

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ 2019–2020 гг.

© 2022 г. П. О. Завьялов^{1, *}, И. Б. Завьялов¹, А. С. Ижицкий¹, Е. С. Ижицкая¹, Б. В. Коновалов¹,
В. В. Кременецкий¹, И. А. Немировская¹, В. К. Часовников¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

*e-mail: i.zav@ocean.ru

Поступила в редакцию 01.07.2021 г.

После доработки 11.11.2021 г.

Принята к публикации 16.12.2021 г.

В работе представлены результаты анализа основных загрязняющих веществ (тяжелые металлы, пестициды, детергенты, углеводороды) в воде, взвеси и донных отложениях, а также гидрофизических полей в Керченском проливе и прилегающей акватории Черного моря (2019–2020 гг.). Во все сезоны отмечены превышения предельно допустимых концентраций, часто значительные, для ряда загрязнителей (углеводороды, отдельные металлы и пестициды). Максимальные концентрации пестицидов отмечены летом, остальных загрязнителей – в весенний период. Установлено, что максимумы концентраций большинства загрязнителей, а также растворенного метана и минеральной взвеси, приурочены к плюму азовоморских вод, поступающих в Черное море через пролив, и их распределения формируются системой течений и стратификацией вод в проливе.

Ключевые слова: загрязнения, тяжелые металлы, пестициды, нефть, углеводороды, метан, Керченский пролив, Черное море

DOI: 10.31857/S0030157422020174

ВВЕДЕНИЕ

Керченский пролив – район с характерными трансграничными, экономическими и экологическими проблемами, интенсивным судоходством, дампингом грунтов и дноуглубительными работами. Кроме портов, функционирование которых существенным образом сказывается на экологической ситуации в регионе, свой негативный вклад вносят пункты рейдовой перевалки грузов в юго-западной части пролива. Здесь уже происходили аварийные разливы [7]. Многолетний спутниковый мониторинг показал, что скопления нефтяных пленок в российском секторе приурочены к Керченскому проливу и припортовым акваториям Новороссийска и Туапсе [3, 6], где расположены наиболее крупные нефтяные терминалы.

В предлагаемой работе представлены результаты натурных исследований загрязнения Керченского пролива и прилегающей акватории Черного моря на основе данных трех экспедиций 2019–2020 гг. Экспедиции выполнялись в разное время года: первая состоялась весной 2019 г. (4–9 апреля), время проведения второй пришлось на начало сентября 2019 г. (3–5 сентября), третья проходила в середине лета 2020 г. (16–18 июля).

По результатам контактных измерений и обработки отобранных проб воды, донных отложений и морской взвеси был проведен анализ основных загрязняющих веществ (тяжелые металлы, пестициды, детергенты, углеводороды – УВ). В настоящее время одним из основных компонентов загрязнения морских акваторий являются нефтяные углеводороды – НУ [4, 9]. Кроме того, поступление УВ, в частности метана, из грязевых вулканов в акватории Керченского пролива также оказывает влияние на его экосистему [13, 15]. Изучение распределений растворенного в воде метана представляет и более общий интерес в контексте нефтегазоносности акваторий [14] и изменений климата [1].

Особое внимание в работе уделяется исследованию уровня загрязнения и характера пространственного распределения таких тяжелых металлов, как медь, цинк, кадмий, свинец, хром, никель и кобальт. Проведен также анализ концентрации взвешенного вещества и его компонентов, которые относятся к числу показателей качества морских вод и состояния морских экосистем [5].



Рис. 1. Схема района исследования с гидрологическими станциями и разрезами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Район исследований в апреле 2019 г. охватывал Керченский пролив и прибрежную акваторию Черного моря от мыса Чауда на Крымском полуострове до мыса Железный Рог на Таманском полуострове (рис. 1, станции 1–36). В сентябре 2019 г. измерения проводились непосредственно в Керченском проливе в виде двух разрезов и в Черном море на разрезе возле мыса Такиль (рис. 1, станции 11–24). В июле 2020 г. измерения охватывали район, который практически совпадал с районом исследований в апреле 2019 г. (рис. 1, станции 1–41). Координаты станций в каждой экспедиции оставались неизменными. В результате во всех экспедициях выполнены два разреза в Керченском проливе, а в прилегающей акватории Черного моря весной 2019 г. – 4 разреза, в сентябре 2019 г. – один разрез у мыса Такиль, летом 2020 г. – 5 разрезов (рис. 1).

Гидрофизические измерения на каждой станции проводились с помощью CTD-зонда SBE Seacat 19 plus и ADCP-зонда Teledyne RDI Work horse Sentinel. Ветровые данные были получены из реанализа NCEP/NCAR, использовались также данные прямых измерений ветра на метеостанции в городе Керчь. На гидрологических станциях отбирались пробы воды для последующего лабораторного определения концентрации общей взвеси, ее минеральной и органической составляющих с использованием спектрофотометра СФ-14 производства ЛОМО. Анализ состава взвеси проводился в соответствии с методикой, изложенной в работе [5].

Для определения концентрации растворенного метана на станциях батометрами отбирали пробы воды. При этом анализе применялась методика фазово-равновесной дегазации [12] с использованием газового хроматографа с пламенно-ионизационным детектором ХПМ-2, работающего на генераторе чистого водорода. Суммарная погрешность метода составляет около 5%.

Стандартные аналитические процедуры, принятые в практике морских химических исследований институтов РАН (на базе Лаборатории химии ЮО ИО РАН и Аналитической лаборатории ИО РАН), были использованы для гидрохимических исследований и анализа загрязненности морских вод. Были проведены необходимые подготовительные работы для аналитических определений следующих химических параметров: тяжелые металлы (Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Ni, Co), детергенты (АПАВ), хлорорганические пестициды (ХОП): α -ГХЦГ, β -ГХЦГ, γ -ГХЦГ, гексахлорбензол, 4,4'-DDT, 4,4'-DDE, 4,4'-DDD.

Для определения концентраций УВ, включая алифатические (АУВ) и полициклические ароматические (ПАУ), в воде и в донных осадках использовали методы, принятые при анализе нефтяных и биогенных УВ [4, 10]. УВ экстрагировали из проб взвеси (выделенных на фильтры GF/F) и из фракции донных осадков 0.25 мм метиленхлоридом. АУВ определяли ИК-спектрометрическим методом, ПАУ – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. В результате были определены индивидуальные ПАУ, принятые Агентством по охране окружающей среды (EPA, Environment Protection Agency) США в ка-

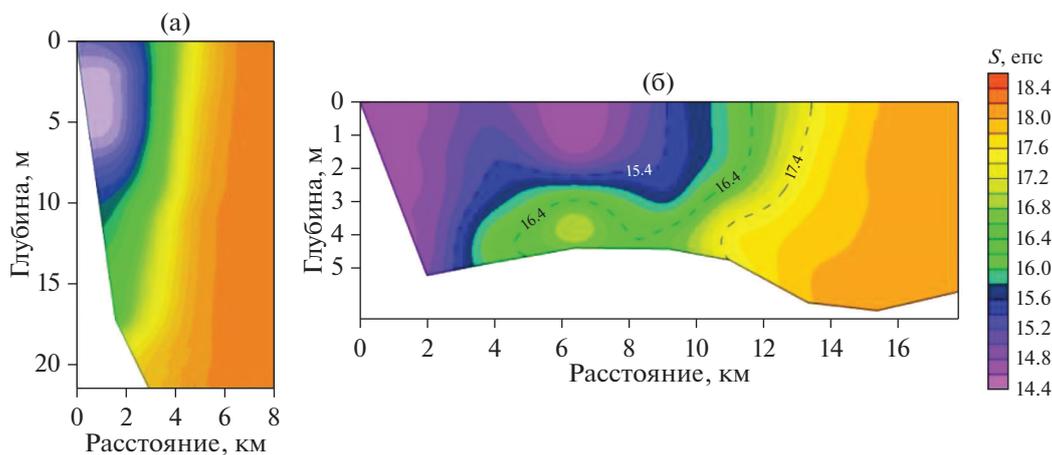


Рис. 2. Вертикальное распределение солёности (S) в апреле 2019 года на меридиональном разрезе от мыса Чауда на юг (а) и в поперечном сечении Керченского пролива с запада (слева) на восток, станции 16–23 (б).

честве наиболее опасных загрязняющих веществ [17]. Подробности методических процедур описаны в [4, 8, 10].

Для оценки уровня загрязнения морской воды использовали метод нормирования загрязняющего вещества по предельно допустимой концентрации (ПДК) для водоемов рыбохозяйственного назначения. В случае отсутствия такового для отдельных показателей использовался ПДК для вод культурного и хозяйственного назначения [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гидрофизические условия, в целом характерные для вод Керченского пролива, наиболее отчетливо иллюстрируются данными первой экспедиции в апреле 2019 г. В этот период наблюдался интенсивный сток азовоморских вод в Керченском проливе и у юго-восточного побережья Крымского полуострова (рис. 2). Тогда удалось оценить прямыми измерениями масштабы азовоморского плюма в Черном море в условиях сильного северо-восточного ветра (до 10 м/с) [2].

Как видно из рис. 2б, в Керченском проливе отмечалась отчетливая стратификация солёности как по вертикали, так и по горизонтальной координате в поперечном сечении пролива. Западная часть пролива занята водами низкой солёности (14.4–16.4 епс), происхождение которых, очевидно, связано с Азовским морем, а восточная – более солёными (16.4–18.0 епс) водами Черного моря. Черноморские воды проникали в пролив и в западной его части в придонном слое, формируя там двухслойную вертикальную стратификацию. Выходя из пролива в Черное море, азовоморские воды распространялись преимущественно на запад вдоль побережья и формировали довольно обширный опресненный плюм у мыса Чауда и западнее (рис. 2а). Как будет показано ниже, к это-

му плюму была приурочена и значительная часть антропогенных загрязнений.

Типичная для Керченского пролива динамическая структура в целом подтверждается прямыми измерениями скорости и направления течений и в июле 2020 г. (рис. 3). Если в западной части пролива преобладают течения южных румбов, причем в направлениях течений здесь выражена определенная двухслойность (рис. 3б), то в восточной части течение направлено на северо-запад и запад. Скорости течения, зарегистрированные в проливе, достигали 20 см/с (рис. 3а).

Необходимо отметить, что описанные выше особенности структуры течений и термохалинных полей в Керченском проливе представляют собой лишь общую концептуальную схему, а реальные распределения в конкретные моменты времени могут значительно отличаться от последней. В работах [2, 18] было показано, что перенос вод через пролив и связанные с ним формы стратификации определяются в первую очередь ветром (его силой и длительностью воздействия). Так, во время экспедиций в сентябре 2019 г. и в июле 2020 г. в условиях относительно слабого ветра (0–5 м/с) как вертикальная, так и поперечная проливу зональность были значительно менее выраженными, чем во время экспедиции весной 2019 г. в условиях сильного северо-восточного ветра (10 м/с и более).

Концентрации минеральной и органической взвеси в Керченском проливе (станции 16–31) во все периоды измерений превышали соответствующие значения для прилегающей акватории Черного моря (станции 1–15, 32–41).

Вне акватории Керченского пролива концентрации взвеси были максимальными весной 2019 года (рис. 4). Летом 2020 года концентрация взвеси (в особенности органической) оказались

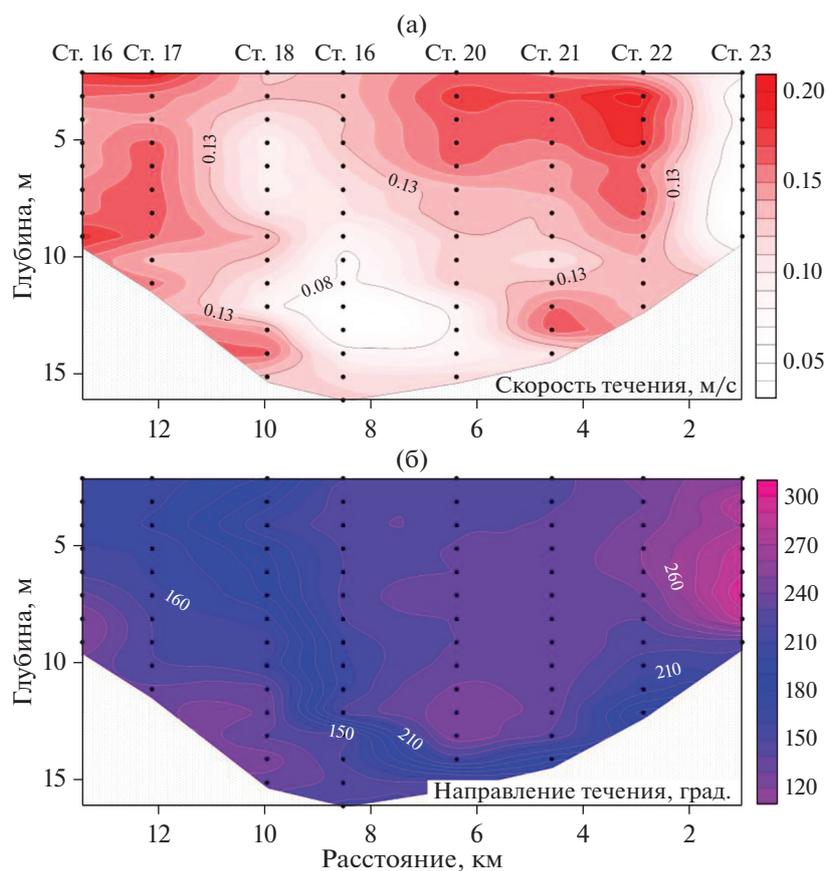


Рис. 3. Скорость (а) и направление (б) течения в поперечном сечении Керченского пролива с запада (слева) на восток, станции 16–23, в июле 2020 г.

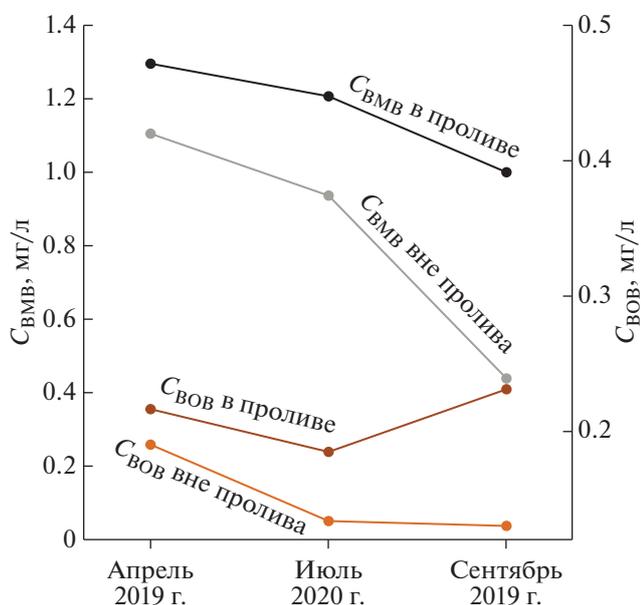


Рис. 4. Концентрации минеральной ($C_{свмв}$) и органической ($C_{свов}$) взвеси, осредненные для двух зон полигона – Керченского пролива и прилегающей к нему акватории Черного моря – по данным экспедиций, выполненных в разные периоды.

заметно ниже, а в начале осени 2019 года здесь отмечены наименьшие значения за все время исследований. Сопоставление осредненных значений показало, что концентрации минеральной и органической взвеси в самом проливе летом были на 13% и 25% ниже концентраций, характерных для весеннего периода соответственно. В начале осени содержание минеральной взвеси понизилось еще на 33%, а вот содержание органической взвеси опять увеличилось практически до весеннего уровня. Можно предположить, что концентрация минеральной взвеси определяется в значительной степени достигающей максимума весной интенсивностью материкового стока, поступающего в Азовское море и затем в Черное море через пролив. Баланс органической взвеси более сложен и определяется как материковым стоком, так и жизненными циклами планктонной биоты в районе пролива. Следует иметь в виду, что в каждый период исследований нами были выполнены лишь однократные измерения концентраций взвеси на ограниченном числе станций в течение нескольких последовательных дней. Более полные статистики были получены спутниковыми методами [16], которые, однако, нуждаются в на-

Таблица 1. Содержание метана (нМ) в поверхностном слое вод Керченского пролива и прилегающей акватории Черного моря

Район	Весна 2019			Лето 2020		
	мин.	макс.	среднее	мин.	макс.	среднее
Керченский пролив	6.78	25.04	13.09	18.5	44.1	30.48
Мыс Чауда	6.96	10.24	9.19	12.6	22.1	16.57
Мыс Опук	6.78	13.87	9.92	10.5	18.3	13.7
Мыс Такиль	7.85	13.43	11.23	20.8	76.6	37.42
К востоку от пролива	6.69	14.76	10.59	11.9	69.1	27.36
Во всех районах исследования	6.69	25.04	10.8	10.5	76.6	25.1

Таблица 2. Содержание органических соединений и общей взвеси (минеральной и органической) в поверхностных водах Керченского пролива

Год/месяц	АУВ, мкг/л		Липиды, мкг/л		Хл "а", мкг/л		Взвесь, мг/л	
	интервал	среднее	интервал	среднее	интервал	среднее	интервал	среднее
2019 г., апрель	69–186	102	91–266	141	0.13–2.89	0.76	0.51–3.21	1.39
2019 г., сентябрь	55–138	93	95–213	159	0.13–1.55	0.46	0.32–3.48	0.99
2020 г., июль	28–253	78	59–449	137	0.03–0.66	0.18	0.66–2.43	1.18

турной валидации. Результаты наших натурных измерений в целом подтверждают существующие представления.

Концентрации метана в поверхностном слое моря, отмеченные в апреле 2019 г., в среднем в 6 раз превышали равновесное с атмосферным воздухом значение (табл. 1). Максимальные концентрации CH_4 на поверхности были зафиксированы непосредственно в Керченском проливе. По данным экспедиции в июле 2020 г., насыщенность поверхностных вод метаном была в среднем в 13 раз выше равновесного значения с атмосферным воздухом (табл. 1). Максимальные значения концентраций этого газа на поверхности были зафиксированы в районе мыса Такиль (станция 14, 76.6 нМ) и мыса Железный рог (станция 34, 69.1 нМ). Содержание метана в поверхностном слое вод Керченского пролива было в среднем выше, чем в прилегающей акватории Черного моря.

Для вертикального распределения метана в целом было характерно значительное превышение придонных концентраций газа над поверхностными, за исключением центральной части Керченского пролива (станции 24–31), где значения концентрации метана практически не зависели от глубины.

Керченский пролив и зона к югу и юго-западу от него подвержены влиянию азовоморского потока вод, значительно обогащенного органическими веществами благодаря речному стоку. Основной причиной образования биогенного мета-

на в аэробных морских водах может являться увеличение поставок органического вещества и его разложения в условиях гипоксии. Подтверждением данному выводу могут служить повышенные концентрации метана в районе мыса Такиль, где располагается ныне действующая свалка грунтов, образовавшихся в результате дноуглубительных работ в проливе. Вероятно, именно данный фактор приводит к повышению концентраций метана в проливе и далее в зоне распространения вод, поступающих из Азовского моря в Черное море. Следует также учитывать роль сезонности в колебаниях содержания метана, связанной с ростом биологической активности морских вод в летний период.

Концентрации АУВ в апреле 2019 г. изменялись в интервале 69–186 мкг/л (табл. 2). К сентябрю 2019 г. произошло некоторое снижение их концентраций (55–138 мкг/л). Однако даже при наиболее низких величинах они превышали ПДК для НУ – 50 мкг/л.

В июле 2020 г. в Керченском проливе установлена максимальная концентрация АУВ – 253 мкг/л (станция 24, рис. 5а). На станциях 1–5 их средние концентрации значительно ниже, 67 и 47 мкг/л соответственно.

В Керченском проливе также повышена доля УВ в составе липидов – 61%, что выше, чем в других исследованных районах (в среднем 57–58%). Последнее может косвенно свидетельствовать о влиянии нефтяных загрязняющих веществ, так

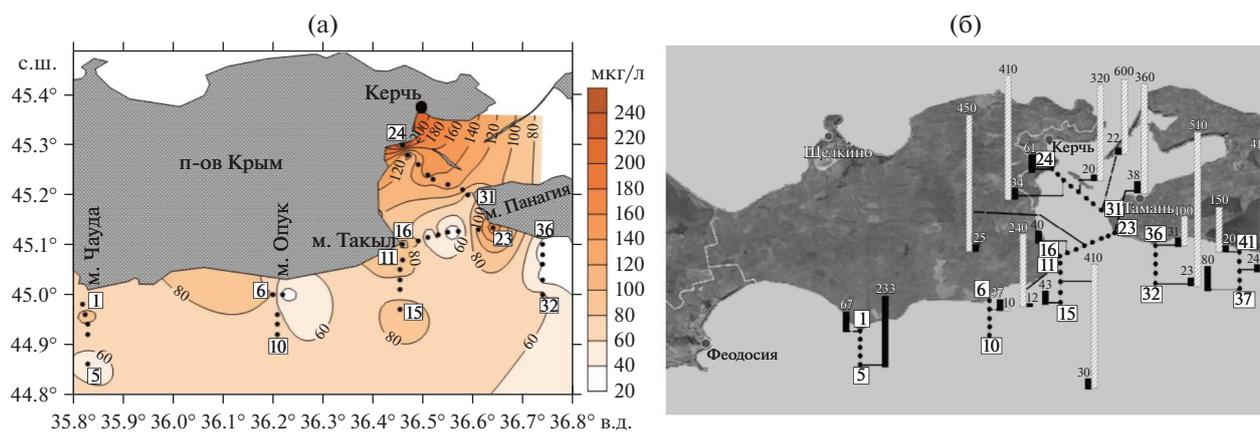


Рис. 5. Распределение в июле 2020 г.: (а) АУВ (мкг/л) во взвеси поверхностных вод, (б) АУВ (мкг/г, над черными столбцами) и ПАУ (нг/г, над белыми столбцами) в поверхностном слое донных осадков. В квадратах указаны номера станций.

как при поступлении нефтепродуктов повышается доля УВ в составе липидов.

Несмотря на столь высокое максимальное содержание АУВ в июле 2020 г. (253 мкг/л), их средняя концентрация (78 мкг/л) оказалась ниже по сравнению с данными 2019 г. (табл. 2). При этом выделяется, как и ранее, область высоких значений концентраций АУВ непосредственно в Керченском проливе.

Донные осадки Керченского пролива, представленные песчаными, ракушечными и галечными отложениями, отличались довольно высокими концентрациями АУВ как в пересчете на сухую массу (табл. 3), так и в составе $C_{\text{орг}}$. Наиболее высокие концентрации АУВ наблюдались также, как и в воде, непосредственно в Керченском проливе. Здесь в сентябре увеличивалась доля АУВ в составе $C_{\text{орг}}$ (1.2–2.4%). Напротив, в апреле только в донных осадках на прибрежных станциях возле мысов Опук и Чауда концентрации АУВ в составе $C_{\text{орг}}$ достигали 2.9–4.2%. В донных осадках остальных станций содержание АУВ не превышало 0.78%.

Концентрации тяжелых металлов и пестицидов достигали высоких значений в разных районах исследования. Результаты всех трех экспедиций показали превышение ПДК для максимальных концентраций **свинца, никеля, хрома и суммы пестицидов** в водах Керченского пролива (табл. 4).

В июле 2020 года среднее суммарное значение концентрации пестицидов превысило ПДК в несколько раз. Весной 2019 года в данном регионе было также зафиксировано превышение значения ПДК по кобальту.

Средняя концентрация **свинца** весной 2019 года не превышала ПДК и составляла 5.50 мкг/л (табл. 4, рис. 6а). Превышения ПДК были зафиксированы на разрезах возле мыса Чауда и мыса Опук. У мыса Такиль отбирались пробы с 5 горизонтов, и было отмечено превышение ПДК в придонном слое (13.25 мкг/л). Средняя концентрация свинца в сентябре 2019 года также не превышала ПДК (табл. 4, рис. 6б), однако превышения были зафиксированы на отдельных станциях в восточной части Керченского пролива. Летом 2020 года средняя концентрация свинца была наименьшей и составляла 3.19 мкг/л (табл. 4, рис. 6в). Так же как и весной 2019 года, были зафиксированы превышения ПДК на разрезах у мыса Чауда, мыса Опук и мыса Такиль в придонном слое (10.96 и 11.2 мкг/л).

Средняя концентрация **никеля** весной 2019 года существенно превышала ПДК и составляла 13.8 мкг/л (табл. 4, рис. 7а). Для исследованной акватории в целом характерен повышенный фон содержания никеля с концентрациями, превышающими значение ПДК или близкими к нему. Наиболее загрязненными никелем участки аква-

Таблица 3. Содержание органических соединений в донных осадках Керченского пролива

Год/месяц	АУВ, мкг/г		$C_{\text{орг}}$, %		АУВ, % $C_{\text{орг}}$	
	интервал	среднее	интервал	среднее	интервал	среднее
2019 г., апрель	1–50	21	0.02–1.34	0.49	0.35–4.25	0.90
2019 г., сентябрь	16–63	38	0.12–1.43	0.63	0.33–2.44	0.80
2020 г., июль	12–80	38	0.085–1.055	0.38	0.4–4.43	1.49

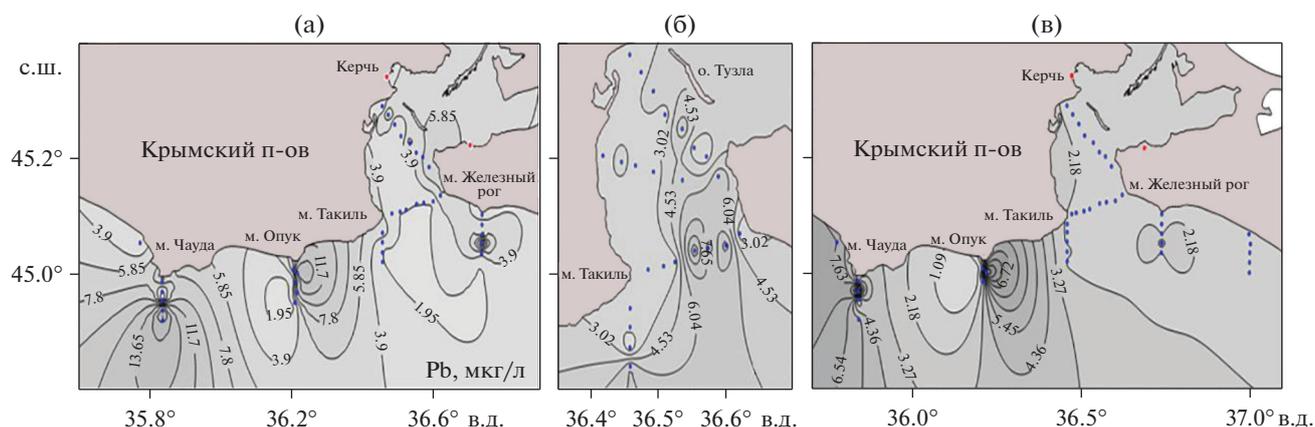


Рис. 6. Распределение свинца (мкг/л) на поверхности в апреле 2019 года (а), в сентябре 2019 года (б), в июле 2020 года (в).

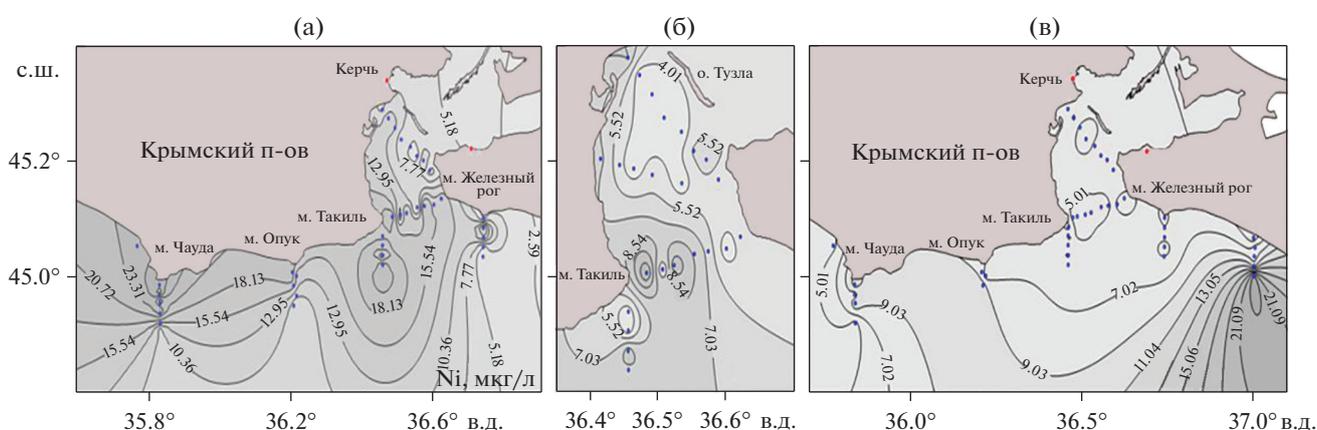


Рис. 7. Распределение никеля (мкг/л) на поверхности в апреле 2019 года (а), в сентябре 2019 года (б), в июле 2020 года (в).

тории находятся у мыса Чауда и мыса Железный рог. В сентябре 2019 года средняя концентрация никеля не превышала ПДК и составляла 5.73 мкг/л (табл. 4, рис. 7б). Повышенные концентрации зарегистрированы в юго-западной

части полигона исследований. В июле 2020 года средняя концентрация никеля составляла 6.47 мкг/л (табл. 4, рис. 7в). В Керченском проливе в этот период наблюдалась наиболее благоприятная обстановка по этому показателю. Превышение ПДК

Таблица 4. Содержание тяжелых металлов и пестицидов в воде в разные периоды исследований (серым цветом отмечено превышение ПДК)

Параметр	Интервал	Среднее	Интервал	Среднее	Интервал	Среднее	ПДК, мкг/л
	апрель 2019 г.		сентябрь 2019 г.		июль 2020 г.		
Медь, мкг/л	0.5–2.72	0.78	0.50–2.26	0.75	0.40–2.41	0.48	5
Цинк, мкг/л	1–11.80	4.33	0.20–4.85	1.14	0.20–19.41	3.44	50
Кадмий, мкг/л	0.20–2.20	0.55	0.20–1.83	1.03	0.20–2.51	0.55	10
Свинец, мкг/л	2.00–24.31	5.50	0.09–17.62	5.06	2.00–15.23	3.19	10
Никель, мкг/л	3.00–31.16	13.8	3.00–13.52	5.73	3.00–24.25	6.47	10
Хром, мкг/л	1.50–23.84	6.52	1.50–23.74	3.66	1.50–42.07	4.08	20
Кобальт, мкг/л	3.00–22.34	8.14	3.00–3.14	3.00	3.0–4.4	3.0	5
ΣХОП, нг/дм ³	0.10–34.30	5.58	0.1–9.2	2.1	1.5–286.5	46.0	10

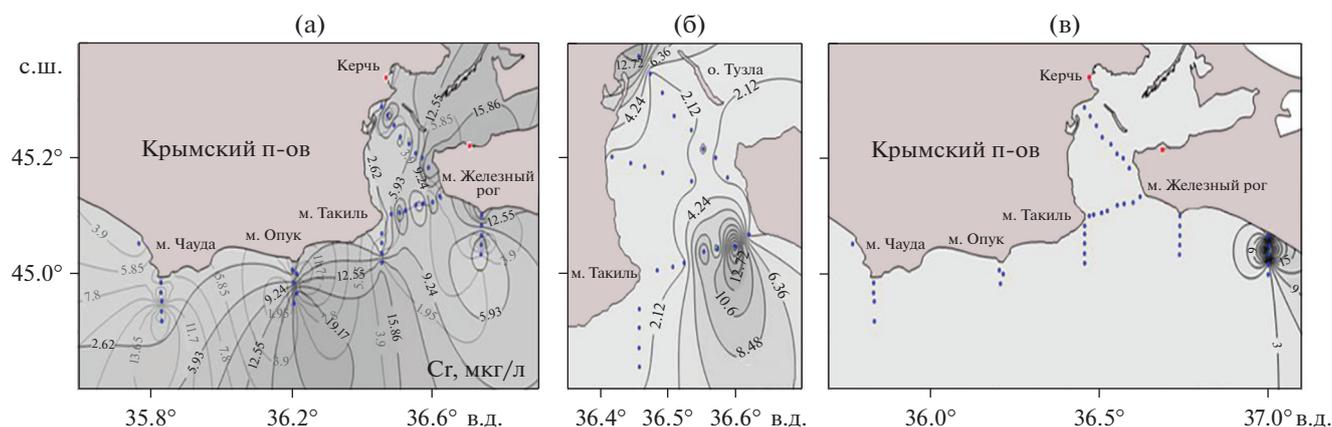


Рис. 8. Распределение хрома (мкг/л) на поверхности в апреле 2019 года (а), в сентябре 2019 года (б), в июле 2020 года (в).

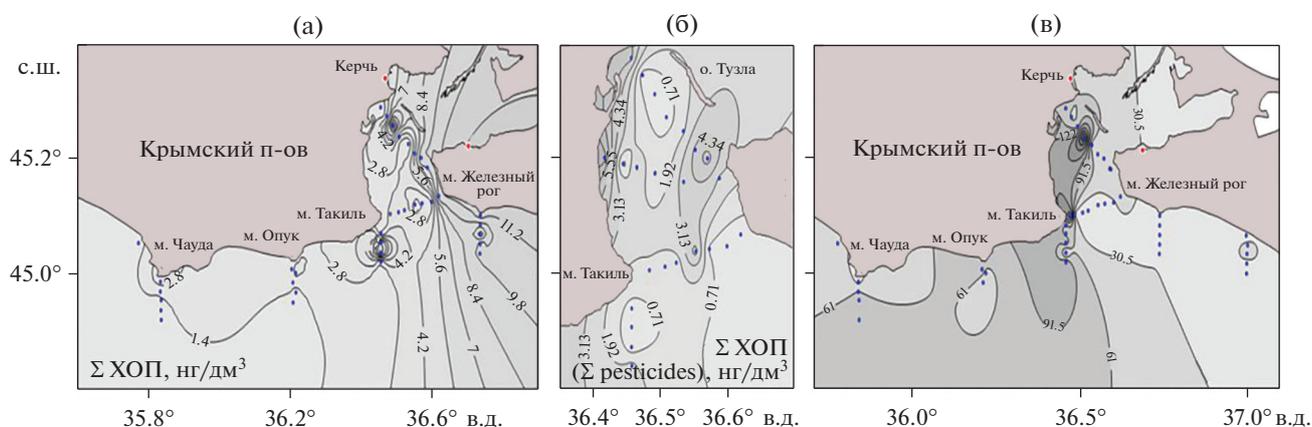


Рис. 9. Суммы всех пестицидов Σ ХОП (нг/дм³) на поверхности в апреле 2019 года (а), в сентябре 2019 года (б), в июле 2020 года (в).

зафиксировано лишь на самом восточном разрезе (до 24.35 мкг/л).

Средняя концентрация **хрома** весной 2019 года не превышала ПДК и составила 6.52 мкг/л (табл. 4, рис. 8а), однако зафиксированы локальные максимумы со значениями, превышающими ПДК. Наиболее загрязненные по этому показателю участки акватории приходятся на черноморские районы возле мысов Опук, Такиль и прибрежные станции вокруг Таманского полуострова. В сентябре 2019 года средняя концентрация хрома не превышала ПДК. Наиболее загрязненные участки акватории с превышением нормы находились в юго-восточной части Керченского пролива, а также у западного побережья пролива возле острова Тузла (рис. 8б). Превышение нормы загрязнения по хромом в июле 2020 года было зафиксировано только на отдельных станциях самого восточного разреза (табл. 4, рис. 8в).

Также следует отметить высокое содержание **кобальта** весной 2019 года (табл. 4). Здесь наблю-

далось существенное превышение ПДК для среднего значения концентрации по всему району исследования (8.14 мкг/л). Причем наиболее высокие концентрации отмечены в Керченском проливе и прилегающей области побережья Таманского полуострова.

Для распределения **суммы пестицидов** (Σ ХОП) на поверхности в сентябре 2019 года характерно превышение ПДК в Керченском проливе (табл. 4, рис. 9а). Следует отметить, что, как и для ряда металлов, максимальные значения содержания пестицидов зафиксированы в придонных горизонтах. В сентябре 2019 года среднее и максимальное значения Σ ХОП не превышали ПДК (табл. 4, рис. 9б), однако повышенные значения обнаружены в Керченском проливе возле острова Тузла. В июле 2020 года наблюдалось значительное превышение нормы Σ ХОП на всей обследованной акватории (табл. 4, рис. 9в). Наиболее высокие концентрации пестицидов наблюдались в западной части района исследований и в западной ча-

сти Керченского пролива. Следует отметить, что во время летней съемки 2020 года значения содержания пестицидов оказались значительно большими, чем во время предыдущих экспедиций.

Кроме вышеперечисленных загрязнений, к району пролива приурочены повышенные концентрации и других загрязнителей, таких как кадмий, медь, цинк, АПАВ.

Из наиболее загрязненных участков исследованной акватории в первую очередь следует выделить сам район Керченского пролива, где наблюдается наиболее интенсивное антропогенное воздействие и как следствие — накопление загрязнений. Непосредственно в проливе в первую очередь следует выделить район острова Тузла и западную оконечность Таманского п-ва (мыс Панагия), где наиболее часто наблюдаются зоны максимальных концентраций техногенных загрязнений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные в разное время года при разных гидрометеорологических условиях и разных условиях материкового стока через Керченский пролив натурные измерения дают представления как об общей гидрофизической структуре вод пролива и непосредственно прилегающих к нему акваторий Черного моря, уровне и распределении техногенного загрязнения в этом районе, так и об их сезонном ходе. Во все периоды измерений отмечены превышения ПДК, часто значительные, для ряда загрязнителей (углеводороды, отдельные металлы и пестициды). Установлено, что максимумы концентраций большинства загрязнителей, а также растворенного метана и минеральной взвеси, приурочены к плюму азово-морских вод, поступающих в Черное море через пролив, и, следовательно, их распределения формируются системой течений и стратификацией в проливе. Установлено также, что последняя имеет сложный характер. Как правило, струя азово-морских вод локализуется в верхнем слое в западной части пролива, а в восточной его части и в придонном слое западной части преобладают течения противоположного знака, выносящие более соленые черноморские воды в пролив. Соответственно, как термохалинные характеристики, так и поля концентраций загрязнителей обладают выраженной зональностью и по вертикальной, и по поперечной проливу горизонтальной координатам.

Как отмечалось в предыдущих исследованиях, структура гидрофизических и биогеохимических полей в районе Керченского пролива в конкретные моменты времени определяется прежде всего условиями ветрового форсинга, а также интенсивностью материкового стока. Этим объясняет-

ся, в частности, существенно сезонный характер загрязненности пролива и прилегающих акваторий — как правило, наиболее высокие концентрации большинства загрязнителей фиксируются весной, наименьшие — осенью. Однако интересно отметить, что если для металлов максимальные концентрации наблюдались весной, в период наиболее интенсивного материкового стока, то для пестицидов ярко выраженные максимумы отмечены летом. Можно предположить, что это связано с сезонным циклом сельскохозяйственных работ на береговых водосборах и увеличением поступления ХОП с поверхностным стоком с полей и виноградников в летний период. Следует отметить, что как для ряда металлов, так и для пестицидов максимальные или повышенные значения их содержания зафиксированы в придонных горизонтах.

Показано также, что содержание растворенного метана в водах Керченского пролива в среднем значительно выше, чем в прилегающих акваториях моря.

Благодарности. Авторы отдают дань светлой памяти безвременно ушедшего из жизни И.В. Гончаренко, который принимал самое активное участие в этой работе.

Источники финансирования. Измерения концентраций антропогенных загрязнителей в районе исследования выполнялись в рамках гранта РФФИ 18-05-80049, а оценки водообмена через Керченский пролив — в рамках проекта РНФ 21-17-00191.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бажин Н.М.* Метан в атмосфере // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 3. С. 52–57.
2. *Завьялов И.Б., Осадчиев А.А., Завьялов П.О. и др.* Исследование водообмена в Керченском проливе по историческим данным и данным контактных измерений 2019 г. // Океанология. 2021. Т. 61. № 3. С. 377–386. <https://doi.org/10.31857/S0030157421030199>
3. *Иванов А.Ю., Кучейко А.А., Филимонова Н.А. и др.* Пространственно-временное распределение пленочных загрязнений в Черном и Каспийском морях по данным космической радиолокации: сравнительный анализ // Исследование Земли из космоса. 2017. № 2. С. 13–25. <https://doi.org/10.7868/S0205961417020038>
4. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2019 / Под ред. Коршенко А.Н. М.: Наука, 2020. 184 с.
5. *Коновалов Б.В., Кравчишина М.Д., Беляев Н.А., Новигатский А.Н.* Определение концентрации минеральной взвеси и взвешенного органического вещества по их спектральному поглощению // Океанология. 2014. Т. 54. № 4. С. 704–711. <https://doi.org/10.7868/S0030157414040066>

6. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. М.: ИКИ РАН, 334 с.
7. Матишов Г.Г., Бердников С.В., Савицкий Р.М. Эко-системный мониторинг и оценка воздействия разливов нефтепродуктов в Керченском проливе. Аварии судов в ноябре 2007 г. ЮНЦ РАН, 2008. 80 с.
8. Немировская И.А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М.: Научный мир, 2013. 432 с.
9. Немировская И. А., Завьялов П.О., Коновалов Б.В., Храмова А.В. Содержание и состав углеводородов в воде и осадках в районе Керченского пролива // ДАН, Науки о Земле. 2020. Т. 492. № 1. С. 118–123. <https://doi.org/10.31857/S2686739720050175>
10. Немировская И.А., Онегина В.Д., Коновалов Б.В. Углеводороды во взвеси и осадках различных районов российского сектора Черного моря // МГЖ. 2017. № 4. С. 48–60. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2017-4-48-60>
11. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО, 2010. 179 с.
12. Современные методы гидрохимических исследований океана / Отв. ред. Бордовский О.К., Чернякова А.М. М.: ИО РАН, 1992. 201 с.
13. Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С., Гарькуша Д.Н., Хорошевская В.О. Метан в водных экосистемах. Ростов-на-Дону. Москва: ЗАО “Ростиздат”, 2005. 329 с.
14. Шимкус К.М., Москаленко В.Н., Райен В.Б. Газоносные четвертичные отложения Прикерченской части Черноморского шельфа и их связь с прибрежными литофациями // Бюл. Моск. О-ва испытателей природы, отд. Геол. 1998. Т. 73. Вып. 4. С. 51–55.
15. Шнюков Е.Ф., Пасынков А.А., Любицкий А.А. и др. Грязевые вулканы на Прикерченском участке шельфа и материкового склона Черного моря // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2010. № 3. С. 28–36
16. Aleskerova A.A., Kubryakov A.A., Goryachkin Y.N., Stanichny S.V. Propagation of waters from the Kerch Strait in the Black Sea // Phys. Oceanogr. 2017. V. 6. P. 47–57. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2017-6-53-64>
17. Monitoring of hazardous substances in the White Sea and Pechora Sea: harmonisation with OSPAR’s Coordinated Environmental Monitoring Programme (CEMP). Tromsø: Akvaplan-niva, 2011. 71 p.
18. Zavialov I.B., Osadchiev A.A., Sedakov R.O. et al. Water exchange between the Sea of Azov and the Black Sea through the Kerch Strait // Ocean Sci. 2020. V. 16. P. 15–30. <https://doi.org/10.5194/os-2019-2>

Assessment of Pollution of the Kerch Strait and the Adjacent Black Sea Area Based on Field Measurements of 2019–2020

P. O. Zavialov^{a, #}, I. B. Zavialov^a, A. S. Izhitskiy^a, E. S. Izhitskaya^a, B. V. Konovalov^a, V. V. Kremenskiy^a,
I. A. Nemirovskaya^a, V. K. Chasovnikov^a

^a*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

[#]*e-mail: i.zav@ocean.ru*

The paper presents the results of the analysis of the main pollutants (heavy metals, pesticides, detergents, hydrocarbons) in water, suspension and bottom sediments, as well as hydrophysical fields in the Kerch Strait and the adjacent Black Sea water area (2019–2020). In all seasons, the concentrations exceeded maximum permissible values, often significantly, for a number of pollutants such as hydrocarbons, some metals, and pesticides. The highest concentrations of pesticides were documented in summer, while those of other pollutants peaked in spring season. It was observed that maxima of the concentrations of most pollutants, as well as dissolved methane and mineral suspended matter, were generally confined to the plume of the Sea of Azov waters entering the Black Sea, and therefore their distributions were largely controlled by the currents and stratification in the Strait.

Keywords: pollution, heavy metals, pesticides, oil, hydrocarbons, methane, Kerch Strait, Black Sea