

УДК 550.47:556.54

УГЛЕВОДОРОДЫ В ВОДЕ И ОСАДКАХ НОРВЕЖСКОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ

**И. А. Немировская, А. В. Храмцова, И. С. Халиков,
Е. В. Колтовская, А. С. Соломатина**

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

Представлены результаты многолетних исследований распределения и состава углеводородов (УВ) в водной взвеси и донных осадках Норвежского и Баренцева морей в рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» (2016–2020 гг.). Установлено увеличение концентраций УВ во взвеси поверхностных вод в среднем от 2,8–8,3 (2016–2017 гг.) до 20–23 мкг/л (2019–2020 гг.), обусловленное климатическими изменениями. В донных осадках распределение УВ зависит не только от условий осадконакопления и их гранулометрического состава, но и от изменчивости окислительно-восстановительных условий и эндогенных потоков из осадочной толщи.

Ключевые слова: взвешенное вещество; донные осадки; органическое вещество; углеводороды; алканы; эндогенный источник.

**I. A. Nemirovskaya, A. V. Khramtsova, I. S. Khalikov, E. V. Koltovskaya,
A. S. Solomatina. HYDROCARBONS IN WATER AND SEDIMENTS OF THE
NORWEGIAN AND BARENTS SEAS**

The results of long-term studies of the distribution and composition of hydrocarbons (HCs) in the suspended particulate matter and bottom sediments of the Norwegian and Barents Seas during cruises of the research vessel Akademik Mstislav Keldysh in 2016–2020 are presented. An increase in HCs concentrations in surface water from an average of 2.8–8.3 (2016–2017) to 20–23 µg/L (2019–2020) was detected, which was due to climate change. In bottom sediments, the distribution of HCs depends not only on the conditions of sedimentation and the particle size composition, but also on the variability of redox conditions and endogenous flows from sedimentary strata.

Keywords: suspended particulate matter; bottom sediments; organic matter; hydrocarbons; alkanes; endogenous source.

Введение

Изучение углеводородов (УВ) в составе органического вещества (ОВ) и его компонентов – взвешенного органического углерода ($C_{\text{орг}}$), липидов, хлорофилла *a* (хл *a*) – в высокоширотных акваториях в значительной степени обуслов-

лено высоким нефтегазоносным потенциалом арктического шельфа, который, по последним оценкам, превышает 100 млрд т в нефтяном эквиваленте [Каминский и др., 2016]. При этом на шельф Баренцева моря приходится 24 % от суммарных углеводородных запасов. Согласно Энергетической стратегии, добыча неф-

ти на шельфе России к 2030 году должна возрасти до 33 млн т/год, в том числе в арктическом секторе – до 17 млн т/год, т. е. более чем в 17 раз (с 0,870 млн т/год в 2015 г.) [Каминский и др., 2016]. При освоении месторождений и увеличении транспортировки топлива возрастает риск загрязнения арктического бассейна нефтяными УВ. Определенный вклад в содержание УВ вносят их природные поступления из осадочной толщи [АМАР, 2007].

В условиях меняющегося климата в последние годы в экосистеме арктических морей, и в частности Баренцева моря, произошли значительные изменения, так как увеличилось влияние атлантических вод [Dalpadado et al., 2014; Arrigo, Dijken, 2015; Кодрян и др., 2017]. Поэтому существенно сократилась площадь многолетних льдов и произошло освобождение шельфа от зимнего льда [Лапина и др., 2011]. В результате первичная продукция (ПП) фитопланктона возросла в среднем на 28 % [Dalpadado et al., 2014; Arrigo, Dijken, 2015]. Изменение ПП должно оказать влияние на концентрации УВ – постоянных компонентов ОВ [Вернадский, 2001]. С целью выявления геохимических особенностей в распределении и составе УВ в Норвежском и Баренцевом морях проведено их изучение в водной взвеси и донных осадках летом 2016, 2017, 2019 и 2020 гг. в рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш».

Материалы и методы

Воду для изучения УВ отбирали с поверхности ведром при приближении судна к станциям, а из толщи воды – батометрами (комплекс Rosette). Взвесь для анализа органических соединений (ОС) – $C_{орг}$, липидов, УВ, хл а – выделяли на стекловолокнистые фильтры GF/F (размер пор 0,7 мкм, фирмы Whatman), а для изучения взвеси – на предварительно отмытые соляной кислотой и взвешенные поликарбонатные ядерные фильтры (размер пор 0,45 мкм, полотно производства ОИЯИ, г. Дубна).

Донные осадки отбирали из дночерпателя «Океан» (слой 0–2 см) и мультикорера (колонку осадка делили по слоям 0–1, 1–2 и т. д.), сушили при температуре 50 °С, определяя влажность. Из высушенных проб отсеивали фракцию 0,25 мм, которая обычно используется в органической геохимии [Корчагина, Четверикова, 1976].

Липиды экстрагировали метиленхлоридом на ультразвуковой бане «Сапфир» при температуре 30 °С. Концентрацию липидов (до колоночной хроматографии на силикагеле)

и алифатических УВ (после колоночной хроматографии) определяли ИК-методом на спектрофотометре IRAffinity-1 фирмы Shimadzu (Япония). В качестве стандарта использовали смесь (по объему): 37,5 % изооктана, 37,5 % гексадекана и 25 % бензола (ГСО 7248–96) [Руководство..., 1993]. Чувствительность метода – 3 мкг/мл экстракта.

Для анализа алканов из фракции УВ, выделенных методом колоночной хроматографии гексаном, использовали хроматограф «Кристалл-Люкс 4000-М», с пламенно-ионизационным детектором, капиллярной колонкой 30 м × 0,22 мм фирмы Supelco, с фазой 5 % фенила и 95 % метилполиксилана, при программировании температуры от 60 до 300 °С, со скоростью 8 °/мин, газ-носитель – гелий (скорость прохождения газа 1,5 мл/мин). Для калибровки прибора и определения времени выхода идентифицируемых алканов использовали смесь калибровочных стандартов $n-C_{10}-C_{40}$ (Supelco), а в качестве внутреннего стандарта – сквалан (фирма Sigma Aldrich). Расчет проводили с помощью программного обеспечения Netchrom v2.1.

Суммарное содержание ПАУ определяли флуоресцентным методом на приборе Trilogy (стандарт – нефтепродукт в гексане, ГСО 7950) [Справочники..., 1984], а их состав – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на приборе Lab Alliance (Shimadzu), снабженном колонкой «Диасфер» фирмы BioХимМак (Россия). В качестве стандарта использовали смесь индивидуальных ПАУ (Supelco). В результате были определены индивидуальные полиарены, рекомендованные EPA [Monitoring..., 2011]: нафталин (НФ), 1-метилнафталин (1МНФ), 2-метилнафталин (2МНФ), аценафтен (АЦН), флуорен (ФЛР), фенантрен (ФЕН), антрацен (АЦ), флуорантен (ФЛР), пирен (ПР), бенз(а)антрацен (БААН), хризен (ХР), бенз(е)пирен (БеП), перилен (ПЛ), бенз(а)пирен (БаП), дибенз(а, h)антрацен (ДБаАН), бенз(g, h, i)перилен (БПЛ), индено[1,2,3-с, d]пирен (ИП).

$C_{орг}$ в аэрозолях и взвесьях определяли методом сухого сжигания на анализаторе АН-7560 (Россия). Концентрацию хл а определяли флуоресцентным методом на приборе Trilogy фирмы Turner (США), предварительно откалиброванном на кафедре биофизики биологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. Для выделения хлорофиллов фильтры помещали в 90% ацетон при температуре +4 °С и выдерживали в темноте в течение 12–16 часов [UNESCO, 1994]. Схема и последовательность операций приведены на рис. 1.

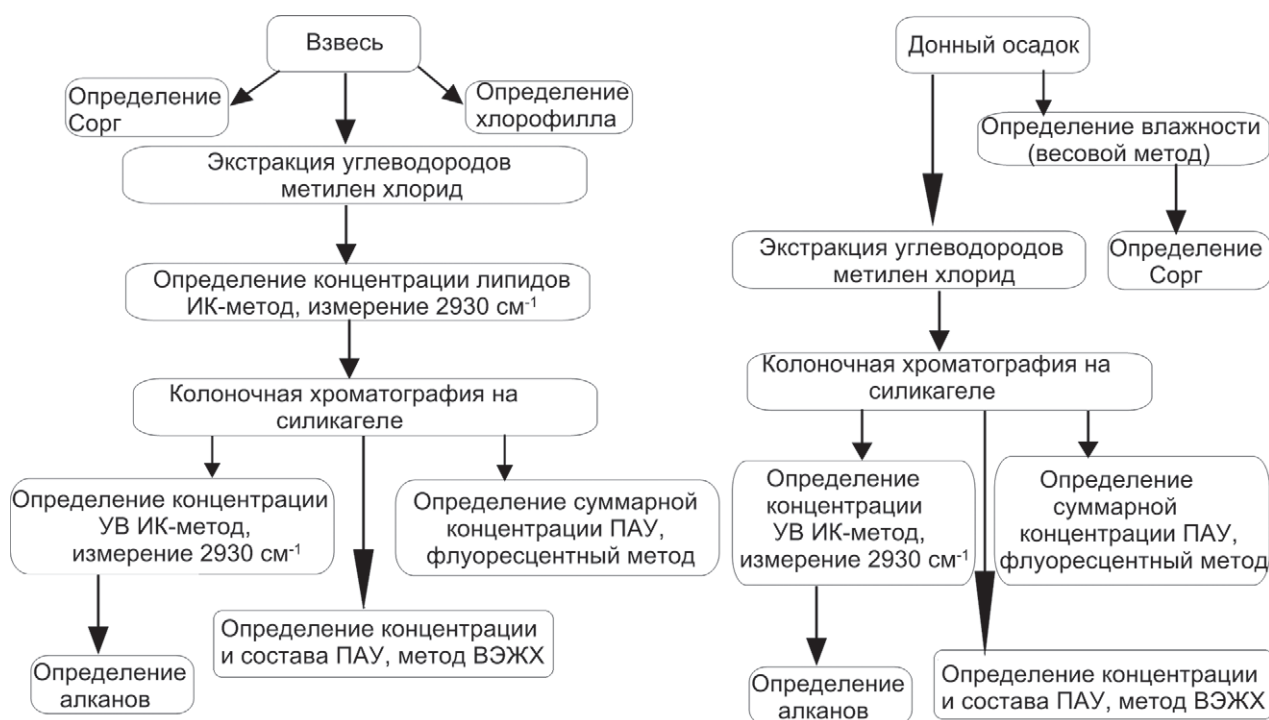


Рис. 1. Схема анализа органических соединений из фильтрационной взвеси и донных осадков

Fig. 1. Scheme for the analysis of organic compounds from filtration suspended particulate matter and bottom sediments

Результаты и обсуждение

В разные годы исследованиями в Норвежском и Баренцевом морях были охвачены вода и толща осадков на гидротермальных полях, расположенных в пределах Ян-Майенского осевого вулканического поднятия в южной части хребта Мона (в том числе гидротермальное поле Локи Касл); в местах выходов холодных метановых сипов на континентальной окраине архипелага Шпицберген и в желобе Стурфиорд; обследованы Медвежинский желоб, шельф Новой Земли, кратеры в центральной части Баренцева моря и др. [Клювиткин и др., 2020].

Исследования, проведенные в 67-м (август–сентябрь 2016 г.) и 68-м (июль–август 2017 г.) рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» показали, что в поверхностных водах Баренцева моря концентрации УВ во взвеси довольно низкие (в среднем 2,8–8,3 мкг/л) [Немировская, 2020]. С переходом от осени 2016 г. к лету 2017 г. во всех исследованных районах моря произошло незначительное увеличение концентраций УВ, что может быть вызвано изменением элементного и биохимического состава ОВ [Кодрян и др., 2017].

В 2019 г. во взвеси поверхностных вод для всего массива данных содержание липи-

дов изменялось в интервале 18–114, в среднем 51 мкг/л, а УВ – 6–62, в среднем 23 мкг/л (табл. 1). Близкие результаты получены и в 2020 г.: для липидов – 15–157, в среднем 64 мкг/л, а для УВ – 9–38, в среднем 20 мкг/л.

Обусловлено это может быть разными сезонами исследования, так как в 2019 г. пробы отбирали в июне, сразу после ледостава. При таянии льдов происходит не только освобождение принесенного ими материала, но и в краевых зонах льдов создаются благоприятные условия для развития ПП. В результате величины ПП в этих районах сопоставимы с зонами апвеллингов [Мельников, Семенова, 2013]. В июне 2019 г. на ст. 6180 у кромки плавучих льдов количество взвеси возросло до 0,92 мг/л, концентрации хл *a* – до 2,163 мкг/л (на соседних станциях – до 3,372 и 4,690 мкг/л). При этом количество УВ составило 28 мкг/л, что было значительно выше их концентраций в 2016 и 2017 гг., не превышающих 8 мкг/л [Немировская, 2020].

Распределение УВ во взвеси и самого взвешенного вещества при одинаковых источниках обычно совпадают [Немировская, 2017]. Действительно, в общих чертах распределение УВ и взвеси было однотипным (рис. 2). Однако для всего массива данных в 2019 г. наблюдалась лишь слабая зависимость между концен-

Таблица 1. Результаты анализа органических соединений и взвеси

Table 1. Results of analysis of organic compounds and suspended particulate matter

Кол-во проб Number of samples	Район Area	Липиды, мкг/л Lipids, µg/l		Углеводороды, мкг/л Hydrocarbons, µg/L		Взвесь, мг/л Suspended matter, mg/l		Средняя УВ, мкг/мг взвеси Average HC, µg / mg of the suspended matter
		интервал средняя interval average	σ	интервал средняя interval average	σ	интервал средняя interval average	σ	
75-й рейс АМК, 2019 г. voyage #75 R/V AMK, 2019								
56	Весь район All area	18–114 51	24	6–62 23	15	0,05–1,13 0,35	0,24	72
9	Норвежское море Norwegian Sea	18–114 53	27	6–35 17	17	0,05–0,56 0,29	0,14	73
13	Зап. Шпицберген Western Spitzbergen	20–108 51	28	7–60 24	17	0,10–1,13 0,45	0,37	44
8	Вост. Шпицберген Eastern Spitzbergen	21–43 30	7	6–19 11	4	0,20–0,38 0,26	0,06	36
7	Разрез к Скандинавии Scandinavia section	35–111 54	7	18–49 29	12	0,11–0,55 0,31	0,18	126
13	Юг Баренцева моря South of the Barents Sea	32–75 55	13	11–62 32	17	0,1–0,35 0,25	0,09	134
80-й рейс АМК, 2020 г. voyage #80 R/V AMK, 2020								
20	Весь район All area	15–157 64	37	9–38 20	10	0,10–15,90 1,10	3,32	22
19*		27–157 66	37	9–38 21	10	0,10–1,47 0,36	0,31	66
6	Норвежское море Norwegian Sea	15–58 34	14	17–37 26	7	0,21–15,9 3,42	6,22	65
5*		28–58 40	11	17–31 24	5	0,21–0,45 0,31	0,10	102
14	Баренцево море Barents Sea	28–156 74	38	14–58 24	11	0,10–1,47 0,37	0,35	94

Примечание. *Без аномальной концентрации взвеси 15,9 мг/л на ст. 6840. АМК – НИС «Академик Мстислав Келдыш».

Note. *Without abnormal suspension concentration of 15.9 mg/l at st. 6840. R/V AMK is the R/V Akademik Mstislav Keldysh.

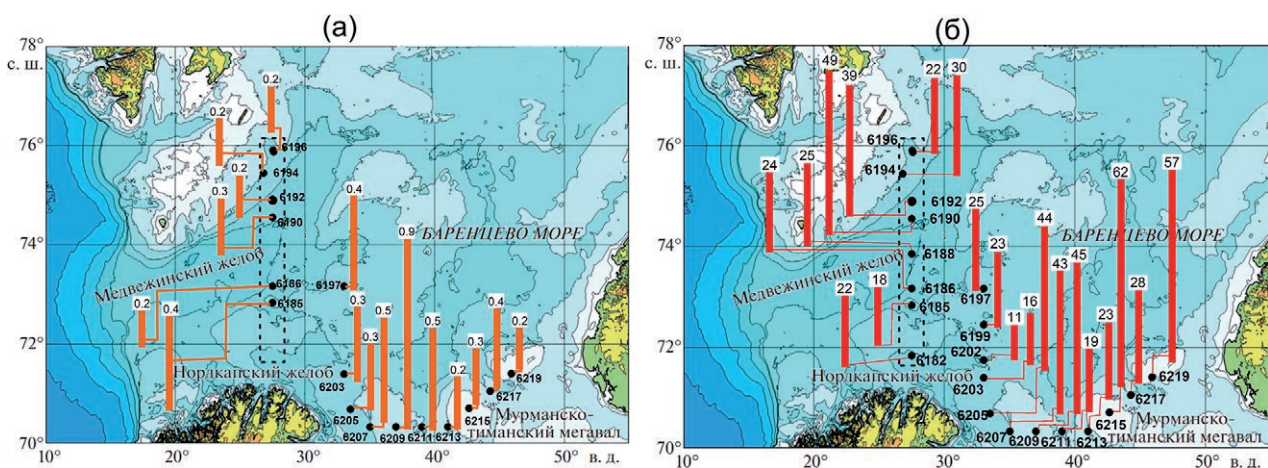


Рис. 2. Распределение взвеси (а) и алифатических УВ (б) в районах работ в 2019 г. (75-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»). Над столбцами приведены концентрации взвеси (мг/л) и УВ (мкг/л), номера станций – под столбцами

Fig. 2. Distribution of suspended particulate matter (a) and aliphatic HCs (b) in the work areas during voyage #75 of the R/V Akademik Mstislav Keldysh in 2019. Concentrations of suspended matter (mg/L) and HCs (µg/L) are given above the columns, station numbers – below the columns

трациями взвеси и УВ: $r = 0,175$, $n = 53$. Лучше связь между взвесью и хл a : $r = 0,50$, с наиболее высокими значениями в районе арх. Шпицберген, где $r = 0,75$. В южной части Баренцева моря зависимости между хл a и взвесью, хл a и УВ отсутствовали: $r(\text{Вз.} - \text{хл } a) = -0,14$; $r(\text{хл } a - \text{УВ}) = -0,22$, что может указывать на разные их источники. Возможно, УВ поступают с нефтяным загрязнением, так как, согласно данным из космоса, в этой части Баренцева моря сосредоточено максимальное количество нефтяных пленок [Кучейко и др., 2020].

В 2020 г. концентрации ОС во взвеси поверхностных вод практически остались на уровне 2019 г. (табл. 1). Концентрации УВ, превышающие 50 мкг/л (ПДК для нефтяных УВ) или близкие к этой величине, установлены на судоходных путях в южной части Баренцева моря. Максимальное содержание (58 мкг/л, 170 мкг/мг взвеси) на ст. 6870 обусловлено кокколитофоридным цветением, а не нефтяным загрязнением. При этом в растворенной форме концентрация УВ была значительно ниже – всего 24 мкг/л.

При переходе от поверхностного к придонному горизонту содержание УВ почти на всех станциях уменьшалось. Исключение установлено лишь на трех станциях: 6166, 6181 и 6205 (2019 г.), где содержание УВ в придонном горизонте оказалось в 1,5–5,6 раза выше, чем в поверхностном. Максимальная концентрация у дна установлена на глубине 249 м в южной части Баренцева моря на ст. 6205 – 76 мкг/л. В 2017 г. в районе Мурманской банки на глубине 46 м содержание УВ возросло практически в 3 раза по сравнению с поверхностью (с 6 до 17 мкг/л) [Немировская, 2020]. Обычно увеличение концентраций УВ у дна наблюдается в прибрежных районах

с тонкодисперсными осадками и рассматривается как результат эрозии дна и ресуспензирования [Немировская, 2013]. В работе [Кравчишина и др., 2019] показано, что в Баренцевом море четко выделялся нижний нефелоидный слой до 50 м толщиной. Поэтому в отдельных случаях при взмучивании илистых осадков происходил рост УВ в придонном горизонте.

Для изучения седиментационных процессов были проанализированы пробы придонной взвеси и поверхностного слоя воды, отобранного из мультикорера – наилка (табл. 2). Наиллок представляет собой переходную форму материала между придонной взвесью и донным осадком [Леин и др., 2013]. Содержание ОС в наилке оказалось значительно выше, чем во взвеси, выделенной из придонной воды. В частности, концентрации $C_{\text{орг}}$ в этих пробах различались в 15–106 раз. В меньшей степени увеличивалось содержание УВ (в 3,9–17,7 раза) и алканов (в 13–30 раз). Состав алканов, который определяет генезис УВ, в этих объектах также различался (рис. 3). Отношение изомеров (пристана к фитану), которое маркирует соотношение автохтонных (пристан, Pr) к «нефтяным» (фитан, Ph), во всех пробах выше во взвеси придонных вод с максимальным диапазоном на ст. 6205. Значения CPI (отношение нечетных к четным алканам), которое характеризует терригенное ОВ, различались, особенно на ст. 6205, практически в 2 раза. Обычно в составе алканов взвеси значения CPI близки к 1, особенно в поверхностных водах, где их состав формирует фитопланктон [Saliot et al., 1982].

На станциях 6196 и 6217 количество низкомолекулярных гомологов в наилке было выше, чем во взвеси, а на ст. 6205, напротив, ниже. Так же неоднозначно изменялись и другие маркеры. Видимо, для того чтобы судить

Таблица 2. Состав ОС во взвеси, выделенной из придонных вод (1) и наилка (2) (2019 г.)

Table 2. The composition of the OC in the suspended particulate matter isolated from bottom waters (1) and from warp (2) (2019)

Станция (глубина) Station (depth)	$C_{\text{орг}}$, мг/л $C_{\text{орг}}$, mg/l	УВ, мкг/л НС, μg/l	Алканы, мкг/л Alkanes, μg/l	Пристан/Фитан Pristane/Phytan	CPI ($\Sigma\text{нч}/\Sigma\text{ч}$)	$\frac{\Sigma(C_{12-24})}{\Sigma(C_{25-37})}$	Доминирующие пики Dominant peaks
6196 (1)	0,015	13,0	0,1	0,93	1,82	0,63	$C_{16}, C_{25}, C_{27}, C_{29}$
6196 (2)	0,222	192,8	1,9	0,18	1,52	0,85	C_{15}, C_{31}
6205 (1)	0,018	76,1	1,7	2,02	1,18	0,42	C_{25} , плавное/smooth
6205 (2)	0,78	296,5	22,2	0,42	2,35	0,37	C_{25}, C_{27}, C_{31}
6217 (1)	0,018	26,3	0,1	1,13	1,44	0,45	C_{23}, C_{25}, C_{27}
6217 (2)	1,92	464,9	3,0	0,63	1,31	0,98	C_{25}, C_{27}

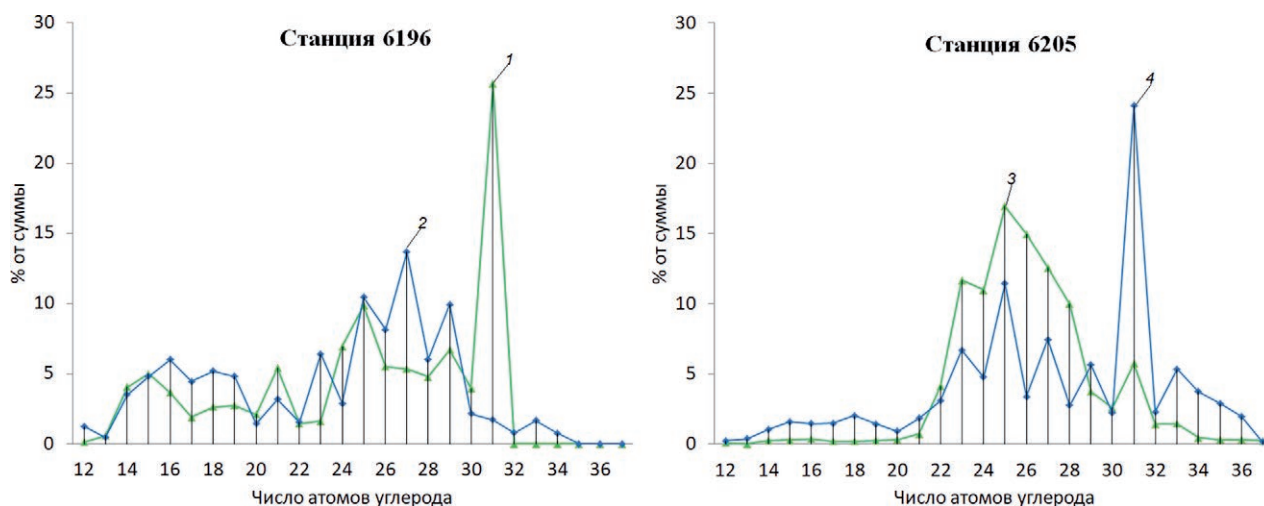


Рис. 3. Состав алканов, выделенных из придонных вод (1, 3) и из наилка (2, 4)

Fig. 3. Composition of alkanes isolated from bottom waters (1, 3) and from warp (2, 4)

о процессах, происходящих на границе вода-осадок, необходимо провести дополнительные исследования на большом количестве образцов. Однако полученные данные показывают, что на границе вода-дно резко меняется состав УВ.

В донных осадках в поверхностных слоях содержание УВ (в пересчете на сухую массу) изменялось в 2016 г. в интервале 3–44 мкг/г (в среднем 14 мкг/г, 0,15 % от $C_{орг}$). Максимум их концентраций приурочен к району Медвежинского желоба, где распределение концентраций УВ и $C_{орг}$ совпадало ($r = 0,81$, $n = 10$), несколько хуже связь между этими параметрами в осадках Русской гавани ($r = 0,61$, $n = 8$). В акватории Штокмановского месторождения эта зависимость полностью отсутствовала: $r(C_{орг} - УВ) = 0,02$ ($n = 7$), а $r(УВ - Вл.) = -0,45$ (Вл. – влажность осадков), что может указывать на дополнительные источники УВ, не связанные с минеральной матрицей [Петрова и др., 2015].

В 2017 г. диапазон концентраций в поверхностном слое осадков составил 4–57 мкг/г (в среднем 12 мкг/г, 0,17 % от $C_{орг}$). Максимум их содержания приурочен к северной оконечности арх. Новая Земля, а повышенное – к углистым отложениям Восточного шельфа Шпицбергена (до 37 мкг/г). Наиболее высокие значения коэффициента корреляции между $C_{орг}$ и УВ наблюдались в западных ($r = 0,67$, $n = 11$) и северных районах Баренцева моря, у берегов Шпицбергена эта зависимость проявлялась в меньшей степени ($r = 0,48$, $n = 16$). Еще хуже связь между этими величинами в центральной части моря ($r = 0,27$, $n = 7$), что обусловлено меньшим влиянием седиментационных процессов на формирование УВ.

В 2019 г. содержание УВ в донных осадках изменялось в интервале 5–64 мкг/г. В Норвежском море в осадках разлома Ян-Майнен концентрации УВ колебались в интервале 5–51 мкг/г, с максимальной величиной в тонкодисперсном осадке ст. 6131 (рис. 4). В Баренцевом море высокое содержание УВ установлено на Восточном шельфе Шпицбергена (51 мкг/г, ст. 6196), а максимальное – в южной части (64 мкг/г, ст. 6213).

В 2020 г. для различных районов Норвежского и Баренцева морей диапазон концентраций был больше: 3–186 мкг/г, с максимумом на ст. 6842 в Стурфиорде (рис. 5), где доля УВ в составе $C_{орг}$ составила 1,18 %. Обычно в донных осадках содержание УВ в составе $C_{орг}$ колеблется в пределах 0,28–0,56 % [Немировская, 2013]. Только в акваториях с антропогенными нефтяными поступлениями, грязевым вулканизмом, гидротермальной активностью или эндогенной миграцией их концентрации превышали 1 %. На ст. 6841, где, согласно гидрофизическим данным, был установлен наиболее значительный флюидный поток, содержание УВ в поверхностном слое составило всего 36,7 мкг/г (0,24 % от $C_{орг}$). То есть эти данные показывают, что поступление УВ с флюидами из толщи осадков происходит на ограниченной площади. В зависимости от условий в геологических структурах под морским дном сипы могут активизироваться, на время прекращать свою активность либо вовсе исчезать, а затем появляться вновь [Патин, 2008]

В толще донных осадков концентрации $C_{орг}$ на отдельных станциях традиционно уменьшались. В частности, в 2017 г. при переходе от горизонта 0–5 к 10–15 см – в 1,1 (ст. 5551) и в 1,7

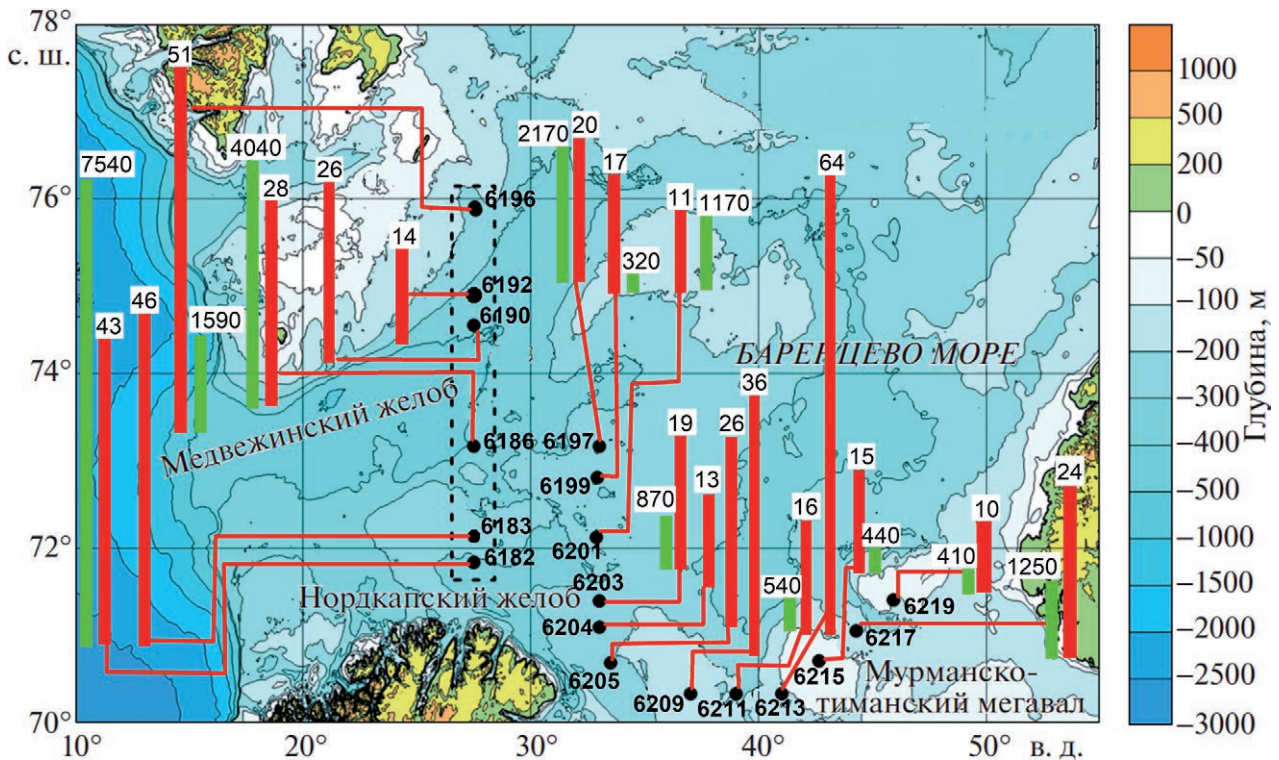


Рис. 4. Распределение УВ (красные столбцы, мкг/г) и ПАУ (зеленые столбцы, нг/г) в поверхностном слое донных осадков Баренцева моря. Жирным шрифтом обозначены номера станций (75-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»)

Fig. 4. Distribution of HCs (red columns, µg/g) and PAHs (green columns, ng/g) in the surface layer of bottom sediments of the Barents Sea, station numbers are indicated in bold (voyage #75 of the R/V Akademik Mstislav Keldysh)

(ст. 5524) раза (рис. 6). Содержание УВ на отдельных станциях также уменьшалось с глубиной захоронения, даже в большей степени, чем $C_{орг}$. В Лафонтенской котловине на ст. 5522 при переходе от слоя 0–5 см к слою 5–10 см концентрации УВ уменьшались в 14 раз, а их доля в составе $C_{орг}$ – в 2 раза. Сильно восстановленная среда с активно протекающими процессами сульфат-редукции и микробиологической переработкой биомассы планктона, поступившей в осадки, приводит к уменьшению содержания УВ при переходе от поверхностного к подповерхностному слою. Диагенетические процессы осложнены еще и тем, что осадки в верхних горизонтах на этих станциях одновозрастные и глубина слоя перемешивания, обусловленного биотурбацией, лежит в пределах 6–9 см.

На других станциях не наблюдалось уменьшения концентраций УВ с глубиной захоронения, и на отдельных горизонтах их содержание, напротив, возрастало. В частности, на ст. 5555 в районе архипелага Шпицберген (глубина 200 м) от слоя 0–5 см к слою 5–10 см концентрация УВ выросла в 53 раза, а в составе $C_{орг}$ – в 66 раз (от 0,03 до 2,0 %; рис. 6). Максимальная величина УВ на этой станции в пересчете на сухой

осадок (272 мкг/г) и в составе $C_{орг}$ (2,2 %) установлена на горизонте 15–20 см. Осадки указанного района отличались высоким нефтегазогенерационным потенциалом.

Условия седиментации и процессы, происходящие в толще осадков, формируют различный состав алканов, так как соотношение основных маркеров менялось в зависимости от местоположений станций (рис. 7).

Значения CPI изменялись в широком интервале: 1,98–5,40. Практически во всех пробах доминировали высокомолекулярные гомологи. Во многих осадках в составе алканов в низкомолекулярной области фиксировалось повышение концентраций $n-C_{17}$ – основного гомолога фитопланктона. Рост коэффициента изопреноидности ($K_i = (Pr+Ph)/(C_{17}+C_{18})$) указывал на интенсивность микробиальной трансформации ОВ. Величина K_i , отношение низко- к высокомолекулярным гомологам и значения CPI в большей степени изменялись в поверхностном слое осадков на шельфе арх. Шпицберген и в Медвежинском желобе, что подтверждали также низкие значения отношения n -алканов к нафто-ароматическим соединениям, изменяющиеся в интервале 0,03–0,22.



Рис. 5. Распределение УВ (красные столбцы, мкг/г) и ПАУ (зеленые столбцы, нг/г) в поверхностном слое донных осадков Баренцева моря. Жирным шрифтом обозначены номера станций (80-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»)

Fig. 5. Distribution of HCs (red columns, $\mu\text{g/g}$) and PAHs (green columns, ng/g) in the surface layer of bottom sediments of the Barents Sea, station numbers are indicated in bold (voyage #80 of the R/V Akademik Mstislav Keldysh)

Необычное распределение УВ наблюдалось в осадочной толще в Стурфиорде (2020 г.), где не происходило плавного уменьшения со-

держания УВ в осадочной толще. На ст. 6841 (рис. 8) содержание УВ увеличивалось почти в 5 раз при переходе от поверхности к слою

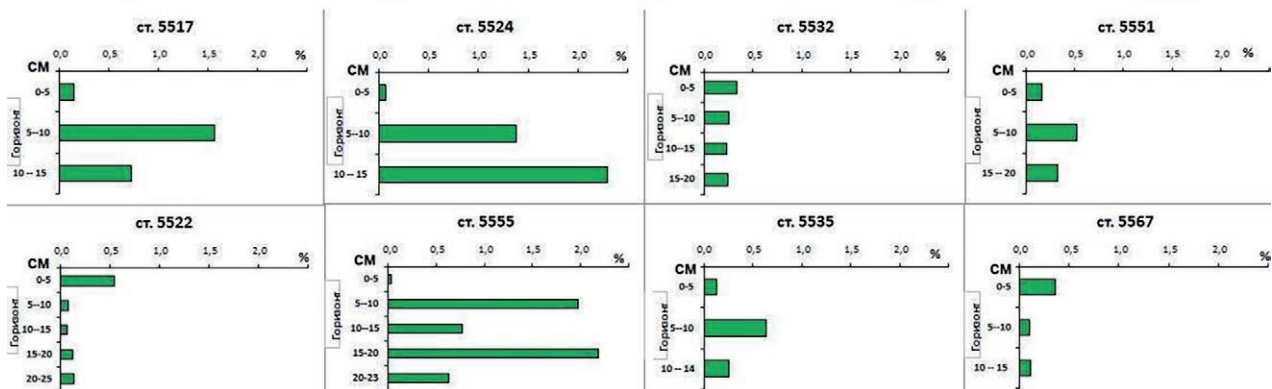
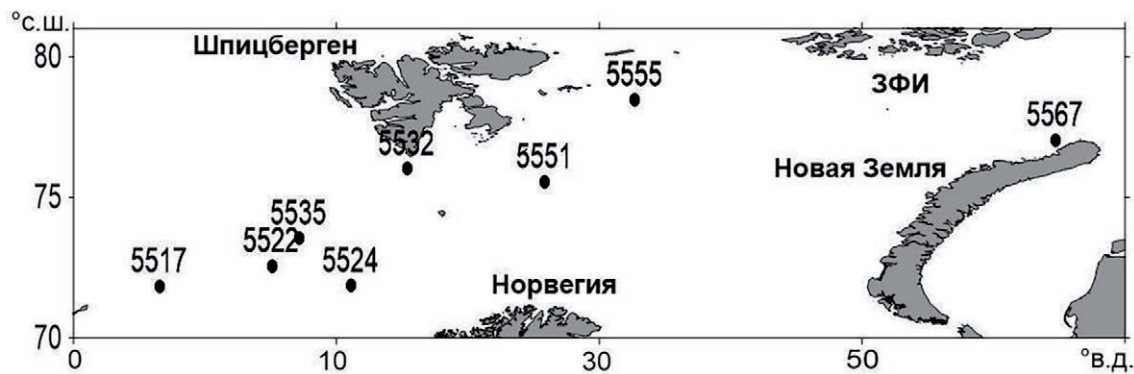


Рис. 6. Изменение содержания УВ в составе $C_{орг}$ (%) с глубиной захоронения на отдельных станциях (2017 г., 68-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»)

Fig. 6. Change in HCs content in the composition of C_{org} (%) with the depth of burial at some stations (2017, voyage #68 of the R/V Akademik Mstislav Keldysh)

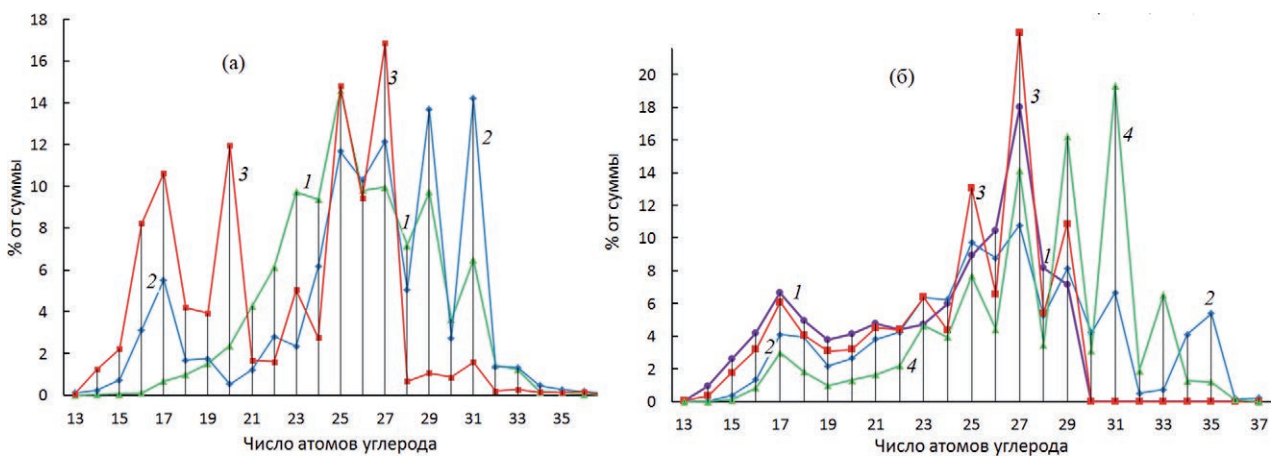


Рис. 7. Изменение состава алканов в донных осадках (2017 г., 68-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш») с глубиной захоронения: (а) – на ст. 5517 (N71°17.927', E05°46.393') 1 – 0–5 см, 2 – 5–10 см, 3 – 10–15 см; (б) – на ст. 5555 (N78°28.318', E33°43.640') 1 – 5–10 см, 2 – 10–15 см, 3 – 15–20 см, 4 – 20–23 см

Fig. 7. Changes in the composition of alkanes in bottom sediments (2017, voyage #68 of the R/V Akademik Mstislav Keldysh) with the depth of burial: (a) at station 5517 (N71°17.927', E05°46.393') 1 – 0–5 cm, 2 – 5–10 cm, 3 – 10–15 cm; (b) – at station 5555 (N78°28.318', E 3°43.640') 1 – 5–10 cm, 2 – 10–15 cm, 3 – 15–20 cm, 4 – 20–23 cm

5–6 см (с 37 до 237 мкг/г), в области резкого изменения редокс-потенциала (Eh изменялось от –30 до –80).

При этом состав алканов на ст. 6841 по содержанию и распределению низкомолекулярных гомологов резко отличался от такового

на соседней ст. 6840 (рис. 9). Только на этой станции среди алканов доминируют низкомолекулярные гомологи (увеличивается отношение L/H). Последнее свидетельствует об интенсивности автохтонных процессов в осадочной толще даже на горизонте 22–26 см. При этом

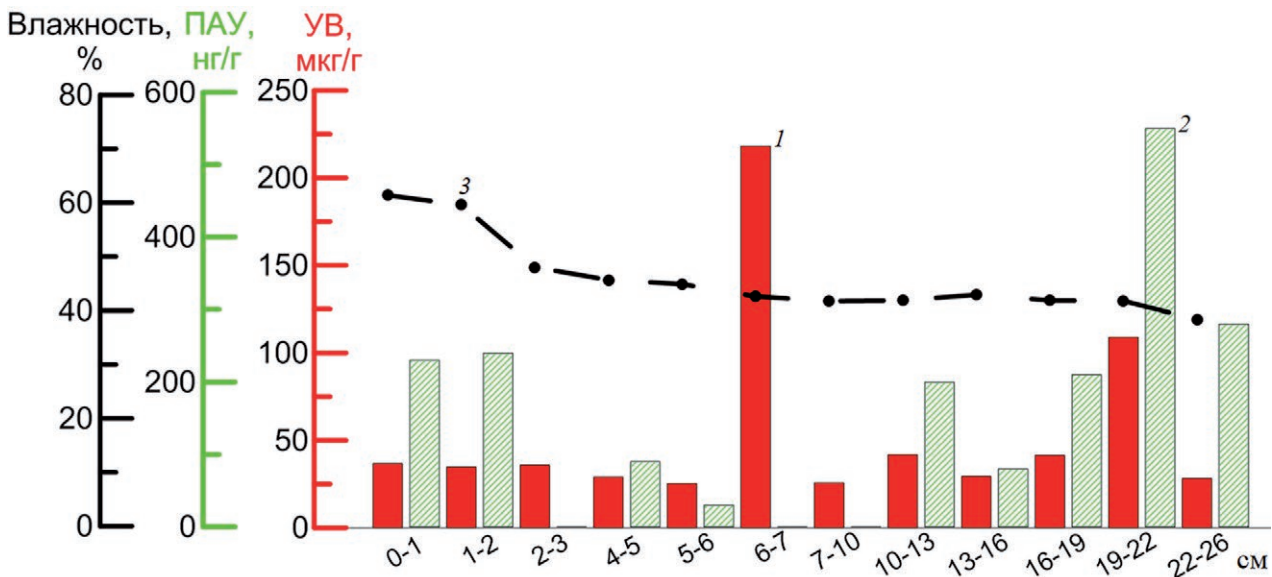


Рис. 8. Распределение алифатических УВ (1), ПАУ (2) и влажности осадков (3) с глубиной захоронения на ст. 6841 (2020 г., 80-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»)

Fig. 8. Distribution of aliphatic HCs (1), PAHs (2) and precipitation moisture (3) with the depth of burial at st. 6841 (2020, voyage #80 of the R/V Akademik Mstislav Keldysh)

величина CPI на ст. 6840 (в среднем 1,8, максимум 2,6) выше, чем на ст. 6841 (в среднем 1,4, максимум 1,8), что может указывать на меньшую трансформацию высокомолекулярных гомологов в районе сипа.

Распределение ПАУ в поверхностных осадках носит мозаичный характер (рис. 5). Их суммарное содержание изменялось в пределах от 230 до 16970 нг/г. Столь широкий концентрационный диапазон, видимо, обусловлен не только разными литолого-фациальными условиями осадконакопления, но и относительной изменчивостью основных геохимических параметров в осадочной толще. В отличие от алифатических УВ наиболее высокие концентрации ПАУ установлены на шельфе арх. Шпицберген, где и ранее в углистых осадках были отмечены повышенные их величины [Dahle et al., 2006]. Специфика этой аномалии имеет устойчивый характер, так как отмечается многими исследователями [АМАР, 2007; Dahle et al., 2006 и др.].

На станциях в Стурфиорде в составе ПАУ доминировали 2-, 3-кольчатые арены: нафталин, 2-метил-нафталин (27–43 % от суммы) и фенантрен (рис. 10). Нафталины – наименее устойчивые соединения, которые должны разлагаться в процессе седиментации [Tolosa et al., 2004]. При этом на ст. 6841 повышенные концентрации нафталинов и фенантрена приурочены к поверхностному, а на ст. 6847 на шельфе арх. Шпицберген – к нижнему гори-

зонту 24–27 см, то есть их образование происходит непосредственно в толще осадков.

Флюидные потоки и их трансформация в поверхностном слое донных осадков рассматривались в качестве основного источника УВ при исследовании донных осадков в районе Штокмановской площади [Петрова и др., 2015; Немировская, 2020]. Считается, что УВ могут двигаться во флюидных потоках как отдельная фаза по порам осадочных пород и оставлять геохимический след в поверхностных осадках благодаря аккумуляции, особенно в местах газовой разгрузки [England et al., 1987]. Низкие величины CPI, которые в основном были ≤ 2 , свидетельствуют о биогенном образовании алканов и могут служить подтверждением этого предположения. Если принять газовый флюид за газ-носитель, а осадочные породы и содержащееся в них ОВ за сорбент и сорбат, легко представить, что извлекаться газовым потоком будут преимущественно низкомолекулярные вещества неразветвленного, компактного строения [АМАР, 2007]. Поэтому в составе ПАУ происходит увеличение нафталинов (рис. 10).

Аномалии в составе алифатических УВ и ПАУ с глубиной захоронения позволяют предположить в качестве источника их поступление из нижележащих горизонтов. Высокий нефтегазовый потенциал Баренцева моря и особенности поверхности морского дна (воронки покмарков) делают данное предположение вполне обоснованным.

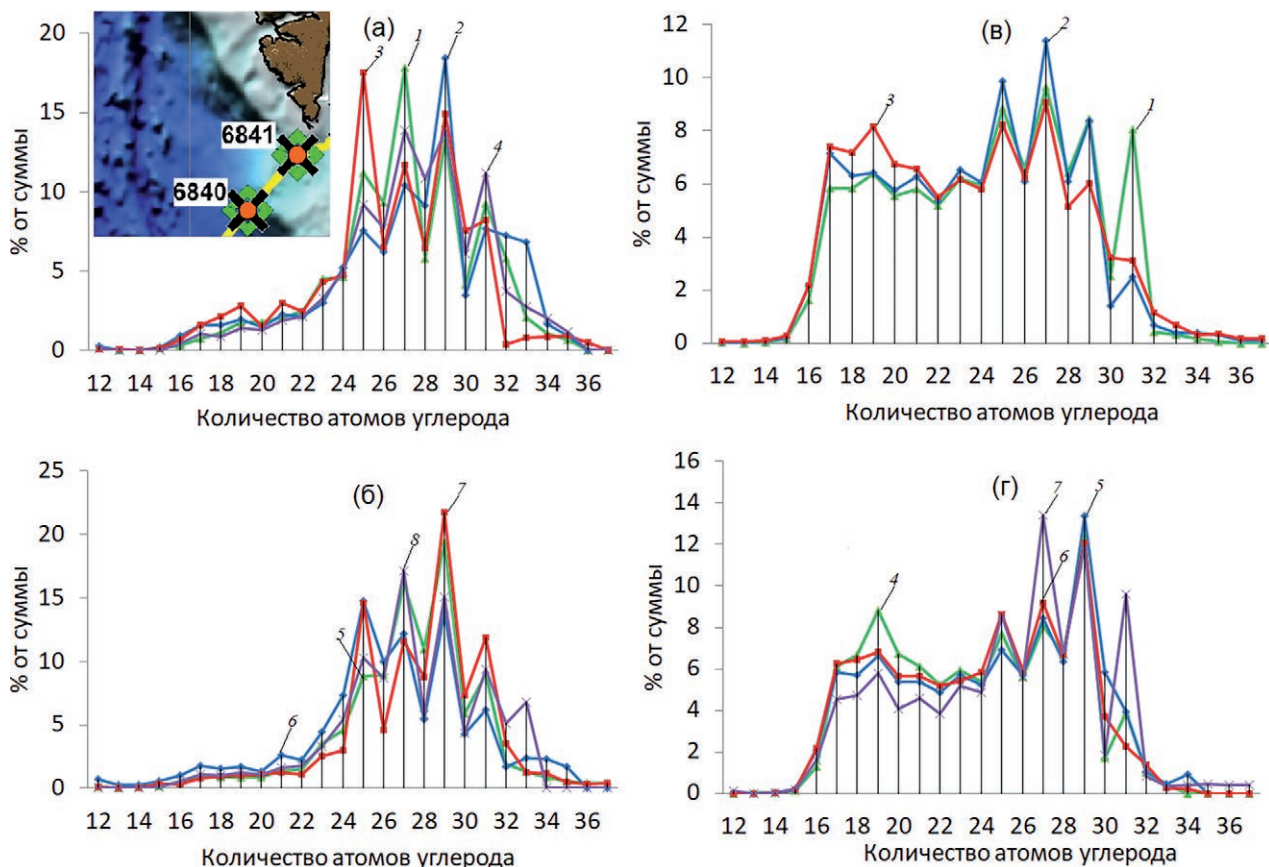


Рис. 9. Изменение состава алканов с глубиной захоронения на станциях 6840 (а): 1 – 0–1, 2 – 1–2, 3 – 2–3, 4 – 3–4; (б): 5 – 4–5, 6 – 5–6, 7 – 6–7, 8 – 7–8 и 6841 (в): 1 – 0–1, 2 – 2–3, 3 – 4–5, (г): 4 – 6–7, 5 – 10–13, 6 – 16–19, 7 – 22–26 см (2020 г., 80-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»)

Fig. 9. Changes in the composition of alkanes with the depth of burial at stations 6840 (a): 1 – 0–1, 2 – 1–2, 3 – 2–3, 4 – 3–4; (б): 5 – 4–5, 6 – 5–6, 7 – 6–7, 8 – 7–8 and 6841: (в): 1 – 0–1, 2 – 2–3, 3 – 4–5, (г): 4 – 6–7, 5 – 10–13, 6 – 16–19, 7 – 22–26 cm (2020, voyage #80 of the R/V Akademik Mstislav Keldysh)

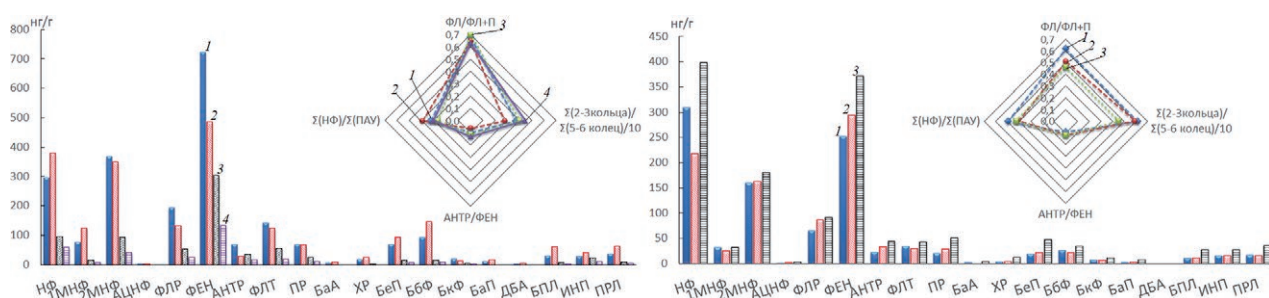


Рис. 10. Изменение состава ПАУ с глубиной захоронения на станциях 6841: 1 – 0–1, 2 – 3–4, 3 – 5–6, 4 – 7–8 см и 6847: 1 – 1–2, 2 – 5–6, 3 – 24–27 см (2020 г., 80-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»)

Fig.: 10. Changes in the PAH composition with the burial depth at stations 6841: 1 – 0–1, 2 – 3–4, 3 – 5–6, 4 – 7–8 cm and 6847: 1 – 1–2, 2 – 5–6, 3 – 24–27 cm (2020, voyage #80 of the R/V Akademik Mstislav Keldysh)

Выводы

В поверхностных водах произошел рост концентраций алифатических УВ во взвеси с 2,8–8,3 (2016–2017 гг.) до 20–23 (2019–2020 гг.) мкг/л, обусловленный прикромочным цветением. Климатические измене-

ния, вызвавшие увеличение ПП в Баренцевом море, привели также к росту концентраций УВ. Повышенное содержание УВ в южной части Баренцева моря (до 58 мкг/л, 2020 г.) связано не только с возросшим судоходством, но и с коколитовидным цветением, то есть природные процессы приводят к формирова-

нию более высоких концентраций УВ. Нефелюидные слои оказывают влияние на распределение УВ в придонном горизонте, а интенсивность процессов на границе взвесь-донные осадки – на их состав.

В поверхностном слое донных осадков увеличение концентраций УВ (до 48–186 мкг/г) происходит в зонах разломов (Стурфиорд, Медвежинский желоб и т. д.), а для ПАУ – в углистых месторождениях Шпицбергена (15250–16970 нг/г). Различный генезис алифатических УВ и ПАУ приводит к отсутствию корреляции в распределении этих углеводородных классов, а также их связи с $C_{орг}$.

В толще осадков разгрузка эндогенных флюидных потоков, изменчивость окислительно-восстановительной обстановки способствует не только утилизации отдельных компонентов в составе УВ, но и образованию автохтонных низкомолекулярных алканов, а в составе ПАУ – нафталинов.

В настоящее время природные процессы, происходящие в Баренцевом море, оказывают большее влияние на формирование состава и уровней алифатических УВ и ПАУ, чем антропогенные.

Экспедиции проведены в рамках госзадания Минобрнауки России (тема № 0128-2021-0006), участие в экспедиции сотрудников осуществлялось при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-17-00234), геохимические исследования и обобщение материалов – в рамках гранта РФФИ 20–35–90025.

Литература

Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 2001. 376 с.

Каминский В. Д., Супруненко О. И., Смирнов А. Н., Медведева Т. Ю., Черных А. А., Александрова А. Г. Современное ресурсное состояние и перспективы освоения минерально-сырьевой базы шельфовой области Российской Арктики // Разведка и охрана недр. 2016. № 9. С. 136–142.

Клювиткин А. А., Кравчишина М. Д., Немировская И. А., Баранов Б. В., Коченкова А. И., Лисицын А. П. Исследование седиментосистем Европейской Арктики в 75-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» // Океанология. 2020. Т. 60, № 3. С. 485–487.

Кодрян К. В., Торгунова Н. И., Агатова А. И. Растворенное и взвешенное органическое вещество в период изменчивости ледового покрова Баренцева моря // Труды ВНИРО. 2017. Т. 169. С. 191–203.

Корчагина Ю. И., Четверикова О. П. Методы исследования рассеянного органического вещества осадочных пород. М.: Недра, 1976. 228 с.

Кравчишина М. Д., Новигатский А. Н., Саввичев А. С., Паутова Л. А., Лисицын А. П. Исследование седиментосистем Баренцева моря и Норвежско-Гренландского бассейна в 68-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» // Океанология. 2019. Т. 59, № 1. С. 167–169.

Кучейко А. А., Иванов А. Ю., Евтушенко Н. В., Филимонова Н. А., Терлеева Н. В., Ивонин Д. В., Александрова А. Г. Пленочные загрязнения Баренцева моря по данным радиолокационного мониторинга 2017–2019 гг. // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24, № 7. С. 48–55.

Лапина Н. М., Торгунова Н. И., Агатова А. И. Органическое вещество во льдах Северного Ледовитого океана // Вопросы промысловой океанологии. 2011. Вып. 8, № 2. С. 156–172.

Леин А. Ю., Маккавеев П. Н., Саввичев А. С., Кравчишина М. Д., Беляев Н. А., Дара О. М., Поняев М. С., Захарова Е. Е., Розанов А. Г., Иванов М. В., Флинт М. В. Процессы трансформации взвеси в осадках в Карском море // Океанология. 2013. Т. 53, № 5. С. 643–679.

Мельников И. А., Семенова Т. Н. Характеристика криобиологической фауны современного морского ледяного покрова Центрального Арктического бассейна // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. Т. 98, № 4. С. 14–25.

Немировская И. А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М.: Научный мир, 2013. 432 с.

Немировская И. А. Осадочное вещество и органические соединения в аэрозолях и в поверхностных водах на трансатлантическом разрезе // Геохимия. 2017. № 4. С. 344–357.

Немировская И. А. Углеводороды в водах и донных осадках Баренцева моря в период изменчивости ледового покрова // Геохимия. 2020. Т. 65, № 7. С. 822–824.

Патин С. А. Нефтяные разливы и их воздействие на морскую среду и биоресурсы. М.: ВНИРО, 2008. 507 с.

Петрова В. И., Батова Г. И., Куршева А. В., Моргунова И. В. Углеводороды в донных осадках Штокмановской площади – распределение, генезис, временные тренды // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2015. № 3. doi: 10.173.53/2070-5379/35_2015

Руководство по методам анализа морских вод / Под ред. С. Г. Орадовского. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. 264 с.

Справочники и руководства. МОК/ВМО. Париж: Юнеско, 1984. № 13. 34 с.

AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). Ch. 4. Sources, Inputs and Concentrations of Petroleum Hydrocarbons, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and other Contaminants Related to Oil and Gas Activities in the Arctic. Oslo, 2007. 87 p.

Arrigo K. R., van Dijken G. L. Continued increases in Arctic Ocean primary production // Progr. Oceanog. 2015. Vol. 136. P. 60–70.

Dahle S., Savinov V., Petrova V., Klungsøyr J., Savinova T., Batova G., Kursheva A. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Norwegian and Russian Arctic marine sediments: concentrations, geographical dis-

tribution and sources // *Norw. J. Geol.* 2006. Vol. 86, no. 1. P. 41–50.

Dalpadado P., Ingvaldsen R. B., Stige L. C., Bogstad B., Knutsen T., Ottersen G., Ellertsen B. Climate effects on Barents Sea ecosystem dynamics ICES // *J. Mar. Sci.* 2012. Vol. 69, no. 7. P. 1303–1316.

Ehrhardt J. D. Negative-ion mass spectra of methylated diuretics // *Repid. Com. Mass. Spect.* 1992. Vol. 6, no. 5. P. 349–351.

England W. A., MacKenzie A. S., Mann D. M., Quigley T. M. The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface // *J. Geol. Soc.* 1987. Vol. 144. P. 327–347.

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.

References

Kaminskii V. D., Suprunenko O. I., Smirnov A. N., Medvedeva T. Yu., Chernykh A. A., Aleksandrova A. G. Sovremennoe resursnoe sostoyanie i perspektivy osvoeniya mineral'no-syr'evoi bazy shel'fovoi oblasti Rossiiskoi Arktiki [The current resource state and prospects for the development of the mineral resource base of the shelf area of the Russian Arctic]. *Razvedka i okhrana nedr* [Exploration and Protection of Mineral Resources]. 2016. No. 9. C. 136–142.

Klyuvitkin A. A., Kravchishina M. D., Nemirovskaya I. A., Baranov B. V., Kochenkova A. I., Lisitsyn A. P. Issledovanie sedimentosistem Evropeiskoi Arktiki v 75-m reise nauchno-issledovatel'skogo sudna "Akademik Mstislav Keldysh" [Study of sediment systems of the European Arctic during the 75th voyage of the research vessel Akademik Mstislav Keldysh]. *Okeanologiya* [Oceanology]. 2020. Vol. 60, no. 3. P. 485–487.

Kodryan K. V., Torgunova N. I., Agatova A. I. Ras-tvorennoe i vzheshennoe organicheskoe veshchestvo v period izmenchivosti ledovogo pokrova Barentseva morya [Dissolved and suspended organic matter during the period of variability of the ice cover of the Barents Sea]. *Trudy VNIRO* [Proceed. VNIRO]. 2017. Vol. 169. P. 191–203.

Korchagina Yu. I., Chetverikova O. P. Metody issledovaniya rasseyannogo organicheskogo veshchestva osadochnykh porod [Methods for studying dispersed organic matter of sedimentary rocks]. Moscow: Nedra, 1976. 228 p.

Kravchishina M. D., Novigatskii A. N., Savichev A. S., Pautova L. A., Lisitsyn A. P. Issledovanie sedimentosistem Barentseva morya i Norvezhsko-Grenlandskogo basseina v 68-m reise nauchno-issledovatel'skogo sudna "Akademik Mstislav Keldysh" [Study of sediment systems of the Barents Sea and the Norwegian-Greenland basin during the 68th voyage of the research vessel Akademik Mstislav Keldysh]. *Okeanologiya* [Oceanology]. 2019. Vol. 59, no. 1. P. 167–169.

Kucheiko A. A., Ivanov A. Yu., Evtushenko N. V., Filimonova N. A., Terleeva N. V., Ivonin D. V., Aleksandrova A. G. Plenochnye zagryazneniya Barentseva morya po dannym radiolokatsionnogo monitoringa 2017–2019 gg. [Film pollution of the Barents Sea ac-

Salot A., Goutx M., Fefrier A., Tusseau D., Andrie C. Organic sedimentation in the water column in the Arabian Sea; relationship between the lipid composition of small and large-size, surface and deep particle // *Mar. Chem.* 1982. Vol. 11, no. 3. P. 257–278.

Tolosa I., Mora S., Sheikholeslami M. R., Ville-neuve J., Bartocci J., Cattini C. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments // *Mar. Pollut. Bull.* 2004. Vol. 48. P. 44–60.

UNESCO. Protocols for the Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) core measurements, IOC/SCOR manual and guides. Paris: UNESCO Publ., 1994. No. 29. P. 128–134.

Поступила в редакцию 10.02.2021

ording to radar monitoring data in 2017–2019]. *Ekol. i promyshlennost' Rossii* [Ecol. and Industry of Russia]. 2020. Vol. 24, no. 7. P. 48–55.

Lapina N. M., Torgunova N. I., Agatova A. I. Organicheskoe veshchestvo vo l'dakh Severnogo Ledovitogo okeana [Organic matter in the ice of the Arctic Ocean]. *Voprosy promyslovoi okeanologii* [Issues of Commercial Oceanology]. 2011. Iss. 8, no. 2. P. 156–172.

Lein A. Yu., Makkaveev P. N., Savichev A. S., Kravchishina M. D., Belyaev N. A., Dara O. M., Ponyaev M. S., Zakharova E. E., Rozanov A. G., Ivanov M. V., Flint M. V. Protsessy transformatsii vzvesi v osadok v Karskom more [Processes of transformation of suspended matter into sediment in the Kara Sea]. *Okeanologiya* [Oceanology]. 2013. Vol. 53, no. 5. P. 643–679.

Mel'nikov I. A., Semenova T. N. Kharakteristika kriobiologicheskoi fauny sovremennogo morskogo ledyanogo pokrova tsentral'nogo arkticheskogo basseina [Characteristics of the cryobiological fauna of the modern sea ice cover of the central Arctic basin]. *Problemy Arktiki i Antarktiki* [Arctic and Antarctic Problems]. 2013. Vol. 98, no. 4. P. 14–25.

Nemirovskaya I. A. Neft' v okeane (zagryaznenie i prirodnye potoki) [Oil in the ocean (pollution and natural fluxes)]. Moscow: Nauchnyi mir, 2013. 432 p.

Nemirovskaya I. A. Osadochnoe veshchestvo i organicheskie soedineniya v aerolyakh i v poverkhnostnykh vodakh na transatlanticheskom razreze [Sedimentary matter and organic compounds in aerosols and in surface waters in the Transatlantic section]. *Geokhim.* [Geochem.]. 2017. No. 4. P. 344–357.

Nemirovskaya I. A. Uglevodorody v vodakh i donnykh osadkakh Barentseva morya v period izmenchivosti ledovogo pokrova [Hydrocarbons in the waters and bottom sediments of the Barents Sea during the period of ice cover variability]. *Geokhim.* [Geochem.]. 2020. Vol. 65, no. 7. P. 822–824.

Patin S. A. Neftnyanye razlivi i ikh vozdeistvie na morskuyu sredu i biorekursy [Oil spills and their effect on the marine environment and bioreources]. Moscow: VNIRO, 2008. 507 p.

Petrova V. I., Batova G. I., Kursheva A. V., Morgunova I. V. Uglevodorody v donnykh osadkakh Shtok-

manovskoi ploshchadi – raspredelenie, genezis, vremennye trendy [Hydrocarbons in bottom sediments of the Shtokman area – distribution, genesis, and temporal trends]. *Neftegazovaya geol. Teoriya i praktika* [Petroleum Geol. Theory and Practice]. 2015. No. 3. doi: 10.173.53/2070–5379/35_2015

RD 52.10.243-92. Rukovodstvo po metodam analiza morskikh vod [RD 52.10.243-92. Guide on seawater chemical analyses]. Ed. S. G. Oradovsky. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1993. 264 p.

Spravochniki i rukovodstva. MOK/VMO [Reference books and manuals. IOC / WMO]. Paris: UNESCO Publ., 1984. No. 13. 34 p.

Vernadskii V. I. Khimicheskoe stroenie biosfery Zemli i ee okruzheniya [The chemical structure of the Earth's biosphere and its environment.]. Moscow: Nauka, 2001. 376 p.

AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). Ch. 4. Sources, Inputs and Concentrations of Petroleum Hydrocarbons, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and other Contaminants Related to Oil and Gas Activities in the Arctic. Oslo, 2007. 87 p.

Arrigo K. R., van Dijken G. L. Continued increases in Arctic Ocean primary production. *Progr. Oceanog.* 2015. Vol. 136. P. 60–70.

Dahle S., Savinov V., Petrova V., Klungsøyr J., Savinova T., Batova G., Kursheva A. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Norwegian and Russian Arctic marine sediments: concentrations, geographical distribution and sources. *Norw. J. Geol.* 2006. Vol. 86, no. 1. P. 41–50.

Dalpadado P., Ingvaldsen R. B., Stige L. C., Bogstad B., Knutsen T., Ottersen G., Ellertsen B. Climate effects on Barents Sea ecosystem dynamics ICES. *J. Mar. Sci.* 2012. Vol. 69, no. 7. P. 1303–1316.

Ehrhardt J. D. Negative-ion mass spectra of methylated diuretics. *Repid. Com. Mass. Spect.* 1992. Vol. 6, no. 5. P. 349–351.

England W. A., MacKenzie A. S., Mann D. M., Quigley T. M. The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface. *J. Geol. Soc.* 1987. Vol. 144. P. 327–347.

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.

Saliot A., Goutx M., Fefrier A., Tusseau D., Andrie C. Organic sedimentation in the water column in the Arabian Sea; relationship between the lipid composition of small and large-size, surface and deep particle. *Mar. Chem.* 1982. Vol. 11, no. 3. P. 257–278.

Tolosa I., Mora S., Sheikholeslami M. R., Ville-neuve J., Bartocci J., Cattini C. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments. *Mar. Pollut. Bull.* 2004. Vol. 48. P. 44–60.

UNESCO. Protocols for the Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) core measurements, IOC/SCOR manual and guides. Paris: UNESCO Publ., 1994. No. 29. P. 128–134.

Received February 10, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Немировская Инна Абрамовна

главный научный сотрудник, д. г.-м. н.
Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН
Нахимовский проспект, 36, Москва, Россия, 117997
эл. почта: nemir44@mail.ru
тел.: +79104508460

Храмцова Анастасия Владимировна

младший научный сотрудник
Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН
Нахимовский проспект, 36, Москва, Россия, 117997
эл. почта: asya-medvedeva95_16@mail.ru
тел.: 89856431074

Халиков Ильдус Салихович

старший научный сотрудник, к. х. н.
Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН
Нахимовский проспект, 36, Москва, Россия, 117997
эл. почта: khalikov@typhoon.obninsk.ru

Колтовская Екатерина Владимировна

аспирант
Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН
Нахимовский проспект, 36, Москва, Россия, 117997
эл. почта: katyayaya15@gmail.com

Соломатина Александра Сергеевна

младший научный сотрудник
Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН
Нахимовский проспект, 36, Москва, Россия, 117997
эл. почта: blackmaple@yandex.ru
тел.: 89168715023

CONTRIBUTORS:

Nemirovskaya, Inna

Shirshov Institute of Oceanology,
Russian Academy of Sciences
36 Nakhimovskii Ave., 117997 Moscow, Russia
e-mail: nemir44@mail.ru
tel.: +79104508460

Khramtsova, Anastasia

Shirshov Institute of Oceanology,
Russian Academy of Sciences
36 Nakhimovskii Ave., 117997 Moscow, Russia
e-mail: asya-medvedeva95_16@mail.ru
tel.: +79856431074

Khalikov, Ildus

Shirshov Institute of Oceanology,
Russian Academy of Sciences
36 Nakhimovskii Ave., 117997 Moscow, Russia
e-mail: khalikov@typhoon.obninsk.ru

Koltovskaya, Ekaterina

Shirshov Institute of Oceanology,
Russian Academy of Sciences
36 Nakhimovskii Ave., 117997 Moscow, Russia
e-mail: katyayaya15@gmail.com

Solomatina, Alexandra

Shirshov Institute of Oceanology,
Russian Academy of Sciences
36 Nakhimovskii Ave., 117997 Moscow, Russia
e-mail: blackmaple@yandex.ru
tel.: +791668715023