

УДК 504.4.054:550.47

СОДЕРЖАНИЕ И СОСТАВ УГЛЕВОДОРОДОВ В ВОДЕ И ОСАДКАХ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА ЧЕРНОГО МОРЯ

© 2023 г. И. А. Немировская^{1,*}, А. В. Храмцова¹,
Член-корреспондент РАН П. О. Завьялов¹, Б. В. Коновалов¹

Поступило 10.07.2023 г.
После доработки 02.08.2023 г.
Принято к публикации 04.08.2023 г.

Определены современный уровень и происхождение углеводородов (УВ): алифатических – АУВ и полициклических ароматических – ПАУ (сентябрь 2021 г., май и сентябрь 2022 г.) во взвеси поверхностных вод (для АУВ – 20 мкг/л ИК-метод; ПАУ – 130 нг/л, флуоресцентный метод) и в донных осадках прибрежных районов кавказского сектора Черного моря РФ. Несмотря на снижение концентраций УВ в поверхностных водах в последние годы, к наиболее загрязненным районам относятся, как и ранее, Керченский пролив. Аккумулятивное УВ происходит в донных осадках, что приводит к росту их содержания в составе $C_{орг}$ (для АУВ до 14.2% район Туапсе и 13.1% район Новороссийска). Установлено, что наряду с загрязнением на уровни УВ большое влияние оказывают природные процессы (продуктивность района, флюидные потоки из толщи осадков).

Ключевые слова: алифатические углеводороды, полициклические ароматические углеводороды, Черное море, прибрежные районы, поверхностные воды, взвесь, донные осадки

DOI: 10.31857/S2686739723601588, EDN: IVUAYA

В последние годы, когда уровень нефтяного загрязнения почти повсеместно снизился [1, 2], все более остро становится проблема дифференциации углеводородов (УВ) антропогенных, поступающих от загрязнения нефтью и нефтепродуктами, и биогенных, входящих в липидную фракцию водных организмов. Для Черного моря эти исследования особенно актуальны, так как в последние годы, море превратилось в зону основного российского нефтяного экспорта [3]. Объем транспортировки нефти танкерами в море оценивается около 150 млн. т/год, что создает потенциальную угрозу возникновения аварийных ситуаций. С учетом аварийных потерь 30 т на 1 млн т перевозимой нефти, суммарный объем аварийных разливов при штатных операциях будет составлять около 4500 т/год [4]. Аварийные потери надо, как минимум, необходимо удвоить (до 9000 т) за счет поступлений при операциях с балластными водами, при погрузке и разгрузке в портах, а также при регламентированных сбросах нефтесодержащих отходов.

С целью изучения современного уровня и происхождения УВ (алифатических – АУВ и поли-

циклических ароматических – ПАУ) проведено их изучение в сентябре 2021 г., в мае и сентябре 2022 г. во взвеси поверхностных вод и в донных осадках в сравнении с более ранними данными, полученными в этих районах Черного моря. Исследованиями были охвачены: акватории, прилегающие к Керченскому проливу, Новороссийску, Туапсе, Лазаревскому и Архипо-Осиповке, в Геленджикской и Голубой бухтах (рис. 1).

В исследованиях использовали методы, принятые при анализе нефтяных и биогенных УВ. Пробы отбирали на гидрологических станциях: воду – пластиковыми батометрами, поверхностный слой донных осадков (0–5 см) – дночерпателем Ван-Вина. Взвесь выделяли на фильтры GF/F. Концентрацию взвеси $C_{вв}$ и ее компонентов, минеральной – $C_{мв}$ и органической – $C_{ов}$ составляющей, определяли фотометрически [5], концентрацию хлорофилла “а” (хл а) – по [6]. УВ экстрагировали метилхлоридом из фильтров GF/F и из фракции донных осадков 0.25 мм. АУВ определяли методом ИК-спектроскопии [1, 7, 8], суммарную концентрацию ПАУ – флуоресцентным методом [9], состав – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [8]. В результате были определены индивидуальные ПАУ, принятые ЕРА в качестве приоритетных загрязняющих веществ [10]. Подробности методических процедур описаны [1, 5–9].

¹Институт океанологии им. П.П. Ширинова
Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: nemir44@mail.ru

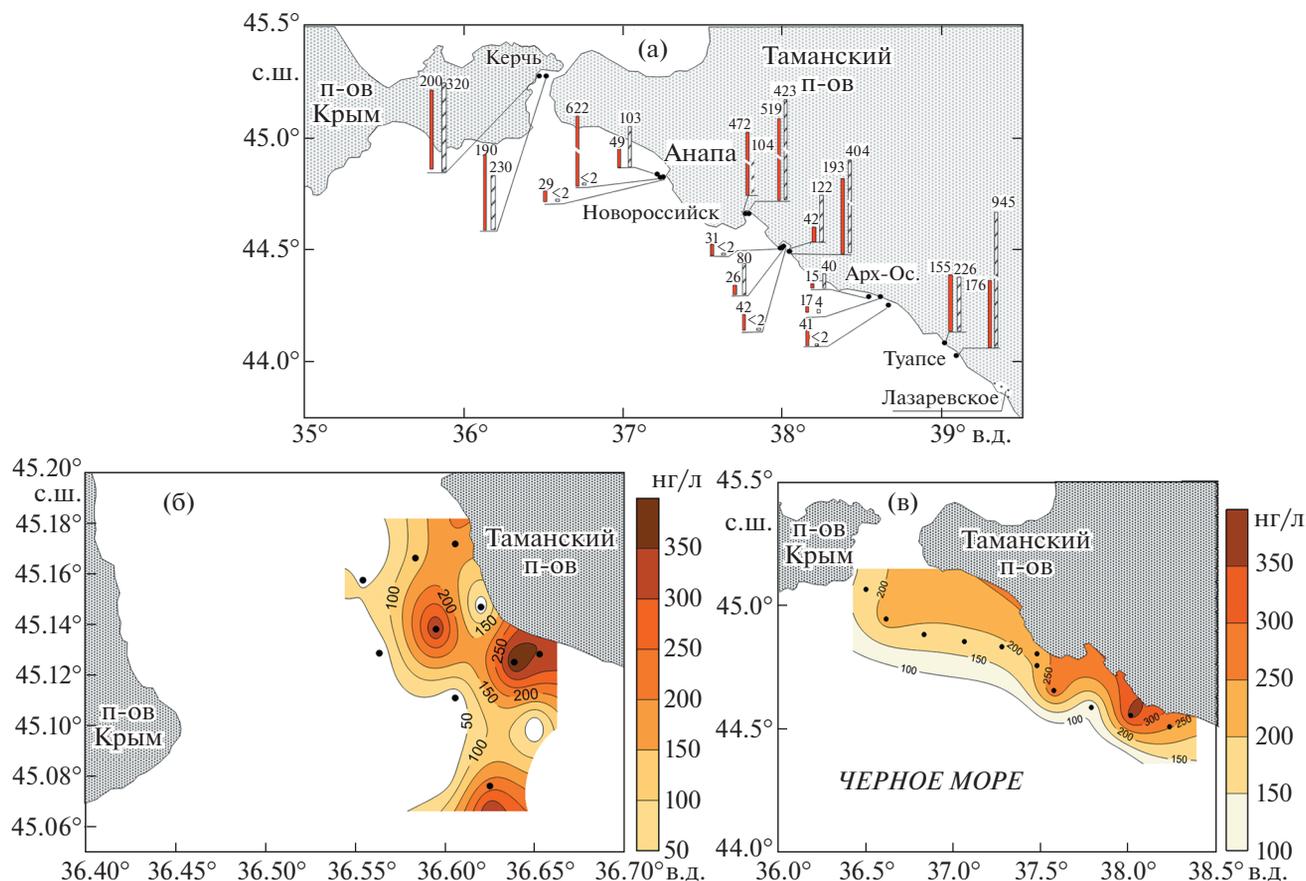


Рис. 1. Карта отбора проб в сентябре 2023 г., и концентрации АУВ (мкг/г, темные столбцы) и ПАУ (нг/г, заштрихованные столбцы) в поверхностном слое донных осадков (а) и распределение ПАУ в поверхностных водах: в Керченском проливе (б) и в акватории кавказского побережья (в).

В поверхностных водах Керченского пролива в июле 2021 г. содержание АУВ (в среднем 74 мкг/л) и ПАУ (в среднем 247 нг/л) снизилось по сравнению с 2019–2020 гг. (табл. 1), несмотря на то, что концентрации взвеси оставались на одном уровне, а содержание хл *a* возросло (в среднем до 0.78 мкг/л). В сентябре 2022 г., несмотря на некоторое увеличение содержания взвеси (в среднем до 1.69 мг/л), произошло дальнейшее снижение концентраций АУВ и ПАУ: в среднем до 37 мкг/л и до 187 нг/л, т.е. в 2 и 1.3 раза соответственно (табл. 1). В акватории от Керченского пролива до Архипо-Осиповки содержание УВ было близким к водам самого пролива: в среднем для АУВ и ПАУ 38 мкг/л и 186 нг/л, в пересчете на взвесь: 49 мкг/мг и 242 нг/мг. Несмотря на довольно высокие концентрации АУВ, состав алканов не соответствовал нефтяному плавному распределению гомологов. Преобладали в основном высокомолекулярные алканы. Значения СР1 (отношение нечетных к четным гомологам в высокомолекулярной области) >1, что может указывать на преимущественно аллохтонную природу АУВ. Тем не менее доминирование среди изо-соединений

фитана над пристаном ($i-C_{19}/i-C_{20} = 0.09-0.21$) и низкие значения коэффициента изопреноидности — $K_i = (i-C_{19} + i-C_{20})/(C_{17} + C_{18}) = 0.14-0.20$ могут свидетельствовать в пользу влияния нефтяных загрязняющих веществ [2, 8]. Последнее подтверждают также низкие значения (<1) таких маркеров, как C_{17}/C_{25} и $Paq = (C_{23} + C_{25})/(C_{23} + C_{25} + C_{29} + C_{31})$.

В Геленджикской бухте в сентябре 2021 г. максимальная концентрация АУВ в поверхностных водах установлена в восточной части (47 мкг/л), что совпадало с максимальными концентрациями здесь минеральной и органической фракций взвеси (3.8 мг/л $C_{ВМВ}$ и 0.6 мг/л $C_{ВОВ}$). В составе алканов в этот период во взвеси распределение гомологов было бимодальным. В низкомолекулярной области доминировали $n-C_{15}$ и $n-C_{19}$ — гомологи фитопланктона. В большинстве проб отношение низко- к высокомолекулярным алканам ($L/H = (\Sigma(C_{10-24})/\Sigma(C_{25-35}))$) колебалось в интервале 0.87–1.34. Только в открытых водах моря распределение гомологов отличалось отсутствием максимума в низкомолекулярной области, то

Таблица 1. Концентрации органических соединений и взвеси в поверхностных водах прибрежных районов кавказского сектора РФ

Дата/п*	Липиды, мкг/л	АУВ, мкг/л	ПАУ, нг/л	Хл а, мкг/л	Взвесь, мг/л
	<u>Интервал</u> Среднее	<u>Интервал</u> Среднее	<u>Интервал</u> Среднее	<u>Интервал</u> Среднее	<u>Интервал</u> Среднее
Керченский пролив					
04.2019/35	<u>91–266</u> 141	<u>69–186</u> 102	не определяли	<u>0.13–2.89</u> 0.76	<u>0.51–3.21</u> 1.39
09.2019/24	<u>95–213</u> 159	<u>55–138</u> 93	не определяли	<u>0.13–1.55</u> 0.46	<u>0.32–3.48</u> 0.99
07.2020/38	<u>55–449</u> 137	<u>28–254</u> 78	<u><2–804</u> 207	<u>0.03–0.66</u> 0.18	<u>0.66–2.43</u> 1.18
07.2021/16	<u>81–316</u> 133	<u>32–214</u> 74	<u>189–385</u> 247	<u>0.20–3.39</u> 0.78	<u>0.36–3.48</u> 1.20
09.2022/11	<u>38–80</u> 60	<u>21–49</u> 37	<u><2–409</u> 187	<u>0.24–0.86</u> 0.56	<u>0.52–1.96</u> 1.85
От Керченского пролива до Архипо-Осиповки					
09.2022/18	<u>31–147</u> 78	<u>20–57</u> 38	<u>69–417</u> 186	<u>0.17–1.91</u> 0.58	<u>0.49–2.00</u> 0.77
Геленджикская бухта					
09.2021/15	<u>15–288</u> 44	<u>6–47</u> 19	<u>3–200</u> 94	<u>0.58–2.82</u> 1.36	<u>1.19–4.41</u> 1.73
05.2022/20 пов-ть	<u>22–68</u> 33	<u>8–36</u> 21	<u><2–141</u> 95	<u>0.26–0.57</u> 0.38	<u>0.44–1.21</u> 0.80
05.2022/7 дно	<u>20–45</u> 28	<u>14–24</u> 22	<u><2–132</u> 88	<u>0.04–0.14</u> 0.07	<u>0.40–1.21</u> 0.87
Голубая бухта					
09.2021/4	<u>21–27</u> 25	<u>15–22</u> 17	<u>75–138</u> 96	<u>0.42–0.57</u> 0.47	<u>0.78–4.41</u> 1.45
Район, прилегающий к Геленджикской бухте					
09.2021/8	<u>22–35</u> 27	<u>10–23</u> 16	<u>18–177</u> 90	<u>0.42–0.64</u> 0.49	<u>0.78–1.39</u> 1.14
Туапсе					
05.2022/2	<u>38–46</u> 42	<u>17–24</u> 21	<u>47–111</u> 79	<u>0.11–0.16</u> 0.13	<u>1.74–1.88</u> 1.82
Лазаревское					
05.2022/2	<u>24–34</u> 29	<u>22–29</u> 26	<u>83–133</u> 108	<u>0.03–0.05</u> 0.04	<u>1.18–1.88</u> 1.52
Архипо-Осиповка					
05.2022/2	<u>21–35</u> 28	<u>18–28</u> 23	<u>83–87</u> 85	<u>0.03–0.04</u> 0.04	<u>2.25–2.85</u> 2.54

* – количество проб.

есть автохтонные процессы здесь происходили в меньшей степени, и отношение L/H изменялось в интервале 0.47–0.60. В высокомолекулярной области распределение гомологов было довольно плавным, что характерно для алканов фильтрационной взвеси, так же, как и для нефтяных углеводородов [7]. Поэтому значения CPI лишь незначительно превышали 1. Более высокие величины CPI характерны для прибрежных станций и, скорее всего, обусловлены поступлением терригенных УВ, образующихся при эрозии береговых отложений.

Концентрации ПАУ в сентябре 2021 г. в поверхностных водах изменялись от 3 до 200 нг/л (табл. 1), с максимумом так же, как и АУВ в восточной части бухты. В составе ПАУ (метод ВЭЖХ) во взвеси поверхностных вод доминировали фенантрен и флуорантен – наиболее устойчивые полиарены. В составе нафталинов выделялись пики метилированных гомологов, характерные для нефтяных полиаренов, а также флуортена и пирена, образующихся в продуктах горения [8, 11, 12].

В мае 2022 г. содержание АУВ в поверхностных водах Геленджикской бухты осталось на уровне сентября 2021 г. (в среднем 21 мкг/л). Однако изменилось латеральное распределение концентраций АУВ, вызванное более высокими величинами взвеси, $C_{орг}$ и хл *a* в северной части бухты в акватории, прилегающей к г. Геленджик. В придонном горизонте концентрации были близки к поверхностным, только содержание ПАУ снизилось (в среднем с 97 до 88 нг/л), так как основной их источник – атмосфера [7].

В этот период были отобраны также пробы в акваториях Туапсе, Архипо-Осиповки и Лазаревского (табл. 1). Несмотря на то что количество взвеси в этих районах оказалось значительно выше (в среднем 1.52–2.64 мг/л), концентрации АУВ (в среднем 21–26 мкг/л, ПАУ – 79–108 нг/л) незначительно отличались от их содержания в Геленджикской и Голубой бухтах. Однако состав алканов в отдельных пробах характеризовался плавным распределением гомологов, присущим выветренным нефтяным АУВ. Поэтому значения CPI были минимальными (1.07–1.1). В составе ПАУ в поверхностных водах во взвеси в этих акваториях доминировали фенантрен, флуорантен и пирен.

Донные осадки в акватории Керченского пролива представлены грубодисперсными отложениями, в некоторых случаях с ракушкой и с довольно низким содержанием $C_{орг}$ (0.34–0.72%, табл. 2). Однако в сентябре 2022 г. смогли отобрать алевритовые илы, и $C_{орг}$ возросло в среднем до 1.75%. Поэтому содержание АУВ и ПАУ также увеличилось как в пересчете на сухой осадок (в среднем 195 мкг/г и 274 нг/г соответственно, рис. 1 а), так и в составе $C_{орг}$ (1.11 и 0.016%).

В этих осадках преобладали низкомолекулярные алканы, в которых доминировал гомолог $n-C_{17}$, характеризующий планктоногенное ОВ (рис. 2 а).

В Геленджикской бухте в сентябре 2021 г. в песчаных отложениях с влажностью 15.5–36.4% максимальная концентрация АУВ (108 мкг/г) установлена, так же как в поверхностных водах, в восточной части. Состав алканов здесь отличался повышенным содержанием низкомолекулярных гомологов, так как отношение L/H колебалось от 0.99 до 5.86 (из-за гомолога $n-C_{17}$), где также максимально отношение пристан/фитан, что может указывать на влияние природных процессов. Более высокие, по сравнению с взвесью, величины CPI (1.20–2.37) могут свидетельствовать о трансформации АУВ в процессе седиментации из-за уменьшения концентраций менее устойчивых четных алканов [13].

Концентрации ПАУ (флуоресцентный метод) изменялись от <2 до 132 нг/г, с максимумом так же, как и АУВ на станции в восточной части бухты. В составе ПАУ в осадках наряду с фенантrenom доминировали в низкомолекулярной области метилированные гомологи нафталина, имеющие нефтяное происхождение, а также 5–6 кольчатые полиарены (рис. 2 в, г), продукты пиролиза органического топлива [12, 14], на долю которых приходится 27.1%.

Повышенные концентрации УВ установлены в припортовом районе Туапсе: в среднем для АУВ 186 мкг/г, ПАУ 586 нг/г (рис. 1 а) с очень высокими концентрациями $C_{орг}$ – до 7.11%. Доля АУВ в составе $C_{орг}$ оказалась также повышенной – 4.73% (табл. 2). В этих пробах в низкомолекулярной области распределение алканов было плавным. Однако доминировали в основном высокомолекулярные гомологи, и отношение L/H в большинстве проб <1. Исключение наблюдалось в осадке на ст. Анапа 1, где при довольно высокой концентрации в песчаном осадке (49 мкг/г) в составе алканов доминировали низкомолекулярные гомологи – L/H = 2.07, отношение пристан/фитан – 0.34, значение CPI ~ 1. В акваториях, прилегающих к Новороссийску и Туапсе, в низкомолекулярной области распределение гомологов плавное (рис. 2 б), что может свидетельствовать о влиянии нефтяных АУВ.

Подводя итог проведенным исследованиям, можно заключить, что, как и ранее [15], к наиболее загрязненным поверхностным водам можно отнести Керченский пролив несмотря на то, что в последние годы концентрации УВ здесь снизились (табл. 1). В составе ПАУ, согласно низким величинам маркеров (отношение флуорантен/пирен = 0.64–0.70, а $\Sigma(2-3\text{кол.})/\Sigma(5-6\text{ кол.}) = 0.03-0.05$), установлено влияние пирогенных процессов [11, 12].

Таблица 2. Содержание органических соединений в поверхностном слое прибрежных донных осадков кавказского сектора РФ

Год/Месяц	n	АУВ, мкг/г	ПАУ, нг/г	С _{орг} , %	АУВ, % от С _{орг}
		Интервал Среднее	Интервал Среднее	Интервал Среднее	Интервал Среднее
Керченский пролив					
2019/04	17	<u>1–50</u> 21	не определяли	<u>0.02–1.34</u> 0.49	<u>0.35–4.25</u> 0.90
2019/09	11	<u>16–63</u> 38	не определяли	<u>0.12–1.43</u> 0.63	<u>0.33–2.44</u> 0.80
2020/07	20	<u>12–233</u> 47	<u><2–174</u> 26	<u>0.08–0.68</u> 0.34	<u>0.40–9.38</u> 1.93
2021/07	13	<u>42–126</u> 58	<u><2–369</u> 80	<u>0.10–1.60</u> 0.72	<u>0.39–3.93</u> 1.17
2022/09	2	<u>190–200</u> 195	<u>230–320</u> 274	<u>1.09–2.42</u> 1.75	<u>0.71–1.50</u> 1.11
Геленджикская бухта					
2021/09	8	<u>8–108</u> 27	<u><2–132</u> 49	<u>0.14–1.57</u> 0.72	<u>0.10–1.55</u> 0.41
2022/05	16	<u>28–462</u> 83	<u><2–502</u> 103	<u>0.17–3.00</u> 0.58	<u>0.56–5.52</u> 1.48
2022/09	2	<u>42–193</u> 117	<u>122–404</u> 263	<u>0.20–0.21</u> 0.20	<u>1.80–8.09</u> 4.94
Голубая бухта					
2021/09	2	<u>12–13</u> 12	<u><2–99</u> 50	<u>0.02–0.63</u> 0.32	<u>0.16–5.02</u> 2.59
2022/09	3	<u>26–42</u> 33	<u><2–80</u> 28	<u>0.16–0.29</u> 0.22	<u>1.25–1.37</u> 1.32
Туапсе					
2018/06	13	<u>5–316</u> 67	не определяли	<u>0.04–0.37</u> 0.17	<u>0.29–14.20</u> 2.88
2022/09	2	<u>176–195</u> 186	<u>226–945</u> 586	<u>0.32–7.11</u> 1.98	<u>4.73–0.80</u> 2.76
Архипо-Осиповка					
2022/05	2	<u>10–16</u> 13	<u><2–91</u> 46	<u>0.06–0.17</u> 0.11	<u>0.50–2.27</u> 1.39
2022/09	3	<u>15–41</u> 24	<u><2–40</u> 15	<u>0.07–0.15</u> 0.10	<u>1.75–2.31</u> 1.99
Новороссийск					
2022/09	2	<u>472–519</u> 495	<u>104–423</u> 263	<u>0.34–1.29</u> 0.81	<u>3.15–13.10</u> 8.13
Анапа					
2022/09	3	<u>49–622</u> 234	<u><2–103</u> 36	<u>0.14–1.53</u> 0.63	<u>1.78–3.49</u> 2.40

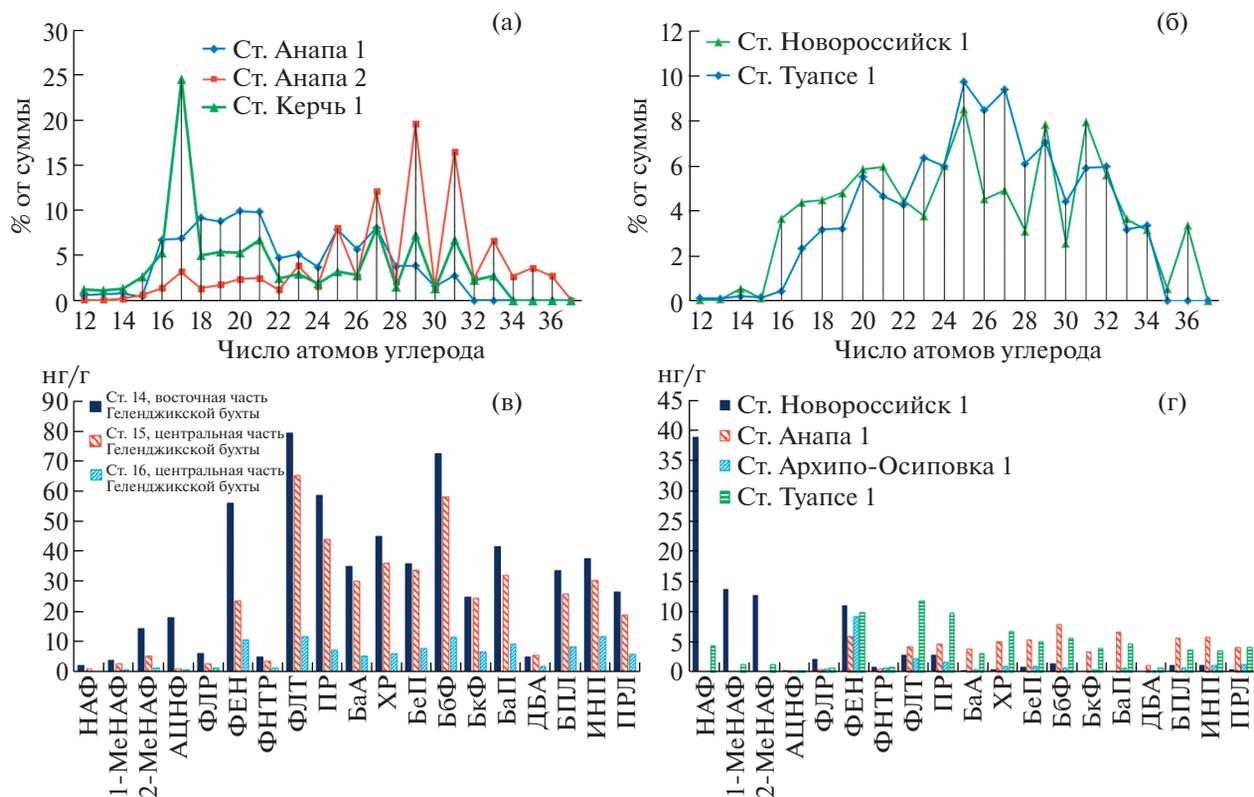


Рис. 2. Состав алканов (а, б) и ПАУ (в, г) в поверхностном слое донных осадков на отдельных станциях: нафталин (НАФ), 1-метилнафталин (1-МеНАФ), 2-метилнафталин (2-МеНАФ), аценафтен (АЦНФ), флуорен (ФЛР), фенантрен (ФЕН), антрацен (АНТР), флуорантен (ФЛТ), пирен (ПР), бенз(а)антрацен (БаА), хризен (ХР), бенз(е)пирен (БеП), бенз(к)флуорантен (БкФ), бенз(б)флуорантен (БбФ), бенз(а)пирен (БаП), перилен (ПРЛ), дибенз(а, h)антрацен (ДБА), бенз(г, h, i)перилен (БПЛ), индено(1, 2, 3-с, d)пирен, (ИНП), бенз(а)пирен (БаП).

После окончания строительства Крымского моста количество взвеси резко уменьшилось, затем ее содержание практически не менялось (табл. 1). 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 [8].

Ранее выделялась область высоких концентраций УВ на разрезе в западной части пролива из-за преимущественного направления ветра и орорафии берега [16], где было установлено максимальное содержание АУВ (214 мкг/л), >4 ПДК (величина ПДК для нефтяных УВ – 50 мкг/л) и ПАУ (385 нг/л). Пятилетний (2017–2021 гг.) спутниковый мониторинг плеченых загрязнений этой акватории обнаружил 2597 нефтяных пятен общей площадью 1120 кв. км на 481 радиолокационных изображениях [17]. К основным источникам загрязнения (в порядке убывания) относятся: рейдовые перегрузочные районы в проливе, порт Тамань с его причальным комплексом, рейдовые/якорные стоянки в Азовском и Черном морях. Кроме того, нефтяные пленки концентриру-

ются при подходе к портовым акваториям Новороссийска и Туапсе [18].

Вместе с тем в Керченском предпроливье (особенно в районе Таманского п-ова), а также у побережья п-ова Крым (восточная часть Черного моря в 13 км от м. Карангат и в 16.5 км от м. Опук) на поверхности были обнаружены пятна-слики, проинтерпретированные как естественные нефтепроявления подводных грязевых вулканов [19]. Предполагается, что распределение таких пленок обусловлено природным высачиванием УВ из толщи осадков (грязевые и флюидные потоки) [17, 19, 20]. Возможно, поэтому распределение УВ в поверхностных водах носит пятнистый характер (рис. 1 б, в). Кроме того, необходимо учитывать, что как весной, так и осенью, в прибрежных водах формировались компенсационные течения, имеющие вектор, отличный от основного Черноморского течения. В поверхностном горизонте основной перенос водных масс компенсационными течениями в прибрежном районе кавказского сектора Черного моря был направлен на юго-восток акватории, что приводит к поступлению загрязняющих веществ в этом направлении [2].

В Геленджикской бухте в сентябре 2021 г. высокое содержание АУВ в восточной части возникло из-за концентрирования здесь взвеси, что обусловлено схемой течений в это время года [7]. Поэтому в составе взвеси содержание АУВ оказалось низким – всего 12 мкг/мг взвеси, так же, как их доля в составе липидов – всего 16%. При этом на соседних станциях эти величины были выше (17–26 мкг/мг взвеси), а доля в составе липидов – 53–62%. Все это может указывать на природное происхождение АУВ.

В районах Архипо-Осиповки и Туапсе концентрации АУВ в поверхностных водах в мае 2022 г. практически не отличались от их величин в Геленджикской бухте и соответствовали фоновому уровню АУВ в прибрежных морских водах – около 20 мкг/л [7]. В составе АУВ преобладали аллохтонные природные компоненты, которые обладают наибольшей устойчивостью. Тем не менее наличие трансформированных антропогенных нефтяных алканов, не обнаруженных ранее, может свидетельствовать о возрастающем загрязнении из-за интенсификации хозяйственной деятельности в этих акваториях.

Аккумуляция нефтяных загрязняющих веществ происходит в донных осадках, где концентрации УВ изменялись в большом диапазоне: для АУВ – 1–622 мкг/г, для ПАУ – <2–945 нг/г, и зависело от гранулометрического состава осадков. Тем не менее максимальное содержание как АУВ, так и ПАУ установлено в песчаном осадке в районе Туапсе, при содержании $C_{орг}$ всего 0.32%, где в составе $C_{орг}$ концентрация АУВ была максимальной – 14.20%. Необходимо отметить, что в незагрязненных морских осадках доля АУВ в составе $C_{орг}$ обычно <1% [7]. В исследованных нами донных осадках Черного моря во многих пробах доля АУВ превышала 1% (табл. 2). Поэтому рост концентраций АУВ относительно фоновых (для АУВ 10 мкг/г в песчаных и 50 мкг/г в илистых осадках [1, 11]) как в пересчете на сухой осадок, так и в составе $C_{орг}$, скорее всего, обусловлены нефтяным загрязнением. Однако наряду с загрязнением на распределение УВ большое влияние оказывают природные процессы (продуктивность района, флюидные потоки из осадочной толщи) [7, 11]. Поступающие нефтяные и природные УВ подвергаются в морской среде одним и тем же процессам. В результате их трансформация приводит к тому, что анализируется усредненный состав УВ, который не соответствует первоначальным источникам. Поэтому, несмотря на различную природу АУВ (фитопланктон и нефтяное загрязнение) и ПАУ (продукты сгорания топлива и в меньшей степени нефтяное загрязнение), для поверхностных вод Геленджикской бухты в мае 2022 г. содержание ПАУ коррелировало с концентрациями АУВ ($r = 0.72$, $n = 20$),

и их распределение в поверхностных водах в общих чертах совпадало. Корреляционные связи между этими углеводородными классами нарушаются в прибрежных, наиболее загрязненных акваториях (Туапсе, Новороссийск), особенно в донных осадках. В силу своих структурных особенностей ПАУ наиболее репрезентативно отражают кинетику процессов вертикальной и горизонтальной миграции естественных и антропогенных потоков УВ [10, 12]. Индикаторные соотношения состава ПАУ, применяемые для выявления их генезиса, указывали как на нефтяной источник, так и на высокотемпературные процессы сжигания топлива.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Экспедиции проведены при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 21-17-00191), анализы – в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема № FMWE-2021-0016), обобщенные материалы при финансовой поддержке Росгидромета (соглашение № 169-15-2023-002).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2020. под ред. Коршенко А.Н. Иваново: ПрессСто. 2022. 240 с.
2. Павленко Л.Ф., Барабашин Т.О., Жукова С.В. и др. Компоненты нефтяного загрязнения в воде и донных осадках северо-восточной части российского причерноморья // Океанология. 2022. Т. 62. № 1. С. 75–84.
3. Энергетический бюллетень. Развитие транспортировки нефти. Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. Выпуск – май 2016. 10 с.
4. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. Т. 1. М., 2017.
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. № 5. С. 704–711.
6. ГОСТ 17.1.04.02-90. “Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*”, Госкомитет СССР по охране природы. М. 1990. 16 с.
7. Немировская И.А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М.: Научный мир. 2013. 432 с.
8. Nemirovskaya I.A., Zavalov P.O., Khramtsova A.V. Hydrocarbon pollution in the waters and sediments of the Kerch Strait // Mar. Pol. Bull. 2022. V. 180. 113760. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113760>
9. Intergovernmental Oceanographic Commission. Manual for Monitoring Oil and Dissolved // Dispersed Petroleum Hydrocarbons in Marine Waters and on Beaches. Paris, France, UNESCO. 1984. 35 p.
10. Monitoring of hazardous substances in the White Sea and Pechora Sea: harmonization with OSPAR's Coordinated

- Environmental Monitoring Programme (CEMP). Tromsø: Akvaplan-niva. 2011. 71 p.
11. Tolosa I., Mora S., Sheikholeslami M.R., Villeneuve J., et al. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments // *Mar. Pol. Bull.* 2004. V. 48. P. 44–60.
 12. Yunker M.B., Macdonald R.W., Ross P.S., et al. Alkane and PAH provenance and potential bioavailability in coastal marine sediments subject to a gradient of anthropogenic sources in British Columbia, Canada // *Org. Geochem.* 2015. № 89–90. P. 80–116.
 13. Zsolnay A. The weathering of tar on Bermuda // *Deep Sea Res.* 1978. V. 25. P. 1245–1252.
 14. AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme): Chemicals of Emerging Arctic Concern. (2016). Oslo: AMAP. 2017. P. 353.
 15. Немировская И.А., Завьялов П.О., Коновалов Б.В., Храмова А.В. Содержание и состав углеводородов в воде и осадках в районе Керченского пролива // Доклады РАН. Науки о Земле. 2020. Т. 492. № 1. С. 118–123.
 16. 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.
 17. Клименко С.К., Иванов А.Ю., Терлеева Н.В. Пленочные загрязнения Керченского пролива по данным пятилетнего радиолокационного мониторинга: современное состояние и основные источники // *Исследование земли из космоса.* 2022. № 3. С. 37–54.
 18. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. М.: ИКИ РАН. 2016. 334 с.
 19. 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.
 20. Каевцигер В.И., Римский-Корсаков Н.А., Смольяников И.В. и др. Возможные проявления подводных грязевых вулканов по результатам гидролокационных исследований в акватории Таманского полуострова // *Океанология.* 2016. Т. 56. № 5. С. 784–790.

CONTENT AND COMPOSITION OF HYDROCARBONS IN WATER AND SEDIMENTS IN COASTAL REGIONS OF THE RUSSIAN SECTOR OF THE BLACK SEA

I. A. Nemirovskaya^{a,#}, A. V. Khramtsova^a,

Corresponding Member of the RAS P. O. Zavalov^a, and B. V. Kononov^a

^a*Shirshov Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

[#]*E-mail: nemir44@mail.ru*

The current level and origin of hydrocarbons (HCs) was determined: aliphatic – AHCs and polycyclic aromatic – PAHs (September 2021, May and September 2022) in suspended particulate of surface waters (for AHCs – 20 µg/l; PAHs – 130 ng/l, fluorescent method) and in the bottom sediments of the coastal areas of the Caucasian sector of the Black Sea of the Russian Federation. Despite the decrease in HC concentrations in surface waters in recent years, the most polluted areas include, as before, the Kerch Strait. HC accumulate in bottom sediments, which leads to an increase in their content in the composition of C_{org} (up to 14.2% in the Tuapse region and 13.1% in the Novorossiysk region). It has been established that, along with pollution, HC levels are greatly influenced by natural processes (the productivity of the area, fluid flows from the sedimentary mass).

Keywords: aliphatic hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons, Black Sea, coastal areas, surface waters, suspension, bottom sediments