

УДК [556+551.464]:574.583 (262.5)

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ И СОСТОЯНИЕ МЕРОПЛАНКТОНА НА ВЗМОРЬЕ КАРАДАГА (2017 Г.)

Трощенко О.А., Ковригина Н.П., Лисицкая Е.В., Капранов С. В., Еремин И.Ю.,
Родионова Н.Ю.

ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН»,
г. Севастополь, Российская Федерация, e-mail: maricultura@mail.ru

Представлены результаты комплексных исследований в прибрежной акватории Карадагского природного заповедника и в Коктебельской бухте, проводившихся в мае и сентябре 2017 г. Изучено влияние хозяйственных стоков поселков городского типа Коктебель и Курортное на распределение гидрологических и гидрохимических полей, а также на состояние меропланктона на прибрежных станциях четырех разрезов. Показано, что термохалинные поля во время обеих съёмок были достаточно однородными. Некоторое увеличение горизонтальных градиентов наблюдалось в районе м. Мальчин. По величинам БПК₅ и окисляемости, превышающим предельно-допустимые концентрации (ПДК) и величинам коэффициентов загрязнения К_з (БПК₅ / окисляемости), выявлены районы, загрязненные хозяйственным стоком. Рассчитано содержание органического углерода (С_{орг}) на поверхности прибрежной зоны Карадага и Коктебельской бухты и проведено сравнение с его содержанием в начальный период исследований (2004 г.). По величинам отношения R_{мин}:R_{вал} <30% и высоким концентрациям кремния и фосфора минерального выявлено влияние азовоморских вод на гидрохимическую структуру исследуемой акватории. В мае исследован таксономический состав меропланктона прибрежной акватории Карадага. На основе расчёта парных коэффициентов корреляции рассмотрены связи между всеми изучаемыми абиотическими параметрами и количественным содержанием меропланктона. Проведено сопоставление величин общей численности меропланктона с содержанием биогенных веществ, полученных в мае на прибрежных станциях разрезов.

Ключевые слова: гидролого-гидрохимические показатели; азовоморские воды; субмаринная разгрузка; меропланктон; прибрежная зона Карадага; Черное море.

Введение

Комплексные гидролого-гидрохимические и гидробиологические исследования в районе Карадага, как и в других прибрежных водах Крыма, всегда актуальны, имеют научный и практический интерес. Несмотря на то, что на территории заповедника не производится какая-либо хозяйственная деятельность, отнести прилегающую к нему акваторию к «чистым» прибрежным водам на сегодняшний день проблематично. Постоянно действующие сточные хозяйственные воды от п.г.т. Курортное и Коктебель, сток реки Отузки, дренажные и ливневые воды оказывают существенное влияние на изменение гидрохимического режима характерного для незагрязненной прибрежной зоны моря. Исследования прошлых лет выявили, что наиболее чувствительным индикатором сточных вод оказалась величина перманганатной окисляемости, зависящая от органического вещества стоков, поступающих в море (Ковригина и др., 2007). Сопоставление гидрохимических данных с гидробиологическими позволило выявить в узкой прибрежной зоне районы, находящиеся под локальным влиянием хозяйственных стоков, где отмечено превышение ПДК по величинам окисляемости и БПК₅, понижение содержания кислорода и повышение концентраций биогенных веществ. Там же зафиксировано снижение видового состава и общей численности меропланктона, что свидетельствует о негативном влиянии хозяйственных стоков на жизнедеятельность гидробионтов (Ковригина и др., 2017).

Целью настоящей работы является изучение особенностей пространственного распределения и временной изменчивости основных гидролого-гидрохимических

показателей и меропланктона в мае и сентябре 2017 г. и оценка влияния хозяйственных стоков на прибрежную зону между Коктебельской бухтой и п.г.т. Курортное.

Материалы и методы

В 2017 г. в прибрежной зоне Карадага проведены две комплексные съемки: 30 мая и 14 сентября. Пробы отбирали по уже существующей с 2012 г. сетке станций, которая охватывала четыре разреза по нормали к береговой линии – от причала бухты Коктебель, от мыса Мальчин, от бухты Сердоликовой и от Биостанции. Кроме разрезов пробы отбирали на прибрежных станциях в районах устья реки Отузки – ст. 21 и очистных сооружений – ст.22 (рис. 1). Дополнительно в сентябрьской съёмке с берега в 2-х метровой полосе моря отобраны четыре пробы: в районе камней Кузьмича, на западной границе заповедника, на пляже и в районе стока из дельфинария.



Рис. 1. Схема станций отбора проб на Карадагском взморье в 2017 г.

В комплекс гидролого-гидрохимических исследований входило измерение температуры, солености, растворенного кислорода, биохимического потребления кислорода на пятые сутки (БПК₅), перманганатной окисляемости в щелочной среде, кремния, органических и неорганических форм азота и фосфора. Пробы отбирали на 14 станциях с поверхности и у дна. Всего отобрано 60 проб и выполнено около 575 гидролого-гидрохимических анализов, проведенных согласно общепринятым методикам (Руководство, 1977; Методы, 1988; Методические, 1966). По величинам окисляемости рассчитано содержание органического углерода (С_{орг}) на поверхности в прибрежной зоне Карадагского природного заповедника и в Коктебельской бухте (Скопинцев, 1975). Коэффициент загрязнения К_з, равный отношению величин БПК₅ к окисляемости, также рассчитан по Скопинцеву (Скопинцев, 1975). Гидробиологические исследования включали изучение таксономического состава и численности меропланктона на прибрежных станциях. Меропланктон собирали в мае в слое 10–0 м сетью Джели (диаметр входного отверстия 36 см, размер ячеек мельничного газа – 135

мкм) на станциях: 13 – Коктебель, 1 – мыс Мальчин, 4 – Сердоликовая бухта, 7 – причал Биостанции. Предварительная обработка проб проведена на живом материале путем тотального подсчета личинок в камере Богорова под бинокулярном МБС-9. Для дальнейшей обработки пробы фиксировали 4% раствором формалина, для идентификации личинок использовали световой микроскоп «Микмед-5». Обработка материалов выполнена в отделе аквакультуры и морской фармакологии ИМБИ РАН.

Результаты и обсуждение

Результаты съёмки 30 мая 2017 г. Весенняя съёмка 30 мая 2017 г. по термохалинным характеристикам была очень близка к съёмке предыдущего года (Ковригина и др., 2017). Диапазон изменчивости поверхностной температуры был несколько уже – 16,8–17,8°C (рис. 2). Температура так же плавно повышалась от Коктебельской бухты к п.г.т. Курортное. Однако, на космическом снимке (рис. 3) отчётливо видно в западной части Коктебельской бухты и в районе м. Мальчин некоторое изолированное термическое образование с повышенной температурой. Такие же образования видны на западной и восточной границах Феодосийской бухты, что говорит о сложности гидродинамики прибрежных вод.

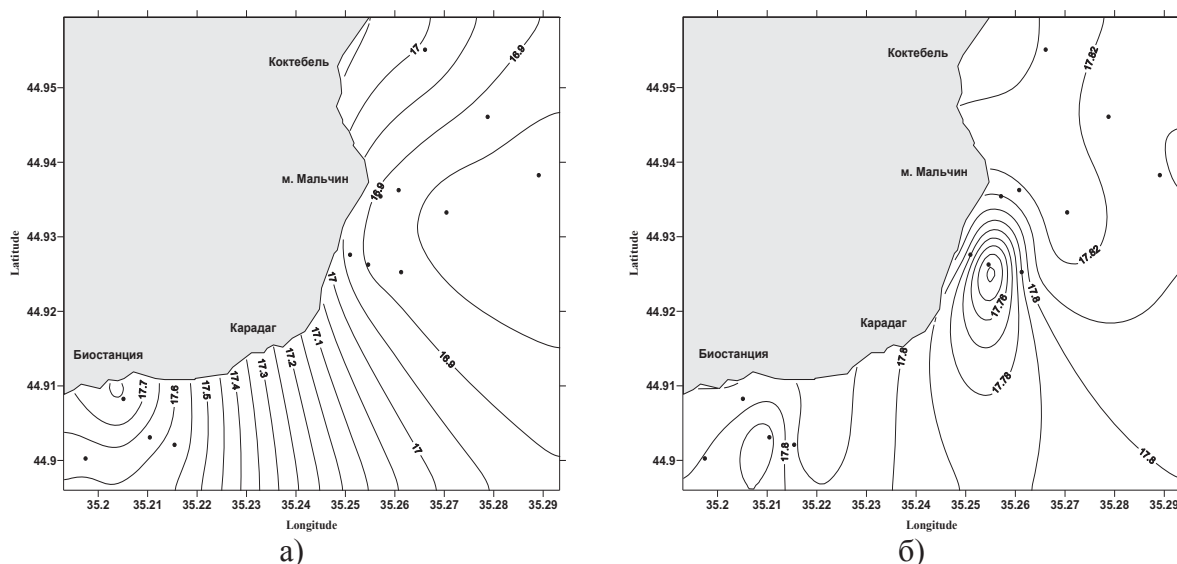


Рис. 2. Распределение поверхностной температура (а) и солёности (б) 30 мая 2017.

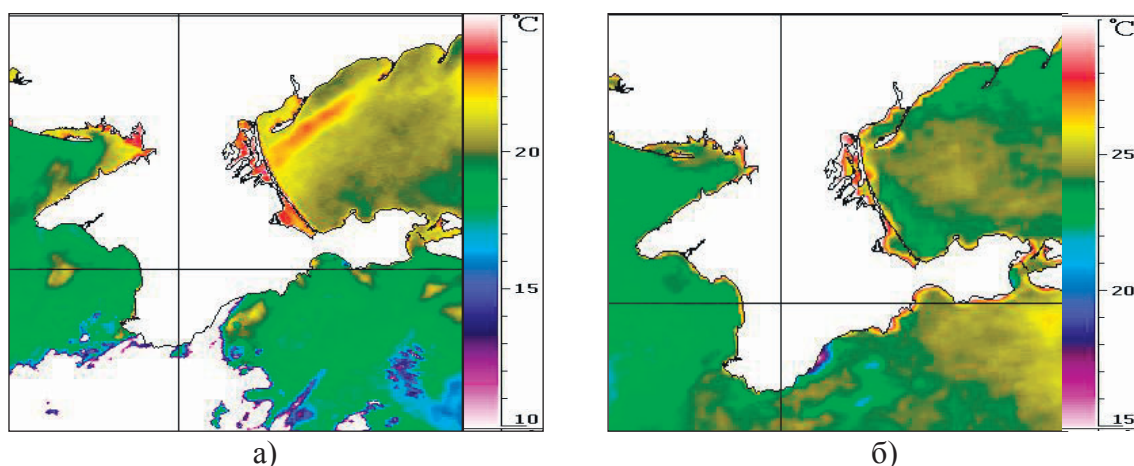


Рис. 3. Поверхностная температура по данным ИСЗ NOAA: а) 30 мая 2017 г. (8-04), б) 14 сентября 2017 г. (13-09). Снимки взяты с официального сайта ФГБУН «Морской гидрофизический институт РАН»

Таблица 1.

Распределение гидролого-гидрохимических показателей на Карадагском взморье
30 мая 2017 г.

№ ст	Н м	Т °С	S ‰	O ₂		БПК ₅ мг/л	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Si	P _{орг}	N _{орг}	Окис мгО/л
				мл/л	%									
14	0			6,41		2,50	0,6	3,9	8,3	3,9	232	7,6	716	2,00
13	0	17,00	17,83	6,50	107,1	1,94	0,4	4,8	11,8	2,8	169	9,0	1292	2,64
13	10	15,42	17,63	6,41	102,1		0,7	4,1		2,5	202			
12	0	16,88	17,81	6,35	104,3	2,18	0,3	3,5	13,6	2,8	171	7,5	1449	4,02
12	20	15,00	17,73	6,67	105,4		1,1	2,5		3,5	185			
11	0	16,82	17,81	6,36	104,4	1,56	0,4	3,1	12,4	2,1	213	7,8	1094	2,94
11	30	13,50	17,82	6,63	101,6		0,4	4,9		2,1	197			
2	0	16,82	17,83	6,41	101,4	2,10	0,2	3,6	11,2	2,5	210	12,3	1311	4,49
2	30	11,60	17,92	6,96	116,7		2,1	2,3		7,0	230			
3	0	16,88	17,82	6,36	104,5	1,84	0,4	2,8	13,0	2,8	199	13,4	1699	3,00
3	24	12,00	17,89	6,67	98,9		2,4	3,9		6,3	264			
1	0	16,88	17,81	6,39	104,9	1,74	0,4	3,3	11,8	2,1	168	7,1	1236	3,63
1	15	15,80	17,74	6,53	105,0		0,6	6,9		1,8	212			
4	0	16,92	17,81	6,74	110,9	1,69	0,6	4,7	14,2	1,4	172	12,6	1207	4,22
4	15	15,30	17,77	6,56	104,2		1,6	7,8		2,1	183			
20	0	16,88	17,81	6,57	108,0	1,60	0,4	3,4	12,4	1,4	165	7,4	1301	3,57
20	30	10,90		6,46	95,3		0,8	5,5		1,4	89			
19	25	12,50					0,5	2,3		1,8	179			
6	0	17,60	17,82	6,38	106,4	1,77	0,5	3,0	31,9	1,8	216	7,5	2384	4,52
6	30	12,10	17,90	6,72	99,9		0,9	12,4		3,5	225			
5	0	17,60	17,77	6,37	106,1	1,55	0,7	2,4	14,2	1,1	165	63,4	2402	4,31
5	17	15,70	17,77	6,70	107,4		1,1	2,0		2,1	164			
7	0	17,80	17,81	6,31	105,7	1,70	0,5	2,1	13,0	1,1	162	5,9	2180	3,65
7	10	16,50	17,79	6,42	104,6		0,7	2,5		2,1	155			
21	0	17,60	17,80	6,54	109,1	1,46	0,6	3,6	13,6	2,5	154	11,2	1034	2,75
21	3	17,60	17,74	6,75	112,5		0,6	2,4		1,8	159			3,14

Вертикальная термохалинная структура соответствует среднемноголетним показателям (табл. 1). В поверхностном слое идет формирование верхнего квазиоднородного слоя (ВКС). Его мощность колеблется в пределах 3–5 м. Глубже располагается сезонный термоклин (СТ) с градиентами 0,1–0,2°С/м

Распределение поверхностной солёности имеет более сложный характер (рис. 2). Однако, учитывая узкий диапазон изменчивости (17,68–17,83‰), можно говорить о значительной халинной однородности поверхностного слоя. «Сложность» в горизонтальной структуре связана с некоторым понижением солёности на траверзе Сердоликовой бухты. Таким образом, в районе м. Мальчин мы также наблюдаем некоторое увеличение халинных градиентов. С глубиной солёность почти не меняется.

Величины абсолютного содержания кислорода на всей исследуемой акватории в слое 0–30 м изменялись от 6,31 до 6,96 мл/л (рис. 4). Минимальное содержание отмечено на поверхности в районе Биостанции (ст. 7), а максимальное – на глубине 30 м. в районе мыса Мальчин (ст. 2). Отклонения от средней по слою величине (6,53 мл/л) были незначительны и составляли 0,22 мл/л в сторону понижения и 0,43 мл/л в сторону повышения содержания кислорода. Величины относительного содержания кислорода изменялись от 95 до 117% насыщения при средней для слоя величине, равной 105% насыщения (рис. 4). На придонных горизонтах ст. 3, 20 и 6 отмечено недонасыщение кислородом, величина которого достигало 4.7% (табл.1).

Величины БПК₅ изменялись от 1,46 до 2,50 мг/л при среднем значении 1,81 мг/л (рис. 4). Превышение предельно-допустимой концентрации, равной 2,0 мг/л по рыбохозяйственным нормативам, наблюдали на поверхности в Коктебельской бухте (2,50 мг/л и 2,10 мг/л), а также в районе м. Мальчин (2,10 мг/л).

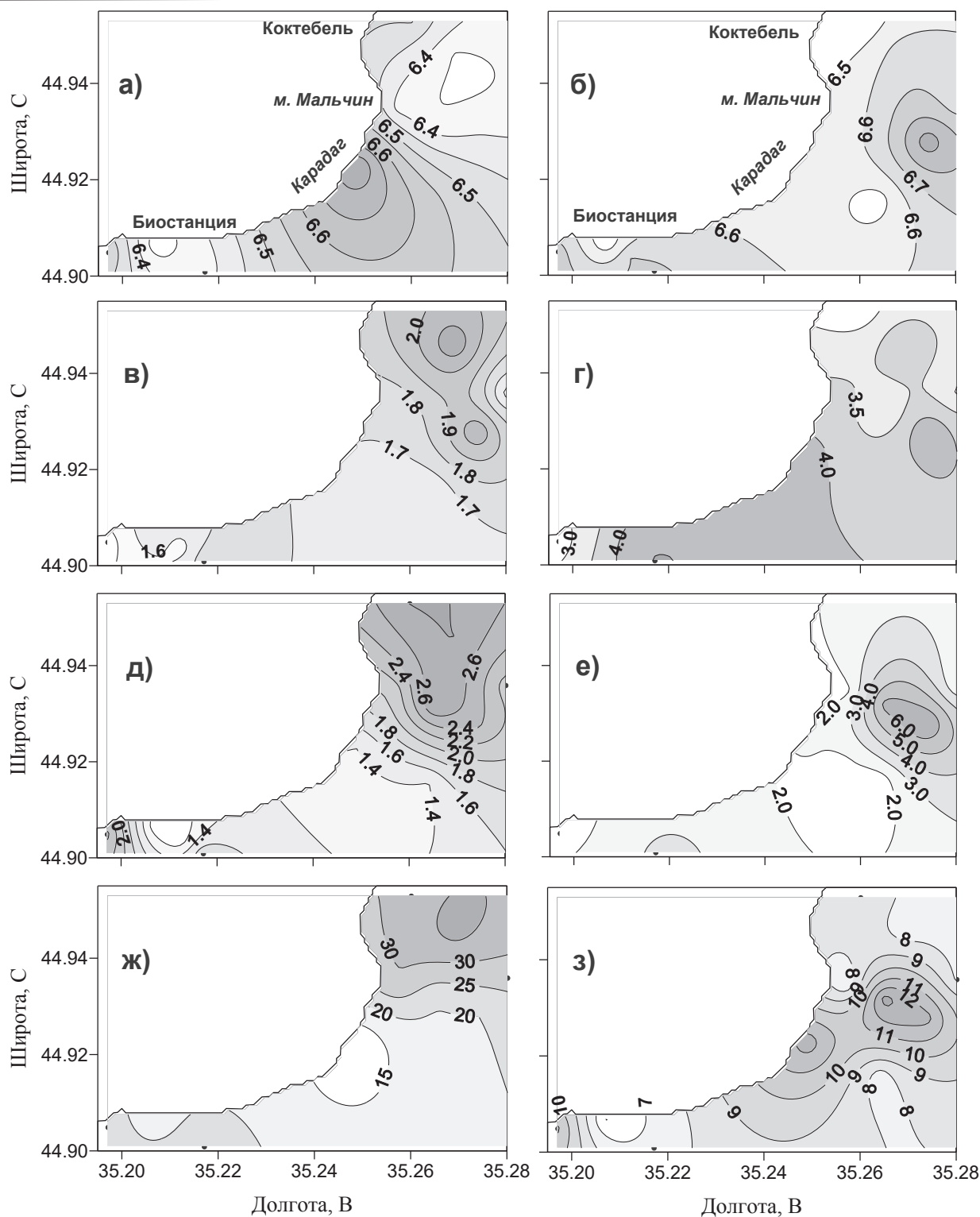


Рис. 4. Распределение г/х показателей 30 мая 2017 г.: а) кислород, мл/л (поверхность), б) кислород, мл/л (дно), в) БПК₅, мг/л (поверхность), г) окисляемость, мгО/л (поверхность), д) фосфаты, мкг/л (поверхность), е) фосфаты, мкг/л (дно), ж) $P_{\text{мин}}:P_{\text{вал}}$, % (поверхность), з) фосфор органический, мкг/л (поверхность).

Превышение ПДК свидетельствует о загрязнении этих районов хозяйственными стоками. Влияние стоков от п. Курортное в районе Биостанции подтверждают высокие величины $P_{\text{орг}}$ на ст. 7 (2180 мкг/л), на ст.6 (2384 мкг/л) и на ст. 5 (2402 мкг/л). Максимальная концентрация $P_{\text{орг}}$ на ст. 5 (63,4 мкг/л) также является подтверждением

влияния хозяйственного стока от п.г.т. Курортное в районе Биостанции (рис. 4).

Перманганатная окисляемость в щелочной среде имела высокие величины: от 2,00 до 4,49 мг/л, которые на 5-ти из 14 станций превышали ПДК, равную 4,0 мгО/л по рыбохозяйственным нормативам. Средняя величина окисляемости для поверхности составила 3,49 мгО/л и была ниже ПДК. Распределение величин окисляемости на поверхности представлено на рисунке 4. Для оценки влияния хозяйственных стоков на состояние прибрежной акватории мы привлекли коэффициент загрязнения (Кз), предложенный Скопинцевым как отношение величин БПК₅ к окисляемости. Его значения >1 свидетельствуют о неблагоприятном санитарном состоянии акватории моря (Скопинцев, 1975). В нашем случае, во время съёмки 30 мая, коэффициент загрязнения изменялся от 0,36 (в районе Биостанции) до 1,25 (в бухте Коктебель). Величина Кз >1 отмечена только на одной станции из 13-ти; среднее значение Кз для поверхности составило 0,55, что позволяет считать исследуемую акваторию в мае 2017 г. «незагрязнённой».

Содержание растворенного органического вещества (Сров), рассчитанное для поверхности по величинам окисляемости, изменялось от 5,88 до 13,29 мгС/л при средней величине равной 10,33 мгС/л (табл. 2). Минимальное содержание Сров отмечено в Коктебельской бухте, максимальное – в районе Биостанции. В майской съёмке на всей акватории исследований интервал изменчивости величин Сров практически совпадает с интервалом Сров, полученным нами в предыдущем году (7,09 – 13,85 мгС/л). На этом основании можно сделать вывод об отсутствии накопления растворенного органического вещества в исследуемый период.

Таблица 2

Содержание растворенного органического вещества (Сров) 30.05.2017 г.

№ станции	Окисляемость, мг О/л	Сров, мг С/л	№ станции	Окисляемость, мг О/л	Сров, мг С/л
14	2,00	5,88	4	4,22	12,41
13	2,64	7,76	20	3,57	10,50
12	4,02	11,82	19	-	-
11	2,94	8,64	6	4,52	13,29
2	4,49	13,20	5	4,31	12,68
3	3,00	8,82	7	3,65	10,74
1	3,63	10,68	21	2,75	8,09

Биогенные вещества характеризовались довольно низкими величинами и сравнительно равномерным распределением, как по горизонтали, так и по вертикали. Концентрация *фосфатов* в слое изменялась от 1,1 до 7,0 мкг/л; максимальная концентрация (7,0 мкг/л) отмечена в придонном слое на ст. 2 (район м. Мальчин), при средней для этого слоя величине, равной 2,9 мкг/л (рис.4).

Средняя концентрация фосфатов на поверхности в Коктебельской бухте (2,9 мкг/л) была выше, чем на поверхности акватории Карадагского природного заповедника (1,8 мкг/л), что указывает на возможное влияние азовоморских вод. Распределение кремния с востока на запад было аналогично распределению фосфатов; средняя его величина для Коктебельской бухты (195 мкг/л) была выше средней для поверхности Карадага (178 мкг/л), что подтверждает влияние азовоморских вод во время съёмки. Более четко это влияние можно проследить по величинам процентного отношения минеральной формы фосфора к валовой (Р_{мин}:Р_{вал}). В нашем случае величины этого отношения изменялись в пределах от 1,70 до 33,9% (рис. 4) и на 12 станциях из 13 имели низкие (<30%) значения отношения Р_{мин}:Р_{вал}, свидетельствующие о влиянии азовоморских вод практически на всей акватории исследований.

Концентрации *кремния* в слое изменялись в пределах от 89 до 264 мкг/л; повышенные его величины отмечены на придонных горизонтах ст. 2 (230) и ст. 6 (225

мкг/л). Максимальная величина также зафиксирована в придонном горизонте на ст. 3 (м. Мальчин). Одновременно на ст. 3 и ст. 6 в придонном слое наблюдали понижение величин насыщения кислородом по сравнению с поверхностью на 7 и 6% соответственно. Кроме того, на ст. 3 в придонном слое отмечена максимальная концентрация нитритного азота (2,4 мкг/л) и повышенная концентрация фосфатов (6,3 мкг/л); а на ст.6 наблюдали также максимальную (12,4 мкг/л) концентрацию нитратов (рис. 5). Такая картина аномального распределения биогенных веществ и растворенного кислорода в придонном слое подтверждает присутствие источников пресных вод подземного происхождения в этих районах, выявленных нами в предыдущие годы (Ковригина, и др., 2009).

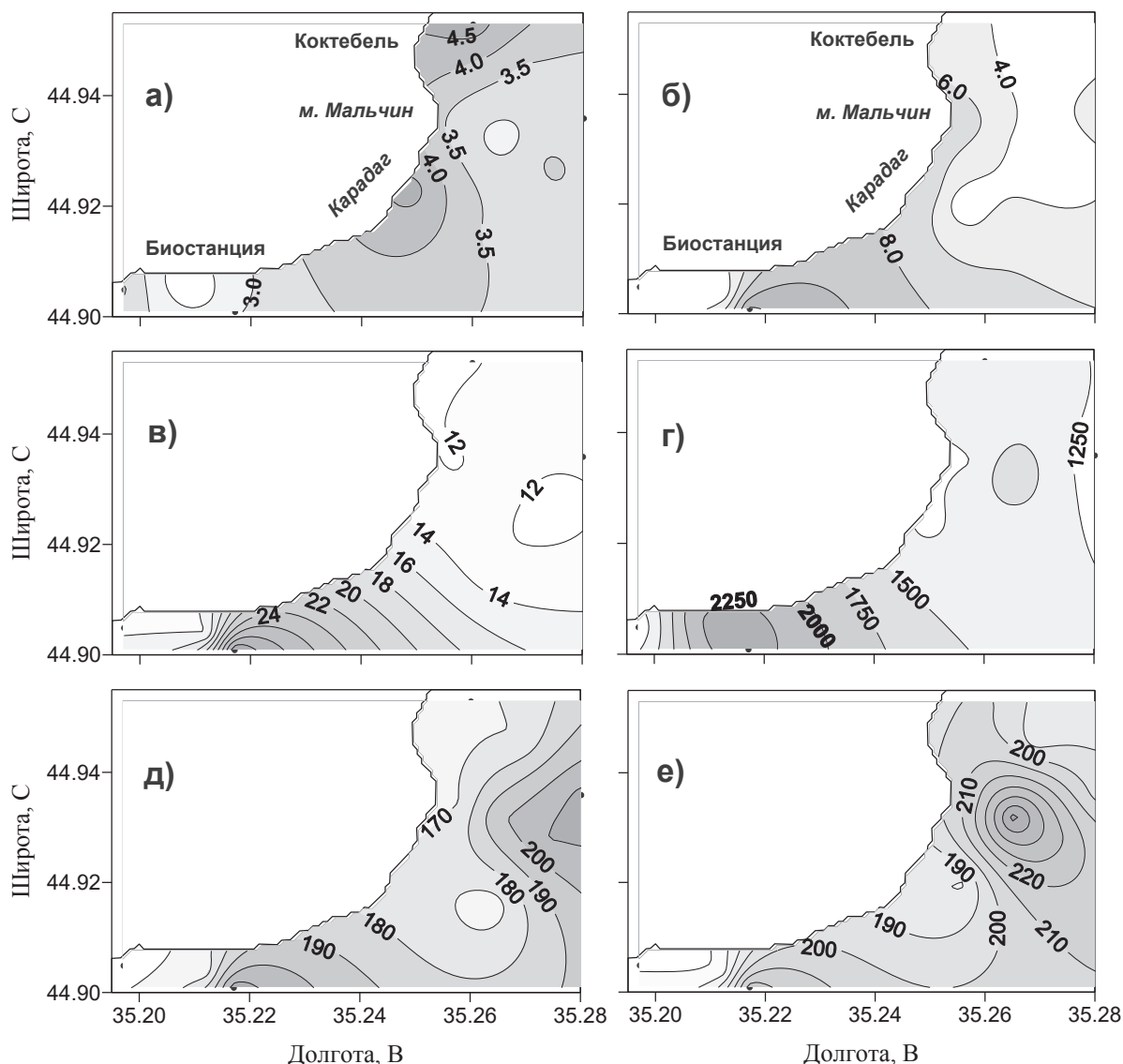


Рис. 5. Распределение биогенных веществ 30 мая 2017 г. а) нитраты, мкг/л (поверхность), б) нитраты, мкг/л (дно), в) азот аммонийный, мкг/л (поверхность), г) азот органический, мкг/л (поверхность), д) кремний, мкг/л (поверхность), е) кремний, мкг/л (дно)

Величины нитратов в слое изменялись от 2,3 до 12,4 мкг/л при средних значениях равных 3,4 на поверхности и 4,6 мкг/л в придонном слое. Повышенные концентрации на поверхности восточной части акватории подтверждают влияние азовоморских вод, а повышенные величины нитратов в придонном слое на ст. 1 (6,9 мкг/л) и на ст. 4 (7,8 мкг/л) являются, по-видимому, результатом присутствия

источников пресных вод подземного происхождения. Распределение концентраций нитратов на поверхности и в придонном слое представлено (рис. 5).

Концентрации азота нитритного и аммонийного изменялись от 0,2 до 2,4 мкг/л и от 8,3 до 31,9 мкг/л соответственно. Максимальная концентрация аммонийного азота отмечена на мористой станции (ст. 6) разреза от Биостанции и совпадает с максимальной величиной окисляемости и растворенного органического вещества (13,29 мкгС/л), что также свидетельствует о некотором органическом загрязнении.

Меропланктон. При прогреве воды до 16–17°C начинают размножаться многие виды донных беспозвоночных, что отражается на видовом составе и численности меропланктона. Во время майской съемки численность меропланктона в прибрежной зоне Карадага изменялась от 707 экз./м³ (ст. 13 – Коктебель) до 287 экз./м³ (ст. 7 – Биостанция) (рис. 6). У мыса Мальчин и в Сердоликовой бухте суммарное количество личинок составляло 526 и 448 экз./м³ соответственно. Максимальная плотность личинок двустворчатых моллюсков (162 экз./м³) зарегистрирована в Коктебельской бухте. На остальных станциях она не превышала 64 экз./м³. В планктоне зарегистрированы поздние великонхи мидии *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 (до 11 экз./м³), можно предположить, что к этому времени оседание мидий уже заканчивалось. Великонхи *Cardiidae* встречались в небольшом количестве (до 41 экз./м³). Отмечены личинки двустворчатого моллюска-вселенца в Черное море мии *Mya arenaria* Linnaeus, 1758 – до 62 экз./м³ в Коктебельской бухте, у мыса Мальчин их численность была ниже – 17 экз./м³, а в районе Биостанции – 8 экз./м³. Вероятно, личинки мии были принесены с азовоморскими водами, влияние которых выявлено нами по гидрохимическим показателям. Численность велигеров брюхоногих моллюсков (представителей семейства *Rissoidea*) изменялась от 46 экз./м³ (район Биостанции) до 174 экз./м³ (район м. Мальчин). Личинки находились на ранних стадиях развития, что подтверждает начало размножения многих видов *Gastropoda* в этот период. Необходимо отметить, что в мае прошлого года видовой состав и численность личинок моллюсков в акватории Карадага были аналогичными (Ковригина и др., 2017).

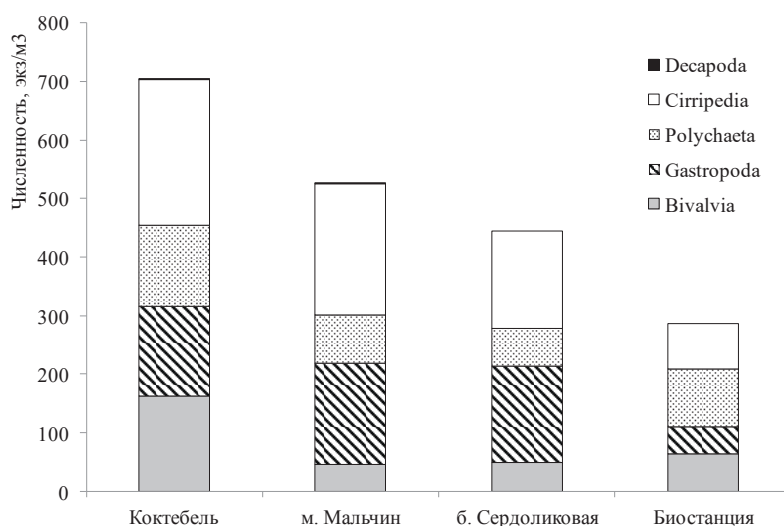


Рис. 6. Таксономическая структура меропланктона в акватории Карадага 30.05.2017 г.

Максимальная плотность личинок *Polychaeta* отмечена в Коктебельской бухте – 138 экз./м³. Многощетинковые черви, в основном, были представлены личинками семейств *Spionidae* (до 60 экз./м³) и *Nereididae* (до 32 экз./м³). *Decapoda* встречались в незначительном количестве. Единично отмечены личинки крабов, массовое размножение креветок еще не началось – их личинки в пробах не обнаружены. По численности в меропланктоне доминировали науплиусы ускононого рака *Amphibalanus*

improvisus Darwin, 1854. В Коктебельской бухте и у мыса Мальчин их количество достигало 223 и 250 экз./м³ соответственно, в Сердоликовой бухте – 166 экз./м³, в районе Биостанции – 78 экз./м³.

Для определения возможных взаимозависимостей между абиотическими и биотическими (общая численность меропланктона) параметрами были рассчитаны коэффициенты парной корреляции в майских съёмках за последние 10 лет (табл. 3). Для анализа учитывались только достоверные значения, соответствующие 95% доверительному интервалу. При этом мы сознаём, что наличие высоких значений корреляции не говорит о причинно-следственных связях, но даёт пищу для дальнейших размышлений.

Таблица 3

Коэффициенты парной корреляции между абиотическими и биотическими параметрами

Май	T, °C	S, ‰	O ₂ , мл/л	O ₂ , %	БПК ₅ , мг/л	NO ₂	NO ₃	PO ₄	Si	POrg	Числ. Меропл.
T, °C		-0,19	-0,52	-0,13	-0,33	-0,15	-0,05	0,27	0,04	0,38	0,04
S, ‰	-0,19		-0,43	-0,56	-0,51	-0,22	-0,18	-0,95	0,88	-0,36	-0,56
O ₂ , мл/л	-0,52	-0,43		0,92	0,63	0,12	0,38	0,32	-0,50	0,12	0,34
O ₂ , %	-0,13	-0,56	0,92		0,56	0,06	0,42	0,48	-0,55	0,31	0,41
БПК ₅ , мг/л	-0,33	-0,51	0,63	0,56		0,31	0,25	0,32	-0,44	-0,03	0,41
NO ₂	-0,15	-0,22	0,12	0,06	0,31		0,37	0,13	-0,03	0,24	0,07
NO ₃	-0,05	-0,18	0,38	0,42	0,25	0,37		0,22	0,14	0,14	0,66
PO ₄	0,27	-0,95	0,32	0,48	0,32	0,13	0,22		-0,84	0,49	0,57
Si	0,04	0,88	-0,50	-0,55	-0,44	-0,03	0,14	-0,84		-0,36	-0,31
POrg	0,38	-0,36	0,12	0,31	-0,03	0,24	0,14	0,49	-0,36		0,03
Числ. Меропл.	0,04	-0,56	0,34	0,41	0,41	0,07	0,66	0,57	-0,31	0,03	

Если рассматривать связи между абиотическими параметрами, то можно выделить очень высокие коэффициенты корреляции между солёностью с фосфатами (коэфф. -0,95) и солёностью с кремнием (коэфф. 0,88). Это косвенно подтверждает влияние азовоморских вод на Карадагском взморье. Значимые коэффициенты корреляции для меропланктона выявлены с солёностью, нитратами и фосфатами.

На первый взгляд несколько неожиданны низкие значения коэффициентов корреляции для температуры со всеми характеристиками. Однако, нужно учитывать, что поля температуры в большинстве случаев гомогенны. Поэтому главными являются не сами значения температуры, а направленность гидрологических процессов. Так, в большинстве случаев мы имеем градиентные зоны у м. Мальчин, связанные с особенностями циркуляции вод в данном районе. Здесь же отмечаются градиентные зоны гидрохимических полей и максимальное количество меропланктона. Таким образом, нужно отметить, что для получения более значимых результатов по взаимозависимостям абиотических и биотических параметров необходимо дальнейшее накопление первичных материалов.

Результаты съёмки 14 сентября 2017 г. Съёмка, проведённая 14 сентября 2017 г., показала ещё большую термическую однородность поверхностных вод по сравнению с майской. Диапазон изменчивости температуры составлял 23,9-24,4°C (рис. 7). Эти значения были заметно выше (приблизительно на 2°C) среднемноголетних показателей. Несмотря на незначительные пространственные градиенты поверхностной температуры, горизонтальное распределение её значений имело сложный характер – зоны относительно повышенных и пониженных значений меняли друг друга.

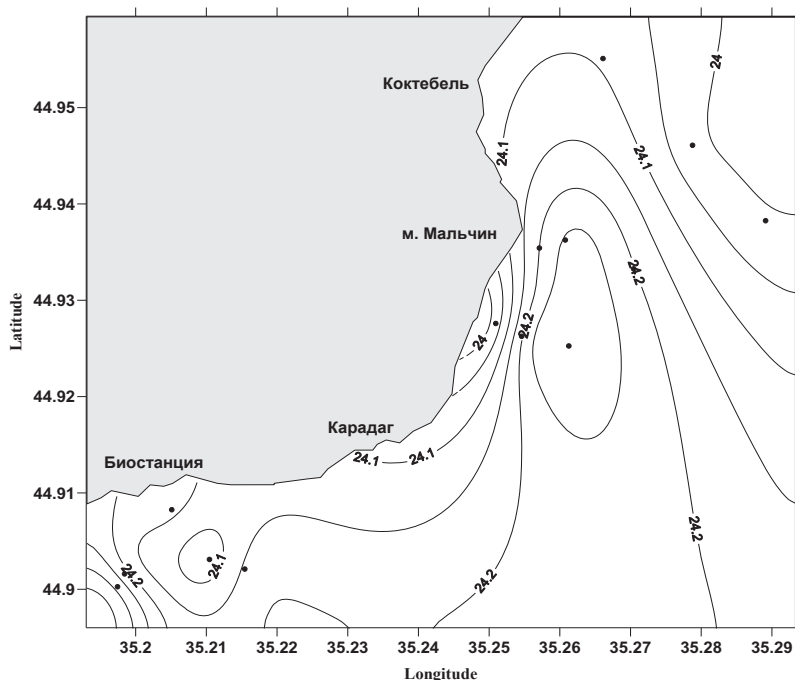


Рис.7. Распределение поверхностной температуры 14 сентября 2017 г.

В районе Сердоликовой бухты и м. Мальчин можно выделить слабовыраженный термический круговорот. Сложность распределения поверхностной температуры в прибрежной зоне подтверждают данные космических снимков (рис. 3). Наибольшие горизонтальные градиенты наблюдались между изобатами 10 и 20 м в районе Сердоликовой бухты и м. Мальчин. С глубиной температура слабо и практически равномерно понижалась. Средний вертикальный градиент составлял $0,05^{\circ}\text{C}/\text{м}$, следовательно, весь изучаемый слой занимал ВКС (табл.4).

Таблица 4.
Распределение гидролого-гидрохимических показателей на Карадагском взморье 14 сентября 2017 г.

№ ст	Н м	Т °С	O ₂		БПК ₅ мг/л	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Si	P _{орг}	N _{орг}
			мл/л	%								
13	0	24,10	6,20	116,9	3,45	1,1	3,9	22,7	4,4	83	15,9	226
13	10	23,50	6,16	115,0		0,8	1,9		4,3	149		
12	0	24,00	6,41	120,7	3,17	0,8	4,2	24,0	5,9	80	19,7	384
12	21	23,00	6,01	111,1		0,1	4,7		4,9	80		
11	0	24,00	6,70	126,1		0,2	4,9	10,9	3,9	126	13,8	303
11	30	22,80	6,66	122,7		0,7	2,8		3,7	133		
2	0	24,20	6,08	114,9		0,5	2,2	6,1	4,1	68	15,4	285
2	29	22,70	5,79	106,3		0,4	2,0		3,5	151		
3	0	24,30	5,93	112,1	1,59	0,4	3,0	14,2	3,6	65	13,4	286
3	20	22,60	6,37	116,9		0,4	1,9		2,3	85		
1	0	24,20				0,2	5,4	7,1	3,2	50	13,4	241
1	14	23,70	6,22	116,4		0,1	2,9		2,9	54		
4	0	23,90	6,20	116,4	2,65	0,0	1,8	5,4	5,8	97	12,9	264
4	12	23,60	6,19	115,7		0,2	1,6		3,5	59		
19	0	24,30	6,43	121,8	1,91	0,2	2,1	13,0	3,9	81	11,6	290
19	24	22,60	6,20	113,7		0,1	4,5		3,9	110		
20	0	24,30	6,48	122,6		0,1	3,2	2,6	3,4	54	12,0	307
20	30	22,60	5,70	104,5		0,7	2,7		4,9	190		
6	0	24,20	6,53	123,3		0,4	1,7	2,1	3,7	110	13,3	384
6	30	22,70	6,16	113,2		0,9	3,2		5,2	117		
5	0	24,00	6,88	129,6	2,95	0,6	2,0	0,9	3,6	33	14,4	359

№ ст	Н м	Т °С	O ₂		БПК ₅ мг/л	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Si	P _{орг}	N _{орг}
			мл/л	%								
5	19	23,20	6,26	116,1		0,3	1,4		4,4	59		
7	0	24,20	5,93	112,0	1,43	0,4	1,0	10,5	4,2	48	15,1	358
7	9	23,60	6,68	124,8		0,2	2,6		4,1	41		
21	0	24,40	6,88	130,4	2,36	0,8	1,8	5,1	4,7	66	17,3	386
21	4	23,90	6,90	129,6		0,5	2,1		5,0	72		
22	0	24,10	6,29	118,5	2,48	0,2	1,9	2,2	4,6	40	15,4	414
22	4	24,00	6,37	119,8		0,1	1,5		2,7	23		

Растворенный кислород на всей акватории имел достаточно высокие значения: 5,70–6,90 мл/л (109 – 136 % насыщения) (рис. 8). Средние величины содержания кислорода составляли 6,32 мл/л и 122 % насыщения. Минимальное содержание кислорода (5,70 мл/л) отмечено в придонном слое на мористой станции 20 в Сердоликовой бухте. Практически такая же величина (5,79 мл/л) содержания растворенного кислорода зафиксирована и в придонном слое на мористой станции 2 в районе м. Мальчин. Отклонения от средней по слою величине были, незначительны: 0,58 мл/л в сторону повышения и 0,62 мл/л в сторону понижения.

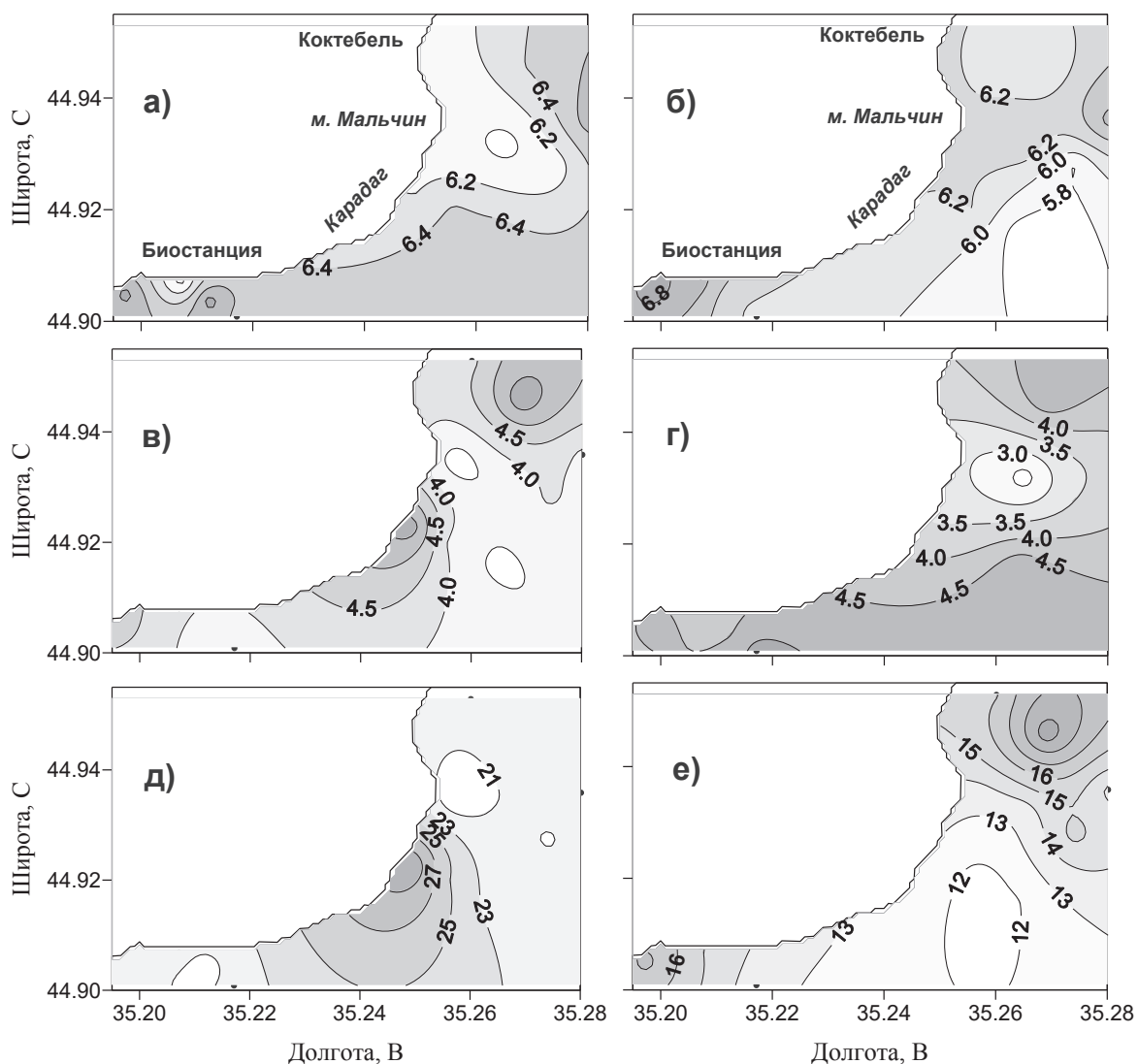


Рис. 8. Распределение г/х показателей 14 сентября 2017 г.: а) кислород, мл/л (поверхность), б) кислород, мл/л (дно), в) фосфаты, мкг/л (поверхность), г) фосфаты, мкг/л (дно), д) P_{мин}:P_{вал}, % (поверхность), е) фосфор органический, мкг/л (поверхность).

Одновременно с понижением содержания кислорода в придонном слое на этих же станциях наблюдали максимальное содержание кремния (190 мкг/л на ст. 20 и 150 мкг/л на ст.2), что свидетельствует о возможном влиянии источников пресных вод подземного происхождения (рис. 9). В исследованиях прошлых лет в указанных районах нами уже отмечалось присутствие пресных вод подземного происхождения по аномальному распределению в придонном слое кислорода и биогенных веществ (Ковригина и др., 2009).

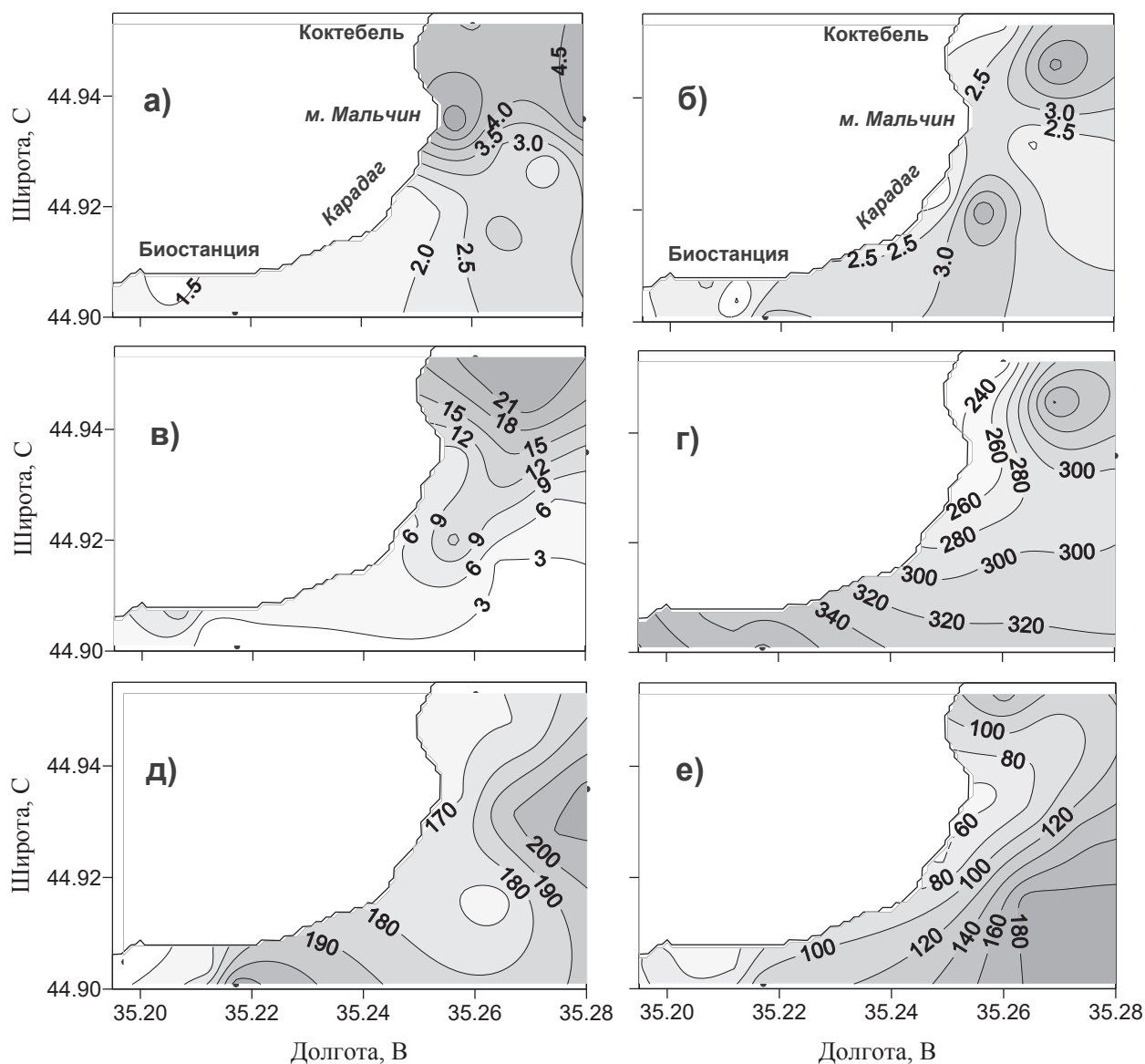


Рис. 9. Распределение биогенных веществ 14 сентября 2017 г. а) нитраты, мкг/л (поверхность), б) нитраты, мкг/л (дно), в) азот аммонийный, мкг/л (поверхность), г) азот органический, мкг/л (поверхность), д) кремний, мкг/л (поверхность), е) кремний, мкг/л (дно)

Величины БПК₅ изменялись в пределах от 1,43 до 3,45 мг/л, средняя по съёмке величина составляла 2,45 мг/л. Превышение предельно-допустимой концентрации по рыбохозяйственным нормативам, равной 2,0 мг/л отмечено на шести из девяти станций. Максимальное превышение ПДК в 1,7 раза зафиксировано в узкой прибрежной зоне на ст. 13 в бухте Коктебель, что указывает на загрязнение поверхности исследуемой акватории хозяйственными сточными водами от п.г.т. Коктебель. Высокие величины БПК₅

почти всегда сопровождалось высоким содержанием органического вещества (Nорг и Pорг).

Влияние хозяйственных вод зафиксировано также на поверхности в Коктебельской (ст. 13 и ст. 12) бухте, в устье реки Отузки (ст. 21) и в районе Очистных (ст. 22) по высоким концентрациям биогенных веществ (рис. 9). Так, максимальные величины азота аммонийного (24 мкг/л) и фосфора органического (20 мкг/л), а также высокое содержание азота органического (384 мкг/л) отмечены на ст. 12. На поверхности ст. 13, кроме максимальной величины БПК₅, зафиксированы высокие концентрации азота аммонийного (23 мкг/л) и фосфора органического (16 мкг/л). На ст. 21 (устье реки Отузки) наблюдали максимальное содержание фосфора органического (17 мкг/л) и высокое содержание азота органического (386 мкг/л). А на ст. 22 (район Очистных от п.г.т. Курортное) обнаружен максимум содержания азота органического (414 мкг/л).

Влияние азовоморских вод было прослежено на поверхности по повышенным концентрациям кремния в восточной части акватории. Средняя величина концентрации кремния в Коктебельской бухте составила 96 мкг/л, на акватории Карадагского природного заповедника – 65 мкг/л (рис.8). Кроме того, влияние азовоморских вод подтверждается величинами процентного отношения минеральной формы фосфора к общей $R_{\text{мин}}:R_{\text{вал}}$, которые изменялись от 19,3 до 31,0 % и на всех станциях, кроме станции 4, были ниже 30 %. Распределение величин отношения минеральной формы фосфора к валовой ($R_{\text{мин}}:R_{\text{вал}}$) показано на рис.8.

Для оценки антропогенного влияния на 2-х метровую полосу моря (глубина 0,5 м) 14 сентября нами дополнительно с берега были отобраны пробы на четырёх станциях: в заповеднике (камни Кузьмича), на западной границе заповедника, на пляже и в районе стока вод из дельфинария. Распределение гидрохимических величин, полученных на этих станциях, представлено на рис. 10. В целом, оно характеризовалось снижением величин растворенного кислорода и повышением концентраций биогенных веществ по сравнению с прилегающей акваторией (ст. 7).

Средние величины растворённого кислорода в прибрежной 2-х метровой полосе моря были ниже полученных на прибрежных станциях разрезов, имеющих глубину 10 м., на 0,43 мл/л и 10 % насыщения. Величины БПК₅ изменялись в пределах 1,44–2,82 мг/л, причём на трёх станциях из четырёх их величины превышали ПДК (2,0 мг/л); максимум отмечен в районе пляжа. Величины окисляемости были гораздо ниже ПДК по рыбохозяйственным нормативам и находились в пределах от 1,83 до 2,22 мгО/л. Величины К_з, равные отношению БПК₅ к окисляемости изменялись от 0,65 до 1,42, причём на 3-х станциях из четырёх они были >1, что указывает о загрязнении 2-х метровой полосы моря. И только на одной станции (камни Кузьмича), расположенной на акватории Карадагского природного заповедника, К_з имел величину <1, что характеризует район заповедника как «незагрязнённый».

Величины биогенных веществ в 2-х метровой полосе моря на глубине 0,5 м. превышали их значения в прибрежной зоне: нитраты – в 1,5 раза, азот аммонийный - в 1,6, кремний – в 1,4 раза, азот нитритный – на порядок. Такое превышение концентраций биогенных веществ в 2-х метровой полосе моря подтверждает её загрязнение хозяйственным стоком, отмеченное также по величинам БПК₅ и К_з. Среднее содержание органического вещества по величинам органического азота (Nорг) в 2-х метровой полосе моря и на прибрежных станциях разрезов практически не отличалось друг от друга. Поскольку величины перманганатной окисляемости имели низкие значения, то рассчитанные по ним величины растворённого органического углерода (Cорг) также были невысоки. Они изменялись в пределах от 5,38 до 6,53 мгС/л и накопления растворенного органического вещества в 2-х метровой полосе моря не показывали.

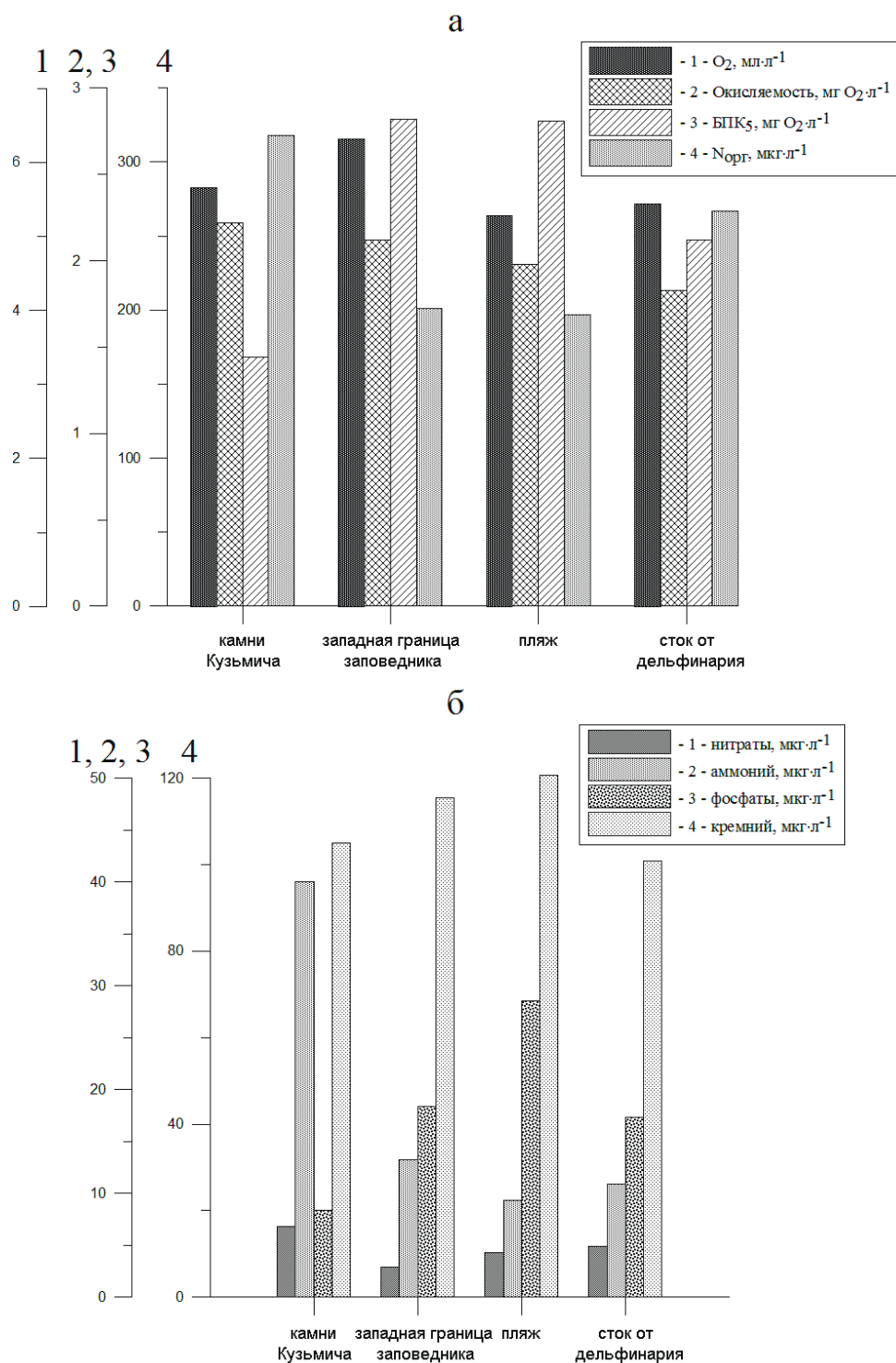


Рис. 10. Распределение гидрохимических показателей на поверхности 2-х метровой полосы моря 14 сентября 2017 г.: а) кислород, окисляемость, БПК₅, органический азот; б) нитраты, аммоний, фосфаты, кремний.

Выводы

Май и сентябрь 2017 г. характеризовался значительной пространственной однородностью термохалинных полей. Слабовыраженные градиентные зоны отмечены в районе м. Мальчин. В этой же акватории наблюдались повышенные горизонтальные градиенты большинства гидрохимических параметров и увеличение общего количества меропланктона.

Локальные зоны загрязнения хозяйственными водами в мае отмечены в Коктебельской бухте и в районе м. Мальчин, в сентябре – в Коктебельской бухте, в районе стока реки Отузки и очистных сооружений п.г.т. Курортное. Они выявлены по высоким концентрациям биогенных веществ, превышению ПДК по величинам БПК₅ и окисляемости. Установлено, что накопления органического вещества по сравнению с прошлыми исследованиями не произошло.

Влияние азовоморских вод прослеживалось практически на всей акватории по величинам процентного отношения R_{мин}: R_{вал}, которое было ниже 30%. Оно проявилось в мае и сентябре на 12 станциях из 13.

Снижение величин кислорода и резкое увеличение концентрации кремния в придонном слое в мае 2017 г., также, как и в мае 2016 г. отмечено на ст. 6, 3 и 2, в сентябре – на ст. 2 и на ст. 20, что указывает на возможное присутствие источников пресных вод подземного происхождения.

Видовой состав и численность меропланктона в мае 2017 г. были типичными для прибрежной акватории Карадага и аналогичными таксономической структуре, зарегистрированной в мае предыдущего года.

Получены высокие коэффициенты корреляции между солёностью и фосфатами (коэфф. -0,95), солёностью и кремнием (коэфф. 0,88), что косвенно подтверждает влияние азовоморских вод на Карадагское взморье. Выявлены значимые коэффициенты корреляции между меропланктоном с солёностью, нитратами и фосфатами.

Работа подготовлена по теме государственного задания ФГБУН ИМБИ «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса», номер гос. регистрации АААА-А18-118021350003-6.

Список литературы

1. Ковригина Н.П., Павлова Е.В., Мурина В.В., Лисицкая Е.В., Смирнова Ю.Д. Гидрохимическая характеристика и меропланктон прибрежных вод Карадага (2004 г.). Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: сб. науч. тр. / НАН Украины, Морской гидрофиз. ин-т, Ин-т геологических наук, Одесский филиал Ин-та биологии южных морей. – Севастополь, 2007. – Вып. 15. – С. 139–151.
2. Ковригина Н.П., Трощенко О.А., Лисицкая Е.В., Поспелова Н.В., Еремин И.Ю. Гидролого-гидрохимические и гидробиологические исследования на Карадагском взморье в теплый период 2016 г. // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2017. – № 1 (3). – С. 38–53
3. Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 725 с.
4. Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов. – М.: ВНИРО, 1988. – 119 с
5. Методические указания № 30. – М.: Гидрометеиздат, 1966. – 39 с
6. Скопинцев Б.А. Формирование современного химического состава вод Черного моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 335 с.
7. Ковригина Н.П., Трощенко О.А., Щуров С.В. Особенности пространственного распределения гидролого-гидрохимических показателей прибрежной акватории Карадага в современный период (2005 – 2006 гг.) // Карадаг – 2009: Сборник научных трудов, посвящённых 95-летию Карадагской научной станции и 30-летию Карадагского природного заповедника Национальной академии наук Украины. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. – С. 446–461

**HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL SITUATION AND MEROPLANKTON
STATUS IN THE COASTAL WATERS OF KARADAG
IN MAY AND SEPTEMBER 2017**

**Troshchenko O.A., Kovrigina N.P., Lisitskaya E.V., Kapranov S.V., Eremin I.Y.,
Rodionova N.Y.**

*Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol Russian Federation
e-mail: maricultura@mail.ru*

Results of comprehensive research of coastal waters of the Karadag Nature Reserve and Koktebel' Bay carried out in May and September 2017 are presented in this study. The influence of domestic sewage of Koktebel' and Kurortnoye settlements on fields of hydrological and hydrochemical parameters and on meroplankton status at the coastal stations along four cross-sections is studied. The thermohaline fields in the two fieldworks are shown to be uniform enough. A slight increase of the horizontal gradients is observed in the area of Cape Mal'chin. From the BOD₅ and oxidizability values exceeding maximum permissible concentrations (MPC) and the pollution factors (the ratio of BOD₅ and oxidizability) above unity, the domestic sewage-polluted areas are detected. The content of dissolved organic carbon (C_{поб}) in the surface water of Karadag coastal area and Koktebel' Bay is calculated and compared with that of the initial stage of the research (in 2004). From the mineral and total phosphorus ratio values $P_{\min}/P_{\text{tot}} < 30\%$ and the high concentrations of silicon and mineral phosphorus, the impact of the Azov Sea water inflow on the hydrochemical structure of the water area under study is revealed. The taxonomic composition of meroplankton of Karadag coastal waters is studied. From the values of the calculated paired correlation coefficients, relations among all abiotic parameters and meroplankton content are considered. The collation of meroplankton abundance and concentration of nutrients in May at the coastal stations along the cross-sections is performed.

Key words: hydrological and hydrochemical indices, Azov Sea water, deep water inflow, meroplankton, Karadag coastal area, Black Sea

Поступила в редакцию 23.04.2018 г