

Сезонная динамика содержания и локальные источники биогенных элементов в водах прибрежной акватории Гераклейского полуострова

© 2017 Е.Е. Совга, С.И. Кондратьев, Е.А. Годин, К.А. Слепчук

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия
E-mail: science-mhi@mail.ru, skondratt@mail.ru, Godin_ea@mail.ru, b.kira@inbox.ru

Поступила в редакцию 03.06.2016 г. После доработки 25.07.2016 г.

На основе анализа гидрологических и гидрохимических данных Банка океанографических данных Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Морской гидрофизический институт РАН» (ФГБУН МГИ) получены оценки многолетней межгодовой и сезонной изменчивости за 1960 – 2010 гг. отдельных гидрохимических параметров в поверхностном и придонном слоях вод прибрежной акватории Гераклейского полуострова. Оценено влияние глубоководного выпуска сточных вод Севастополя на экологическую ситуацию в данной акватории по данным экспедиционных исследований ФГБУН МГИ, выполненных в 2015 г. Выявлено значительное влияние антропогенных факторов на динамику содержания биогенных элементов и экологическое состояние прибрежных вод Гераклейского полуострова.

Ключевые слова: Гераклейский полуостров, акватория, биогенные элементы, межгодовая изменчивость, сезонная изменчивость, экспедиционные исследования, глубоководный выпуск.

DOI: 10.22449/0233-7584-2017-1-56-65

Введение

Гераклейский полуостров – треугольный выступ суши в Черное море на юго-западе Крымского п-ова, ограниченный Севастопольской бухтой, рекой Черной, Балаклавской долиной и Балаклавской бухтой. Его прибрежная акватория испытывает значительную антропогенную нагрузку и опосредованное влияние бухт Севастопольского региона (Севастопольской, Карантинной, Круглой, Стрелецкой, Казачьей, Камышовой и Балаклавской). Антропогенная нагрузка на данную акваторию определяется: выпусками бытовых и промышленных сточных вод, рекреационной деятельностью, а также поступлением загрязняющих веществ с поверхностным стоком. В исследуемой акватории расположена магистраль основного канализационного сброса Севастополя (более половины всего городского расхода), диффузор которой находится на расстоянии 3,3 км от берега на глубине ~70 – 80 м.

С поверхностным стоком, с выпусками бытовых и промышленных сточных вод в прибрежные зоны попадают всевозможные загрязнения, включая биогенные элементы, которые при избыточном поступлении могут приводить к резкому увеличению продукции фитопланктона и далее к эвтрофикации, а при определенных ситуациях и к локальным заморным явлениям. Определение непосредственного влияния тех или иных индивидуальных загрязняющих веществ при их совокупном воздействии на естественные биологические сообщества относится к числу важных задач, поскольку в результате такого взаимодействия структура экосистемы существенно трансформируется. Это

может выражаться как в кратковременных изменениях (например, гидрохимического состава экосистемы), которые в результате естественных процессов самоочищения со временем постепенно нивелируются, так и в более стойких однонаправленных изменениях, которые оказывают значительное влияние на формирование гидрохимического режима данной акватории и в дальнейшем могут привести к нарушениям нормального функционирования биоценозов.

По спутниковым данным, в прибрежных водах Гераклейского п-ова (в районе между м. Херсонес и м. Фиолент) неоднократно отмечались поверхностные аномалии температуры и солености, а также пятна неизвестного происхождения, которые могли возникнуть под действием как природных (апвеллинг), так и антропогенных (сброс сточных вод) факторов. В связи с этим значительный интерес представляет определение районов прибрежной акватории Гераклейского п-ова с аномальными значениями гидрохимических параметров на основе данных комплексной океанографической съемки и (в качестве фона) результатов анализа многолетней изменчивости их значений.

Таким образом, целью настоящего исследования является оценка многолетней межгодовой и сезонной изменчивости гидрологических и гидрохимических параметров поверхностного и придонного слоев прибрежных вод Гераклейского п-ова, а также анализ экологической ситуации в летний и раннеосенний периоды в районе глубоководного выпуска сточных вод по результатам экспедиционных исследований в 2015 г.

Использованные данные

Для оценки многолетней межгодовой и сезонной изменчивости гидрохимических параметров прибрежной акватории Гераклейского п-ова на основе информации, хранящейся в Банке океанографических данных Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Морской гидрофизический институт РАН» (БОД МГИ), авторами сформирована специализированная база данных, включающая данные 2025 гидрологических и 337 гидрохимических станций, выполненных в исследуемой акватории за 1960 – 2010 гг. Привлечены также данные, полученные на 31 океанографической станции в экспедиции НИС «Бирюза» (сентябрь 2015 г.). Всего в течение этого рейса отряд гидрохимии на борту судна провел анализ 61 пробы на растворенный кислород и величину рН, отобрал 244 пробы морской воды для последующего анализа (в условиях стационарной лаборатории) на содержание биогенных элементов (фосфаты, силикаты, сумма нитратов и нитритов, аммоний), общую щелочность и неорганический углерод.

Анализ распределения количества станций (табл. 1) показал, что наиболее обеспечены гидрохимическими данными март, май и ноябрь, а наименее – февраль и декабрь.

Следует отметить, что гидрологические данные, а также содержание кислорода и величина рН представлены в БОД МГИ более полно по сравнению с биогенными элементами. К сожалению, обеспеченность данными по распределению нитритного и нитратного азота была неудовлетворительной, а по содержанию аммонийного азота данные за исследуемый период в БОД МГИ вообще отсутствуют.

Распределение количества станций, на которых были проведены гидрохимические анализы, по месяцам и годам

Месяц	Количество станций	Годы
Январь	19	1961, 1968, 1985, 1987
Февраль	9	1964, 1972, 1977
Март	86	1961, 1965 – 1967, 1969 – 1970, 1975, 1996
Апрель	12	1961 – 1963, 1974
Май	52	1961, 1963 – 1964, 1966 – 1971, 1973, 1986, 1991, 2007
Июнь	21	1965 – 1967, 1969, 1978, 1987
Июль	32	1960 – 1966, 1969 – 1970, 1974, 1986, 1990 – 1992
Август	28	1960 – 64, 1967, 1969, 1976, 1086, 1992, 2009
Сентябрь	26	1980, 1987, 1996, 1999
Октябрь	33	1976, 2010
Ноябрь	46	1964, 1967 – 1968, 1970, 1974 – 1975, 1978 – 1979, 1985 – 1987, 1989, 1993, 1998
Декабрь	8	1980, 1994

Оценки многолетней межгодовой и сезонной изменчивости

Вследствие недостаточного количества выполненных станций (см. табл. 1) и неравномерного распределения их во времени проследить сезонный ход гидрохимических параметров в течение года оказалось возможным не для всех лет исследуемого периода. Вместе с тем в результате охвата большого временного ряда удалось проследить межгодовую изменчивость внутри одного месяца для мая, марта, июля, августа и ноября.

В табл. 2 приведены данные, на основе которых был выполнен анализ многолетней изменчивости содержания гидрологических и гидрохимических параметров в поверхностном и придонном слоях вод акватории Гераклеяского п-ова для мая. Аналогичные таблицы составлены для других месяцев года. Затем на основе данных, осредненных по всему массиву, были построены графики годового хода содержания биогенных элементов (рис. 1, 2).

Проведенный анализ позволил отметить более высокие (по сравнению с другими биогенными элементами) концентрации кремниевой кислоты, особенно это характерно для придонного слоя вод (табл. 2). Если сравнить значения концентрации кремниевой кислоты в водах исследуемой акватории и в воде Южной бухты (7 – 8 мкМ/л [1, 2]), которая является наиболее загрязненной частью Севастопольской бухты, то в отдельные годы содержание кремнекислоты в акватории Гераклеяского п-ова намного выше (табл. 2). Причиной такой ситуации может быть наличие субмаринных источников пресных вод, а также влияние поверхностного стока, поскольку в пресных водах всегда наблюдаются более высокие концентрации кремнекислоты [2].

При построении годового хода биогенных элементов был осреднен и проанализирован весь массив данных: годовой ход содержания фосфатов и кремнекислоты в поверхностном (рис. 1, а; 2, а) и придонном (рис. 1, б; 2, б) слоях вод исследуемой акватории.

Т а б л и ц а 2

**Гидрохимический режим в поверхностном и придонном
слоях вод исследованной акватории в мае с 1960 по 2007 гг.**

Год	Географические координаты места забора проб			Гидрологические характеристики морской воды			рН	Содержание кислорода и биогенных элементов в воде, мкМ/л				
	Глубина, м	Широта, ° с. ш.	Долгота, ° в. д.	Температура, °С	Соленость, ‰	Плотность, кг/м ³		O ₂	NO ₂	NO ₃	PO ₄	SiO ₃
В поверхностном слое вод												
25.5.1961	0,5	44,53	33,35	14,90	17,92	12,86	8,42	288,05	-	-	0,097	16,02
24.5.1961	-"	44,55	33,26	15,10	17,68	12,64	-	266,17	-	-	-	-
1963	-"	44,55	33,35	12,30	17,76	13,19	8,48	297,88	0,071	-	0,129	328,50
1966	-"	44,55	33,35	13,90	18,33	13,36	8,39	298,32	0,400	-	1,130	23,99
1967	-"	44,55	33,28	15,94	17,87	12,53	-	296,54	-	-	0,170	16,30
1968	-"	44,56	33,28	18,55	17,97	12,15	-	275,10	-	-	0,260	23,00
1969	-"	44,56	33,26	13,80	17,92	13,06	-	300,11	-	-	0,390	17,30
1970	-"	44,65	33,30	14,10	18,01	13,08	-	266,62	-	-	0,190	18,10
1986	-"	44,53	33,30	14,91	17,95	12,88	-	297,43	-	-	0,900	5,10
1991	-"	44,60	33,28	13,92	17,76	12,92	-	257,68	-	-	0,490	5,10
2007*	-"	44,56	33,38	12,29	18,07	13,85	8,38	298,33	0,235	-	0,348	-
В придонном слое вод												
25.5.1961	85	44,53	33,35	7,97	18,42	14,28	8,42	279,12	-	-	0,71	51,58
24.5.1961	100	44,55	33,26	7,89	19,07	14,80	-	143,80	-	-	-	-
1963	90	44,55	33,35	8,02	18,69	14,49	8,44	206,77	-	-	0,161	167,32
1966	85	44,55	33,35	7,90	19,47	15,11	8,10	139,33	0,364	-	0,149	39,98
1967	90	44,55	33,28	7,94	18,60	14,43	-	237,59	-	-	0,39	41,20
1968	95	44,56	33,28	7,77	19,33	15,02	-	200,07	-	-	0,32	35,10
1969	85	44,56	33,26	7,30	18,78	14,64	-	268,40	-	-	0,26	51,20
1970	90	44,65	33,30	8,16	18,53	14,35	-	275,98	-	-	0,68	32,10
1986	91	44,53	33,30	7,35	19,42	15,12	-	114,33	-	-	0,76	28,10
1991	75	44,60	33,28	7,14	18,68	14,58	-	233,57	-	-	0,68	12,20
2007*	55	44,56	33,38	8,77	18,52	14,04	-	289,84	-	-	0,48	52,70

*В 2007 19 мая суточная станция с 00.04 до 23.59.

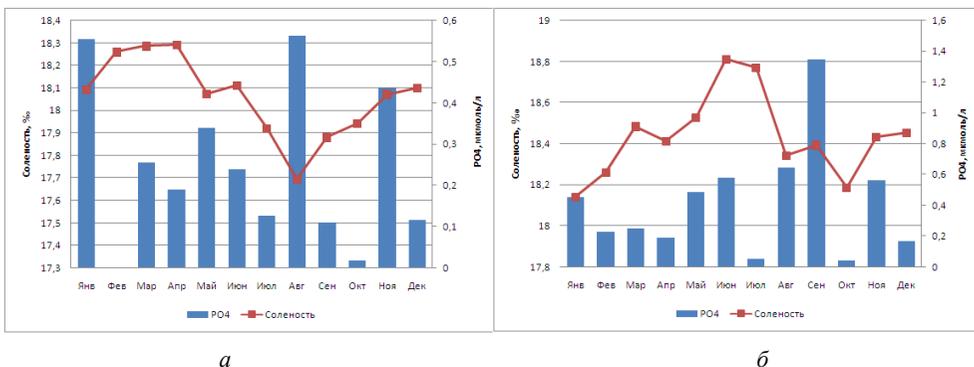


Рис. 1. Годовой ход содержания фосфатов, мкм/л, и величины солености, ‰, в поверхностном (а) и придонном (б) слоях вод, осредненных по всему массиву данных

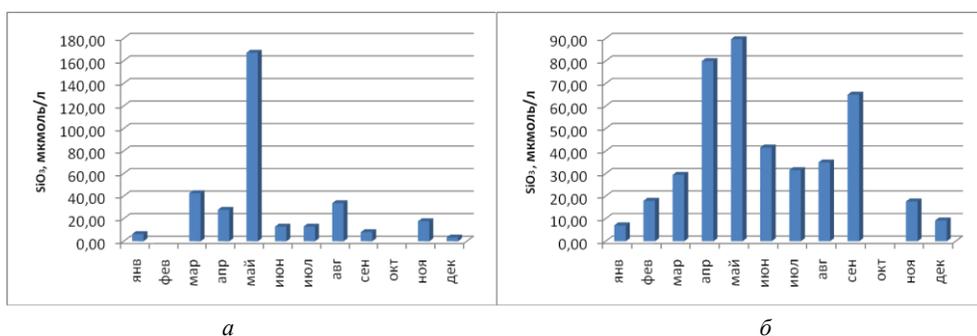


Рис. 2. Годовой ход содержания кремния, мкм/л, в поверхностном (а) и придонном (б) слоях вод

Из приведенной на рис. 1 информации следует, что максимальная концентрация фосфатного фосфора PO_4 в поверхностном слое вод (рис. 1, а) наблюдается в январе, ноябре и в августе, низкая – в июне и сентябре, минимальная – в октябре. Максимальная концентрация в январе и ноябре связана с природным процессом разложения биоты и высвобождения биогенных элементов, а в августе, по всей видимости, определяется антропогенными факторами. При этом максимум в августе наблюдался при максимальной температуре и пониженной солености. В придонном слое вод (рис. 1, б) максимум PO_4 наблюдался в сентябре, минимум, как и в поверхностном слое, – в октябре (очевидно, в результате осеннего пика цветения фитопланктона). При этом обеспеченность данными по месяцам вполне удовлетворительная, нет данных только в феврале для поверхностного слоя вод.

Проведенный анализ сезонной изменчивости содержания кремния (рис. 2) позволил сделать следующие выводы. Максимальные концентрации в поверхностном слое вод характерны для мая при пониженной солености (табл. 2). В придонном слое также наблюдался максимум в мае, кроме того, высокие концентрации отмечены в апреле и сентябре. Минимальные значения как в поверхностном слое, так и в придонном фиксируются в зимние и осенние месяцы.

В данной ситуации необходимы дополнительные исследования существующих источников поступления пресных вод, повышающих содержание

кремнекислоты: весенних паводков, локальных очагов субмаринной разгрузки, возможных утечек из магистрали канализационного сброса сточных вод.

Проведенный анализ показал различия в сезонной изменчивости содержания кремнекислоты и фосфора фосфатного. Если для фосфора фосфатного (рис. 1) отмечается явная зависимость его концентрации от протекающих биологических процессов (увеличение содержания зимой и уменьшение весной и летом), то для кремниевой кислоты такой зависимости не наблюдается: более высокие показатели концентрации наблюдаются в мае, минимальные – зимой (рис. 2). При этом, как видно на рис. 2, *а*, более высокие концентрации (до 180 мкМ/л) имеют место в поверхностном слое вод.

Анализ результатов экспедиционных исследований на НИС «Бирюза» в сентябре 2015 года

При проведении натурных исследований во 2-м рейсе НИС «Бирюза» в районе Гераклеийского п-ова отрядом гидрохимии были выполнены 2 полигона (рис. 3): 9 сентября – макрополигон с расстояниями между станциями ~2-х кабельтовых; 10 сентября – микрополигон с расстояниями между станциями 100 – 150 метров.

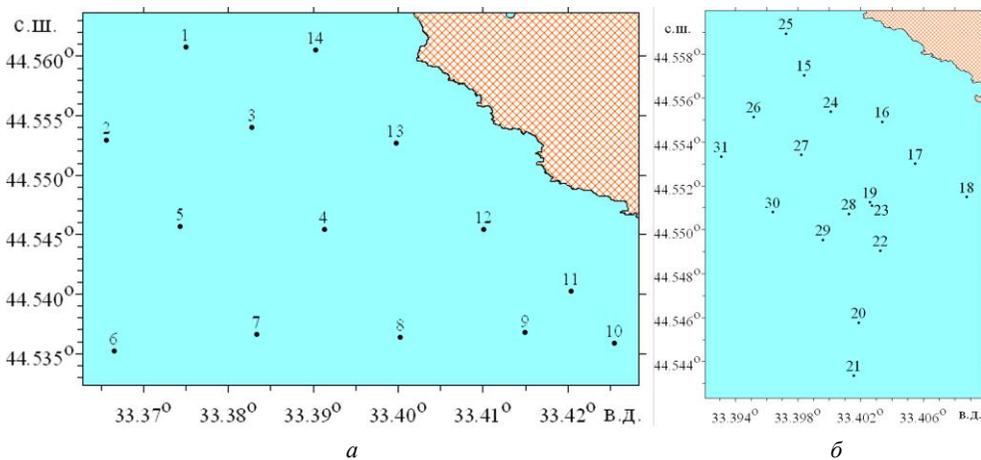


Рис. 3. Схемы гидрохимических станций, выполненных отрядом в рейсе на макрополигоне 9 сентября (*а*) и на микрополигоне 10 сентября (*б*)

Макрополигон

Исследования 9 сентября показали следующие особенности распределения биогенных элементов в поверхностных водах: из всех исследованных гидрохимических параметров превышение содержания фосфатов и кремнекислоты было весьма незначительно по сравнению с фоновым. Такое же незначительное превышение концентраций было и для суммарного содержания нитратов и нитритов (1,2 мкМ/л) по сравнению с фоновым значением 0,9 мкМ/л. Незначительное превышение этих параметров было характерно также для придонного слоя вод. Все приведенные для макрополигона значения не превышают показатели, характерные для фоновых концентраций в открытых водах шельфа.

Микрополигон

Съемка микрополигона 10 сентября происходила в районе акватории, в котором было визуально обнаружено на поверхности мутное пятно диаметром ~50 метров – предположительно место выброса сточных вод, где следовало ожидать повышенного содержания фосфатов (из моющих средств), кремнекислоты (в пресных речных водах ее должно быть больше), ионов аммония (продукт разложения мочевины). Распределения вышеперечисленных элементов в поверхностном слое вод представлены на рис. 4.

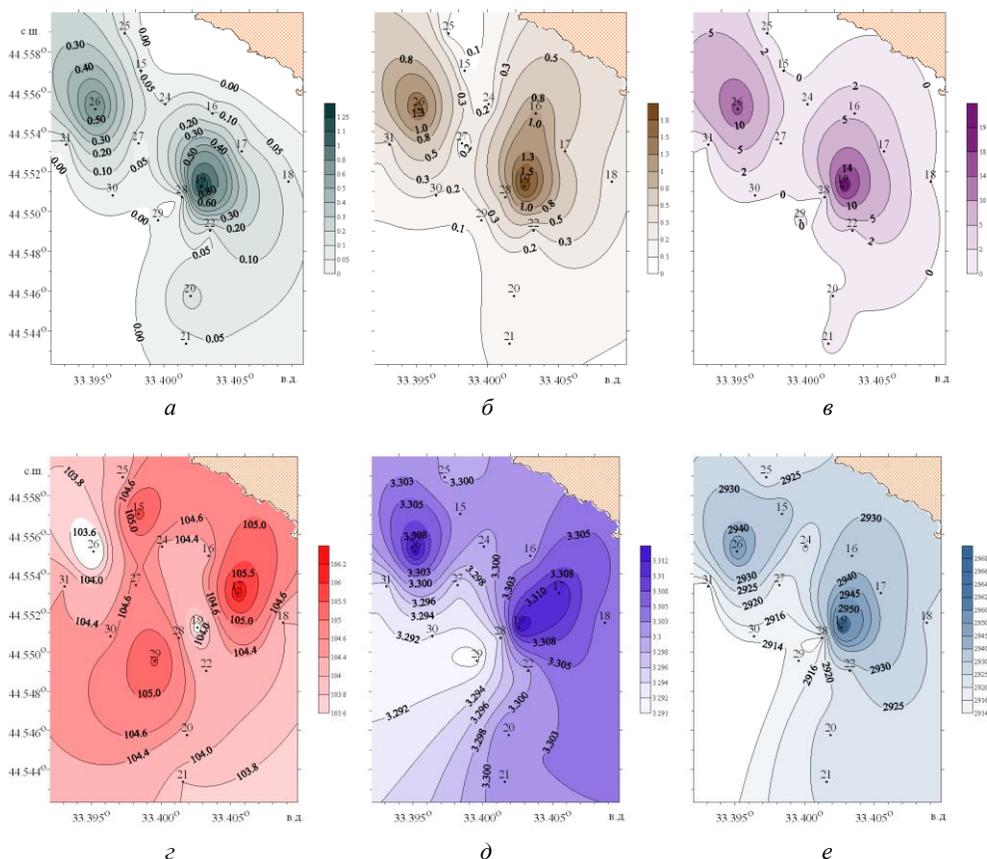


Рис. 4. Поверхностное распределение в мкМ/л фосфатов (а), кремнекислоты (б), аммония (в) на микрополигоне. Насыщение вод в % (г), величина щелочности в мкг-экв/л (д) и ТСО₂ в мкМ/л (е) в районе Гераклейского п-ова 10 сентября 2015 г.

В соответствии с данными рис. 4, а – в на месте расположения мутного пятна в поверхностных водах содержалось: фосфатов – 1,5 мкМ/л, кремнекислоты – 2,15 мкМ/л, ионов аммония – 21,4 мкМ/л при фоновых значениях 0,03; 0,24 и 0,4 мкМ/л соответственно.

Насыщение вод кислородом (равно как и содержание кислорода) к северо-востоку от мутного пятна было выше, чем на остальном полигоне, показатель щелочности – 3340 мкг-экв/л при фоновом значении 3301 мкг-экв/л, общего неорганического углерода содержалось 2977 мкМ/л при фоновом значении 2920 мкМ/л (рис. 4, г – е).

Единственным гидрохимическим параметром, значение которого в поверхностных водах мутного пятна на станции № 19 не отличалось от фонового, было суммарное содержание нитратов и нитритов, которое для всего микрополигона находилось на уровне 1,1 – 1,2 мкМ/л. Это позволяет предполагать, что в городскую магистраль в сентябре не поступали ливневые стоки, которые, как правило, обогащены нитратами (из неорганических сельскохозяйственных удобрений). Отмеченные выше значительно более высокие концентрации фосфатов, кремнекислоты и ионов аммония в поверхностных водах микрополигона наблюдались и в придонных слоях. При этом в поверхностном слое вод на станции № 19 фиксировалось значение концентрации аммония 21,4 мкМ/л, превышающее ПДК (20,7 мкМ/л).

Проведенная 9 сентября более масштабная съемка этого района (рис. 3, а) не выявила каких-либо особенностей поверхностного распределения гидрохимических элементов. В районе мутного пятна, обнаруженного на следующий день в поверхностных водах, содержалось несколько больше фосфатов и кремнекислоты, однако это превышение было весьма незначительно по сравнению с фоновым. Было отмечено незначительное превышение концентрации суммарного содержания нитратов и нитритов (1,2 мкМ/л) по сравнению с фоновым значением (0,9 мкМ/л). Повышенное содержание ионов аммония, до 1 мкМ/л, наблюдалось к северо-западу и юго-востоку от мутного пятна, тогда как показатель концентрации ионов аммония в районе пятна $\approx 0,1$ мкМ/л.

В предыдущей экспедиции (июль 2015 г.) не были зафиксированы поверхностные гидрохимические аномалии на более крупномасштабном полигоне, поскольку обнаруженный в сентябре на глубине ~ 30 м выброс сточных вод не смог в июле «пробить» сезонный термоклин. Температура воды на поверхности в сентябре (23 °С) не слишком отличалась от июльской (26 °С), а вот температура воды на горизонте 30 м в июле была ~ 10 °С, а в сентябре достигала почти 22 °С. То есть в сентябре выход сточных вод располагался выше сезонного термоклина в верхнем квазиоднородном слое и распреденные воды достигали поверхности. Таким образом, месторасположение четко выраженного сезонного термоклина по отношению к сбросу является природным фактором, который может регулировать появление в поверхностном слое вод загрязняющих веществ из магистрали канализационного сброса сточных вод.

С целью оценки экологической ситуации в акватории микрополигона сравнивалось содержание биогенных элементов в поверхностном и придонном слоях вод с их содержанием в акватории Южной бухты (наиболее загрязненной части Севастопольской бухты). В табл. 3 приведены пределы колебаний содержания биогенных элементов на поверхностном и придонном горизонтах акваторий микрополигона, осредненные для некоторых станций, и Южной бухты по среднесезонным данным работы [3].

Из данных табл. 3 следует, что акватория микрополигона более загрязнена биогенными элементами (кроме нитритов и нитратов), чем акватория Южной бухты, что, по-видимому, связано с расположением на микрополигоне магистрали канализационного сброса Севастополя.

**Сравнительные данные содержания биогенных элементов
в водах микрополигона и в акватории Южной бухты Севастополя
на поверхностном и придонном горизонтах**

Биогенные элементы	Содержание в воде, мкМ/л				Примечание
	На микрополигоне 10.09.2015г.		В акватории Южной бухты (Севастополь)		
	поверх- ностный горизонт	придон- ный горизонт	поверх- ностный горизонт	придонный горизонт	
Кремний	1,25	8,17	2,51	6,85	Превышение на микрополигоне
Аммоний	13,54	4,26	2,0	2,65	Превышение на микрополигоне
Нитриты + нитраты	1,11	1,98	3,0	10,2	Превышение в Южной бухте
Фосфаты	0,74	0,26	0,30	0,17	Превышение на микрополигоне

Выводы

Осуществленный в настоящем исследовании анализ многолетних данных (1960 – 2010 гг.) по сезонной изменчивости содержания биогенных элементов в акватории Гераклейского п-ва позволил по годовому ходу содержания фосфора фосфатного и кремнекислоты оценить степень влияния процессов различной природы на распределение этих биогенных элементов. На годовом ходу содержания фосфора фосфатного преобладающее воздействие оказывают биологические процессы, а на годовом ходу кремнекислоты – природные процессы, связанные с увеличением притока пресных вод в результате весенних паводков и разгрузки из субмаринных источников.

Следует отметить, что проанализированные многолетние данные представляют собой величины в основном осредненные и поэтому возможные аномалии в содержании некоторых гидрохимических элементов могут быть сnivelированы при осреднении. В процессе единичной комплексной океанографической съемки такие аномалии будут более ощутимы, однако для их идентификации необходимы сравнения с многолетними данными в качестве фоновых.

В результате такой комплексной океанографической съемки акватории Гераклейского п-ва в летний и раннеосенний периоды 2015 г. в ее прибрежной зоне обнаружены поверхностные пятна повышенной мутности с аномальными значениями температуры, солености, а также ряда гидрохимических параметров.

Установлено, что выявленные аномалии ряда гидрохимических параметров связаны с негативным влиянием глубоководного выпуска сточных вод на экологическое состояние акватории. Полученные результаты позволяют также предположить, что выход на поверхность загрязненных сточных вод связан с особенностями формирования сезонного термоклина в исследуемой акватории. Не следует исключать и возможность повреждения магистрали канализационного сброса сточных вод. При этом показано, что на месте расположения мутного пятна в поверхностных водах содержалось: фосфатов

1,5 мкМ/л, кремнекислоты 2,15 мкМ/л, ионов аммония 21,4 мкМ/л при фоновых значениях 0,03; 0,24 и 0,4 мкМ/л соответственно.

Информация по обеспеченности многолетними данными, полученная в работе, позволит в перспективе более эффективно планировать и осуществлять экологический мониторинг прибрежной зоны Гераклеийского п-ва с целью более эффективной оценки воздействия антропогенных и природных факторов для выработки научно-обоснованных рекомендаций по улучшению экологической ситуации в исследуемой акватории.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2014-0010 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем Черного и Азовского морей на основе современных методов контроля состояния морской среды и гридтехнологий», а также частично в рамках Договора № 2014-10/5-МГИ от 10 октября 2014 г. между НИИ «АЭРОКОСМОС» и ФГБУН МГИ РАН как часть ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (уникальный идентификатор проекта RFMEFI57714X0110, шифр «Диагностика»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хоружий Д.С., Коновалов С.К. Кремний в водах Севастопольской бухты весной 2008 года // Морской гидрофизический журнал. – 2010. – № 3. – С. 40 – 51.
2. Геворгиз Н.С., Кондратьев С.И., Ляшенко С.В. и др. Результаты мониторинга гидрохимической структуры Севастопольской бухты в теплый период года // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2002. – вып. 6 (2). – С. 131 – 148.
3. Иванов В.А., Мезенцева И.В., Совга Е.Е. и др. Оценки самоочищающей способности экосистемы Севастопольской бухты по отношению к неорганическим формам азота // Процессы в геосредах. – 2015. – № 2 (2). – С. 55 – 65.

Seasonal dynamics of the nutrients' content and local sources in the Heracleian Peninsular coastal waters

Е.Е. Sovga, S.I. Kondrat'ev, E.A. Godin, K.A. Slepchuk

*Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia
e-mail: science-mhi@mail.ru, skondrat@mail.ru, Godin_ea@mail.ru, b.kira@inbox.ru,*

Based on the analysis of hydrological and hydrochemical data from the Oceanographic Data Bank of FSBSI MHI (MHI RAS), the long-term inter-annual and seasonal variability in 1960 – 2010 is assessed for certain hydrochemical parameters of the surface and bottom layers in the Heracleian Peninsular coastal waters. Impact of the Sevastopol deep-water sewage discharge upon the environment state in this water area is also estimated using the data of the FSBSI MHI expeditionary studies in 2015. Significant effect of the anthropogenic factors upon the nutrients' content dynamics and the state of the Heracleian Peninsular coastal water ecology is revealed.

Keywords: Heracleian Peninsula water area, nutrients, inter-annual, seasonal variability, field studies, deep-water discharge.