
ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ, ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ
И ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 551.46(262.5.04)

DOI: [10.21072/eco.2022.22.05](https://doi.org/10.21072/eco.2022.22.05)

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОХАЛИННЫХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ КАРАДАГА В ИЮНЕ И СЕНТЯБРЕ 2020 г.¹**

Трощенко О. А., Ковригина Н. П., Капранов С. В., Бобко Н. И., Еремин И. Ю.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,

г. Севастополь, Российская Федерация,

e-mail: maricultura@mail.ru

Аннотация: Представлены результаты гидролого-гидрохимических исследований в прибрежной акватории Карадагского природного заповедника и в Коктебельской бухте, проводившихся в июне и сентябре 2020 г. Отмечены экстремально высокие значения солёности, что отражает тенденции последних 8–9 лет. Показано высокое содержание кислорода в исследованной толще и отсутствие дефицита кислорода в придонном слое. По величинам биохимического потребления кислорода на пятые сутки (БПК₅) со значениями ниже предельно допустимой концентрации (ПДК), окисляемости, средняя величина которой меньше ПДК, и коэффициенту загрязнения (К_з) (БПК₅ / окисляемость), не превышающему 1,0, акваторию можно считать «незагрязнённой». Интервал изменчивости величин растворённого органического вещества в июне 2020 г. практически совпадает с полученными нами в предыдущие годы данными и показывает отсутствие накопления (С_{ров}). По величинам отношения $R_{\text{мин}} : R_{\text{вал}} < 30 \%$ (на 12 из 14 станций) и высоким концентрациям кремния и фосфора минерального выявлено влияние азовоморских вод на гидрохимическую структуру исследуемой акватории. Распределение гидрохимических показателей в двухметровой полосе моря было неравномерно и характеризовалось повышением концентраций биогенных веществ по сравнению с прилегающей акваторией. Вследствие низких значений окисляемости в двухметровой полосе моря накопления растворённого органического вещества не отмечено.

Ключевые слова: гидролого-гидрохимические показатели, азовоморские воды, прибрежная зона Карадага, Коктебельская бухта.

Введение

Изучение прибрежных аквальных комплексов всегда актуально, имеет как теоретическое, так и практическое значение. Наиболее ранние сведения о гидрохимическом режиме вод района Карадага получены А. И. Смирновой в период 1957–1958 гг. [Смирнова, 1960]. Исследования проводились на расстоянии 0,25–15 миль от берега и глубине от 13 до 100 м. Автором сделан вывод, что по концентрациям гидрохимических показателей район Карадага практически не отличается от других частей центральной и восточной зон Чёрного моря.

Более поздние данные по распределению гидрохимических полей в районе Судакско-Карадагского взморья получены в весенне-летний период 1987–1990 гг. [Куфтаркова, Ковригина, 1999]. В работе Е. А. Куфтарковой и соавторов [Куфтаркова, Ковригина, Бобко, 2004] обобщены гидрохимические материалы, собранные в прибрежной зоне с удалением от берега до 10 миль в период 1987–1991 гг. Выявлены характерные изменения гидрохимических параметров в весенний, летний и зимний сезоны. По данным [Морозова, Смирнова, 2006], концентрации основных биогенных элементов возросли в несколько раз за последние 45–47 лет, но их величины оставались значительно ниже ПДК.

¹Работа подготовлена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса» (№ 121030300149-0).

Гидрохимические исследования в районе Карадага на современном этапе (2004–2020 гг.) были вызваны необходимостью выяснения современного состояния прибрежной зоны, которая с давних пор считалась «чистой», т. е. в наименьшей степени подверженной антропогенному воздействию. С 2004 г. и по настоящее время ежегодно в районе Карадага нами исследовалась акватория в 5-мильной зоне, от 10- до 30-метровой изобаты.

Исследования, выполненные летом и осенью 2004 г. в узкой прибрежной зоне, выявили накопление содержания органического вещества в зоне Карадага, концентрация которого в 2004 г. была в 3–5 раз выше уровня 50–60-х гг. прошлого столетия [Ковригина и др., 2007].

Результаты гидролого-гидрохимического мониторинга за 2012–2018 гг. приведены в работе [Мальцев, Смирнова, Кондратьева, 2018]. Наиболее интересные обобщения по гидрологическому режиму и результаты исследований экологического состояния прибрежных вод Карадага представлены нами в монографии [Трощенко, Субботин, 2018; Ковригина, Родионова, 2018].

Регулярное изучение пространственно-временной изменчивости гидролого-гидрохимической структуры на Карадагском взморье позволяет проследить тенденции в изменении рассматриваемых параметров, оценить степень загрязнённости разных участков исследуемой акватории.

Цель настоящей работы — дополнить имеющиеся сведения о распределении основных гидролого-гидрохимических показателей прибрежной акватории в районе Карадага, проследить имеющиеся тенденции, а также оценить качество вод в узкой двухметровой полосе моря от биостанции до заповедника по материалам, полученным в июне и сентябре 2020 г.

Материалы и методы

В 2020 г. в прибрежной зоне Карадага проведены две комплексные съёмки: 16 июня и 16 сентября. Они охватывали 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 двух прибрежных станциях — в районе устья реки Отузки и в районе очистных сооружений посёлка Курортное. Пробы отбирали на 14 станциях с поверхности и у дна (глубина до 30 м). Схема станций отбора проб не изменялась с 2012 года (рис. 1).

Дополнительно отбирались 4 пробы с берега, в двухметровой полосе моря: в районе Камней Кузьмича, на западной границе заповедника, на пляже и в районе стока из дельфинария (станции 1, 2, 3 и 4 соответственно) (рис. 1, врезка).

В комплекс гидролого-гидрохимических исследований входило измерение температуры, солёности, а также определение содержания растворённого кислорода, БПК₅, перманганатной окисляемости в щелочной среде, кремния, органических и неорганических форм азота и фосфора. Концентрацию растворённого кислорода в морской воде определяли йодометрическим методом (метод Винклера) по РД 52.24.421-2007 [Химическое потребление ... , 2007]. В основе метода лежит перевод растворённого в морской воде кислорода с помощью окислительно-восстановительных реакций в эквивалентное количество свободного йода, который определялся количественно при титровании тиосульфатом. Процент насыщения кислородом определялся расчётным путем.

Пробы морской воды фиксировались немедленно после отбора на борту судна и помещались в тёмное место. Йодометрическое определение проводилось через 2 часа после фиксации. Титр раствора тиосульфата устанавливался по стандартному раствору иодата калия.

Определение содержания растворённого неорганического фосфора (фосфаты) проводилось колориметрически по модифицированному методу Морфи и Райли в соответствии с РД 52.10.738-2010 [Массовая концентрация ... , 2010]. Метод основан на колориметрировании молибденовой гетерополисина. Для ускорения реакции в качестве катализатора применялся



Рис. 1. Схема станций отбора проб на Карадагском взморье и в узкой прибрежной зоне (врезка: ст. 1 — Кузьмичевы Камни, ст. 2 — граница заповедника; ст. 3 — пляж, ст. 4 — выпуск сточных вод дельфинария) в 2020 г.

калий сурьмяновиннокислый. Аскорбиновая кислота применялась в качестве восстановителя. Максимум оптической плотности образовавшегося соединения наблюдается при 885 нм. Определение проводилось не позднее чем через 6 часов со времени отбора.

Определение растворённого неорганического кремния (силикатов) проводили колориметрически по голубому кремнемолибденовому комплексу (метод Королёва). Определение проводилось не позднее чем через 6 часов со времени отбора. Метод основан на взаимодействии мономерно-димерной формы кремниевой кислоты и силикатов с молибдатом аммония в кислой среде с образованием молибденокремниевой гетерополиокислоты, которая при действии восстановителей образует окрашенную в синий цвет форму за счёт частичного перехода атомов Mo(VI) в Mo(V).

Определение нитритного азота (нитриты) проводили не позднее чем через 6 часов со времени отбора проб по методу, основанному на образовании азоокраски, при взаимодействии нитрита с сульфаниламидом солянокислым и α -нафтилэтилендиамином. Длина волны при измерениях составила 543 нм, диапазон концентрации — 0,01–0,25 мг/дм³.

Определение нитратного азота (нитраты) после его восстановления на кадмиевых колонках до нитритного азота проводили колориметрически на фотометре КФК-3-01«ЗОМЗ». Определение проводили не позднее чем через 6 часов со времени отбора. Метод колориметрического определения массовой концентрации нитратной формы азота (мг/л) основан на восстановлении нитратов до нитритов в кадмиевых колонках, причём в качестве восстановителя применяется металлический кадмий, а в качестве комплексообразующего агента — динатриевая соль ЭДТА (трилон Б). Длина волны при измерениях составила 543 нм. Измерение оптической плотности при определении всех биогенных элементов проводили на фотометре КФК-3-01«ЗОМЗ».

Пробы отбирали с поверхности и дна. Работы выполнялись согласно общепринятым методикам [Руководство по гидрологическим ..., 1977; Методы гидрохимических ..., 1988]. По величинам окисляемости рассчитано содержание органического углерода ($C_{\text{ров}}$) на поверхности в прибрежной зоне Карадагского природного заповедника и в Коктебельской бухте [Скопинцев, 1975]. Коэффициент загрязнения (K_3), равный отношению величин БПК₅ к окисляемости, также рассчитан по Скопинцеву.

Результаты и обсуждение

В июне наиболее прогретые воды были у берега, мористее температура понижалась. Диапазон изменчивости поверхностной температуры был достаточно широким — 20,1–21,8 °С (рис. 2). Эти показатели выше среднееголетних значений, но ниже ранее отмечавшихся максимальных [Трощенко, Субботин, 2018]. Изотермы располагались параллельно берегу вдоль изобат. Вертикальная термическая структура соответствовала переходному периоду от весны к лету, когда верхний квазиоднородный слой ещё формируется (нижняя граница 3–4 м), а градиенты в термоклизе незначительны (менее 1 °С/м).

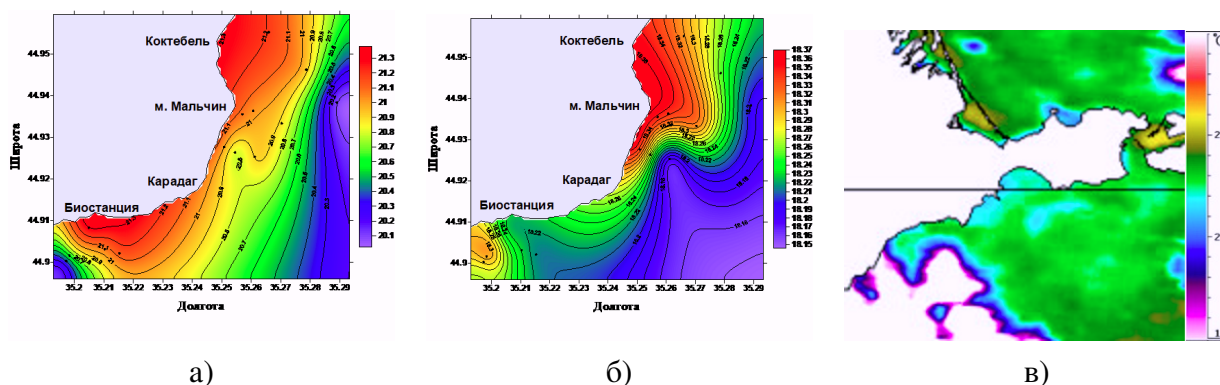


Рис. 2. Распределение поверхностной температуры (а), солёности (б) и поверхностной температуры (в), по данным ИСЗ NOAA-15 16 июня 2020 г. Снимок взят с официального сайта ФГБУН «Морской гидрофизический институт РАН»

Поверхностное распределение солёности в общем было похоже на распределение температуры (рис. 2): наиболее высокие значения были у берега, а мористее солёность понижалась. Однако такое распределение нехарактерно для прибрежных вод. Обычно значения солёности в прибрежной зоне ниже, чем в открытом море. Возможно, такое распределение связано с затоком вод северо-восточной части Чёрного моря (трансформированные азовоморские и «кавказские» воды), проходящих южнее прибрежной зоны, что видно по космическому снимку. Диапазон изменчивости поверхностной солёности был небольшой — 18,14–18,37 ‰. Эти значения выше среднееголетних показателей и максимальных, ранее отмеченных, что отражает тенденцию повышения солёности в последние 8–9 лет [Трощенко, Субботин, Еремин, 2019]. С глубиной солёность плавно повышалась. Максимальное значение (18,60 ‰) зафиксировано на траверсе Сердоликовой бухты, на глубине 30 м.

Абсолютное содержание кислорода изменялось на поверхности от 4,73 до 6,02 мл/л (84,7–98,1 %) при средних значениях 5,14 мл/л (91,7 %). В придонном слое содержание кислорода изменялось от 6,15 до 7,98 мл/л (78,6–97,2 %) при средних значениях, равных 5,54 мл/л (88,8 % насыщения). С глубиной отмечено повышение абсолютного содержания кислорода и небольшое снижение значений насыщения кислородом. Дефицита кислорода в придонном слое не отмечено, поскольку среднее значение насыщения кислородом было более чем в 2 раза выше ПДК (40 %),

а среднее значение абсолютного содержания кислорода, равное 5,54 мл/л, было так же, как и насыщение кислородом, в 1,3 раза выше ПДК, равной 4,2 мл/л согласно рыбохозяйственным нормативам [Об утверждении нормативов ... , 2016]. В целом вся исследованная акватория во время съёмки 16 июня 2020 г. характеризовалась высокой обеспеченностью кислородом. Уровни концентраций растворённого кислорода, полученные нами в настоящее время, практически не отличались от таковых, полученных нами ранее. Аналогичные выводы получены сотрудниками ФГБУН «Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского — природный заповедник РАН», которые параллельно с нами вели регулярный гидрологический, гидрохимический и гидробиологический мониторинг [Мальцев, Смирнова, Кондратьева, 2018].

Распределение абсолютного и относительного содержания кислорода на поверхности представлено на рис. 3.

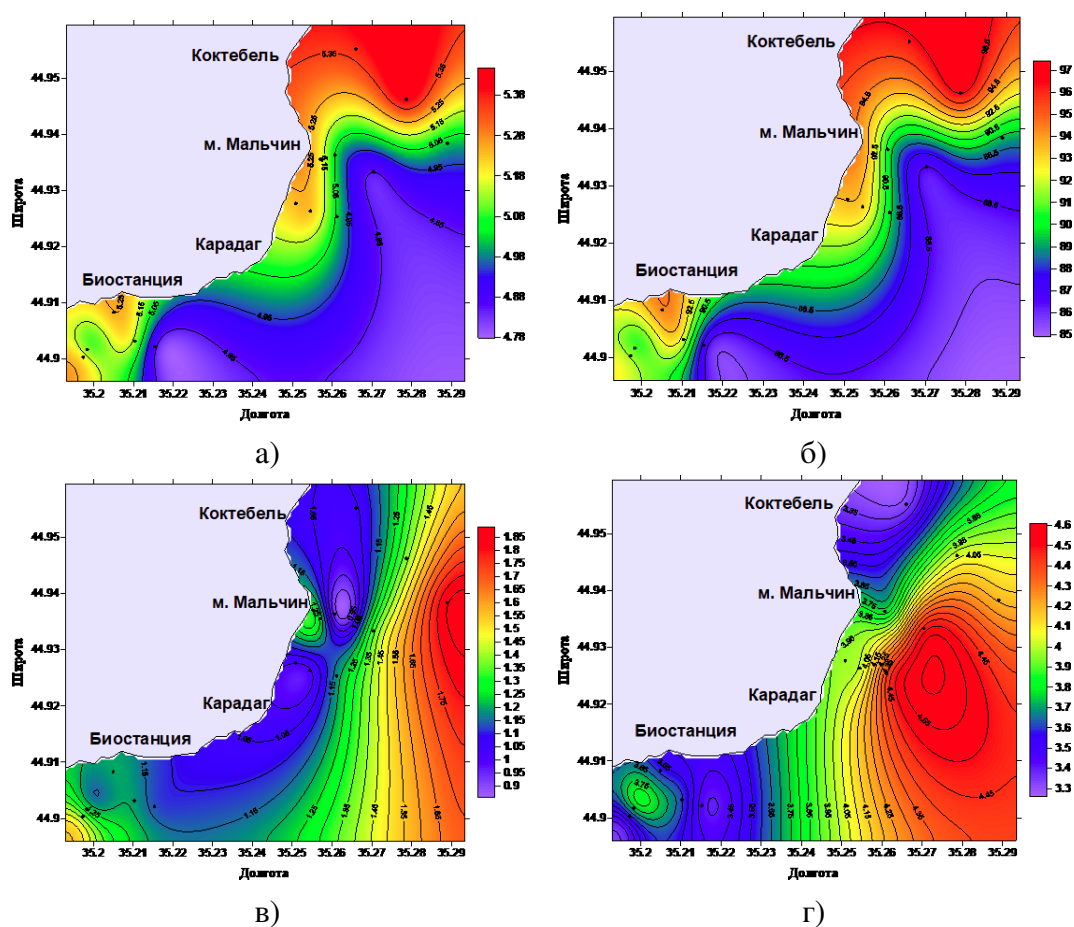


Рис. 3. Распределение гидрохимических показателей на поверхности Карадага 16 июня 2020 г.: кислород, мл/л (а), кислород, % (б), БПК₅, мг/л (в), окисляемость, мгО/л (г)

Биохимическое потребление кислорода на пятые сутки (БПК₅). Содержание нестойкого к биохимическому окислению органического вещества по величинам БПК₅ изменялось в пределах от 0,90 до 1,58 мгО₂/л и было значительно ниже ПДК, равной 2,0 мг/л согласно рыбохозяйственным нормативам. Полученные величины БПК₅ указывают на «чистоту» всей исследуемой акватории.

Изменчивость величин БПК₅ на поверхности прибрежных станций от года к году (с 2005 по 2018 гг.) имела тенденцию к повышению их значений, что свидетельствовало о накоплении нестойкого органического вещества в течение всего периода наблюдений [Ковригина и др., 2019].

Перманганатная окисляемость в щелочной среде на поверхности имела величины в пределах от 3,26 до 4,52 мгО/л. На шести станциях из четырнадцати величины окисляемости немного превышали ПДК, равную 4,0 мгО/л согласно рыбохозяйственным нормативам [Об утверждении нормативов ... , 2016]. Превышение ПДК отмечено в Коктебельской бухте (ст. 12, 11), в районе мыса Мальчин (ст. 2), в Сердоликовой бухте (ст. 4, 20) и в районе очистных сооружений (ст. 22). Для оценки влияния хозяйственных стоков на состояние прибрежной акватории Карадага мы использовали коэффициент загрязнения (K_z), предложенный Скопинцевым как отношение БПК₅ к окисляемости. Его значения более 1 свидетельствуют о неблагоприятном санитарном состоянии акватории моря [Скопинцев, 1975]. В нашем случае во время съёмки 16 июня 2020 г. величины коэффициента загрязнения изменялись от 0,15 до 0,47 и были ниже единицы, что позволяет считать исследуемую акваторию «незагрязнённой». Содержание растворённого органического вещества ($C_{\text{ров}}$), рассчитанное для съёмки, по величинам окисляемости изменялось в диапазоне от 9,59 до 13,53 мгС/л. Минимальное значение $C_{\text{ров}}$ отмечено на прибрежной станции (ст. 13) в Коктебельской бухте, максимальное — на средней станции разреза от мыса Мальчин. Полученный нами интервал изменчивости величин $C_{\text{орг}}$ практически совпадает с интервалом изменчивости $C_{\text{орг}}$, полученным нами ранее [Ковригина и др., 2019].

Биогенные вещества имели низкие и однородные величины, характерные для незагрязнённых прибрежных вод. Концентрации нитритов на поверхности изменялись в пределах от 0,5 до 1,0 мкг/л при средней величине, равной 0,7 мкг/л. Концентрации нитратов на поверхности изменялись от 2,1 до 7,1 мкг/л при средней величине, равной 4,5 мкг/л. Максимальная величина отмечена на мористой станции разреза от Сердоликовой бухты (ст. 20), минимальная — на прибрежной станции в районе устья реки Отузки (ст. 22). Величины азота аммонийного колебались от 3,9 до 15,0 мкг/л при средней, равной 7,0 мкг/л. Максимальная величина отмечена на прибрежной станции в Коктебельской бухте (ст. 13). Изменение величин фосфатов на поверхности наблюдали в пределах от 2,1 до 6,0 мкг/л при средней величине, равной 3,5 мкг/л. Максимальная величина зафиксирована на мористой станции в бухте Коктебель (ст. 11). Повышенные концентрации минеральных форм азота и фосфора относительно их средних величин свидетельствуют о влиянии хозяйственного стока на прибрежную зону. Распределение величин нитритного, нитратного, аммонийного и органического азота на поверхности представлено на рисунке 4.

Величины органического фосфора на поверхности колебались в узком диапазоне от 8,1 до 19,5 мкг/л при средней величине, равной 14,1 мкг/л. По величинам процентного отношения $P_{\text{мин}} : P_{\text{вал}}$ отмечено влияние азовоморских вод на 12 станциях из 14, где значения процентного отношения изменялись от 12,6 до 29,6 и не превышали 30 %. Содержание органического азота отличалось большим диапазоном изменчивости (1453–2036 мкг/л) со средней для поверхности величиной, равной 1560 мкг/л. Максимальное содержание $N_{\text{орг}}$, отмеченное на прибрежной станции в бухте Коктебель, обусловлено влиянием хозяйственного стока посёлка Коктебель. Концентрация кремния изменялась в диапазоне от 40,9 до 155,0 мкг/л при средней величине 80 мкг/л. Максимальная величина кремния на поверхности отмечена на прибрежной станции в бухте Сердоликовой (ст. 4). Уровень концентрации кремния в морской воде не лимитирует развитие фитопланктона и практически не зависит от антропогенного фактора. Концентрация кремния в придонном слое имела максимальное значение (162 мкг/л) на станции 20 и повышенные значения в районе станций 12, 11 и 2. Повышение концентраций кремния в придонном слое сопровождалось понижением величин насыщения кислородом, возможно, из-за влияния источников пресных вод подземного происхождения, отмеченного нами ранее [Ковригина, Родионова, 2018]. Распределение величин $P_{\text{орг}}$ и $N_{\text{орг}}$ на поверхности исследуемой акватории представлено на рис. 5.

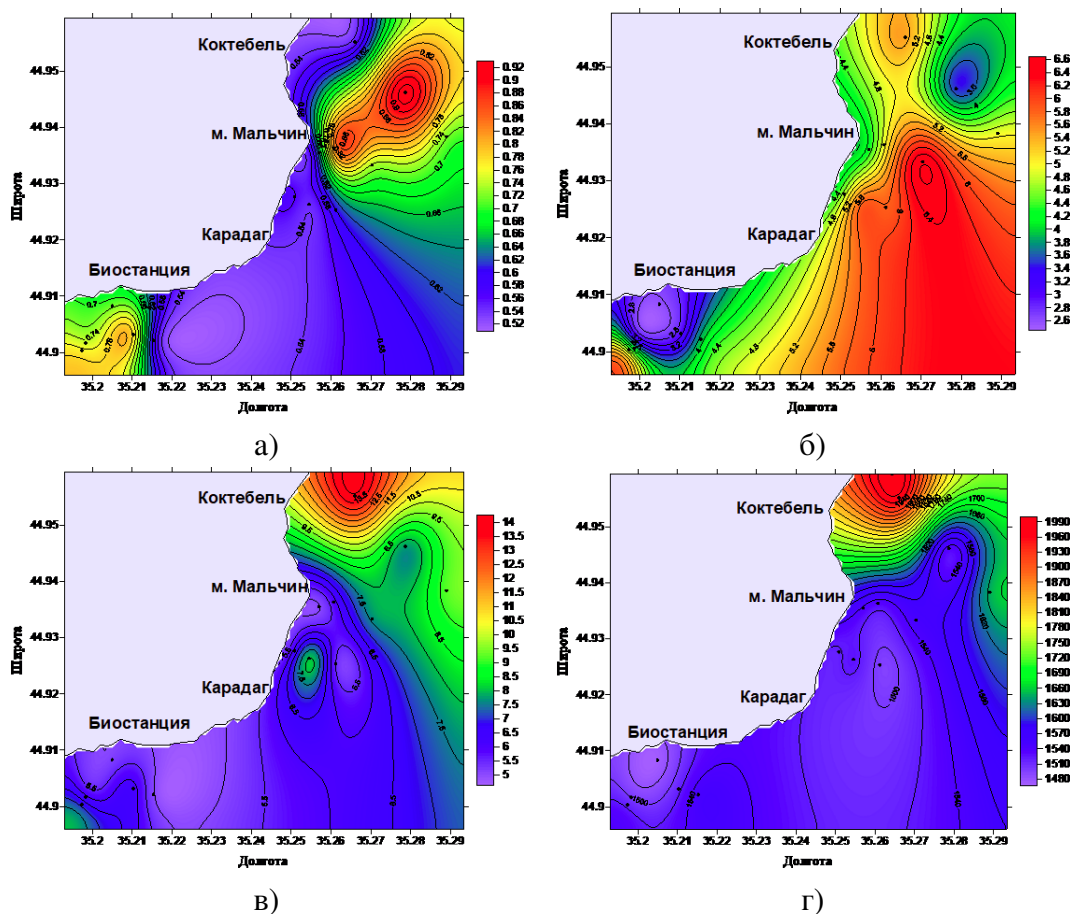


Рис. 4. Распределение величин азота нитритного (а), азота нитратного (б), азота аммонийного (в) и азота органического (г) в мкг/л 16 июня 2020 г.

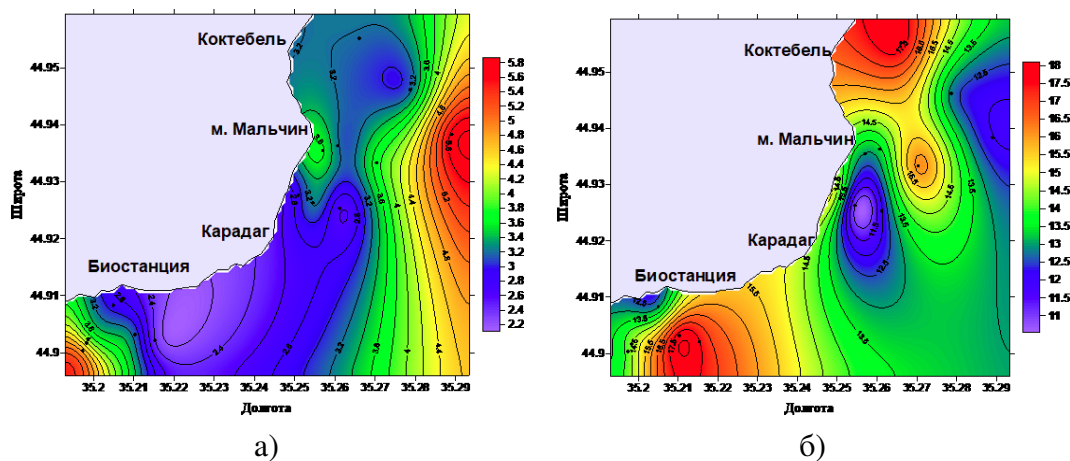


Рис. 5. Распределение величин фосфора органического (а) и азота органического (б) 16 июня 2020 г.

16 сентября 2020 года гидролого-гидрохимическая съёмка проводилась совместно с сотрудниками Севастопольского отделения Государственного океанографического института им. Н. Н. Зубова. Данные, полученные с помощью CTD-зонда (CTD-48), были любезно предоставлены для общего использования. Вертикальные профили распределения температуры, солёности и условной плотности показаны на рисунке 6.

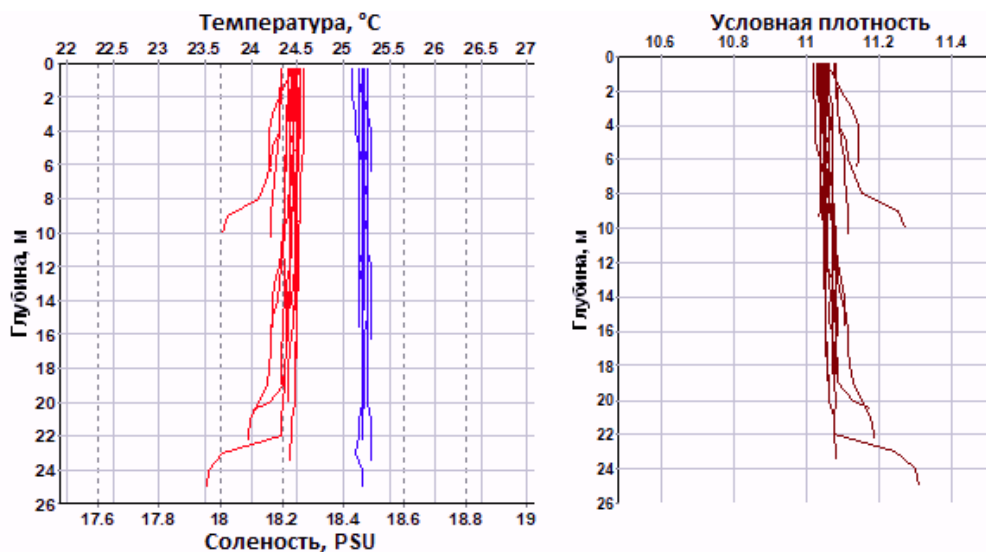


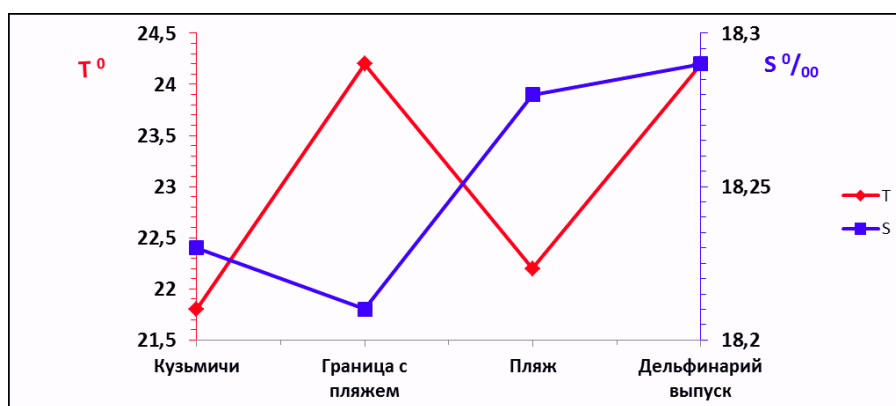
Рис. 6. Вертикальные профили распределения температуры (красные линии), солёности (синие линии) и условной плотности (коричневые линии), по данным гидрологической съёмки в районе Карадагского заповедника и Коктебельской бухты 16 сентября 2020 г.

Во время съёмки в прибрежной зоне выраженные вертикальные градиенты температуры, солёности и плотности воды отсутствовали. Температура воды в поверхностном слое на гидрологических станциях изменялась незначительно — от 24,32 до 24,58 °С, а на глубинах 20–25 метров — от 23,51 до 24,47 °С, т. е. во всём слое воды 0–25 м наблюдалась гомотермия. В целом значения температуры были приблизительно на 1 °С выше среднееголетних значений.

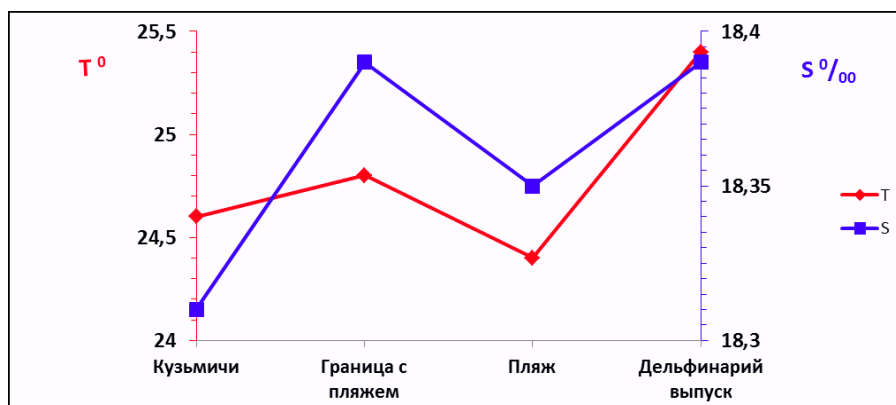
В халинной структуре вод также просматривается горизонтальная и вертикальная однородность. Солёность воды в поверхностном слое на всех станциях находилась в пределах от 18,43 до 18,48 ‰, увеличиваясь с глубиной до 18,44–18,49 ‰. Следует отметить, что в сентябре для района исследований наблюдались экстремально высокие значения солёности, которые были на 0,25 ‰ выше обнаруженных ранее [Троценко, Субботин, 2018]. В связи с полной термической и халинной однородностью приводить пространственное распределение этих характеристик не имеет смысла.

В сентябре отмечена высокая обеспеченность исследованной акватории кислородом. Его содержание в слое 0–25 м колебалось в пределах от 5,17 до 5,51 мл/л (98–105 %). Насыщение кислородом было близко к нормальному и более чем в 2 раза выше ПДК (40 %) согласно рыбохозяйственным нормативам. Величины БПК₅ имели низкие значения (от 0,04 до 0,87 мг/л), которые от 2 до 50 раз ниже ПДК, что характеризует «чистоту» исследованного района. Величины pH изменялись от 8,06 до 8,30 со средней по акватории, равной 8,22, которая была несколько ниже по сравнению со средней pH, характерной для Севастопольского взморья, по данным 1999–2004 гг. [Марикультура мидий ..., 2007]. Концентрации биогенных веществ имели в основном величины, типичные для прибрежных вод. Их величины имели низкие значения, которые колебались в следующих пределах: нитриты — от 0,2 до 2,2 мкг/л, нитраты — от 6,0 до 37 мкг/л, фосфаты — от 1,0 до 3,0 мкг/л, кремний — от 7,0 до 114 мкг/л и фосфор общий (Р_{общ}) — от 7,0 до 36 мкг/л. Повышенные значения были отмечены у азота аммонийного — от 72 до 208 мкг/л и у азота общего (N_{общ}) — от 113 до 443 мкг/л. В целом величины гидрохимических показателей, полученные в сентябре 2020 г. на акватории Карадагского природного заповедника совместно с сотрудниками Севастопольского отделения ГОИН, мало отличались от таковых, полученных нами ранее [Ковригина и др., 2019], и соответствовали величинам, полученным в прибрежных водах Чёрного моря [Марикультура мидий ..., 2007].

Исследования в двухметровой прибрежной зоне проводятся с сентября 2017 г. Цель работы заключается в изучении качества морской воды в узкой прибрежной полосе Карадагского природного заповедника, в зонах с разной антропогенной нагрузкой. В июне значения температуры воды поверхностного слоя на всех точках были выше, чем в мористой части, что объясняется более сильным прогревом прибрежной зоны (рис. 7). Как и в предыдущие годы, максимальные значения наблюдались на границе заповедника и возле выпуска вод дельфинария, т. е. в зонах с мелководным побережьем. Более низкие значения отмечены у Кузьмичевых Камней и в районе пляжа с приглубыми береговыми зонами. Но если в 2017–2019 гг. разность температур составляла около 1 °С, то в 2020 г. она доходила до 2,5 °С. Возможно, это связано с тем, что в предыдущие годы работы проводились в мае, а в 2020 г. — в июне, при более сильном прогреве.



а)



б)

Рис. 7. Значения температуры и солёности в прибрежной зоне: а) 17 июня, б) 16 сентября.

Значения солёности поверхностного слоя были близки к показателям основного полигона — 18,22–18,29 ‰. Солёность повышалась с востока на запад, однако диапазон изменений очень узкий.

В сентябре диапазон изменения температуры составлял 1 °С (24,4–25,4 °С), т. е. был таким же, как и в предыдущие годы. Ход изотерм соответствовал июню — с повышением значений на мелководье и понижением в приглубых береговых зонах. Солёность менялась от 18,31 ‰ у Кузьмичевых Камней до 18,39 ‰ на границе заповедника и у выпуска вод дельфинария. Повышение солёности в этих двух точках, очевидно, связано с повышенной испаряемостью на мелководье при слабом перемешивании вод.

Распределение величин гидрохимических показателей в узкой прибрежной зоне в июне и сентябре представлено на рис. 8 и 9. В целом оно показало, что в конце весеннего гидрологического периода (июнь) 2020 г. содержание кислорода было несколько ниже, чем в мае 2018 и 2019 гг., что связано с более высокой температурой воды в июне. Окисляемость и БПК₅ существенно не изменились, за исключением значений БПК₅ на границе заповедника (3 мг/л), которые в 1,5 раза превышали верхнюю границу согласно рыбохозяйственным нормативам. Средние концентрации биогенных элементов также существенно не изменились по сравнению с аналогичными значениями за май 2019 г., однако концентрации фосфатов, нитратов и органического азота были выше соответствующих показателей за май 2018 г.

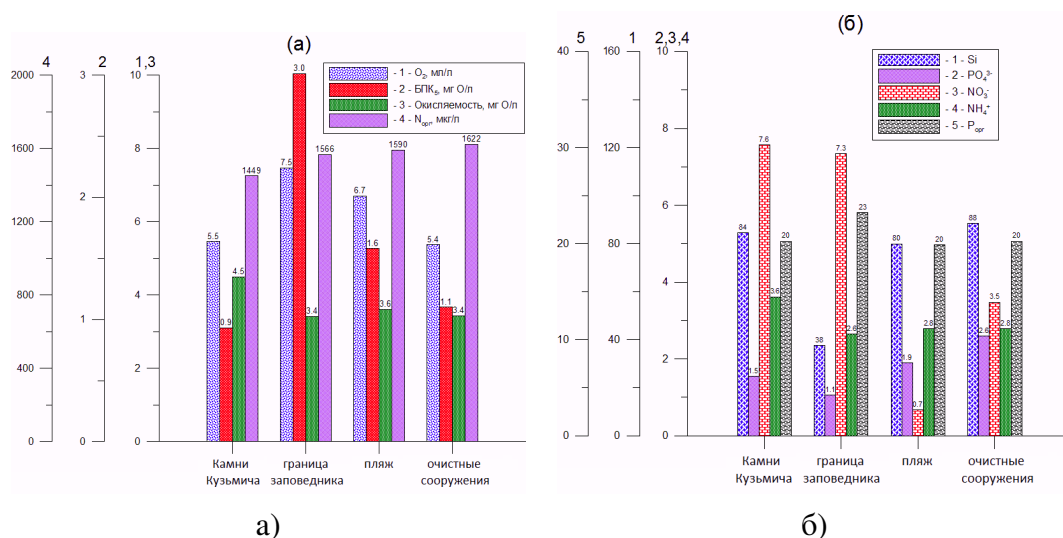


Рис. 8. Распределение содержания в морской воде вдоль береговой линии в районе Карадага 17 июня 2020 г.: (а) — растворённого кислорода (O_2), БПК₅ (BOD_5), окисляемости (Oxidizability) и органического азота (N_{org}); (б) — нитратов (NO_3), аммония (NH_4), фосфатов (PO_4), кремния (Si) и органического фосфора (P_{org})

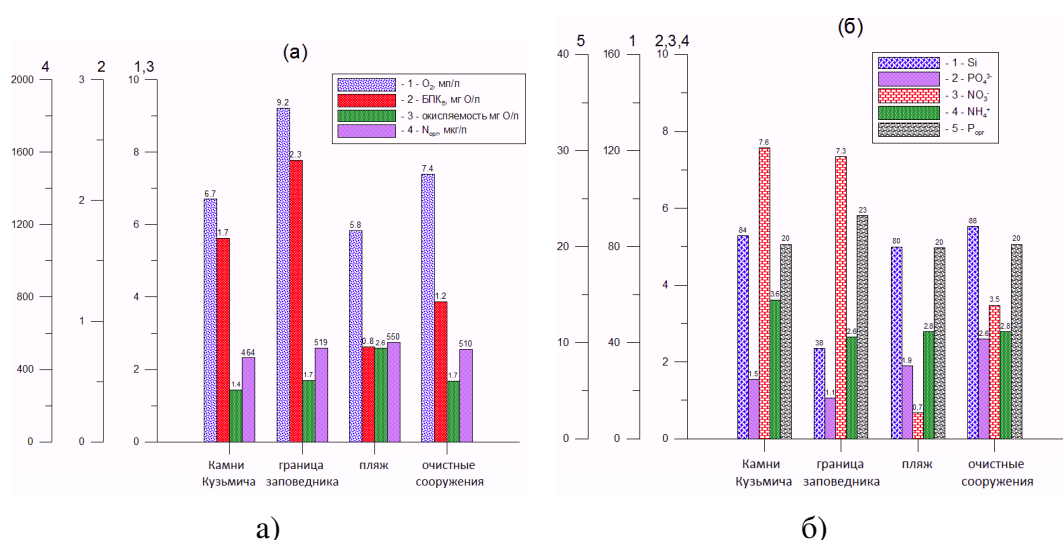


Рис. 9. Распределение содержания в морской воде вдоль береговой линии в районе Карадага 17 сентября 2020 г.: (а) — растворённого кислорода (O_2), БПК₅ (BOD_5), окисляемости (Oxidizability) и органического азота (N_{org}); (б) — нитратов (NO_3), аммония (NH_4), фосфатов (PO_4), кремния (Si) и органического фосфора (P_{org})

В конце гидрологического лета (сентябрь) по сравнению с июнем 2020 г. наблюдалось повышенное содержание растворённого кислорода и пониженные концентрации неорганических биогенных веществ. Концентрации органического азота и фосфора, напротив, были выше в сентябре. В пространственном отношении в течение обоих сезонов чётко прослеживался максимум содержания кислорода и БПК₅ и минимум содержания кремния и фосфатов на границе заповедника. Концентрация растворённого кислорода в сентябре 2020 г. на границе заповедника была выше, а в районе пляжа — ниже соответствующих показателей за сентябрь 2017 и 2018 гг. Среди четырёх береговых станций локальный максимум растворённого кислорода на границе заповедника и локальный минимум в районе пляжа наблюдались практически всегда с начала наблюдения в 2017 г. Однако содержание биогенных элементов на этих станциях относительно других варьировало без наличия устойчивой пространственной закономерности. Так, в сентябре на границе заповедника минимум фосфатов был обнаружен только в 2020 г., концентрация кремния в разные годы флуктуировала от минимума к максимуму, а минимум нитратов в 2017 и 2019 гг. чередовался с их промежуточными значениями в 2018 и 2020 гг.

В целом в сентябре, в период с 2018 по 2020 гг., по всем четырём станциям отмечалось снижение растворённого кремния, фосфатов, органического азота и окисляемости, что, возможно, связано с уменьшением загрязнённости прибрежной акватории береговыми стоками в данный сезон. Концентрация аммония оставалась на уровне 2019 г., снизившись в несколько раз по сравнению с аналогичным периодом 2017–2018 гг., а концентрация нитратов после спада в 2018 г. и значительного повышения в 2019 г. возвратилась к средним значениям. В районе Кузьмичевых Камней в это время концентрации фосфатов и кремния достигли своего абсолютного минимума за весь четырёхлетний период мониторинга на береговых станциях, что можно объяснить интенсивным развитием диатомовых.

В июне 2020 г. в районе пляжа были зарегистрированы рекордно высокие для весеннего гидрологического сезона значения БПК₅ и органического фосфора. Причиной тому было, по-видимому, более интенсивное цветение фитопланктона в июне по сравнению с маем прошлых лет за счёт более сильного прогрева морской воды. В районе Камней Кузьмича значение БПК₅ в силу азотного дефицита, напротив, оказалось рекордно низким в это время. В июне 2020 г. лимитирование развития фитопланктона по азоту ($N : P = 2-6$) наблюдалось на всех береговых станциях, тогда как к сентябрю по мере удаления от биостанции (в районе границы заповедника и Камней Кузьмича) оно сменялось фосфатным лимитированием ($N : P = 17-22$). Тенденция к повышению отношения $N : P$ по направлению к Кузьмичевым Камням (как правило, с минимумом в районе пляжа) наблюдалась и в предыдущие годы, что может быть связано с влиянием хозяйственных стоков, богатых фосфатами, вблизи биостанции. Однако случаи фосфатного лимитирования вдоль береговой линии ранее отмечались редко и при этом совсем не отмечались в сентябре. Влияние хозяйственных стоков очистных сооружений в районе биостанции в июне 2020 г. было заметно и по монотонному увеличению нитратов, аммония и органического азота от Камней Кузьмича до станции у причала (очистные сооружения). Аналогичная пространственная тенденция наблюдалась для нитратов и кремния в мае 2018 г. и для кремния в мае 2019 г., но никогда не отмечалась в сентябре. Вероятно, это объясняется тем, что в сентябре существенную роль в пространственном распределении гидрохимических показателей играет азовоморское течение, переносящее биогенные поллютанты из курортной зоны Коктебельской бухты в сторону Карадага.

В среднем концентрации биогенов на четырёх береговых станциях в 2020 г. не отличались от соответствующих показателей прошлых лет в пределах разброса их значений.

Выводы

В 2020 г. во время обеих съёмок температура и солёность были выше среднемноголетних показателей. Но если температура не выходила за максимальные значения, отмеченные ранее, то солёность и в июне, и в сентябре имела экстремально высокие значения.

В июне в узкой прибрежной зоне, на расстоянии около 1 км, диапазон изменчивости температуры впервые за 4 года составил почти 2,5 °С (ранее около 1 °С). Очевидно, что это связано с более сильным прогревом мелководных зон в июне по сравнению с маем.

Особенностью июньской съёмки были повышенные значения солёности в прибрежных районах. Это связано с прохождением мористей потока распреснённых вод (трансформированные азовоморские и «кавказские») северо-восточной части моря.

Величины кислорода во время съёмки 16 июня имели достаточно равномерное распределение и были выше ПДК (4,2 мл/л и 40 % насыщения) согласно рыбохозяйственным нормативам. Уровни концентрации растворённого кислорода, полученные нами в настоящее время, практически не отличались от таковых, полученных ранее. Величины БПК₅ на всей акватории были ниже ПДК. Изменчивость величин БПК₅ от года к году (с 2005 по 2018 гг.) имела тенденцию к повышению значений.

По величинам коэффициента загрязнения (K_z), равного отношению БПК₅ к окисляемости, исследуемую акваторию можно характеризовать как «незагрязнённую», поскольку K_z , рассчитанный для всей акватории, был менее 1,0. Интервал изменчивости величин $C_{орг}$, полученный в настоящее время, практически совпадает с таковым, полученным ранее, что указывает на отсутствие накопления растворённого органического вещества. Биогенные вещества имели низкие и однородные величины, характерные для незагрязнённых прибрежных вод.

Авторы выражают благодарность младшему научному сотруднику Родионовой Наталье Юрьевне и ведущему инженеру Богдановой Татьяне Александровне за помощь в обработке первичных данных, а также администрации Карадагской научной станции — за предоставленную возможность проводить исследования в акватории заповедника.

Список литературы

1. Ковригина Н. П., Павлова Е. В., Лисицкая Е. В., Мурина В. 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.
2. Ковригина Н. П., Родионова Н. Ю. Гидрохимические особенности // Биология Чёрного моря у берегов Юго-Восточного Крыма / Карадаг. науч. станция им. Т. И. Вяземского – природ. заповедник РАН. – Симферополь : АРИАЛ, 2018. – С. 59–77.
3. Ковригина Н. П., Троценко О. А., Родионова Н. Ю., Капранов С. В., Еремин И. Ю. Исследования абиотических факторов среды на Карадагском взморье в мае и сентябре 2018 г. // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2019. – Вып. 1 (9). – С. 61–73. – DOI: [10.21072/eco.2021.09.02](https://doi.org/10.21072/eco.2021.09.02)
4. 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 : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Украины, Мор. гидрофиз. ин-т. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 1999. – С. 161–174.

5. Куфтаркова Е. А., Ковригина Н. П., Бобко Н. И. Гидрохимическая характеристика вод Судакско-Карадагского взморья // Карадаг. Гидробиологические исследования : сб. науч. тр., посвящ. ... заповедника / Нац. акад. наук Украины, Карадаг. природ. заповедник. – Симферополь : СОНАТ, 2004. – Кн. 2. – С. 12–27.
6. Мальцев В. И., Смирнова Ю. Д., Кондратьева Е. Н. Результаты гидролого-гидрохимического мониторинга акватории Карадагского природного заповедника и прилегающих прибрежных мелководий в 2012–2018 гг. // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2018. – Вып. 4 (8). – С. 3–15. – <https://doi.org/10.21072/eco.2021.08.01>
7. Марикультура мидий на Чёрном море / Нац. акад. наук Украины, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. – 314 с.
8. Массовая концентрация фосфатов в морских водах. Методика измерений фотометрическим методом : РД 52.10.738-2010 : утв. 15.11.2010 : взамен РД 52.243-92 / разраб. ФГУ «Гос. океаногр. ин-т им. Н. Н. Зубова». – Москва : Росгидромет, 2010. – 28 с.
9. Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов / ВНИИ мор. рыб. хоз-ва и океанографии. – Москва : ВНИРО, 1988. – 119 с.
10. Морозова А. Л., Смирнова Ю. Д. Трансформация природных экосистем прибрежных вод Карадагского заповедника // Современные проблемы экологии Азово-Черноморского бассейна : материалы 2-й междунар. конф., 26–27 июня 2006 / М-во охраны окружающей природ. среды, Крым. акад. наук [и др.]. – Керчь : ЮгНИРО, 2006. – С. 17–24.
11. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения : утв. приказом М-ва сел. хоз-ва РФ от 13.12.2016г. № 552 // Гарант. Информационно-правовое обеспечение : [сайт]. – 2016. – URL: <https://base.garant.ru/71586774/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (дата обращения: 27.02.2021).
12. Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях / Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете министров СССР, Гос. океаногр. ин-т. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1977. – 725 с.
13. Скопинцев Б. А. Формирование современного химического состава вод Чёрного моря. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1975. – 335 с.
14. Смирнова А. И. Материалы к гидрохимической характеристике Чёрного моря в районе Карадага // Труды Карадагской биологической станции. – Киев : Изд-во АН УССР, 1960. – Вып. 16. – С. 3–15.
15. Трощенко О. А., Субботин А. А. Абиотические факторы и условия обитания гидробионтов прибрежной зоны Юго-Восточного Крыма. Гидрологические особенности // Биология Чёрного моря у берегов Юго-Восточного Крыма / Карадаг. науч. станция им. Т. И. Вяземского – природ. заповедник РАН. – Симферополь : АРИАЛ, 2018. – С. 46–59.
16. Трощенко О. А., Субботин А. А., Еремин И. Ю. Халинная структура вод в прибрежной зоне Карадага // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2019. – Вып. 2 (10). – С. 42–51. – <https://doi.org/10.21072/eco.2021.10.05>
17. Химическое потребление кислорода в водах. Методика выполнения измерений титриметрическим методом : РД 52.24.421-2007 : утв. 13.03.2007 : взамен РД 52.24.421-95 / разраб. ГУ «Гидрохим. ин-т». – Ростов-на-Дону : Росгидромет, 2007. – 26 с.

DISTRIBUTION OF THERMOHALINE AND HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS IN THE COASTAL WATERS OF KARADAG IN JUNE AND SEPTEMBER 2020

Troshchenko O. A., Kovrigina N. P., Kapranov S. V., Bobko N. I., Eremin I. Yu.

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

Abstract: The results of the study of thermohaline and hydrochemical characteristics measured in June and September 2020 in coastal waters of Karadag Nature Reserve and Koktebel Bay were presented. Unprecedentedly high salinity values were noted, which reflect the salinization trends over the last 8–9 years. High oxygen supply throughout the water column under study and no oxygen deficiency in the bottom layer were demonstrated. From the BOD₅ values (below the maximum permissible level, MPL), oxidizability (whose mean value is below MPL), and the pollution coefficient K₃ (BOD₅ / oxidizability) not exceeding 1.0, the water area can be ranked as unpolluted. The range of dissolved organic matter (C_{пов}) variation in June 2020 practically matched those obtained in previous years and showed no organics accumulation. From the mineral-to-total phosphorus ratio values $P_{\min} : P_{\text{tot}} < 30 \%$ (at 12 out of 14 stations) and high concentrations of silicate and phosphate, the impact of the Azov Sea waters on the hydrochemical structure of the water area under study was revealed. The distribution of the hydrochemical characteristics in the 2-m-wide foreshore area was uneven and was characterized by increased nutrient concentrations as compared to the nearshore waters. Given the low oxidizability values, no organic matter accumulation in the 2-m-wide foreshore area was noted.

Keywords: thermohaline and hydrochemical characteristics, Azov Sea waters, Karadag nearshore, Koktebel Bay

Сведения об авторах

Трощенко Олег Александрович	кандидат географических наук, старший научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», e-mail: oleg_tr59@mail.ru
Ковригина Неля Петровна	кандидат географических наук, старший научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», e-mail: maricultura@mail.ru
Капранов Сергей Викторович	кандидат химических наук, старший научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», e-mail: sergey.v.kapranov@yandex.ru
Бобко Николай Иванович	младший научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН»
Еремин Игорь Юрьевич	младший научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», e-mail: igerem@gmail.com

Поступила в редакцию 27.10.2021 г.
Принята к публикации 12.04.2022 г.