

Что происходит в Керченском проливе

И.А.Немировская¹, П.О.Завьялов¹

¹Институт океанологии имени П.П.Ширшова РАН (Москва, Россия)

Керченский пролив представляет собой коридор между Азовским и Черным морем. К сожалению, его по праву можно отнести к «горячим точкам» Черного моря. При изучении нефтяного загрязнения в Керченском проливе в 2019–2021 гг. во взвеси поверхностных вод были установлены значительные концентрации алифатических углеводородов: в среднем 91 мкг/л, что выше ПДК для нефтяных углеводородов (50 мкг/л) и выше значений в других районах Черного моря. В грубодисперсных осадках концентрации углеводородов также больше фоновых величин. Использование факторного анализа показало, что основной источник загрязнения — пирогенный (от сжигания топлива), в меньшей степени — нефтяной (от судоходства).

Ключевые слова: Керченский пролив, нефтяное загрязнение, алифатические и полициклические ароматические углеводороды, схема течений.



Научно-исследовательское судно «Ашамба».
Фото А.Б.Грабовского

Керченский пролив привлекает внимание не только присутствием самого большого (18 118.05 м железной дороги) моста в России, но и тем, что он представляет собой коридор между Азовским и Черным морем с интенсивным судоходством и рейдовой перевалкой грузов. Это акватория, где постоянно встречаются нефтяные пленки [1].

Предпосылки возникновения аварийных ситуаций

Черное море — одно из самых судоходных в Мировом океане. Только объем транспортировки нефти танкерами здесь оценивается примерно в 150 млн т/год, а экспорт всего российского черного золота через море составляет 23%, казахстанского — 74%, азербайджанского — 65%. Увеличение объемов перевалки нефти через терминалы Болгарии, Украины, Грузии, России, Румынии и Турции превратили Черное море в важный трансконтинентальный коридор. Строительство новых и реконструкция существующих терминалов причерноморских стран в ближайшее десятилетие приведет к росту ежегодных объемов перевозок жидкого топлива в этом бассейне до 220–250 млн т, что создаст потенциальную угрозу возникновения аварийных ситуаций. Одновременно отмечается рост объемов перевалки нефти на подходе к черноморскому устью Керченского пролива. С учетом удельной аварийной потери 30 т на 1 млн т перевозимой нефти суммарный объем аварийных разливов при штатных операциях может составлять ≈4500 т/год. При этом следует ожидать один разлив объемом более 140 т и 0.2 объемом 5 тыс. т ежегодно. Аварийные потери надо как минимум удвоить за счет сопутствующих источников поступления нефти в морскую среду: операций с балластными водами, погрузки и разгрузки в портах и регламентированных сбросов нефтесодержащих отходов. Еже-



Инна Абрамовна Немировская, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института океанологии имени П.П.Ширшова РАН (ИО РАН). Область научных интересов — природные и антропогенные углеводороды в океане. Участвовала в многочисленных морских экспедициях, в том числе — в Арктику и Антарктику. Постоянный автор «Природы». e-mail: nemir44@mail.ru



Петр Олегович Завьялов, член-корреспондент РАН, доктор географических наук, заместитель директора того же института. Область научных интересов — гидрофизика, взаимодействие океана с материковым стоком, антропогенные процессы в Мировом океане. Участник экспедиций в Северную и Южную Атлантику, Арктику, в Черное, Каспийское, Аральское и другие моря. e-mail: peter@ocean.ru

годный поток нефти со всеми видами ее потерь при танкерных перевозках в Черном море можно принять равным ≈9 тыс. т [2].

Согласно спутниковым данным, наибольшему загрязнению в российской части Черного моря подвергается акватория в районе порта Новороссийск и Керченское предпроливье [3]. Даже на удалении в 40–50 км от этих районов почти постоянно можно видеть нефтяные пленки (рис.1). Однако зачастую суда многократно сбрасывают загрязненные воды на протяжении десятков километров своего пути.



Рис.1. Сводная карта нефтесодержащих судовых сбросов в Черное море, обнаруженных спутниковой радиолокацией в 2009–2012 гг. [3].

Под воздействием ветра и волн нефтяная пленка растекается, сбивается в мазутно-битумные комки, которые выбрасываются на черноморские пляжи.

Побережье, примыкающее к Керченскому проливу, характеризуется высокой плотностью населения, развитой городской и промышленной инфраструктурой. Дополнительное загрязнение акватории пролива вносят дноуглубительные работы, сопровождающиеся выемкой грунта, а также природные высачивания нефти из донных осадков [4]. При обобщении многолетних спутниковых наблюдений поверхности Черного моря были выделены районы, в которых регулярно наблюдаются пленочные образования, внешне схожие с судовыми сбросами вод, но имеющие ряд особенностей. Они отличаются большими размерами, своеобразной геометрической формой и относительным географическим постоянством мест их проявления. Скорее всего, распределение таких пленок обусловлено высачиванием углеводородов (УВ) из толщи осадков (грязевые и флюидные потоки), а также наличием газгидратов [4, 5]. В Черном море обнаружены струйные газовыделения, холодные метановые сипы по периметру свала глубин и в глубоководной части (рис.2, 3). Районы локализации глубоководных грязевых вулканов располагаются и в Керченском предпроливье, где отмечаются повышенные концентрации растворенного в морской воде метана.

Керченский пролив, преимущественно в осенне-зимний период, представляет собой значительную опасность для судоходства, которая определяется природными факторами: узостью и мелководностью, изменчивостью ветрового режима, сильными штормами, реверсивными течениями, а в зимнее время — ледовитостью. К сожалению, здесь уже случались аварийные разливы. Наиболее крупная экологи-

ческая катастрофа произошла в ноябре 2007 г., когда через Керченский пролив пронесся сильный ураган со скоростью ветра до 28–32 м/с, а его направление практически совпало с осью пролива. При шторме с волнением 6–7 баллов в проливе затонули четыре сухогруза: «Вольногорск», «Нахичевань», «Ковель», «Хачь Измаил». Были сорваны

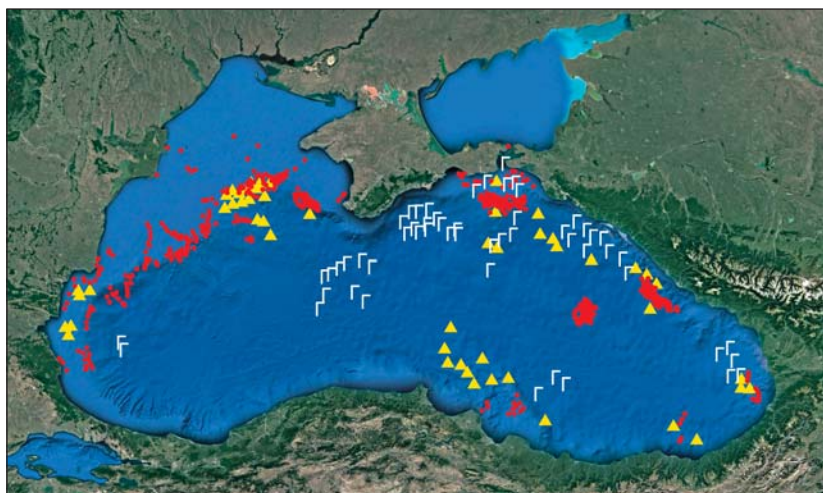


Рис.2. Карта-схема распределения метановых газовыделений в Черном море. Красные точки — задокументированные метановые выделения, желтые треугольники — выходы нефти и газа на поверхность, Г — грязевые вулканы [4].

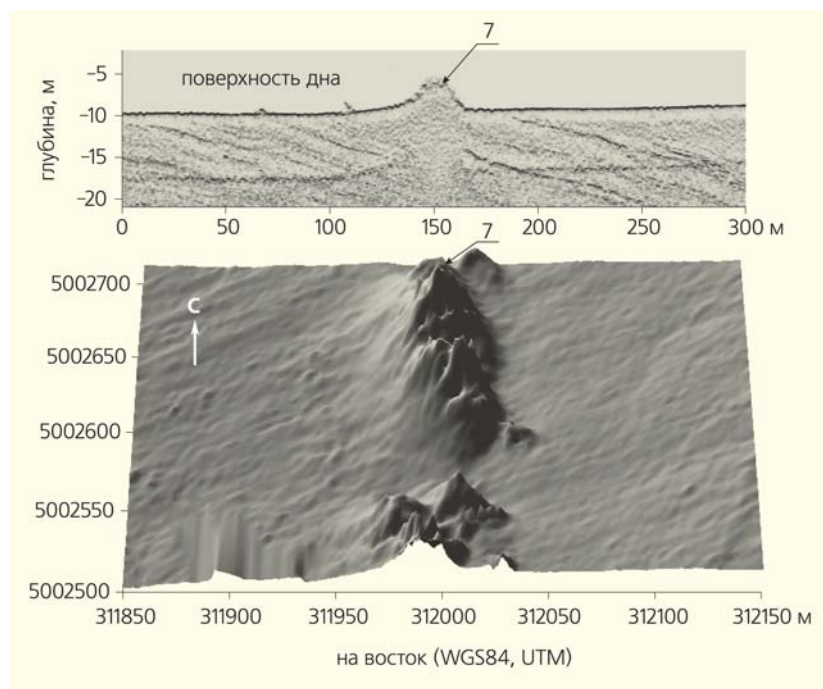


Рис.3. Разрез донных отложений, полученный с помощью акустического профилографа, и гипсометрическое изображение поверхности дна в районе Таманского п-ова [5]. Метановые сипы обнаружены в различных районах Черного моря. Они были установлены и в окрестностях Таманского п-ова.



Рис.4. Последствия аварийного разлива нефти танкера «Волgoneфть–139» в Керченском проливе [6].

с якорей и сели на мель сухогрузы «Вера Волошинская» (Украина), «Зияя Кос» (Турция), «Капитан Измаил» (Турция), а также баржи «Дика», «Диметра» и плавкран «Севастополь». Получил повреждения танкер «Волgoneфть-123», а танкер «Волgoneфть-139» разломился и затонул. Его заякоренная носовая часть осталась на месте, а корму ветром и течениями отнесло к о. Тузла и выбросило на мель. Разбушевавшийся шторм с огромными волнами опрокидывал многовековые деревья, которые полностью оказались в вязком мазуте. По данным космического мониторинга, площадь разлива превышала 100 км², там вылилось около 2 тыс. т мазута. Только в феврале 2008 г. экологи отпустили на свободу десятки диких птиц (рис.4), которых удалось спасти, популяция же дельфинов после этой катастрофы долго не могла восстановиться.

11 августа 2021 г. произошел разлив нефти у побережья поселка Южная Озереевка (в 170 км от Керченского пролива), где танкер под греческим флагом принимал нефть на терминале Каспийского трубопроводного консорциума. Спутниковый снимок, сделанный через четыре дня после аварии, показал, что размер нефтяного пятна составлял 80 км² и оно простиралось от берега в открытое море на 19 км.

Современный уровень загрязнения Керченского пролива

Для того чтобы установить степень загрязнения пролива, были проведены экспедиции с гидрофизическими исследованиями, отбором проб воды и донных осадков (рис.5, 6), в которых определяли содержание основных загрязняющих веществ, в том числе алифатических и полициклических

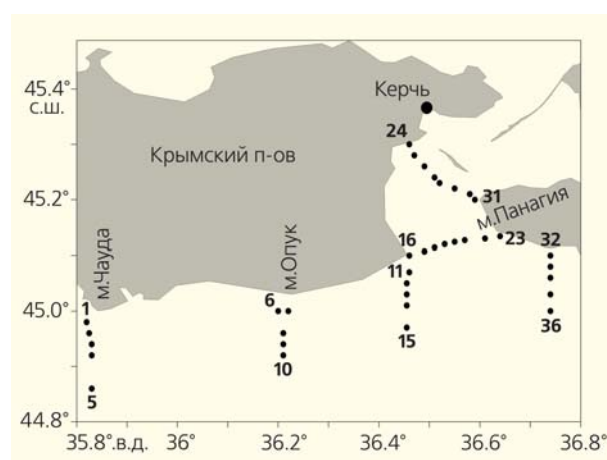


Рис.5. Схема отбора проб в акватории Керченского пролива. Числа — номера станций.



Рис.6. Работа экспедиции на научно-исследовательском судне «Ашамба» в Керченском проливе.

Фото А.Б.Грабовского

ароматических углеводородов (ПАУ). Использовались традиционные методы, принятые при анализе нефтяных и биогенных углеводородов [7, 8]. В каждой съемке пробы отбирали на одних и тех же станциях.

В водной толще наиболее высокие концентрации алифатических углеводородов (102 мкг/л, в среднем) и взвеси (1.9 мг/л, в среднем) были установлены в поверхностных горизонтах летом 2019 г. (табл.1). После окончания строительства Крым-

Таблица 1

Концентрации органических соединений и взвеси в поверхностных водах в различных районах Черного моря

Месяц, год	Алифатические углеводороды, мкг/л		Липиды, мкг/л		Хлорофилл «а», мкг/л		Взвесь, мг/л	
	интервал	среднее	интервал	среднее	интервал	среднее	интервал	среднее
	Керченский пролив							
Апрель, 2019	69–186	102	91–266	141	0.13–2.89	0.76	0.51–3.21	1.39
Сентябрь, 2019	55–138	93	95–213	159	0.13–1.55	0.46	0.32–3.48	0.99
Июль, 2020	28–254	78	59–449	137	0.03–0.66	0.18	0.66–2.43	1.18
Июль, 2021	32–214	74	81–316	133	0.20–3.39	0.78	0.36–3.48	1.20
	Феодосийский залив							
Май, 2015	14–90	35	32–213	83	0.03–0.28	0.12	0.44–2.38	1.20
Май, 2016	16–179	64	54–300	131	0.21–0.45	0.32	0.38–1.57	0.90
Сентябрь, 2016	19–92	51	47–326	134	0.17–0.81	0.42	0.40–2.22	1.14
Май, 2017	11–29	18	59–125	87	0.13–0.26	0.20	0.28–1.10	0.66
	район г.Туапсе, устье р.Псеузапсе							
Май—июнь, 2018	29–288	99	16–32	26	0.18–0.27	0.24	0.46–1.86	0.76
	район г.Туапсе, устье р.Туапсе							
Май—июнь, 2018	19–275	76	39–1136	241	0.32–6.41	1.91	0.65–16.2	3.69
Декабрь, 2018	16–51	32	53–113	78	не определяли		0.16–0.62	0.30
	Большой Сочи							
Май, 2013	19–238	58	58–743	185	0.14–0.37	0.27	1.38–31.57	8.07
Май, 2014	4–675	49	9–876	120	0.25–2.46	1.05	1.16–8.69	3.16
Июнь, 2015	14–33	24	28–119	63	0.06–0.54	0.19	1.45–31.1	12.25
	центральная часть Черного моря							
Сентябрь, 2015	9–21	14	24–47	37	0.01–0.22	0.14	0.24–0.38	0.28

ского моста, с апреля к сентябрю, количество взвеси резко уменьшилось, затем ее содержание практически не менялось. Следует отметить, что и в акватории г.Сочи после окончания строительства олимпийских объектов концентрация взвеси в мае 2014 г. по сравнению с маем 2013 г. также уменьшилась более чем в 2.5 раза.

Самые высокие концентрации содержания УВ отмечались на поперечном разрезе через Керченский пролив. В частности, в апреле 2019 г. их величины изменялись в интервале 110–160 мкг/л, а в Феодосийском заливе — от 70 до 110 мкг/л (рис.7). Аккумуляция углеводородов, так же как и взвеси, происходила в западной части пролива, что связано с преимущественным направлением ветра и орографией берега.

В Керченском проливе повышена доля углеводородов в составе липидов: в среднем 72% по сравнению с 38% в центральной части моря. Даже при самых низких концентрациях их значения превышали фоновые величины (обычно >20 мкг/л) [8]. Косвенно это может указывать на присутствие нефтяных

загрязняющих веществ, так как при их поступлении в составе липидов возрастает доля углеводов.

Однако, несмотря на столь высокие концентрации, состав алканов (фракция углеводородов, по которой определяют их происхождение) не соответствовал плавному распределению гомологов, характерному для нефтяных УВ. В большинстве проб их распределение бимодально, с максимумами в низкомолекулярной и высокомолекулярной областях, что может говорить о смешенном генезисе углеводородов (рис.8). В низкомолекулярной области выделялись пики либо четных алканов ($n\text{-C}_{16}$, $n\text{-C}_{18}$, $n\text{-C}_{22}$), которые возникают при микробной трансформации углеводородов, либо алканов $n\text{-C}_{15}$ и $n\text{-C}_{17}$, указывающих на включения фито- и зоопланктона. Низкомолекулярные гомологи, образующиеся в море (автохтонные), доминировали только на станциях 23 и 24. В среднем отношение низкомолекулярных гомологов к высокомолекулярным $(L/H) = \Sigma(C_{9-24})/\Sigma(C_{25-35})$ составило 0.76, что указывает на преимущественное содержание высокомолекулярных терригенных ал-

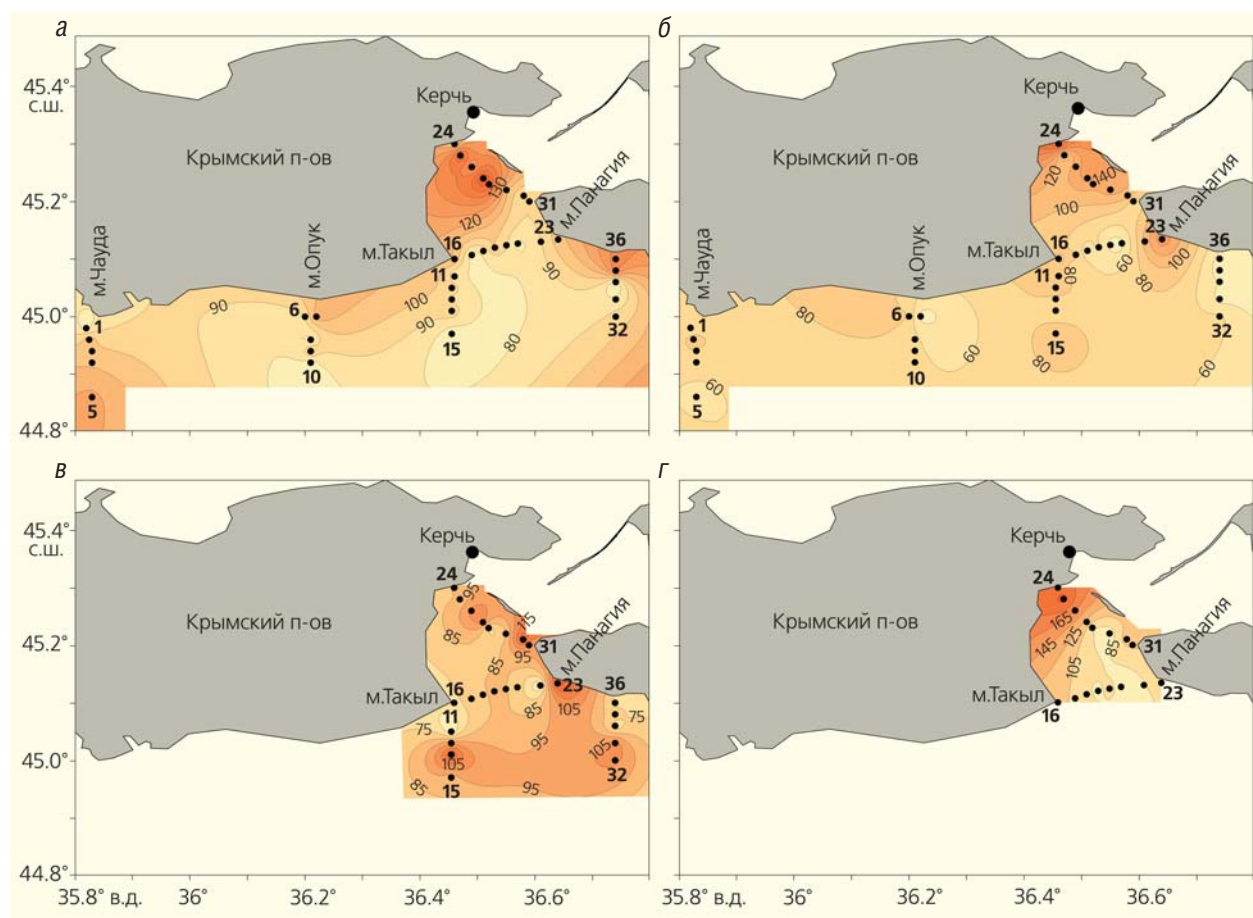


Рис.7. Распределение концентраций алифатических углеводородов во взвеси поверхностных вод в разные годы исследования: а — в апреле 2019 г., б — в сентябре 2019 г., в — в июле 2020 г., г — в июле 2021 г. Жирными числами показаны номера станций.

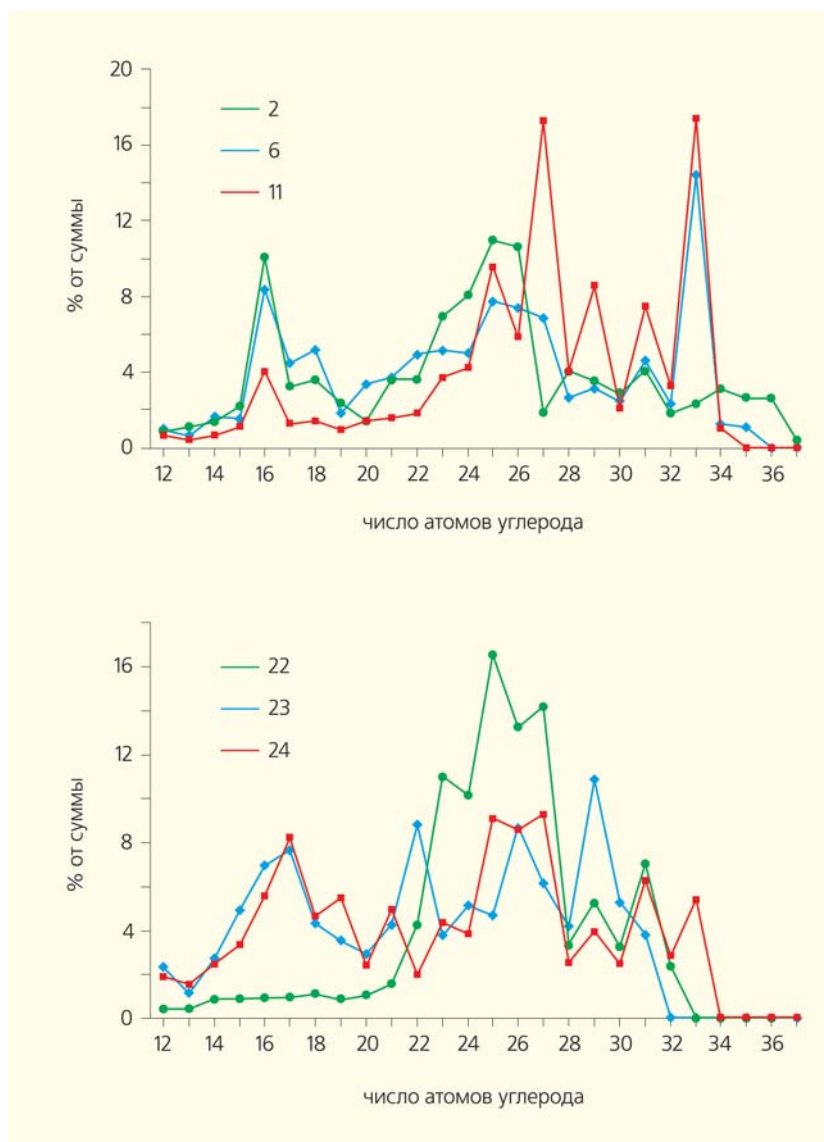


Рис.8. Состав алканов поверхностных вод на различных станциях в акватории Керченского пролива в августе 2021 г. Местоположение станций приведено на рис.5.

канов. Среди изомеров фитан ($i\text{-C}_{20}$), имеющий в основном нефтяное происхождение, преобладал над пристаном (C_{19}), который синтезируется водорослями.

Суммарные концентрации ПАУ в поверхностных водах, определенные флуоресцентным методом, в 2020 г. изменялись от 0.250 до 1.040 мкг/л. Их содержание было значительно ниже концентраций алифатических углеводородов. ПАУ распространены в природе в меньшей степени, и в нефтях их содержание, как правило, также ниже, чем алифатических углеводородов [8, 9]. Основным источником полициклических ароматических углеводородов — продукты сгорания топлива и нефтяное загрязнение.

Алифатические углеводороды главным образом синтезируются планктонными организмами (поэтому преобладает $n\text{-C}_{17}$) и относятся к доминирующему классу среди углеводородов в нефтях. Из-за различных источников эмиссии распределение концентраций алифатических УВ и ПАУ совпадало только в общих чертах. Повышенные величины ПАУ также фиксировались в западной части пролива, с максимумом на станции 24. Таким образом, значимой корреляции между распределением этих углеводородных классов не наблюдалось. ПАУ более устойчивы к разложению по сравнению с другими УВ, и в последнее время их чаще определяют при изучении загрязнения водоемов нефтью [9, 10].

Донные осадки Керченского пролива представлены в основном крунозернистыми отложениями. Довольно узкая мелководная прибрежная полоса сложена песками с ракушками, которые распространяются до глубин 3–5 м. Как следствие, содержание в осадках $\text{C}_{\text{орг}}$ оставалось низким. Его концентрации варьировали в интервале 0.02–1.43%, составляя в среднем 0.45%. Несмотря на то что в разные сезоны пробы старались отбирать на одних и тех же станциях, от съемки к съемке состав поверхностного

слоя осадков различался (табл.2). В июле 2020 г. среднее содержание $\text{C}_{\text{орг}}$ (0.34%) было в 1.8 раза ниже, чем в сентябре 2019 г. (0.63%), а алифатических углеводородов (47 мкг/г), наоборот, — в 2.2 раза выше (21 мкг/г), чем в апреле 2019 г., с максимальной средней концентрацией как углеводородов (58 мкг/г), так и $\text{C}_{\text{орг}}$ (0.72%) в июле 2021 г.

Гранулометрический тип осадков обычно оказывает основное влияние на концентрации органических соединений [8]. Была установлена связь в распределении $\text{C}_{\text{орг}}$ и влажности осадков, зависящей от их состава. Коэффициенты корреляции (r) между этими параметрами для разных сезонов в поверхностном слое изменялись от 0.62–0.68 (в июле 2020 и 2021г.) до 0.87 (в сентябре 2019 г.).

Таблица 2

Содержание органических соединений в поверхностном слое донных осадков

Месяц, год	Количество проб	Алифатические углеводороды, мкг/г		C _{орг} , %		Алифатические углеводороды, %	
		интервал	среднее	интервал	среднее	интервал	среднее
		Керченский пролив					
Апрель, 2019	17	1–50	21	0.02–1.34	0.49	0.35–4.25	0.90
Сентябрь, 2019	11	16–63	38	0.12–1.43	0.63	0.33–2.44	0.80
Июль, 2020	20	12–233	37	0.08–0.68	0.34	0.40–9.38	1.93
Июль, 2021	13	42–126	58	0.10–1.60	0.72	0.39–3.93	1.17
		Феодосийский залив					
Май, 2015	9	17–80	33	0.39–1.16	0.88	0.17–0.73	0.35
Май, 2016	16	3–95	35	0.18–1.30	0.92	0.11–0.63	0.31
Май, 2017	18	9–31	26	0.42–1.22	0.73	0.14–0.50	0.30
		прибрежная акватория Крымского п-ова					
Декабрь, 2017	5	36–64	47	1.10–4.40	3.10	0.09–0.28	0.17
Декабрь, 2018	10	27–147	56	0.23–2.06	0.23	0.17–1.07	0.45
		район г.Туапсе					
Май—июнь, 2018	10	5–358	71	0.30–14.21	3.00	0.08–0.37	0.18

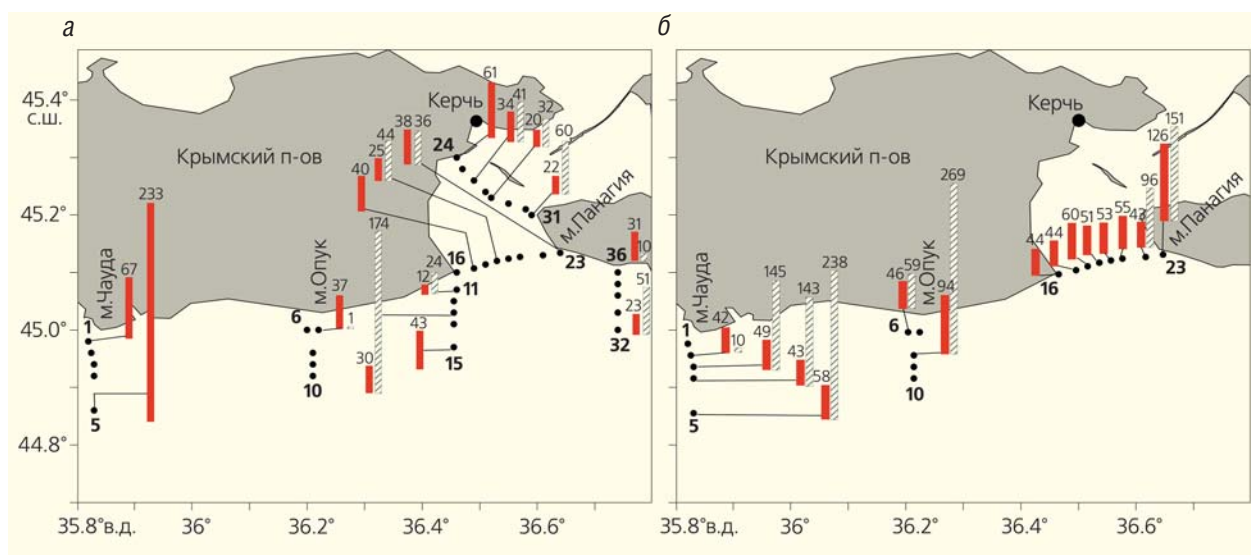


Рис.9. Распределение концентраций (числа над столбцами) алифатических углеводородов (красные столбцы, мкг/г) и ПАУ (заштрихованные столбцы, нг/г) в поверхностном слое донных осадков: а — в июле 2020 г., б — в июле 2021 г. Жирными числами показаны номера станций.

В донных осадках наиболее высокое содержание углеводородов установлено не в проливе, а на станциях с алевроито-пелитовыми отложениями (рис.9), что обусловлено схемой течений в этих районах и более высокой сорбционной способностью мелкодисперсных осадков. В таких областях отмечаются и более высокие концентрации алифатических углеводородов в составе $C_{\text{орг}}$ ($\leq 1\%$, см. табл.2). Для сравнения: относительное их содержание в составе $C_{\text{орг}}$ осадков Феодосийского залива и в устьевых участках рек (Туапсе, Псеузапсе и Шахе) вблизи г.Туапсе было значительно ниже (в среднем 0.32%

и 0.18% соответственно). Наиболее высокая средняя концентрация алифатических УВ в составе $C_{\text{орг}}$ установлена в осадках Керченского пролива в июле 2020 г. (1.93%, см. табл.2). В незагрязненных осадках доля углеводородов в составе $C_{\text{орг}}$ составляет менее 1% [8].

Состав алканов донных осадков отличался от их состава во взвеси пониженным содержанием низкомолекулярных гомологов (рис.10,а). В процессе седиментации автохтонные алканы (так же, как и четные) разлагаются. Таким образом, отношение низкомолекулярных алканов к высокомолекуляр-

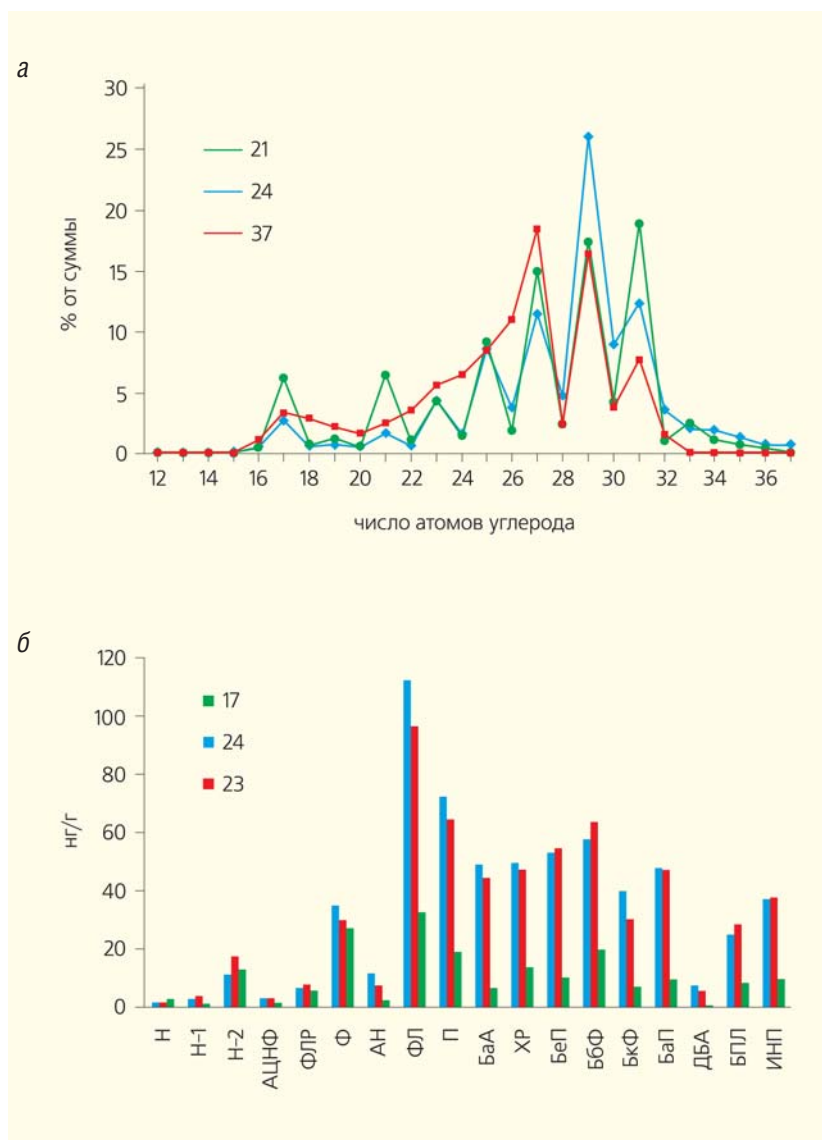


Рис.10. Состав алканов (а) и ПАУ (б) на отдельных станциях в Керченском проливе. Н — нафталин, Н-1 — 1-метилнафталин, Н-2 — 2-метилнафталин, АЦНФ — аце-нафтен, ФЛР — флуорен, Ф — фенантрен, АН — антрацен, ФЛ — флуорантен, П — пирен, БаА — бенз(а)антрацен, ХР — хризен, БеП — бенз(е)пирен, БбФ — бенз(б)флуорантен, БкФ — бенз(к)флуорантен, БаП — бенз(а)пирен, ДБА — ди-бенз(а, h)антрац, БПЛ — бенз(g, h, i)перилен, ИНП — индено[1,2,3-с, d]пирен.

ным в донных осадках по сравнению со взвесью ниже, а отношение нечетных к четным — выше, и их состав не соответствует нефтяному распределению.

Содержание ПАУ в донных осадках изменялось и в зависимости от времени исследования: в 2020 г. — в интервале 8–96 нг/г, а в 2021 г. в интервале 2–269 нг/г. При этом так же, как и во взвеси поверхностных вод, отсутствовала связь в распределении алифатических углеводородов и ПАУ ($r = 0.20$). Гранулометрический тип осадка в меньшей степени влиял на состав ПАУ: макси-

мальное их содержание установлено на станции 31 в песчанистом осадке с ракушкой при влажности 16.5%.

Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в составе ПАУ донных осадков акватории Керченского пролива было определено 18 индивидуальных полиаренов, с доминированием флуорантена и пирена (рис.10, б), что может указывать в основном на их пирогенный источник. Однако повышенные концентрации 2-метилнафталина, маркирующего нефтяные углеводороды, свидетельствуют об их поступлении с нефтяным загрязнением. Последнее характерно для донных осадков непосредственно в Керченском проливе, где доля нафталинов в составе ПАУ колеблется от 14.6 до 23.0%. Несколько ниже их концентрации у мыса Чауда на станции 1 (в разные сезоны от 7.9 до 8.4%).

Несмотря на широкий диапазон концентраций суммы ПАУ, корреляционный анализ показал наличие тесных связей между индивидуальными полиаренами. Минимальная связь с суммой ПАУ присуща нафталину и его гомологам — наиболее легким, летучим и растворимым из идентифицированных полиаренов. Для имеющегося массива данных проводился расчет индикаторных соотношений индивидуальных ПАУ, что позволило определить их происхождение [11]. Большая часть маркеров указывала на пирогенную эмиссию поли-

лиаренов во взвесах и в донных осадках. Часть маркеров свидетельствовала о смешанном (пирогенном + петрогенном) происхождении полиаренов.

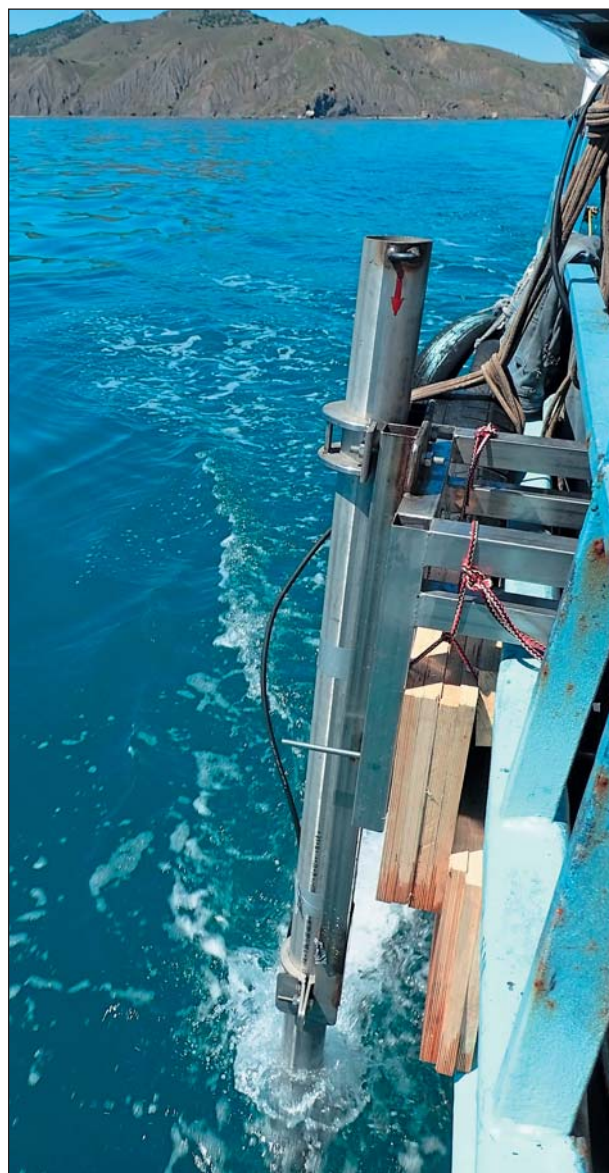
Подводя итог, можно заключить, что по результатам проведенных исследований (рис.11) установлены значительные концентрации углеводородов во взвеси поверхностных вод на разрезе через Керченский пролив (см. рис.7). Согласно ежемесячному мониторингу, проводимому Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [7], с апреля по октябрь

2019 г. на четырех станциях между портами Крым и Кавказ средняя концентрация алифатических углеводородов в растворенной форме составила 49 мкг/л (практически 1.0 ПДК), т.е. была в два раза ниже по сравнению с нашими данными (см. табл.1). Это обусловлено тем, что в прибрежных акваториях, где много взвеси, такие гидрофобные соединения, как углеводороды, содержатся преимущественно во взвешенной форме. Тем не менее значения, превышающие 1 ПДК в растворенной форме, были зафиксированы в 54 пробах из 192 (28%) во все месяцы наблюдений. Они оставались примерно одинаковыми в поверхностном и в придонном горизонтах [7]. Содержание взвеси в Керченском проливе также было выше, чем в других исследуемых нами акваториях Черного моря. Так, в июле 2020 г. в Феодосийском заливе при средней концентрации взвесей 1.30 мг/л концентрация минеральной взвеси составляла 1.10 мг/л, а органической взвеси — 0.16 мг/л. В Керченском проливе эти величины составили: 1.7, 1.5 и 0.21 мг/л соответственно, с максимумом на станции 24. Керченский пролив выделялся и сезонными изменениями изучаемых соединений.

Несмотря на столь высокие концентрации, трансформация нефтяных углеводородов в морской среде и на границе вода—дно приводит к радикальному изменению их первоначального химического состава. В основном подобные процессы происходят за счет потери легких фракций и растворения [8, 9]. В результате состав алканов не соответствовал нефтяному. Первыми при микробной трансформации нефтяных УВ исчезают алканы, затем изоалканы, при этом увеличивается роль нафтоароматических соединений. Кроме того, было установлено, что нефтяные углеводороды в определенных концентрациях способствуют интенсификации биохимических процессов [8] и их вторичному синтезу.

В Керченском предпроливье благодаря малой сорбционной емкости грубодисперсных осадков, наоборот, концентрации углеводородов в них оказались более низкими или сопоставимыми с таковыми в других местах Черного моря (см. табл.2). В частности, если в исследуемом нами районе содержание ПАУ не превышало 269 нг/г, то в илистых осадках румынского шельфа их концентрации ($\Sigma 16$ ПАУ) изменялись в интервале 141–6983 нг/г, а в Стамбульском проливе ($\Sigma 8$ ПАУ) — в интервале 0.4–1703 нг/г [12].

В силу своих структурных особенностей ПАУ наиболее репрезентативно отражают кинетику процессов вертикальной и горизонтальной миграции естественных и антропогенных потоков угле-



Керченский пролив. Идет определение скорости течения.

Фото А.Б.Грабовского

водородов [11]. Индикаторные соотношения состава ПАУ, применяемые для выявления источников антропогенного загрязнения в Керченском проливе, указали в качестве основного источника высокотемпературные процессы сжигания топлива. В большинстве проб был определен пирогенный генезис ПАУ, т.е. углеводороды поступали в составе продуктов сгорания топлива при движении судов. Этот же вывод был сделан и при исследовании черноморского шельфа Румынии [12], где соотношения маркеров в составе ПАУ донных осадков показали, что источником загрязнения служили высокотемпературные пиролитические процессы. При этом донные осадки Черноморского секто-

ра Азии, по данным 2011–2012 гг., также классифицировались как загрязненные (17% проб) и сильно загрязненные (65%). Это говорит о том, что состав УВ донных осадков отражает не столько природу исходного органического вещества, сколько результат дифференциации УВ в седиментогенезе, т.е. процессы сорбции и биотрансформации. В сравнительно мягких условиях образования сырых нефтей формируются преимущественно алкилзамещенные низкомолекулярные арены, такие как нафталин и его гомологи. Их доля в июле 2020 г. на станции 28 достигла 23%, что может свидетельствовать о смешанном генезисе полиаренов.

Гидрологические исследования

Изучение гидрологии пролива показало, что характер течения через пролив мало зависит от речного стока в Азовское море [13]. Направление течения определяется ветровым воздействием в данный и предшествующий промежутки времени и наклоном уровня поверхности в проливе, т.е. разностью высот поверхности Черного и Азовского морей. Обычно течения противоположных знаков дифференцируются не по вертикали, а по горизонтали. Вследствие действия силы Кориолиса более пресная вода, втекающая с севера из Азовского моря, прижимается к западному берегу Керченского пролива, а более соленая черноморская вода одновременно протекает восточнее. Модельные расчеты показали, что в 47% случаев в проливе формируется однонаправленное течение из Азовского моря в Черное, в 41% случаев — однонаправленное из Черного в Азовское, а в 12% случаев западная и восточная части пролива заняты течениями противоположного знака (рис.12). Особенности циркуляции вод в Керченском предпроливье и неоднородность поля скоростей в поперечном сечении пролива способствуют концентрированию большинства загрязняющих веществ не только в самом проливе, но и в западной части исследованного района, у мысов Чауда и Такыл [11, 13]. Кроме того, было показано, что загрязнения из района Керченского пролива могут вовлекаться в Основное Черноморское течение и переноситься по всему круговороту 5–7 мес.

Авторы искренне благодарны своим коллегам из ИО РАН, принимавшим участие в экспедициях: А.Б.Грабовскому, Б.В.Коновалову, П.В.Хлебопашеву и Ф.В.Сапожникову, а также Е.А.Румянцевой и А.В.Храмцовой — за помощь в проведении анализов и оформлении этой статьи.

Исследования проводились в рамках государственного задания (тема №0128-2021-0016), экспедиции — при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-05-80049), обобщение материалов — при поддержке Минобрнауки России (соглашение №075-15-2021-941).



Рис.12. Схема течений (показаны стрелками) в Керченском проливе и зоны расположения основных загрязнений [13].

* * *

В заключение подчеркнем, что в ходе проведенных исследований наиболее высокие концентрации углеводородов во взвеси поверхностных черноморских вод установлены на разрезе через Керченский пролив (см. рис.7 и табл.1). Керченский пролив по праву можно отнести к «горячим точкам» Черного моря. Состав ПАУ здесь позволяет оценить загрязнение в основном как пирогенное, в меньшей степени — как нефтяное, подвергшееся трансформации. Наиболее вероятный источник загрязнений — поступление УВ при сжигании судового топлива. ■

Литература / References

1. 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: 13–25. [Ivanov A.Yu., Kucheiko A.A., Filimonova N.A. et al. Spatial-temporal distribution of film pollution in the Black and Caspian seas according to space radar data: a comparative analysis. Exploration of the Earth from space. 2017; 2: 13–25. (In Russ.).]
2. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. Т.1. М., 2017. [Patin S.A. Oil and Ecology of the Continental Shelf. V.1. Moscow, 2017. (In Russ.).]
3. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. М., 2016. [Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Kostyanov A.G. Satellite Methods for Identifying and Monitoring Zones of Ecological Risk in Marine Areas. Moscow, 2016. (In Russ.).]
4. Шныков Е.Ф., Пасынков А.А., Любичский А.А. и др. Грязевые вулканы на Прикерченском участке шельфа и материкового склона Черного моря. Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2010; 3: 28–36. [Shnyukov E.F., Pasyunkov A.A., Lyubitskiy A.A., et al. Mud volcanoes in the Prikerchensky area of the shelf and the continental slope of the Black Sea. Geology and Mineral Resources of the World Ocean. 2010; 3: 28–36. (In Russ.).]
5. Каевитцер В.И., Римский-Корсаков Н.А., Смольянинов И.В. и др. Возможные проявления подводных грязевых вулканов по результатам гидролокационных исследований в акватории Таманского полуострова. Океанология. 2016; 56(5): 784–790. [Kaevitser V.I., Smolyaninov I.V., Razmanov V.M. et al. Possible manifestations of underwater mud volcanoes based on results of sonar investigations in region of Taman peninsula. Oceanology Int. 2016; 56(5): 714–720.]
6. Матишов Г.Г., Бердников С.В., Савицкий Р.М. Экосистемный мониторинг и оценка воздействия разлива нефтепродуктов в Керченском проливе. Аварии судов в ноябре 2007 г. Ростов-на-Дону, 2008. [Matishov G.G., Berdnikov S.V., Savitskiy R.M. Ecosystem monitoring and assessment of the impact of the oil spill in the Kerch Strait. Ship accidents in November 2007. Rostov-on-Don, 2008. (In Russ.).]
7. Качество морских вод по гидрохимическим показателям: Ежегодник 2019. Ред. А.Н.Коршенко. Электронная версия. М., 2020. [Marine Water Pollution. Annual Report 2019. A.Korshenko (ed.). Electronic version. Moscow, 2020. (In Russ.).]
8. Немировская И.А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М., 2013. [Nemirovskaya I.A. Oil in the Ocean (pollution and natural flows). Moscow, 2013. (In Russ.).]
9. AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme): Chemicals of Emerging Arctic Concern. 2016. Oslo, 2017.
10. Tolosa I., Mora S., Sheikholeslami M.R. et al. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments. Mar. Pol. Bull. 2004; 48: 44–60.
11. Немировская И.А., Хаустов А.П., Редина М.М. Распределение и генезис углеводородов в воде и осадках в акватории Керченского пролива. Геохимия. 2022; 67(1): 47–56. [Nemirovskaya I.A., Khaustov A.P., Redina M.M. Distribution and Genesis of Hydrocarbons in Water and Sediments of the Kerch Strait. Geochemistry Int. 2022; 60(1): 43–51.]
12. Țigănuș M., Coatu V., Lazăr L. et al. Identification of the Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments from the Romanian Black Sea Sector. Cercetări Marine. 2013; 43: 187–196.
13. 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; 61(3): 377–386. [Zavyalov I.B., Osadchiev A.A., Zavyalov P.O. et al. Study of water exchange in the Kerch Strait according to historical data and data of contact measurements in 2019. Oceanology Int. 2021; 61(3): 329–337.]

The Kerch Strait Situation

I.A.Nemirovskaya¹, P.O.Zavialov¹

¹Shirshov Institute of Oceanology, RAS (Moscow, Russia)

A study of oil pollution in the Kerch Strait in 2019–2021 revealed high concentrations of aliphatic hydrocarbons in the suspension of surface waters (91 µg/L on average), which exceeds the maximum permissible concentration for petroleum hydrocarbons (50 µg/L) and is higher than in the other parts of the Black Sea. In coarse sediments, hydrocarbon concentrations also exceeded the background values. The factor analysis revealed the pyrogenic (from transport industry) source of pollution as a dominant one, while oil pollution (from shipping industry) impact was lesser.

Keywords: Kerch Strait, oil pollution, aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons, flow pattern.