Выполненные нами по уравнению Рэдфилда ( $R_{\text{atom}}$ ) расчеты показали, что весеннему периоду (19.04.17) для акватории мыса Мартьян и реки Водопадной соответствовали оценки  $R_{\text{atom}} = 228.9$  и  $R_{\text{atom}} = 41.7$ ; летнему сезону (30.06.17)  $R_{\text{atom}} = 14.3$  и  $R_{\text{atom}} = 3.9$ , а зимнему периоду (09.01.18)  $R_{\text{atom}} = 17.6$  и  $R_{\text{atom}} = 24.8$ . Из этих данных видно, что весной первичная продукция фитопланктона в обоих регионах была лимитирована по минеральному фосфору, а летом – по комплексу соединений азота. В зимний период отмечалось слабо выраженное фосфорное лимитирование продукционных процессов и, по-видимому, температура воды была основным лимитирующим фактором.

По современным оценкам, для каждого новообразования органического вещества, массой 1000 грамм требуется не менее 2 г фосфора и 14 г азота. Расчеты показали, что с учетом этого обстоятельства в летний сезон во всей акватории мыса Мартьян, объемом в  $5300000 \text{ м}^3$ , на новую продукцию фитопланктона извлекается 14.9 кг P- $\text{PO}_4$  и 104.3 кг суммарного азота ( $\text{N} - \sum \text{N}$ ). (Здесь учитываются химические элементы фосфор и азот, а не их неорганические соединения).

Легко допустить, что ежедневное поступление таких потоков биогенных элементов в пределы фотического слоя акватории может осуществляться как за счет переноса из смежных водных масс, так и с береговым стоком. При стационарности системы «первичная продукция – биогенные элементы» как в акватории мыса Мартьян, так и в смежных регионах, отмеченные потоки могут быть показателями антропогенной эвтрофикации вод за счет склонового стока.

Отсюда следует, что поступление в акваторию ООПТ «Мыс Мартьян» соединений азота  $104.3 \text{ кг} \text{ сут}^{-1}$  может быть верхней оценкой потока предельно допустимого антропогенного воздействия, обеспечивающего режим устойчивого развития этой рекреационной зоны по фактору эвтрофикации вод.

Характеристики радиоактивного и химического загрязнения акватории ООПТ «Мыс Мартьян» представлены в табл. 2. В пятой графе этой таблицы представлены данные по содержанию загрязняющих веществ в акватории объемом в  $5300000 \text{ м}^3$  в настоящее время, а в шестой графе даны результаты расчетов предельной ассимиляционной емкости акватории в случае, если концентрации контаминантов в воде достигнут ПДК.

Представленные в табл. 2 материалы показали, что концентрация всех загрязняющих веществ акватории, кроме ртути, значительно ниже ПДК.

**Таблица 2.** Концентрации, ПДК и предельно допустимые потоки сброса загрязняющих веществ в акваторию особо охраняемой природной территории «Мыс Мартьян»

Конта-минант	Концентрация в воде	ПДК в воде	Концентрация в воде (% от ПДК)	Пул в акватории мыса Мартьян	Предельно допустимый пул в воде	Предельно допустимый сброс в акваторию за 5 часов
<sup>90</sup> Sr	3,6±1,00 Бк.м <sup>-3</sup>	5000 Бк.м <sup>-3</sup>	0,07	19,10 МБк	26500,0 МБк	132400 МБк
Cu (лабильн.)	1,45±0,04 мкг·л <sup>-1</sup>	5* мкг·л <sup>-1</sup>	29,00	7,70 кг	26,5 кг	94 кг
Zn (лабильн.)	1,35±0,38 мкг·л <sup>-1</sup>	50* мкг·л <sup>-1</sup>	2,70	7,20 кг	265,0 кг	1289 кг
Cd (лабильн.)	0,41±0,01 мкг·л <sup>-1</sup>	10* мкг·л <sup>-1</sup>	4,10	2,20 кг	53,0 кг	254 кг
Pb (лабильн.)	2,76±0,05 мкг·л <sup>-1</sup>	10* мкг·л <sup>-1</sup>	27,60	14,60 кг	53,0 кг	192 кг
Hg (общая)	158,5±7,90 нг·л <sup>-1</sup>	100 нг·л <sup>-1</sup>	158,50	840,05 г	530,0 г	1550 г
Линдан	0,34±0,09 нг·л <sup>-1</sup>	<10 <sup>1**</sup> нг·л <sup>-1</sup>	3,50	1,85 г	53,0 г	255 г
ΣДДТ	0,22±0,23 нг·л <sup>-1</sup>	<10 <sup>1**</sup> нг·л <sup>-1</sup>	2,25	1,19 г	53,0 г	259 г
ΣПХБ	1,33±1,60 нг·л <sup>-1</sup>	<10 <sup>1**</sup> нг·л <sup>-1</sup>	13,3	7,76 г	53,0 г	226 г

**Примечание:**

\* Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Приказ от 13 декабря 2016 года № 552 Министерства сельского хозяйства Российской Федерации;

\*\* Согласно перечня рыбохозяйственных нормативов Роспотребнадзора.

В седьмой графе таблицы даны оценки предельных потоков поступления загрязняющих веществ в акваторию, находящуюся в «застойном» гидродинамическом режиме с периодом ее водообмена за 5 часов. Эти оценки, очевидно, могут использоваться в качестве критериев реализации устойчивого развития акватории по фактору радиоактивного и химического загрязнения ее вод. В целом, выполненные исследования свидетельствуют об удовлетворительном экологическом состоянии акватории особо охраняемой природной территории «Мыс Мартьян» по большинству исследованных факторов. Принятие мер по снижению сброса в акваторию ртути и соединений азота позволит реализовать концепцию устойчивого развития этой рекреационной зоны по фактору ассимиляционной емкости ее акватории.