

**РАЗДЕЛ 4.
ГИДРОЛОГИЯ, ОКЕАНОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ**

УДК 551.46(262.5.04)

**ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКВАТОРИИ
КАРАДАГСКОГО ЗАПОВЕДНИКА И КОКТЕБЕЛЬСКОЙ БУХТЫ В 2021 ГГ.**

*Троценко О. А., Ковригина Н. П., Капранов С. В.,
Родионова Н. Ю., Бобко Н. И., Борисова Д. С.*

*Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Российская
Федерация
E-mail: oleg_tr59@mail.ru*

Представлены результаты гидролого-гидрохимических исследований в прибрежной зоне района Карадага, проведенных в мае и сентябре 2021 года. Значения поверхностной температуры воды были близки к среднегодовым данным для каждого месяца. Величины солёности были выше среднегодовых значений, что соответствует тенденциям последних лет. По данным БПК₅, окисляемости и величинам коэффициента загрязнения изучаемую акваторию можно отнести к условно «чистым». На прибрежных станциях в районе пгт Коктебель и пгт Курортное значения окисляемости превышали ПДК. В узкой прибрежной зоне в сентябре отмечали пониженное содержание нитратов и минимум кремния в оба сезона. Максимум органического азота и фосфора в мае наблюдали на западной границе заповедника, в сентябре — в районе Кузьмичевых Камней.

Ключевые слова: взморье Карадага; температура; солёность; кислород; БПК₅; окисляемость; биогенные вещества; Чёрное море.

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее ранние сведения о гидрохимическом режиме вод района Карадага получены А. И. Смирновой в период 1957–1958 гг. [1]. Автором сделан вывод, что по концентрациям гидрохимических показателей район Карадага практически не отличается от других частей центральной и восточной зон Черного моря. Данные по распределению гидрохимических полей в районе Судакско-Карадагского взморья получены в весенне-летний период 1987–1990 гг. и представлены в работе [2]. Гидрохимические исследования в районе Карадага на современном этапе (2004–2021 гг.) были вызваны необходимостью выяснения экологического состояния прибрежной зоны, которая с давних пор считалась «чистой», т.е. не подверженной антропогенному воздействию. С 2004 г. и по настоящее время ежегодно в районе Карадага сотрудниками отдела аквакультуры и морской фармакологии ФИЦ «ИнБИОМ РАН» исследуется акватория в 5-мильной зоне от 10 до 30-метровой изобаты. Материалы, полученные в узкой прибрежной зоне в 2004 гг., выявили накопление содержания органического вещества в зоне Карадага в 3–5 раз выше относительно уровня 50–60 гг. прошлого столетия [3]. Интересные обобщения и выводы по экологическому состоянию вод, полученного на основе имеющегося гидролого-гидрохимического материала в районе Карадага представлены в

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКВАТОРИИ КАРАДАГСКОГО ЗАПОВЕДНИКА И КОКТЕБЕЛЬСКОЙ БУХТЫ В 2021 ГГ.

монографии [4]. Накопленные к настоящему времени данные позволяют проследить многолетнюю изменчивость.

Целью данной работы является рассмотрение особенностей пространственно-временной изменчивости основных гидролого-гидрохимических характеристик в районе Карадага в мае и сентябре 2021 г., выявление многолетних тенденций в их распределении, а также оценка качества вод в узкой 2-метровой полосе моря от биостанции до заповедника.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В 2021 году в районе Карадагского природного заповедника выполнено две съёмки: в мае и сентябре, по уже существующей с 2012 г. сетке станций, которая охватывала четыре разреза по нормали к береговой линии и две прибрежные станции: устье реки Отузки и очистные сооружения пгт. Курортное. Схема станций представлена на рис. 1. Каждая съёмка охватывала 14 станций, на которых пробы отбирали с поверхности и в придонном слое. Всего отобрано 56 проб и выполнено 470 гидрохимических анализов. Комплекс гидрохимических анализов не изменялся с момента начала исследований, с 2004 г. Последний включал в себя определение температуры, солёности, содержания растворенного кислорода, биохимического потребления кислорода на 5-е сутки (БПК₅), перманганатной окисляемости в щелочной среде, кремния, минеральных и органических форм азота и фосфора. Анализы выполнялись в соответствии с общепринятыми методиками [5, 6, 7].



Рис. 1. Схема расположения станций на взморье Карадагского заповедника в 2021 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Распределение гидролого-гидрохимических характеристик во время съёмки 24 мая 2021 г.

Распределение поверхностной температуры и солёности по данным съёмки 24 мая 2021 г. представлены на рис. 2. *Температура* изменялась в диапазоне 13,4–15,3°C, что соответствует среднемноголетним показателям. Более прогретые воды находились в акватории заповедника, а самые низкие значения отмечены в прибрежной зоне пгт. Курортное и Коктебельской бухте. Верхний квазиоднородный слой уже сформировался, но его мощность не превышала 5 метров. Глубже располагался слабовыраженный сезонный термоклин со средним градиентом около 0,2°C/м.

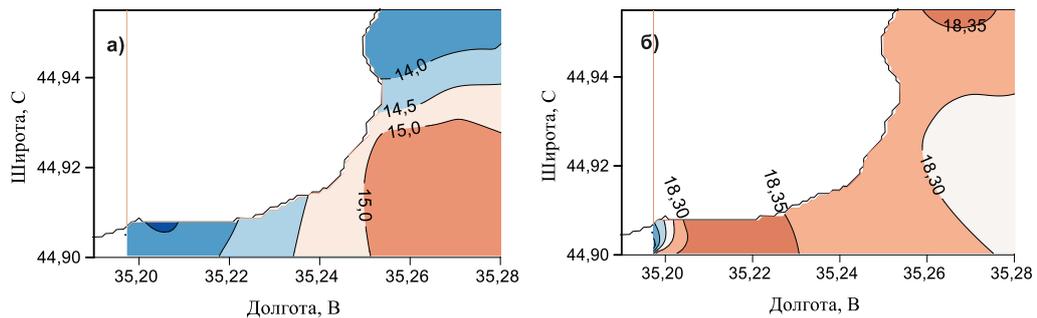


Рис. 2. Распределение поверхностной температуры (а) и солёности (б) 24.05.2021 г.

Распределение поверхностной *солёности* имело подобный характер, но с обратным знаком. Более солёные воды распространялись в прибрежных зонах пгт. Курортное и Коктебельской бухты, а менее солёные на акватории заповедника. Выделяется станция в районе устья р. Отузка с самыми низкими значениями. В общем, диапазон изменчивости поверхностной солёности был невелик: 18,11–18,37‰, но сами значения были выше среднемноголетних показателей приблизительно на 0,5‰. С глубиной солёность плавно повышалась. Максимальное значение 18,48‰ отмечено на мористой станции Коктебельской бухты (ст. 11, глубина 29 м).

В период наблюдений на всей исследуемой акватории отмечен высокий уровень обеспеченности *кислородом*. Абсолютное содержание кислорода изменялось на поверхности в пределах от 6,89 до 8,80 мл/л, при среднем значении равном 7,26 мл/л, и на придонном горизонте от 6,62 до 8,41 мл/л, при среднем содержании 7,13 мл/л. Все полученные величины были гораздо выше предельно допустимой концентрации (ПДК), равной 4,2 мл/л, по рыбохозяйственным нормативам [8].

Относительное содержание кислорода изменялось на поверхности от 107,4 до 135,9% насыщения, при средней величине 113,3% и превышало ПДК (40% насыщения). В придонном слое дефицита кислорода не наблюдали: величины насыщения кислородом изменялись в пределах от 97,7 до 130,0%, при среднем

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКВАТОРИИ
КАРАДАГСКОГО ЗАПОВЕДНИКА И КОКТЕБЕЛЬСКОЙ БУХТЫ В 2021 ГГ.

значении 106,3% и превышали ПДК. Распределение величин абсолютного и относительного содержания кислорода на поверхности представлено на рис. 3.

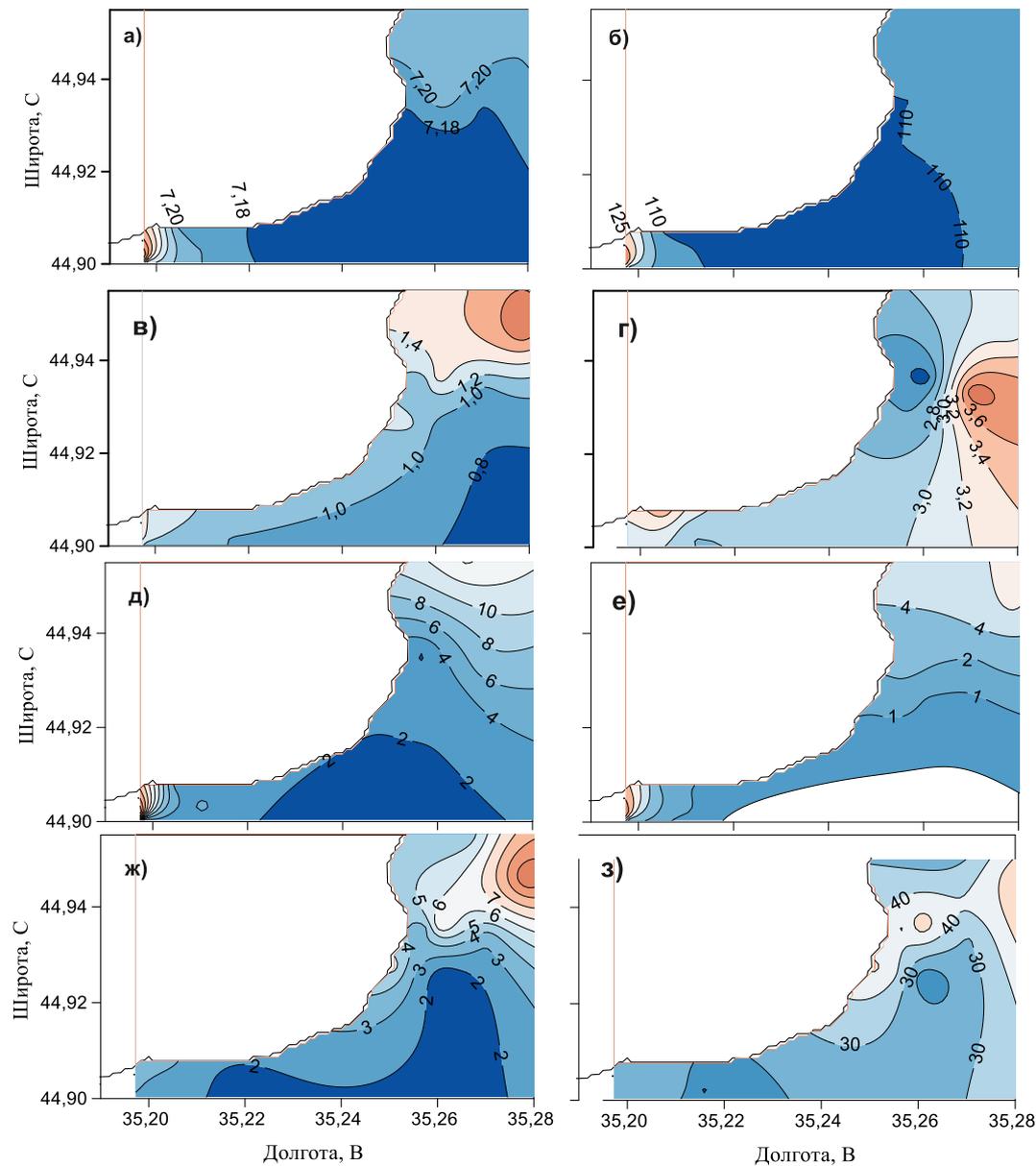


Рис. 3. Распределение гидрохимических параметров на поверхности акватории Карадагского заповедника в мае 2021 г.: а) кислород, мл/л; б) кислород, %; в) БПК₅, мг/л; г) окисляемость, мгО/л; д) нитраты, мкг/л; е) азот аммонийный, мкг/л; ж) фосфаты, мкг/л; з) $P_{\text{мин}}:P_{\text{вал}}$, %.

Величины **БПК₅** изменялись в диапазоне от 1,29 до 2,79 мг/л, при средней величине 1,77 мг/л. Максимальная величина БПК₅ отмечена на ст. 12, минимальная – на ст. 20. На 10 станциях из 14 значения БПК₅ были ниже ПДК, равной 2,0 мг/л для рыбохозяйственных водоёмов, что, в целом, подтверждает «чистоту» исследуемой акватории.

Значения **окисляемости** на поверхности изменялись в пределах от 2,31 до 3,94 мгО/л. Минимальное значение наблюдали на ст. 3, максимальное – на ст. 2, при среднем значении 2,98 мгО/л. Все полученные величины были ниже ПДК (4,0 мгО/л), что также, как и в случае с величинами БПК₅, подтверждает незагрязнённое состояние исследуемой акватории. По отношению БПК₅ к окисляемости [9] был рассчитан коэффициент загрязнения K_3 . Его величины изменялись в пределах от 0,34 до 0,91 и были меньше 1,0, что свидетельствует об отсутствии загрязнённости данной акватории.

Содержание **растворённого органического вещества ($C_{ров}$)** в 2021 году, рассчитанное по величинам окисляемости и коэффициента перерасчета (0,34), изменялось в пределах 7,11 до 10,47 мгС/л. Величины $C_{ров}$ за период 2010–2021 год находились в диапазоне 7,09–27,53 мгС/л. Исключение составил 2013 год, когда содержание $C_{ров}$ на прибрежной ст.13, подверженной влиянию хозяйственного стока от пгт Коктебель, было в 1,5 (44,26 мгС/л) раза выше указанного нами диапазона. Сравнение предела изменчивости $C_{ров}$ в настоящее время с таковым, полученным в 2004 году [3], показывает, что накопление $C_{ров}$ в современный период отсутствует. Используя величины перманганатной окисляемости, полученные нами в районах исследования, рассчитано содержание органического углерода ($C_{ров}$) в акватории Карадага и Коктебельской бухты.

Таблица 1.
Многолетняя изменчивость величин растворенного органического вещества $C_{ров}$ для прибрежных станций в районе Карадага в мае–июне (2010–2021 гг.)

№ ст	2010	2011	2012	2013	2014	2016	2017	2018	2019	2020	2021
13	21,03	15,56	19,73	44,26	15,71	9,0	7,76	16,32	10,53	9,58	8,74
1	–	9,62	9,26	9,44	11,82	10,03	10,68	12,94	14,06	11,65	7,11
4	27,53	10,23	11,47	10,85	15,32	8,56	12,41	13,59	10,82	11,91	8,12
7	25,71	9,15	10,73	–	12,0	7,09	10,74	13,26	10,21	10,29	10,47

Биогенные вещества. Концентрация **нитритов** имела низкие однородные значения: на поверхности изменялась от 0,9 до 1,7 мкг/л, в придонном слое – от 0,7 до 3,1 мкг/л. Содержание **нитратов** на поверхности находилась в пределах от 1,9 до 25,6 мкг/л, при среднем значении 6,5 мкг/л. В придонном слое величины **нитратов** колебались в пределах от 2,0 до 13,2 мкг/л, при среднем значении 6,1 мкг/л. Для **аммонийного азота** на поверхности величины содержания изменялись в диапазоне 0,8–12,2 мкг/л, при среднем значении 3,7 мкг/л. Распределение величин нитратов и азота аммонийного представлено на рис. 3. В целом, концентрации нитритов,

**ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКВАТОРИИ
КАРАДАГСКОГО ЗАПОВЕДНИКА И КОКТЕБЕЛЬСКОЙ БУХТЫ В 2021 ГГ.**

нитратов и аммонийного азота имели низкие значения и однородное распределение по акватории.

Концентрация **фосфатов** на поверхности колебалась от 1,2 до 11,1 мкг/л, при среднем 4,2 мкг/л. В придонном слое фосфаты изменялись от 0,3 до 4,6 мкг/л, при среднем значении 2,6 мкг/л. Величины **кремния** на поверхности изменялась от 5,9 до 79,4 мкг/л, при среднем значении 38,1 мкг/л. В придонном слое величины содержания кремния находились в диапазоне от 13,2 до 100,8 мкг/л, при среднем значении 42,6 мкг/л. Максимальная величина кремния на поверхности наблюдалась на ст. 19 (Сердоликовая бухта), минимальная — на ст. 21 (пгт Курортное). В придонном слое максимум кремния наблюдали на ст. 3 (мыс Мальчин), минимум на прибрежной ст. 4 в Сердоликовой Бухте.

В придонном слое на ст. 12, 2, 3 и 6 отмечены повышенные значения кремния, что, возможно, указывает на присутствие пресных вод подземного происхождения и подтверждается более ранними исследованиями [4]. На поверхности прибрежных станций (ст. 13, 1, 4, 7 и 22) зафиксированы повышенные значения кремния относительно придонного слоя, что указывает на локальное влияние хозяйственного стока на прибрежную акваторию. В районе ст. 2 (м. Мальчин) и в районе ст. 6 (биостанция) в слое 30–0 м субмаринная разгрузка подтверждена повышенными концентрациями нитратов (8,2 и 7,6 мкг/л соответственно) и пониженным содержанием кислорода (97,7 и 100,0% насыщения).

Концентрации **органического фосфора ($P_{орг}$)** на поверхности изменялись в пределах 2,2–33,7 мкг/л. Минимальное значение отмечено на мористой ст.1, максимальное – на прибрежной станции в Коктебельской бухте. На поверхности всей исследуемой акватории величины процентного отношения минеральной формы фосфора к общей форме ($P_{мин}:P_{вал}$) изменялось от 9,09 до 76,09% (табл. 2). В восточной части акватории величины $P_{мин}:P_{вал}$ были выше 30% (ст. 12, 11, 2, 3, 1, 4 и 19), что указывает на преобладание черноморских вод, на остальной акватории, где отношение $P_{мин}:P_{вал} < 30\%$, (см. рис. 3) прослеживалось влияние азовоморских вод, что подтверждается более ранними исследованиями [10].

Таблица 2.

Величины отношения $P_{мин}:P_{вал}$ (%) в мае 2021 г. на поверхности акватории
Карадагского природного заповедника

№ станции	$P_{мин}:P_{вал}$	№ станции	$P_{мин}:P_{вал}$	№ станции	$P_{мин}:P_{вал}$
13	10,85	1	39,77	5	25,71
12	54,41	4	51,89	7	25,62
11	76,09	19	45,21	21	23,42
2	59,26	20	12,77	22	22,46
3	47,65	6	9,09		

Величины **органического азота** имели достаточно высокое значение и равномерное распределение на поверхности акватории. Концентрация органического азота изменялась от 404 (ст. 1) до 554 (ст. 12) мкг/л (при среднем значении 492 мкг/л).

Минимальное значение $N_{\text{орг}}$ отмечено на ст. 1 (404 мкг/л), повышенное – на ст. 7 (527 мкг/л) в районе Биостанции и максимальное – на ст. 12 (554 мкг/л) в б. Коктебель. Высокое содержание $N_{\text{орг}}$ подтверждает влияние хозяйственного стока от пгт Коктебель и от пгт Курортное соответственно.

Распределение гидролого-гидрохимических характеристик во время съёмки 21 сентября 2021 г.

В сентябре наблюдалась термохалинная гомогенность. *Температура* изменялась в пределах 21,1–21,5°C (рис. 4), что близко к среднемуголетним значениям. С глубиной температура практически не изменялась, однако, на прибрежных станциях в Коктебельской бухте наблюдалась обратная стратификация, т.е. у дна температура воды была выше, чем на поверхности.

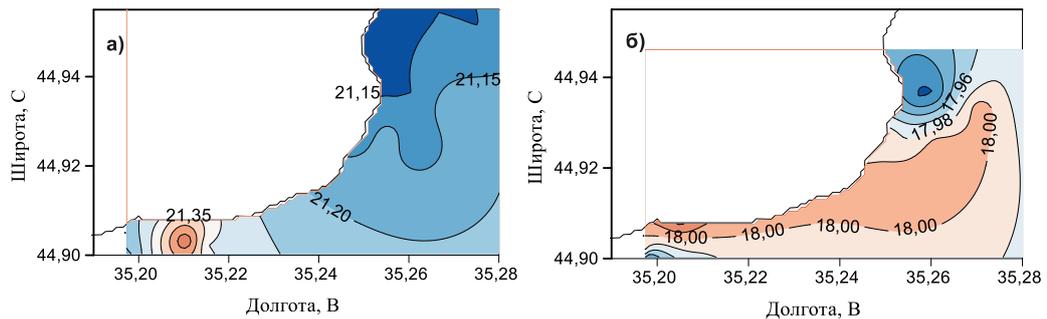


Рис. 4. Распределение поверхностной температуры (а) и солености (б) 21.09.2021 г.

Соленость изменялась в диапазоне 17,90–18,05‰. Эти значения несколько выше среднемуголетних показателей. С глубиной соленость, также, как и температура, почти не менялась, за исключением станции 4, где в придонном слое наблюдалось заметное распреснение. Это говорит об источнике субмаринной разгрузки, что подтверждается гидрохимическими показателями.

Содержание *растворённого кислорода* в слое поверхность-дно было довольно равномерным. Его величины колебались в пределах от 4,93 до 5,78 мл/л и от 86,9 до 103,5% насыщения. Минимальное содержание на поверхности отмечено в районе м. Мальчин, на ст. 3 (5,08 мл/л; 90,6% насыщения). Минимальное значение у дна зафиксировано в Сердоликовой бухте на глубине 30 м (4,96 мл/л; 86,8% насыщения). Недосыщение кислородом составило 13,2%, что возможно обусловлено присутствием источников пресных вод подземного происхождения и подтверждается максимальной концентрацией кремния и нитритов. В придонном горизонте на ст. 2 мы также отметили минимальную величину абсолютного содержания кислорода (4,93 мг/л) и повышенную концентрацию кремния и нитритов, что также указывает на возможное присутствие источника пресной воды.

Максимальную величину кислорода на поверхности наблюдали на прибрежной станции в Коктебельской бухте (5,78 мл/л и 103,5% насыщения), в придонном слое – в районе Биостанции на глубине 21 м (5,64 мл/л и 101,5%). Средние величины растворённого кислорода во всём исследуемом слое составили 5,55 мл/л и 99,4%. Эти

величины превышали ПДК для рыбохозяйственных водоёмов, равные 4,2 мг/л и 40% насыщения, что подтверждает «чистоту» исследуемой акватории. Распределение величин содержания кислорода на поверхности представлено на рис. 5.

Величины БПК₅ в сентябре 2021 г. распределялись достаточно равномерно: от 0,53 до 1,64 мг/л при средней величине, равной 1,1 мг/л. Все величины БПК₅ были ниже ПДК в 1,2–3,8 раз, что свидетельствует о низком содержании нестойкого органического вещества в этот период.

Величины окисляемости так же, как и величины БПК₅, измерялись только на поверхности, диапазон изменчивости составлял от 2,86 до 5,69 мгО/л. Величины окисляемости превышали значения ПДК, равной 4,0 мгО/л в Коктебельской бухте на ст. 12 (5,69 мгО/л), ст. 13 (4,61 мгО/л), и на мористой ст. 6 в районе Биостанции (4,39 мгО/л), что объясняется повышенной антропогенной нагрузкой от пгт Коктебель и пгт Курортное. Средняя для всей акватории величина составила 3,8 мгО/л. Распределение величин БПК₅ и окисляемости на поверхности представлено на рис. 5.

Величины коэффициента загрязнения (K_3), рассчитанные по Скопинцеву [9] как отношение БПК₅ к окисляемости, имели диапазон изменчивости от 0,13 до 0,56 и были ниже 1,0, что подтверждает незагрязнённое состояние данной акватории и характеризует общую санитарную обстановку в исследуемом районе как благоприятную.

Содержание растворенного органического вещества $C_{ров}$ было рассчитано косвенным методом по величинам перманганатной окисляемости в щелочной среде. Последние дают представление о количестве кислорода, идущего на частичное окисление органического вещества (ОВ), а сам метод позволяет быстро получить ориентировочную оценку содержания в воде ОВ. Принято считать, что ОВ природных вод на 50% состоит из органического углерода, содержание азота – на порядок, а фосфора — на два порядка меньше, чем углерода. По данным Б. А. Скопинцева, среднее содержание углерода в 0–50 м слое Черного моря составляет 3,6 мг/л, а средняя величина окисляемости в этом слое равна 1,22 мг/л. Отсюда величина отношения кислорода окисляемости к углероду в среднем равна 0,34 [9]. Используя величины перманганатной окисляемости, полученные нами в районах исследования, и коэффициент перерасчета (0,34), рассчитано содержание органического углерода ($C_{ров}$) в акватории Карадага и Коктебельской бухты (табл. 3).

Содержание $C_{ров}$ в 2021 г. изменялось в пределах от 8,41 до 16,74 мгС/л, в период 2010–2021 год имело диапазон изменчивости 6,21–20,15 мгС/л. Сравнение диапазона изменчивости $C_{ров}$ в настоящее время с таковым, полученным нами ранее в 2004 году, показывает, что накопления $C_{орг}$ за исследуемый период не наблюдали (табл. 4).

Содержание органического вещества в поверхностном слое Черного моря в 50–60 гг. прошлого столетия имело пределы колебаний от 2,0 до 4,0 мгС/л [9]. Величины содержания $C_{орг}$, полученные нами в современный период, выше в 4–8 раз, т.е. содержание растворённого органического вещества существенно повысилось.

Содержание растворенного органического вещества, полученное в настоящее время в районе Карадага в 2021 г., осталось на уровне 2004 г., что указывает на отсутствие накопления растворенного органического вещества за последние 17 лет в прибрежных водах Карадага.

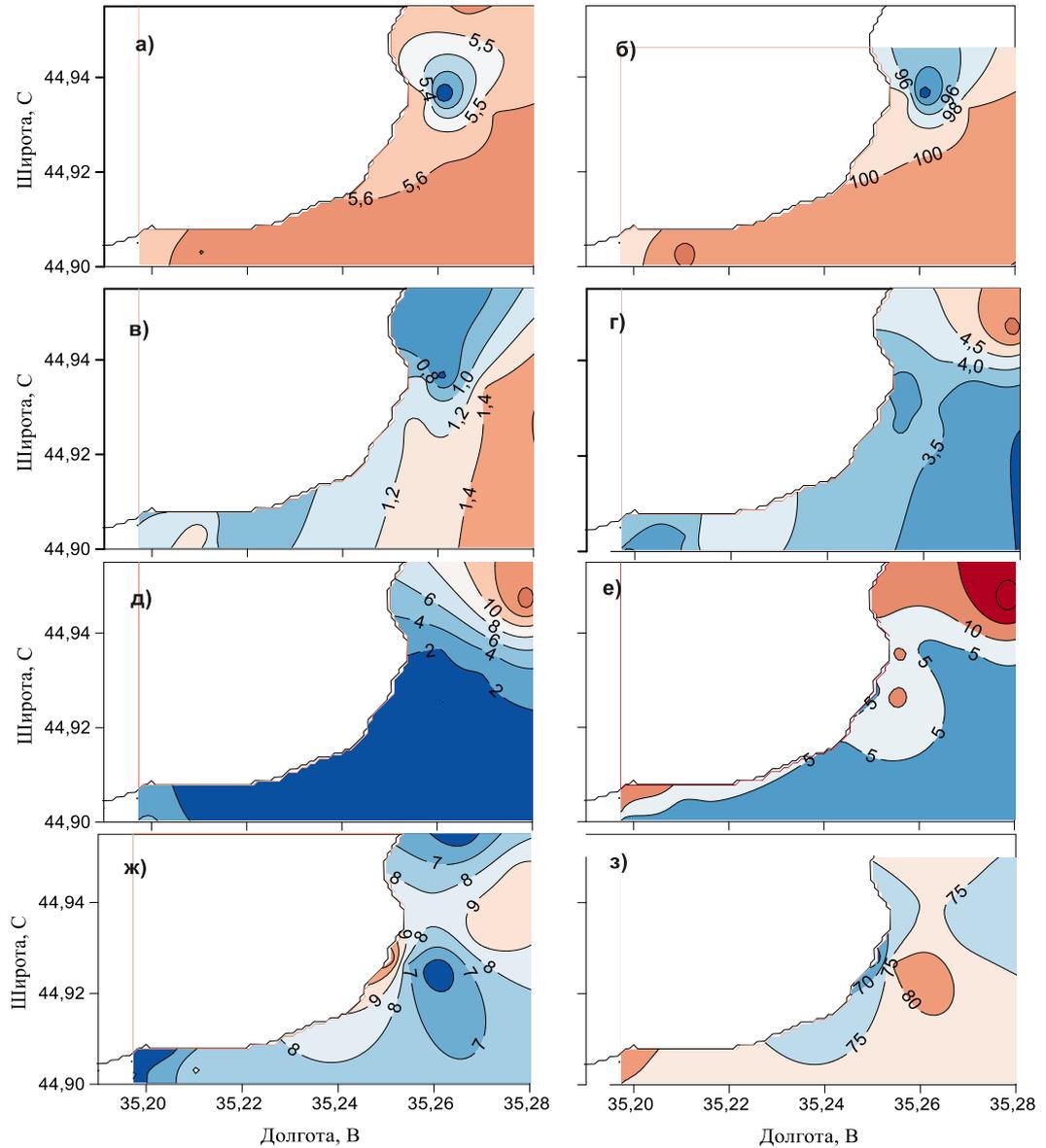


Рис. 5. Горизонтальное распределение гидрохимических параметров на поверхности акватории Карадагского заповедника в мае 2021 г.: а) кислород, мл/л; б) кислород, %; в) БПК₅, мг/л; г) окисляемость, мгО/л; д) нитраты, мкг/л; е) азот аммонийный, мкг/л; ж) фосфаты, мкг/л; з) $P_{\min}:P_{\text{вал}}$, %.

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКВАТОРИИ
КАРАДАГСКОГО ЗАПОВЕДНИКА И КОКТЕБЕЛЬСКОЙ БУХТЫ В 2021 ГГ.

Таблица 3.

Величины окисляемости (мгО/л) и растворённого органического вещества $C_{ров}$ (мгС/л) в сентябре 2021 г. на акватории Карадагского природного заповедника

№ ст.	Окисляемость	$C_{ров}$	№ ст.	Окисляемость	$C_{ров}$
13	4,61	13,56	19	3,44	10,11
12	5,69	16,74	20	3,67	10,79
11	2,93	8,62	6	4,39	12,91
2	3,13	9,2	5	3,47	10,2
3	3,87	11,4	7	3,62	10,65
1	3,27	9,62	21	2,86	8,41
4	3,74	11,0	22	3,92	11,6

Таблица 4.

Многолетняя изменчивость величин растворенного органического вещества $C_{ров}$ на прибрежных станциях в районе Карадага в сентябре (2010–2021 гг.)

№ ст	2004	2010	2011	2012	2013	2016	2018	2021
13	–	–	6,21	15,03	11,32	8,29	14,65	13,56
1	13,18	11,35	10,59	9,91	9,65	12,15	15,12	9,62
4	12,24	10,26	7,88	10,44	8,03	11,47	17,53	11,0
7	14,12	11,06	20,15	9,62	15,38	10,06	15,71	10,65

По распределению биогенных веществ отмечен низкий уровень содержания минеральных форм азота и фосфора: предел изменчивости нитритов составлял от 0,1 до 3,0, нитратов – от 0,8 до 14,9, аммонийного азота – от 2,4 до 22,3 и фосфатов – от 4,9 до 17,3 мкг/л. Распределение вышеуказанных форм азота и фосфора по вертикали и горизонтали было достаточно равномерным. Повышенное содержание нитратов (14,9 мкг/л) и аммония (22,3 мкг/л) наблюдали на поверхности в районе Коктебельской бухты, что обусловлено выбросом хозяйственно-бытовых сточных вод от пгт Коктебель. Концентрация кремния на поверхности изменялась от 2,2 мкг/л до 49,8 мкг/л (см. рис. 5). В придонном слое величины кремния составляли значения от 11,7 до 74,9 мкг/л. Биогенные вещества имели, в основном, низкие и однородные величины, характерные для незагрязнённых прибрежных вод.

Содержание *органического фосфора* на поверхности колебалось в узком диапазоне от 19,1 до 38,2 мкг/л, при среднем значении 27,1 мкг/л. Величины $P_{орг}$ выше среднего значения отмечены в Коктебельской бухте (38,2), на прибрежных станциях пгт Курортное (34,1) и устья реки Отузки (19,7 мкг/л). Величины органического азота также, как и органического фосфора изменялись в узком диапазоне, но имели гораздо большие величины (467–567 мкг/л), при среднем значении в 508 мкг/л. Величины выше 500 мкг/л наблюдали на прибрежных ст.13, 22, 21, а также на ст. 5 (район Биостанции) и ст. 3 (район м. Мальчин).

Максимальная концентрация $N_{орг}$, отмеченная на прибрежной станции в бухте Коктебель, наряду с высокой величиной окисляемости (4,61 мгО/л), обусловлена влиянием хозяйственного стока от пгт Коктебель.

Величины процентного отношения $P_{мин}:P_{вал}$ изменялись в интервале от 11,90 до 39,84% и характеризовали влияние азотовоморских вод на 13 станциях из 14 (когда их величины <30%) (см. рис. 5). Минимальная величина отмечена на прибрежной ст. 13 в б. Коктебель (11,90), максимальное значение отношения зафиксировано на прибрежной ст. 4 в Сердоликовой бухте (38,84) (табл. 5).

Таблица 5.

Величины отношения $P_{мин}:P_{вал}$ (%) в сентябре 2021 г. на поверхности акватории Карадагского природного заповедника

№ станции	$P_{мин}:P_{вал}$	№ станции	$P_{мин}:P_{вал}$	№ станции	$P_{мин}:P_{вал}$
13	11,9	1	26,49	5	24,24
12	27,94	4	38,84	7	19,69
11	27,47	19	18,87	21	22,64
2	27,79	20	16,51	22	15,11
3	24,24	6	21,46		

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Для рассмотрения многолетней изменчивости гидролого-гидрохимических показателей были выбраны 2 станции: ст. 4, находящаяся в акватории заповедника, и ст. 13, располагающаяся в Коктебельской бухте, т.е. в зоне максимального антропогенного влияния. Межгодовые изменения температуры и солености в мае представлены на рис. 6.

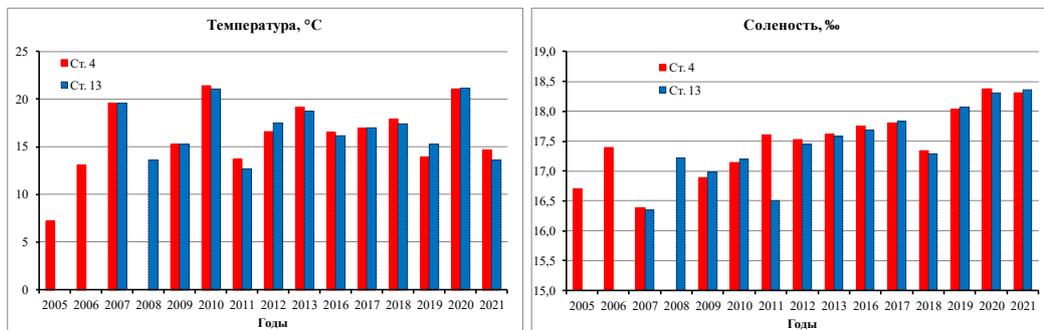


Рис. 6. Межгодовые изменения температуры и солености на ст. 4 и 13 в мае.

Весной выделяется заметный минимум *температуры* в 2005 г. — 7,2°C. Максимальные температуры отмечены в 2010 г. (21,4°C) и 2020 г. (21,2°C). Таким образом, межгодовая амплитуда превысила 14°C. Общий тренд положительный с угловым коэффициентом 0,06°C/год.

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКВАТОРИИ
КАРАДАГСКОГО ЗАПОВЕДНИКА И КОКТЕБЕЛЬСКОЙ БУХТЫ В 2021 ГГ.

Минимальные значения *солёности* в мае зафиксированы в 2007 г. — 16,39‰. Надо отметить, что до 2011 г. значения солёности были или ниже, или близки к 17‰. Затем значения стали повышаться и в последние 3 года превысили 18‰, что соответствует общей тенденции повышения солёности в последние 10 лет [4]. Общий тренд положительный с угловым коэффициентом 0,08‰/год.

В сентябре межгодовая амплитуда изменения температуры была значительно ниже, чем весной ~ 5°C, но само распределение более сложное с заметными колебаниями (рис. 7). Общий тренд положительный с более высоким чем в мае угловым коэффициентом в 0,09°C/год.

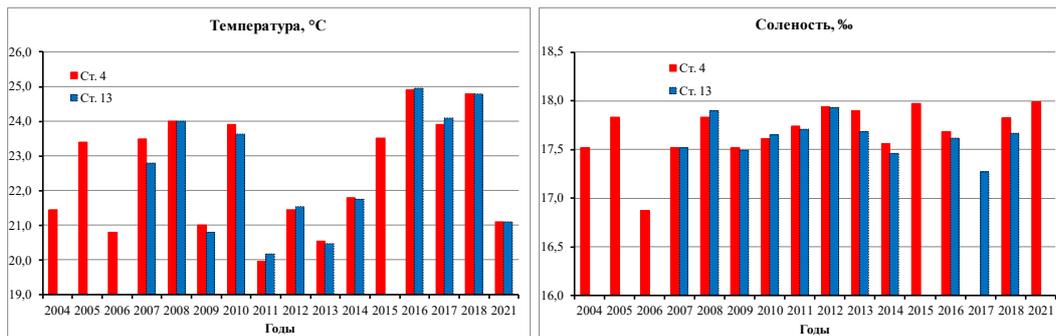


Рис. 7. Межгодовые изменения температуры и солёности на ст. 4 и 13 в сентябре.

Значения солёности в сентябре, в среднем выше, чем в мае, однако 18‰ было зафиксировано только в 2021 г. В целом межгодовое распределение более равномерно, чем весной. Общий тренд так же положительный, но с более низким угловым коэффициентом чуть менее 0,02‰/год.

В мае величины *БПК₅* на поверхности ст. 4 повышались с 2005 по 2012 г. Максимальная величина была выше ПДК примерно в 1,8 раза, далее наблюдали понижение до первоначальных величин. Величины *БПК₅* на поверхности ст. 13 имели тенденцию к повышению значений и до максимальной величины (примерно в 3,7 раза выше ПДК) в 2013 г. Далее наблюдали плавное понижение *БПК₅* до величин меньше ПДК. В целом, отмечены отрицательные тренды с угловым коэффициентом, равным -0,02 на ст. 4 и с угловым коэффициентом, близким к нулю на ст. 13, что говорит об отсутствии накопления нестойкого органического вещества.

В сентябре величины *БПК₅* на ст. 4 повышались с 2004 по 2017 г. с одним промежуточным максимумом в 2007 г., значение которого было близко к ПДК. В 2017 г. отмечен второй максимум, значения которого были выше ПДК в 1,4 раза. На ст. 13 в 2007 г. так же, как и на ст. 4, отмечен первый промежуточный максимум (около полутора ПДК). Далее величины *БПК₅*, начиная с 2008 г. изменялись волнообразно, причем до 2018 г. зафиксировано ещё четыре максимума. Полученные в сентябре величины *БПК₅* имели пониженные значения по сравнению с майскими. Межгодовая изменчивость гидрохимических показателей на поверхности прибрежных станций в б. Коктебель и в районе м. Мальчин в мае и сентябре 2005–

2021 г. представлена на рис. 8. Общий тренд в сентябре, в отличие от мая, был положительный с угловым коэффициентом 0,06 и 0,21 на ст. 4 и 13 соответственно.

Окисляемость в мае на ст. 4 измерялась с 2010 г. В начале наблюдений зафиксирован максимум, превышающий ПДК более чем в 2 раза, затем отмечены практически ровные значения, приближающиеся к ПДК, и только в 2018 г. немного его превышающие. На ст. 13 тенденция изменчивости окисляемости от года к году аналогична тенденции изменчивости окисляемости на ст. 4. Отмечено повышение значений окисляемости с 2011 по 2013 гг., причем максимум, отмеченный в 2013 г. в б. Коктебель выше максимума в районе м. Мальчин в 2010 г. в 1,7 раз (рис. 8). Отмечен отрицательный тренд с угловым коэффициентом, равным -0,02 на ст. 4, и тренд с угловым коэффициентом -0,10 на ст. 13.

В сентябре на ст. 4 величины окисляемости в период наблюдений изменялись незначительно и, в основном, не превышали ПДК. Исключение составил 2014 г., когда величина окисляемости превысила ПДК в 1,3 раза, а также 2018 г., когда был отмечен максимум, равный 1,5 ПДК. Следует отметить, что максимальные величины окисляемости в сентябре на ст. 4 были в полтора раза ниже, а на ст. 13 — в 2,5 раза ниже, чем в мае (рис. 8). Тренды изменчивости и на ст. 4, и на ст. 13 были положительные с угловым коэффициентом на ст. 4, равным 0,09, и на ст. 13, равным 0,10.

В распределении концентраций **фосфатов** в мае на ст. 4 отмечено плавное повышение их значений с 2006 г. по 2009 г., когда зафиксирован максимум (14 мкг/л). На ст. 13 наблюдали несколько повышенные величины фосфатов по сравнению со ст. 4 в течение периода наблюдений и два максимума: в 2009 (27 мкг/л) и в 2013 (52 мкг/л) гг. Закономерностей в распределении фосфатов от года к году в весеннее время не отмечено.

Тенденции изменчивости фосфатов от года к году имели отрицательный тренд с угловым коэффициентом, равным -0,005 на ст. 4 и -0,008 на ст. 13.

В сентябре на ст. 4 величины фосфатов имели более низкие по сравнению с маем значения. Прослеживалась тенденция повышения концентраций фосфатов с 2004 г. по 2016 г., до максимальной величины, равной 13 мкг/л. На ст. 13 с 2007 г. наблюдали волнообразное распределение фосфатов от года к году с максимумом в 14 мкг/л в 2016 г. Тенденция изменчивости величин фосфатов на ст. 13 была аналогична их изменчивости на ст. 4 (рис. 8). Максимальная величина в сентябре на ст. 13 была ниже максимальной в мае в 3,6 раз, а максимальные величины на ст. 4 в мае и сентябре находились на одном уровне (14 мкг/л). Тенденции изменчивости фосфатов от года к году имели положительный тренд с угловым коэффициентом, равным 0,01 на ст. 4 и угловым коэффициентом 0,008 на ст. 13.

Концентрации **кремния** в мае месяце на ст. 4 за весь период исследований изменялись в пределах от 25 до 175 мкг/л. Отмечено 2 максимума: в 2006 (125 мкг/л) и в 2017 (175 мкг/л) гг. Величины кремния, полученные на ст. 4 и 13 в период с 2007 по 2021 гг., имели, в основном, однородные величины и аналогичный характер их распределения. На ст. 13 в мае месяце, также, как и на ст. 4, зафиксировано два максимума: в 2008 (250 мкг/л) и в 2017 (170 мкг/л) гг. Тенденции многолетней изменчивости кремния на ст. 4 имели положительный тренд с угловым

коэффициентом, равным 0,01. На ст. 13 рассчитанный тренд был отрицательным, с угловым коэффициентом, близким к нулю.

В сентябре 2004 г., в самом начале исследований, на ст. 4 отмечен максимум концентраций кремния (252 мкг/л), далее наблюдали плавное понижение до минимальных величин в 2009 г. и дальнейшее изменение от года к году волнообразно с ещё одним максимумом в 2014 г. (140 мкг/л). На ст. 13 с 2007 г. изменчивость кремния от года к году была аналогична его изменчивости на ст. 4. Сами концентрации кремния на ст. 4 и ст. 13 с 2008 г. имели близкие друг к другу значения (рис. 8). Изменчивость величин кремния и фосфатов зависит, в основном, от интенсивности процесса фотосинтеза во время наблюдений. Тенденции изменчивости кремния от года к году имели положительный тренд и в районе мыса Мальчин, и в районе Коктебельской бухты с угловым коэффициентом 0,06 и 0,16 соответственно.

ИССЛЕДОВАНИЯ В 2-МЕТРОВОЙ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ

Распределение гидрохимических показателей в 2-метровой прибрежной зоне представлено на рис. 9, 10. В мае в районе пляжа наблюдался минимум растворенного кислорода (рис. 9а), который связан с повышенной мутностью и пониженной фотосинтетической активностью на этом участке прибрежной зоны. На границе заповедника в это же время был отмечен минимум БПК₅ и фосфатов и максимум аммония, органического азота, фосфора и окисляемости, которые свидетельствуют о повышенном содержании органического вещества (вероятно, в виде живого и отмирающего фитопланктона) в этом районе. Здесь же отмечается и минимум отношения Si:N = 0,93, которое, будучи ниже соответствующего числа Редфилда (1,4), характерного для прибрежных вод Крыма [11], указывает на кремниевое лимитирование развития диатомовых в этом месте в данный период. Высокие значения отношения минеральных форм азота и фосфора (N:P > 16) в районе Камней Кузьмича и границы заповедника свидетельствуют также о фосфорном лимитировании развития фитопланктона. Однако по мере продвижения на запад, к пляжу и очистным сооружениям, фосфорное лимитирование сменяется азотным (N:P = 9–10). Аналогичную ситуацию мы наблюдали в сентябре 2020 г., причем азотное лимитирование на обеих станциях западнее заповедника было более значительным (N:P = 5–6). Причина большей обеспеченности минеральным (главным образом, нитратным) азотом прибрежных вод Карадагского заповедника по сравнению с прибрежной акваторией за его пределами, по-видимому, заключается в поступлении нитратов с водами азовоморского течения и из Коктебельской бухты, загрязненной хозяйственными и сельскохозяйственными стоками. Загрязняющие стоки также являются причиной повышенной концентрации органического азота (главным образом, предположительно, в составе растворенной мочевины) вблизи очистных сооружений.

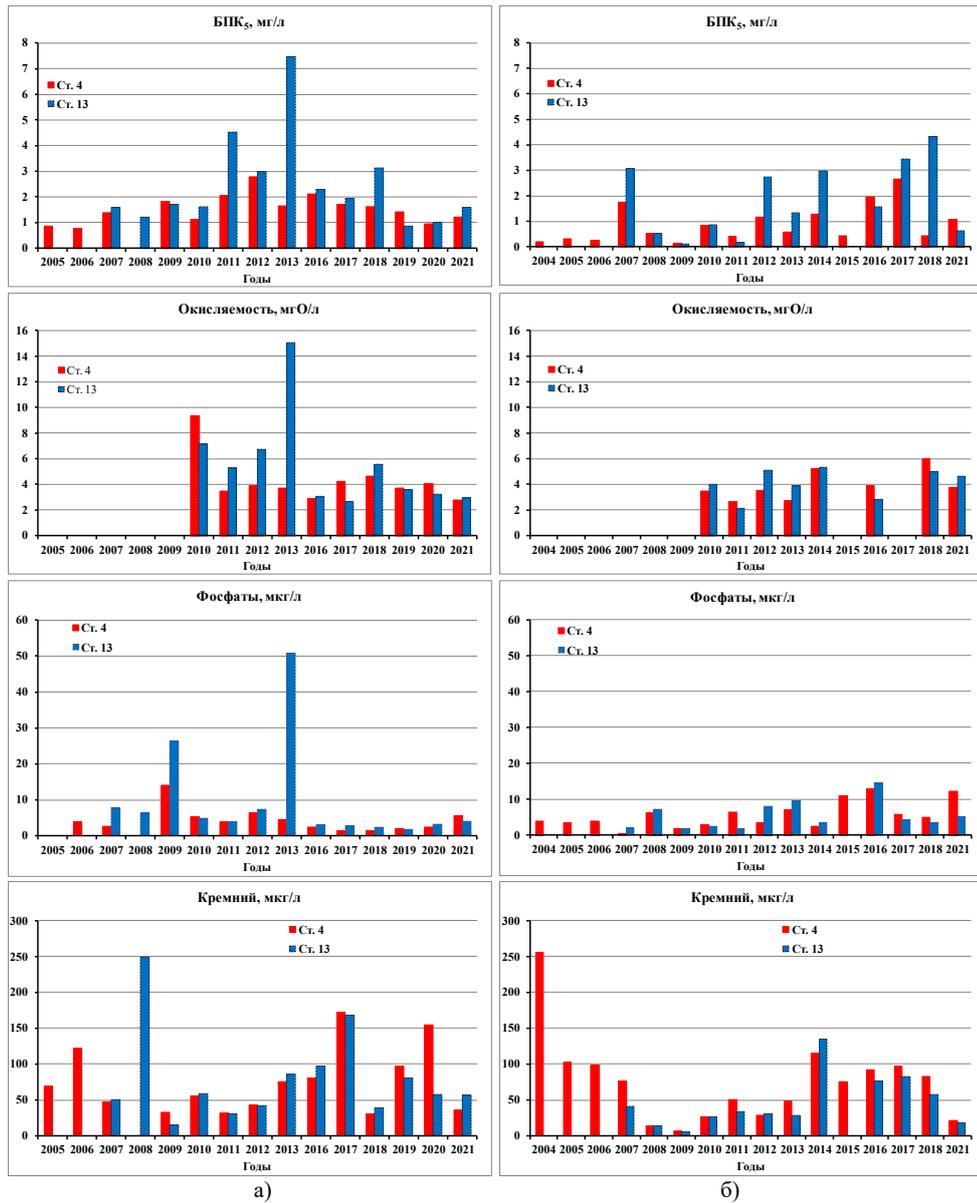


Рис. 8. Межгодовая изменчивость гидрохимических показателей на поверхности прибрежных станций в б. Коктебель и в районе м. Мальчин: а) в мае и б) в сентябре 2004–2021 г.

В сентябре минимум растворенного кислорода также наблюдался в районе пляжа (рис. 10а), а наибольшие значения окисляемости, органического азота и фосфора отмечались в районе Камней Кузьмича. На всех станциях содержание органического азота и фосфора было примерно в два раза выше, чем в мае.

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКВАТОРИИ
КАРАДАГСКОГО ЗАПОВЕДНИКА И КОКТЕБЕЛЬСКОЙ БУХТЫ В 2021 ГГ.

Сентябрьский период был отмечен крайне низкими концентрациями нитрат-ионов в прибрежной зоне, что может быть связано как с уменьшением их поступления, так и с их активной ассимиляцией фитопланктоном. Содержание аммония в сентябре в узкой прибрежной зоне не измерялось. Однако, пользуясь значениями концентраций с прибрежных станций 4, 7, 21, 22 (0,2–1,0 мкМ/л), можно заключить, что соотношение минеральных форм N:P в сентябре не превышало 5,3 на всех станциях прибрежной зоны, что означает строго азотное лимитирование развития фитопланктона.

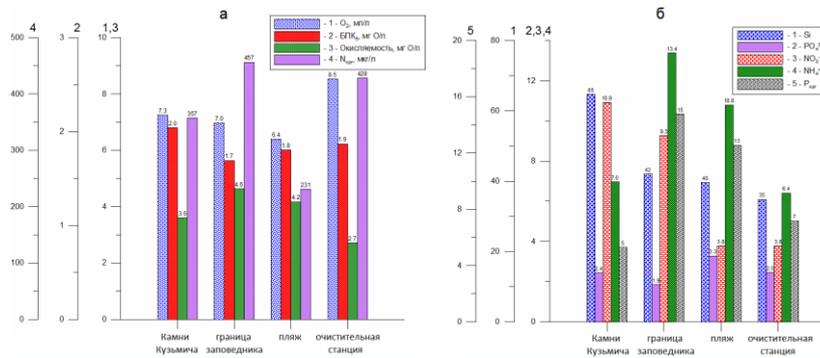


Рис. 9. Распределение содержания (а) растворенного кислорода (O_2), БПК₅, окисляемости и органического азота (N_{org}); (б) нитратов (NO_3^-), аммония (NH_4^+), фосфатов (PO_4), кремния (Si) и органического фосфора (P_{org}) в морской воде вдоль береговой линии в районе Карадага 25 мая 2021 г.

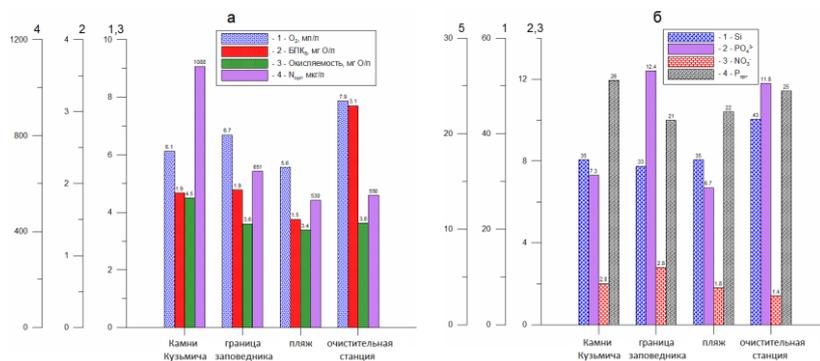


Рис. 10. Распределение содержания (а) растворенного кислорода (O_2), БПК₅, окисляемости и органического азота (N_{org}); (б) нитратов (NO_3^-), аммония (NH_4^+), фосфатов (PO_4), кремния (Si) и органического фосфора (P_{org}) в морской воде вдоль береговой линии в районе Карадага 22 сентября 2021 г.

Наибольшей близостью к источнику поступления минеральных и органических загрязнителей к востоку от заповедника объясняется наибольшее содержание

органического вещества на самой восточной станции (Камни Кузьмича), монотонно снижающееся в сторону пляжа. Загрязнение акватории в районе очистных сооружений в сентябре 2021 г. выявлялось по повышенному значению БПК₅ (3,1 мг/л), в 1,5 раза превышающему ПДК по рыбохозяйственным нормативам.

В целом, значения гидрохимических показателей (за исключением растворенного кремния) в 2-метровой прибрежной зоне в оба сезона оставались в пределах диапазонов их вариаций, отмеченных в предыдущие годы. Концентрации силикатов и в мае, и в сентябре 2021 г. продемонстрировали рекордно низкие значения, которые вписываются в тенденцию снижения растворенного кремния в прибрежных водах за последние годы, наблюдавшуюся также в шельфовой зоне юго-западного побережья Крыма [12]. Возможной причиной этого снижения могло бы быть уменьшение объемов речного и дождевого стоков, транспортирующих растворенный кремний в море. Однако аналогичных тенденций уменьшения концентрации других биогенных веществ (например, фосфатов), также переносимых с суши пресноводным стоком, не наблюдается. Таким образом, основные причины тенденции понижения содержания растворенного кремния в значительной степени остаются неясными.

ВЫВОДЫ

1. Температура воды и в мае, и в сентябре 2021 г. соответствовала среднемноголетним значениям. Соленость же (в обеих съемках) превышала среднемноголетние показатели, что соответствует общей тенденции повышения солености Черного моря в последние 10 лет.

2. Общие тренды изменения температуры и солености за 16 лет были положительными, но если температура повышалась заметнее в сентябре, то соленость в мае.

3. Отмечен высокий уровень обеспеченности кислородом. В мае во всем слое его абсолютное содержание было выше ПДК (4,2 мл/л) – в 1,7 раза, относительное содержание (ПДК=40% насыщения) было выше в 2,7 раза. В сентябре абсолютное и относительное содержание кислорода превышало ПДК во всем слое в 1,3 и 2,5 раза соответственно.

4. Величины БПК₅ в мае превышали ПДК на 4 станций из 14, в сентябре все значения БПК₅ были ниже ПДК в 1,2–3,8 раз, что свидетельствует о низком содержании нестойкого органического вещества и «чистоте» исследуемой акватории.

5. Величины окисляемости в мае были ниже ПДК, в сентябре они превышали ПДК в Коктебельской бухте (ст. 13 и ст. 12) и в районе Биостанции (ст. 6), что свидетельствует о влиянии антропогенной нагрузки после летнего сезона на акваторию заповедника.

6. Все величины К_з, рассчитанные как отношение БПК₅ к окисляемости, и в мае, и в сентябре были меньше 1,0, что характеризовало общую санитарную обстановку в акватории как благоприятную. Содержание С_ров, полученное нами в 2021 г., оставалось на уровне 2004 г., что указывает на отсутствие накопления растворенного органического вещества за последние 17 лет в прибрежных водах Карадага.

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКВАТОРИИ КАРАДАГСКОГО ЗАПОВЕДНИКА И КОКТЕБЕЛЬСКОЙ БУХТЫ В 2021 ГГ.

7. Влияние азовоморских вод на поверхности прослеживалось в мае на 1/2 акватории, в сентябре это влияние было преобладающим и охватывало 13 станций из 14. В придонном слое в мае выявлено возможное присутствие пресных вод подземного происхождения в районах Коктебельской бухты, мыса Мальчин и района Биостанции по повышенным концентрациям кремния и нитратов и пониженному содержанию кислорода.

8. Чётких тенденций в изменении гидрохимических величин от года к году не отмечено. Величины БПК₅ и окисляемости имели отрицательный тренд в мае месяце, что говорит об отсутствии накопления нестойкого органического вещества. В сентябре наблюдали положительные тренды изменчивости от года к году для величин БПК₅ и фосфатов.

9. В 2-метровой прибрежной зоне значения гидрохимических показателей, кроме концентрации силикатов, оставались в пределах диапазонов вариаций, отмеченных в предыдущие годы. В сентябре концентрация растворенных органических веществ была выше, а нитратов – значительно ниже, чем в мае, что свидетельствует о более интенсивном цветении фитопланктона в сентябрьский период. В этот сезон развитие фитопланктона лимитировалось дефицитом минерального азота, и в особенности, низкой концентрацией нитрат-ионов, поступающих, преимущественно, с азовоморским течением.

10. Загрязнение акватории в районе очистительной станции отмечалось в мае по повышенному содержанию органического азота, а в сентябре – по высокому значению БПК₅ (3,1 мг/л), в 1,5 раза превышающему ПДК. В оба сезона на всех прибрежных станциях отмечены рекордно низкие концентрации растворенного кремния за весь период исследований узкой прибрежной зоны (2017–2021 гг.).

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа подготовлена по теме государственного задания ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ РАН "Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса" (№ 121030300149-0).

Список литературы

1. Смирнова А. И. Материалы к гидрохимической характеристике Черного моря в районе Карадага // Тр. Карадагской биол. станции АН УССР. 1960. Вып. 16. С. 3–15.
2. Куфтаркова Е. А., Ковригина Н. П. Изменчивость гидрохимических полей Судакско-Карадагского взморья в весенне-летний период // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зоны и комплексное использование ресурсов шельфа. 1999. С. 161–174.
3. 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. 2007. Вып. 15. С. 139–151.
4. Ковригина Н. П., Родионова Н. Ю. Гидрохимические особенности // Биология Черного моря у берегов Юго-Восточного Крыма / Абиотические факторы и условия обитания гидробионтов прибрежной зоны Юго-Восточного Крыма. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. С. 46–59.

5. Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов. М.: ВНИРО, 1988. 119 с.
6. Rand, McNally. The permanganate index and permanganate value tests for waters and effluents 1983 / Standing Committee of Analysis. London: OCLC Bot, 2011. 18 p.
7. Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 725 с.
8. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения в том числе нормативов ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Утверждено Приказом Федерального агентства по рыболовству № 20 от 18.01.2010.
9. Скопинцев Б. А. Формирование современного химического состава вод Черного моря. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 335 с.
10. 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, посвященных 95-летию Карадагской научной станции и 30-летию Карадагского природного заповедника Национальной академии наук Украины. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. С. 446–461.
11. Рябушко Л. И., Поспелова Н. В., Балычева Д. С., Ковригина Н. П., Трощенко О. А., Капранов С. В. Микроводоросли эпизоона культивируемого моллюска *Mytilus galloprovincialis* Lam. 1819, фитопланктон и гидролого-гидрохимические характеристики акватории мидийно-устричной фермы (Севастополь, Чёрное море) // Морской биологический журнал. 2017. Т. 2. № 4. С. 67–3.
12. Kapranov S.V., Kovrigina N.P., Troshchenko O.A., Rodionova N.Yu. Long-term variations of thermohaline and hydrochemical characteristics in the mussel farm area in the coastal waters off Sevastopol (Black Sea) in 2001–2018 // Continental Shelf Research. 2020. V. 206. 104185.

THERMOHALINE AND HYDROCHEMICAL STUDIES OF WATERS OF KARADAG NATURE RESERVE AND KOKTEBEL BAY IN 2021

**Troshchenko O. A., Kovrigina N. P., Kapranov S. V.,
Rodionova N. Yu., Bobko N. I., Borisova D. S.**

*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation
E-mail: oleg_tr59@mail.ru*

The modern hydrochemical studies (2004–2021) in the Karadag area have been inspired by the need of clarifying the environmental state of the coastal zone, which has long been considered as “clean”, i.e. anthropogenically unaffected. The purposes of this work were: to study the spatiotemporal variations of the main thermohaline and hydrochemical characteristics of Karadag nearshore waters at the present time; to detect long-term trends of these characteristics; and to assess water quality in a narrow 2-meter-wide foreshore strip from Biostation to the Nature Reserve areas.

In May and September 2021, two surveys were conducted in the Karadag Nature Reserve area. Each survey encompassed 14 stations, with seawater samples being taken in the surface layer and in the near-bottom layer. Additionally, four water samples were taken in a 2-meter-wide foreshore zone: near Kuzmich’s Stones, at the western border of the Nature Reserve, on the beach and in the Dolphinarium drain area. The thermohaline and hydrochemical analyses included the measurements of temperature, salinity, dissolved oxygen, five-day biochemical oxygen demand (BOD₅), alkaline permanganate oxidizability, and mineral and organic forms of nitrogen and phosphorus. The analyses were performed in accordance with generally accepted methods.

The concentration of dissolved oxygen was determined using the iodometric method (Winkler titration). The method is based on the conversion of oxygen dissolved in seawater

through redox reactions into an equivalent amount of free iodine, which is quantified by titration with thiosulfate. The oxygen saturation percentage was calculated from seawater temperature and salinity using known formulas. The organic carbon content (C_{пов}) was calculated from the oxidizability values of the surface layer in the coastal area of Karadag Nature Reserve and Koktebel Bay, and the BOD₅-to-oxidizability ratio yielded the pollution coefficient (K_з) according to Skopintsev.

The dissolved inorganic phosphorus concentration was found colorimetrically according to the modified method of Murphy and Riley. The determination of dissolved inorganic silicon was carried out colorimetrically using the blue silicomolybdate complex (Koroleff's method). Nitrite nitrogen was quantified according to a method based on the formation of azo dye in the reaction of nitrite with sulfanilamide hydrochloride and N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride. Nitrate nitrogen was quantified after its reduction to nitrite on copperized cadmium columns. Ammonium concentration was determined colorimetrically using the reaction of ammonium with phenol and trichloroisocyanuric acid catalyzed by nitroprusside in alkaline solution yielding the indophenol blue dye.

This paper presents the results of the field studies in the coastal zone of the Karadag region in the two seasons in 2021. The surface water temperature values for both seasons were close to the long-term monthly mean results. The salinity values were higher than the long-term monthly means, which are in agreement with the salinization trends of recent years.

A high degree of oxygen supply was registered throughout the water column. In May and September, the absolute oxygen concentration exceeded the minimum permissible levels (MPL) by a factor of about 1.5, and the relative oxygen saturation values were approximately 2.5-fold higher than MPL in both seasons. In the narrow foreshore zone, the anthropogenic load in waters near Dolphinarium was noticed in September from the high oxidizability values exceeding the maximum permissible level.

The BOD₅ values, mostly not exceeding the maximum permissible level both in May and September, indicate low concentration of unstable organic matter and, thus, relative "cleanness" of the area under study. In addition, the studied water area can be classified as conditionally "clean" from the pollution coefficient (K_з) values not exceeding 1.0.

In the near-bottom layer in May, the possible submarine groundwater discharge was revealed by increased concentrations of silicate and nitrate and low dissolved oxygen in the areas of Koktebel Bay, Cape Malchin and Biostation.

At the four stations in the narrow foreshore zone stretching from the wastewater treatment facilities and the Dolphinarium drain on the Biostation territory to Kuzmich's Stones on the Nature Reserve territory, there were low nitrate concentrations in September and record-low concentrations of silicate in both seasons. The maxima of organic nitrogen and phosphorus in May were noted at the western border of Karadag Reserve, and twice as high maxima were registered in September in the area of Kuzmich's Stones.

Keywords: Karadag nearshore area; temperature; salinity; dissolved oxygen; BOD₅; oxidizability; nutrients; Azov Sea waters; Black Sea.

References

1. Smirnova A. I. Materialy k gidrohimicheskoy karakteristike Chernogo morja v rajone Karadaga (Materials for the hydrochemical characteristic of the Black Sea in the Karadag area). Trudy Karadagskoj biologicheskoy stancii AN USSR, 1960, no. 16, pp. 3–15. (in Russian).

2. Kuftarkova E. A., Kovrigina N. P. Izmenchivost' gidrohimicheskikh polej Sudaksko-Karadagskogo vzmor'ja v vesenne-letnij period (Variations of hydrochemical fields in the Sudak and Karadag coastal waters in spring and summer), in *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa: Sbornik nauchnyh trudov NAN Ukrainy* (Ecological safety of the coastal and shelf zone and the integrated use of shelf resources: Collection of scientific papers of the National Academy of Sciences of Ukraine). Sevastopol: Marine Hydrophysical Institute (Publ.), 1999, pp. 161–174. (in Russian).
3. Kovrigina N. P., Pavlova E. V., Murina V. V., Lisitskaya E. V., Smirnova Yu. D. Gidrohimičeskaja harakteristika i meroplankton pribrezhnyh vod Karadaga (2004 g.) (Hydrochemical characteristics and meroplankton of Karadag coastal waters (2004)). *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*, 2007, no. 15, pp. 139–151. (in Russian).
4. Kovrigina N. P., Rodionova N. Yu. Gidrohimičeskije osobennosti (Hydrochemical characteristics), in Kostenko N. S. Ed. *Biologiya Chernogo morya u beregov Yugo-Vostochnogo Kryma. Abiotičeskije faktory i usloviya obitaniya gidrobiontov pribrezhnoj zony Yugo-Vostochnogo Kryma* (Biology of the Black Sea off coasts of southeastern Crimea. Abiotic factors and habitat conditions for hydrobionts in the coastal zone of southeastern Crimea). Simferopol: ARIAL (Publ.), 2018, pp. 46–59. (in Russian).
5. *Metody gidrohimičeskikh issledovanij osnovnyh biogenykh elementov* (Methods for hydrochemical studies of main nutrients). Moscow: VNIRO (Publ.), 1988, 119 p. (in Russian).
6. Standing Committee of Analysts. The permanganate index and permanganate value tests for waters and effluents, London: H.M. Stationery Office, 1983, 18 p.
7. *Rukovodstvo po gidrologičeskim rabotam v okeanah i morjah* (Guidelines for thermohaline studies in the oceans and seas). Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.), 1977, 725 p. (in Russian).
8. *Normativy kachestva vody vodnyh ob#ektov rybohozjajstvennogo znachenija v tom čisle normativov PDK vrednyh veshhestv v vodah vodnyh ob#ektov rybohozjajstvennogo znachenija* (Water quality standards for fishery water bodies, including maximum permissible levels for harmful substances in waters of fishery importance). Approved by Order of the Russian Federal Agency for Fisheries No. 20 dated 18.01.2010. (in Russian).
9. Skopinčev B.A. *Formirovanie sovremennoho himičeskogo sostava vod Chernogo morja* (Formation of the modern chemical composition of the Black Sea waters). Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.), 1975, 335 p. (in Russian).
10. Kovrigina N. P., Troshčenko O. A., Shchurov S. V. *Osobennosti prostranstvennogo raspredelenija gidrologo-gidrohimičeskikh pokazatelej pribrezhnoj akvatorii Karadaga v sovremennyj period (2005 – 2006 gg.)* (Spatial distribution of thermohaline and hydrochemical characteristics in the coastal waters of Karadag in the modern period (2005 - 2006)), in *Karadag – 2009: Sbornik nauchnyh trudov, posvyashčennyh 95-letiyu Karadagskoj nauchnoj stancii i 30-letiyu Karadagskogo prirodnoho zapovednika Nacional'noj akademii nauk Ukrainy* (Karadag – 2009: Collection of Scientific Papers Dedicated to the 95th Anniversary of Karadag Research Station and the 30th Anniversary of Karadag Nature Reserve of National Academy of Sciences of Ukraine). Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika (Publ.), 2009, pp. 446–461. (in Russian).
11. Ryabushko L. I., Pospelova N. V., Balycheva D. S., Kovrigina N. P., Troshčenko O. A., Kapranov S. V. *Mikrovodorosli epizooona kul'tiviruemogo molljuska Mytilus galloprovincialis Lam. 1819, fitoplankton i gidrologo-gidrohimičeskije harakteristiki akvatorii midijno-ustrichnoj fermy* (Sevastopol', Chjornoe more) (Epizoon microalgae of the cultivated mollusk *Mytilus galloprovincialis* Lam. 1819, phytoplankton, hydrological and hydrochemical characteristics in the mussel-and-oyster farm area (Sevastopol, Black Sea)). *Morskoy biologičeskij zhurnal* (Marine Biological Journal), 2017, no. 2(4), pp. 67–83. (in Russian).
12. Kapranov S.V., Kovrigina N.P., Troshčenko O.A., Rodionova N.Yu. Long-term variations of thermohaline and hydrochemical characteristics in the mussel farm area in the coastal waters off Sevastopol (Black Sea) in 2001–2018, *Continental Shelf Research*, 2020, no. 206, 104185.

Поступила в редакцию 19.05.2022 г.