

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/293507571>

Hydrocarbons in the Northern Barents Sea

Article in *Geochemistry International* · September 2001

CITATIONS

4

READS

84

1 author:



Inna Abramovna Nemirovskaya

P.P. Shirshov Institute of Oceanology

165 PUBLICATIONS 432 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Геолого-геохимические исследования природных и антропогенных процессов в воде, взвесьях и донных осадках морских акваторий, в том числе в крайних районах Мирового океана [View project](#)

УГЛЕВОДОРОДЫ ВЫСОКИХ ШИРОТ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

© 2001 г. И. А. Немировская

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117851 Москва, Нахимовский просп., 36*

Поступила в редакцию после доработки 01.06.2000 г.

Представлены результаты изучения содержания и состава алифатических углеводородов и полициклических ароматических углеводородов в снеге, кернах льда, в воде и донных осадках в северной части Баренцева моря в районе желоба Франц-Виктория. Установлено, что, несмотря на сравнительно высокие концентрации углеводородов в снеге, кернах льда и в толще воды в слое скачка плотности, их распределение обусловлено преимущественно естественными гидробиологическими и геохимическими условиями и природные факторы определяют основные закономерности их миграции; лишь в свежевывавшем снеге прослеживается влияние пирогенных источников.

В связи с разведкой, добычей и транспортировкой нефти и газа на арктическом шельфе становится наиболее актуальным изучение поведения углеводородов (УВ) в высокоширотных акваториях. Определенный вклад в углеводородное загрязнение этих районов вносят также сбросы с морских судов, сжигание ископаемых топлив, дальний атмосферный перенос и естественное высачивание нефти, а также водо- и льдообмен с сопредельными акваториями [1]. Баренцево море является своеобразным коллектором загрязненных вод, попадающих с Северо-Атлантическим течением и из Норвежского моря.

Природная среда в Арктике наиболее уязвима к нефтяным разливам, так как вследствие экстремальных условий – низких температур, ледяного покрова и полярной ночи, меры по предотвращению и борьбе с нефтяным загрязнением затруднены. Кроме того, в этих условиях снижается самоочищающая способность морской среды, а растениям и животным требуется больше времени для восстановления после нанесенного им урона.

Однако анализ содержания УВ в арктических средах показал сравнительно низкие их концентрации, связанные с антропогенной деятельностью [1]. Исключения составляют места разливов нефти, эстуарии российских рек, промышленные и населенные районы, военные объекты, где происходили аварийные или регламентные сбросы (например, прорыв Усинского нефтепровода). Это может свидетельствовать о том, что процессы естественного очищения от нефтяных загрязняющих веществ оказались в большинстве случаев интенсивнее, чем процессы накопления. Было показано, что нефтеокисляющая активность микрофлоры усиливается во время разливов даже при низких температурах [2]. Кроме того, установлено, что в экосистемах Норвежского и Баренцева морей, несмотря на низкие температуры, происходит интенсивное преобразование как автотонного, так и аллотонного ОВ [3, 4].

Для определения источников, путей поступления и трансформации загрязняющих веществ необходимо знать их фоновые характеристики в районах, удаленных от непосредственных антропогенных поступлений. В связи с этим проведено исследование алифатических углеводородов (АУВ) и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в снеге, льдах, морской воде и донных осадках в 14-м рейсе НЭС “Академик Федоров” (октябрь 1998 г.), в северной части Баренцева моря (район желоба Франц-Виктория; рис. 1). Для понимания процессов переноса загрязняющих веществ особенно важно определить значимость этих процессов внутри объектов окружающей среды.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили на 3-х полигонах, где отбирали пробы льда и снега и на 3-х разрезах через разные части желоба Франц-Виктория, где отбирали пробы воды и донных осадков. При отборе и анализе проб соблюдали меры, необходимые для предотвращения загрязнения.

Снег и лед собирали в предварительно промытые пластиковые пакеты. Плавление проб проводили при температуре 8–10° в специальных емкостях на борту судна. Воду из поверхностного, придонного горизонтов и слоя скачка плотности отбирали пластиковыми батометрами зондирующего комплекса Нейл-Браун; донные осадки – ударной трубкой “УТ-73” (ст. 4) и грунтовым пробоотборником “Voxcoer” (остальные станции).

Анализ УВ проводили сразу после отбора проб. Для исследования использовали методы, применяемые при анализе природных и антропогенных УВ. Комплекс методических процедур экстракции и концентрирования УВ из различных объектов (снега, льда, воды, взвеси и донных осадков) был строго стандартизирован [5]. Для выделения УВ непосредственно после отбора проб использова-



Рис. 1. Район работ в 14-м рейсе нэс "Академик Федоров".

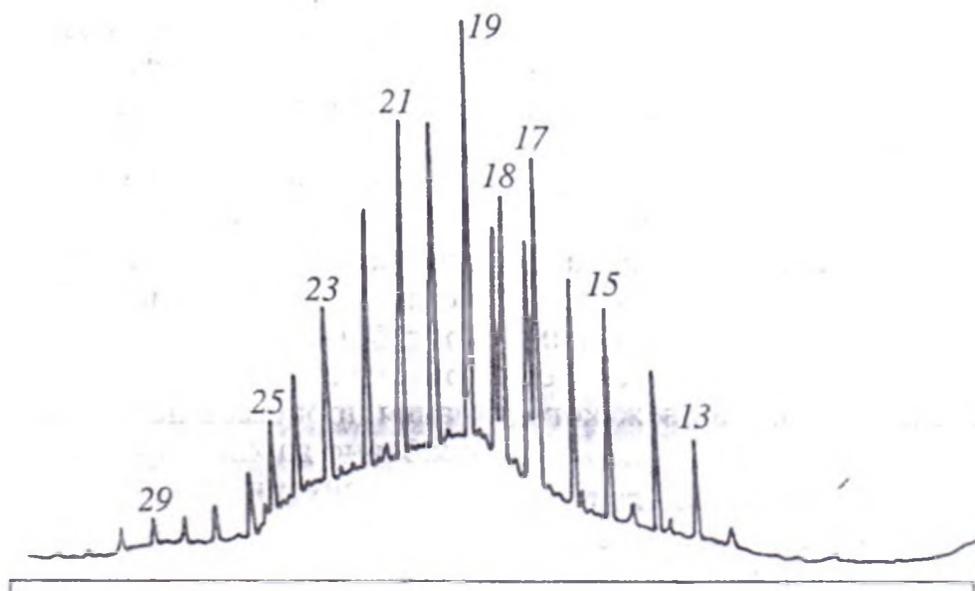


Рис. 2. Типичная хроматограмма алканов, выделенных из снега северной части Баренцева моря.

ли хлороформ. При экстракции УВ из взвеси, выделенной на стекловолокнистые фильтры GF/F из растопленных проб снега и льда и донных осадков для обезвоживания добавляли сульфат натрия. Для выделения углеводородных фракций использовали колоночную хроматографию на силикагеле.

Концентрацию АУВ определяли на борту судна методом ИК-спектрофотометрии [5] на приборе IR-435 Shimadzu (Япония). Алканы анализировали методом капиллярной газовой хроматографии на хроматографе "Хром-5" (ЧСР); содержание и состав ПАУ определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе "Миличром" (Россия) [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В снеге содержание АУВ оставалось практически неизменным (в табл. 1 приведены результаты анализа наиболее характерных проб): при средней величине 15.0 мкг/л ($n = 7$), квадратичное

отклонение (δ) составляло 1.8, т.е. разброс значений сопоставим с ошибкой их измерения ИК-методом. Причем поверхностный и нижележащий слой снега содержат равное количество растворенных и взвешенных УВ. Исключение представляет проба, отобранная во время снегопада, где концентрация АУВ – 46.5 мкг/л, в 3 раза превосходит их среднюю величину.

Полученные нами результаты близки к концентрациям АУВ в пробах снега, отобранных в Карском и Гренландском морях: 10–20 мкг/л [6] и сопоставимы с их содержанием в поверхностных морских водах.

Доля АУВ во взвеси ($AУВ_v$) составляет 18% от взвешенного органического углерода (ВОУ), а доля растворенных ($AУВ_p$) лишь 0.65% от растворенного органического углерода (РОУ), т.е., в основном, АУВ поступают из атмосферы в составе аэрозолей. Среди растворенных алканов снега (рис. 2) преобладали высокомолекулярные нечетные гомологи: значения СРІ (отношение вы-

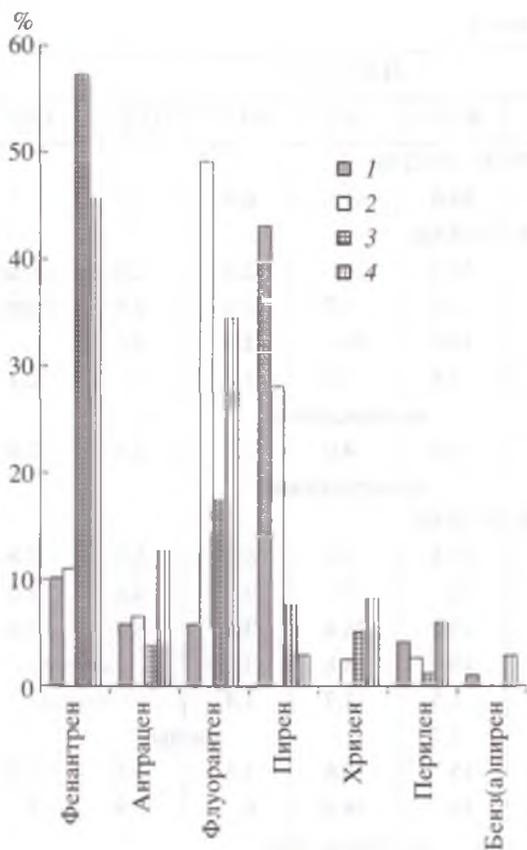


Рис. 3. Состав ПАУ в пробах снега и льда
1 – снег, ΣПАУ 162 нг/л; 2 – снег, ΣПАУ 104 нг/л; 3 – снег, ΣПАУ 30 нг/л; 4 – лед, ΣПАУ 110 нг/л.

В отдельных случаях спектр характеризовался наличием “горба” нафтоароматических соединений. Известно, что “горб” может составлять ~90% от суммарного содержания АУВ снежно-ледяного покрова Гренландского моря [6], а в снеге Баренцева моря, согласно нашим данным – до 47%, что может свидетельствовать о степени их преобразованности.

ПАУ также интенсивно вымываются снегом, особенно в начальной стадии снегопада. Их суммарное содержание уменьшалось (для ПАУ_р) от 162 нг/л в свежеснежавшем снеге до 30 нг/л в фирне (рис. 3). Кроме того, свежеснежавший снег отличался повышенными концентрациями пирогенных полиаренов – Σ(пирен + бенз(а)пирен). Отношение этих полиаренов к “природным” – Σ(фенантрен + хризен) изменялось от 2.1 во время снегопада до 0.2 в фирне, т.е. в начале снегопада наиболее интенсивно вымываются периконденсированные, пирогенные ПАУ. Причем этот снег, согласно метеорологическим наблюдениям, характеризовался наиболее высокими концентрациями сажевых частиц, и их количество уменьшалось в процессе снегопада. Состав аэрозолей

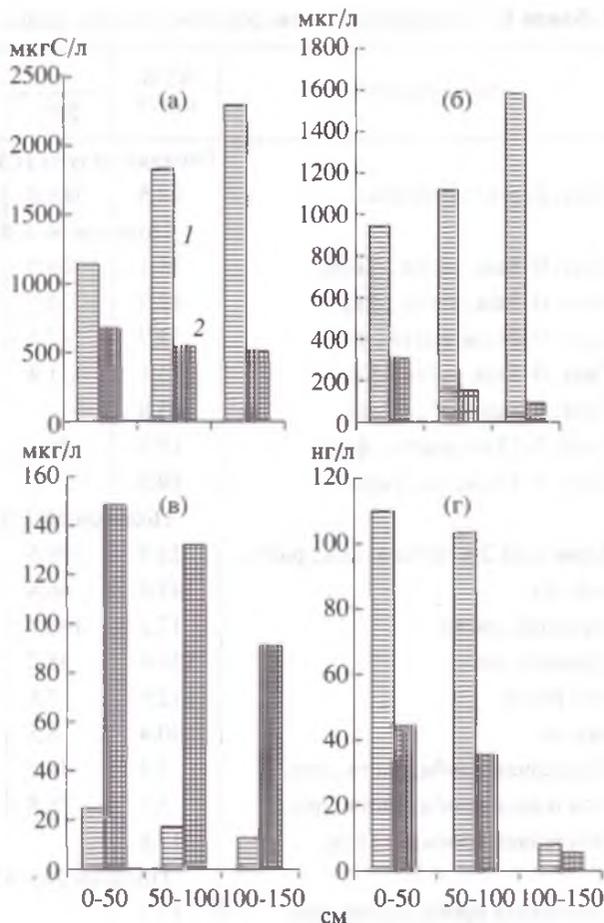


Рис. 4. Изменение содержания ОВ (а), липидов (б), АУВ (в) и ПАУ (г) в ядрах льда в растворенной (1) и взвешенной (2) формах.

Арктики отличается повышенным содержанием сажевого углерода ($C_{саж}$), предположительно из-за таежных пожаров [8]. Эти аэрозоли, состоящие из субмикронных частиц, служат сорбентом для ряда загрязнителей и могут переноситься далеко от источника их эмиссии. Считается, что в Арктике влажное или сухое осаждение из атмосферы является основным источником загрязнения многими контаминатами [1]. Зимой в Арктике частицы аэрозолей могут оставаться в воздухе 20–30 дней, создавая тем самым условия для дальнего переноса и накопления загрязняющих веществ; летом они обычно остаются в воздухе от 2 до 5 дней. Атмосфера – наиболее быстрый и прямой путь переноса загрязнения от их источников.

В ядрах льда (рис. 4) от поверхности к низу содержание РОУ и растворенных липидов увеличивалось, а ВОУ и взвешенных липидов уменьшалось. Напротив, для растворенных и взвешенных форм УВ концентрации уменьшались. Такое распределение может быть обусловлено различными свойствами этих органических соединений,

Таблица 1. Содержание углеводородов в пробах воды, льда и снега

Описание пробы	АУВ, мкг/л	ПАУ, нг/л						
		Σ**	Ф**	Фл**	П**	ХР**	ПЛ**	БП**
Верхняя палуба НЭС, 81°49'1N; 40°32'9E								
Снег, раств.*, снегопад	48.5	161.8	18.4	89.6	47.1	6.8	8.5	1.7
Полигон № 1, 81°53'9N; 39°18'6E								
Снег, 0–5 см, раств., фирн	15.1	103.7	11.4	51.2	29	2.6	2.8	следы
Снег, 0–5 см, раств., фирн	12.3	34.7	11.4	8.5	4.7	2.6	2.8	следы
Снег, 0–20 см, раств., фирн	12.7	47.4	20.8	10.8	10	1.3	4.5	–
Снег, 0–5 см, раств., фирн	15.1	31.4	19.8	5.5	2.4	1.8	–	2.1
Снег, 0–5 см, вз*, фирн	15.8	не определяли						
Снег, 5–15 см, раств., фирн	15.1	29.6	14.5	6.0	4.0	1.2	2.3	1.6
Снег, 5–15 см, вз., фирн	19.7	не определяли						
Полигон № 2, 81°53'9N; 39°18'6E								
Керн льда 2-х летний, пов., раств.	24.8	109.5	0	41.4	3.2	8.2	5.8	2.8
пов., вз.	147.6	46.8	18.9	12	7.2	2.7	4.8	1.2
середина, раств.	17.2	102.7	28.2	43.2	26.4	3.1	8.4	1.4
середина, вз.	131.6	35.2	12.5	10	8.8	3.2	следы	
низ, раств.	12.5	7.6	3	1.5	1.7	1.4	следы	
низ, вз.	90.4	5.5	3.8	1.7	следы			
Подледная проба, раств., пов.	7.4	34.9	8.6	15	5.6	1.5	1.5	1.8
Подледная проба, раств., пов.	5.7	78.8	11.6	31	16.4	6	5.8	1
Подледная проба, вз., пов.	17.8	не определяли						
Полигон №3, 81°51'6N; 38°18'7E								
Подледная проба, раств., пов.	12.1	не определяли						
Подледная проба, раств., гл. 7.5 м	38.3	»						
Снег, 0–5 см, раств., фирн	16.4	40.2	31.5	8.8	следы			
Снег, 5–15 см, раств., фирн	17.2	25.6	19.6	6.0	следы			
Подледная проба, раств., пов.	19.4	не определяли						
Лед однолетний, раств.	25.4	103	72.2	14.4	5.7	2.2	5.6	2.9
Снег, 0–5 см, раств., фирн	8.9	74.2	55.1	12.1	4.3	1.1	1.1	0.5
Снег, 0–5 см, вз., фирн	8.5	не определяли						
Снег, 5–15 см, раств., фирн	40.4	»						
Лед однолетний, раств.	31	45.1		15.2	10.4	2.1	–	0.8
Лед однолетний, вз.	86	37.0		17.0	следы			
Подледная проба, пов., раств.	9.8	10.1		7.8	следы			
Подледная проба, пов., вз.	20.7	не определяли						
Подледная проба, раств., пов.	21.4	»						
Подледная проба, раств., 3 м	27.5	»						
Подледная проба, раств., 7.5 м	20.5	»						

* раств. – растворенная форма; вз. – взвешенная форма.

** – суммарная концентрация ПАУ, Ф – фенантрен, ФЛ – флуорантен, П – пирен, ХР – хризен, ПЛ – перилен, БП – бенз(а)пирен.

сокомолекулярных нечетных алканов к четным) превышало 1. Такой состав алканов напоминает состав УВ снега района р. Москвы, где значения СРІ в области $C_{22}-C_{35}$ изменялось в интервале 1.1–2.7 [7],

а в снеге из Гренландского моря величина СРІ достигала 5.3 [6]. Высокомолекулярные компоненты в снежном покрове, очевидно, связаны с биогенной эоловой взвесью наземного происхождения.

Таблица 2. Содержание растворенных алифатических углеводородов (мкг/л) в морских водах

Разрез 1 (82°00'–81°34'N; 37°39'–44°19'E)			Разрез 2 (продолжение)			Разрез 3 (80°00'–79°10'N; 39°40'–39°59'E)		
Станция	Горизонт, м	УВ	Станция	Горизонт, м	УВ	Станция	Горизонт, м	УВ
5	0	20	10	0	25	13	20	11
	40	25		50	76		42	17
	1079	32		269	17		124	11
3	0	21	9	0	15	14	0	16
	25	11		50	65		40	19
	401	7		335	19		258	22
2	0	22	8	0	20	15	0	18
	407	13		50	18		40	33
1	0	15	7	0	15	16	10	14
	40	15		50	40		40	49
	231	12		339	16		16	14
Разрез 2 (80°16'–80°37'N; 39°25'–44°27'E)							335	
12	0	13	6	0	21	17	20	20
	28	62		50	40		32	35
	91	9		340	19		146	24
11	0	11						
	40	31						
	197	35						

а также источниками их поступления. На долю взвешенной формы во льдах приходится до 90% от суммарного содержания АУВ, что, скорее всего, обусловлено количеством здесь взвешенного материала и их гидрофобными свойствами. Поэтому распределение УВ_в в кернах льда совпадает с распределением ВОУ.

Уменьшение концентраций от поверхности к нижним частям для ПАУ происходит более резко, чем для АУВ (рис. 4г), особенно на горизонте 100 см, где проходит граница между двухлетним и однолетним льдом. В составе ПАУ доминировал наиболее растворимый из идентифицированных УВ фенантрен (72–74% от СПАУ), что обуславливает преимущественное их содержание (в отличие от АУВ) в растворенной форме, отношение ПАУ_р : ПАУ_в составило в среднем 2.5 : 1. Напротив, состав ПАУ_в характеризуется повышенными концентрациями пирена, и отношение флуорантен/(флуорантен + пирен) уменьшалось от 0.9 до 0.6 при переходе от растворенной к взвешенной форме. Примечательно, что для липидов также наиболее характерна растворенная форма. Одна из особенностей зимнего режима Ледовитого океана заключается в том, что все гидробионты запасают жиры на зиму, т.е. липиды так же как ПАУ, в основном, состоят из полярных соединений, поэтому доминируют Л_р.

В нижней части керна при соприкосновении льда с водой, очевидно, происходит вымывание гидрофильных полиаренов, так как их содержа-

ние и состав в этом слое резко уменьшается и практически совпадает с уровнем, наблюдаемым в поверхностных водах.

В водах исследуемого района среднее содержание АУВ_р в подледных пробах и в пробах, отобранных на станциях с поверхности с помощью батометров, совпадает и составляет 16 мкг/л. Однако в лунках подо льдом дисперсия концентраций несколько выше ($n = 7$; $\delta = 8$ против $n = 16$; $\delta = 4$), очевидно, из-за наличия ледяной крошки. Данные по содержанию АУВ в поверхностных водах близки к результатам, полученным ранее для других районов Баренцева моря, определенным ИК-методом. В частности, для Печорского моря концентрация АУВ удерживалась на уровне 30 мкг/л, для Печорской губы – 10 мкг/л, а в районе Штокмановского месторождения – 10–20 мкг/л [9]. Ареалы повышенных концентраций УВ расположены в южной части моря, в области фронтальной, полярной зоны, а также в районах интенсивного рыбного промысла и судоходства.

На вертикальное содержание УВ в районе жёлоба Франц-Виктория, в зоне активного поступления в Арктический бассейн теплых атлантических вод, сильное влияние оказывают смешение вод разного генезиса и, как следствие этого, образование пикноклина, а также океанологические условия шельфа. Поэтому распределение АУВ на кромке материкового склона (табл. 2, разрез 1) и на мористых станциях (разрезы 2 и 3) различается.

Таблица 3. Содержание и состав углеводородов в донных осадках

Станция	Глубина моря, м	Горизонт, см	C _{орг} , %	АУВ*		ПАУ, нг/л							ΣПАУ, % от C _{орг} × 10 ⁻⁴
				мкг/г	% от C _{орг}	ΣПАУ	Ф**	ФЛ	П	ХР	ПЛ	БП	
4	785	5–15	1.32	10.30	0.08	13.2	3.9	3.7	2.9	0.6	0.7	1.4	1.0
		15–25	0.97	45.40	0.47	39.6	3.8	11.0	6.5	4.4	11.9	1.9	4.08
		35–45	1.85	32.60	0.18	24.4		7.8	6.1	1.1	2.2	0.5	1.32
		77–87	0.97	80.80	0.83	53.0	14.1	19.5	8.8	3.6	7.0	–	5.46
		118–130	0.82	71.80	0.88	10.4	2.6	1.5	1.1	0.4	2.0	–	1.26
		150–160	1.61	90.80	0.56	5.5	1.2	0.8	0.5	0.5	1.8	0.7	0.34
		170–186	1.48	77.00	0.52	5.5	1.2	0.8	0.5	0.5	1.8	0.7	0.34
7	365	0–2	2.02	10.20	0.05	5.1	0.5	1.4	–	0.3	1.9	1.0	0.23
		8–10	1.84	6.60	0.04	7.8	2.9	3.2	0.6	0.5	0.6	–	0.42
9	350	0–2	1.39	12.80	0.09	23.7	4.4	8.2	6.0	1.0	3.7	–	1.71
		2–5	1.84	14.20	0.08	0.3	0.3	–	–	–	–	–	0.02
		12–14	1.81	5.20	0.03	0.2	0.2	–	–	–	–	–	0.01
15	315	2–4	1.37	14.40	0.11	3.6	1.3	1.0	0.5	0.2	0.6	–	0.25
		34–38	1.37	18.50	0.14	20.4	5.4	6.8	4.9	0.6	2.1	0.4	1.48
		60–62	1.81	6.42	0.04	7.6	2.1	1.5	0.3	0.5	2.8	0.4	0.42
16	336	0–2	2.17	18.90	0.09	5.5	1.5	0.9	0.5	0.3	0.6	–	0.23
		14–16	1.88	8.60	0.05	4.3	1.5	1.5	0.4	0.3	0.6	–	0.15
		57–58	1.81	11.00	0.06	2.8	0.6	0.9	0.4	0.1	0.7	0.1	0.2

* Алифатические углеводороды

** Ф – фенантрен, ФЛ – флуорантен, П – пирен, ХР – хризен, ПЛ – перилен, БП – бенз(а)пирен.

На 1 разрезе наблюдается уменьшение концентраций в глубинных горизонтах, что соответствует обычному распределению АУВ в толще океанских вод. Однако на ст. 5 с глубиной происходит аномальное увеличение их концентраций (синхронное с увеличением содержания углеводов и липидов [3]), и в придонном горизонте (глубина > 1000 м) их содержание в 1.5 превосходит поверхностное. Обычно увеличение концентраций УВ у дна наблюдается в прибрежных районах с тонкодисперсными осадками и рассматривается как результат эрозии дна и ресуспендирования [10]. Взмучивание донных осадков при отборе проб в районе работ (из-за наличия пингера) исключено. Поэтому можно предположить, что эта аномалия в распределении УВ обусловлена либо нефелоидными потоками в придонном слое, либо флюидными потоками из донных осадков – явлением типа грязевого вулкана Хаакон Мосби на материковом склоне западной части Норвежского моря [11]. Последнее предположение кажется более вероятным, так как в придонном слое отмечено повышенное содержание этана.

На разрезах 2 и 3 увеличение концентраций АУВ наблюдается в слое пикноклина на глубинах 30–50 м; наиболее резкое – на 2-м разрезе (табл. 2). Содержание АУВ здесь на отдельных станциях превышало даже величину ПДК для нефтяных УВ – 50 мкг/л, а средняя по разрезу – 47.6 мкг/л

сопоставима с этой величиной. Причем уровень АУВ в слое пикноклина оказался в 3–5 раз выше, чем на поверхности, а степень концентрирования соответствует наблюдаемой в поверхностном микрослое [5].

В составе алканов в слое пикноклина преобладали трансформированные соединения. Доминирующие пики на хроматограммах – полиолефин НЕН в низкомолекулярной и гопан – в высокомолекулярной области. Это может быть связано с концентрированием в слое скачка плотности, синтезированных фитопланктоном компонентов из толщи воды.

В слое пикноклина также происходит концентрирование ПАУ, где их содержание достигает 90 нг/л, что в 2–3 раза выше, чем на поверхности. В придонных горизонтах ПАУ обнаружены в следовых количествах. Основу ПАУ составляет фенантрен (до 90% от ΣПАУ). Бенз(а)пирен идентифицирован лишь в отдельных случаях и в составе ПАУ снега, льда и воды относится к минорным компонентам.

Донные осадки в исследуемом районе представлены преимущественно алевроито-пелитовыми терригенными илами с довольно низкими концентрациями ОВ и УВ (табл. 3). В поверхностных слоях содержание АУВ в расчете на сухую массу изменялось от 10.2 до 18.9 мкг/г (0.03–0.11% от C_{орг}), а

для ПАУ: от 3.6 до 13 нг/г ($0.23-1.7 \times 10^{-4}\%$ от $C_{орг}$). Причем, если по вертикали колонок концентрация ОВ почти не менялась, то в распределении УВ наблюдалось несколько максимумов. Наиболее интересные результаты получены на ст. 4, расположенной на континентальном склоне с более высокими скоростями седиментации (рис. 5). В верхних, наименее преобразованных слоях с изменением окислительно-восстановительной обстановки (до 1 м) в диагенетических процессах происходит образование УВ за счет расхода ОВ и между этими параметрами наблюдается обратная связь. Напротив, в глубинных ледово-морских горизонтах более преобразованных осадков уменьшается содержание как $C_{орг}$, так и УВ.

Распределение суммарных концентраций ПАУ в осадочной толще определяет прежде всего содержание флуорантена, значительную долю составляют также перилен и хризен (табл. 3, рис. 5б). Причем, если в поверхностных слоях осадков превалирует флуорантен, наиболее стабильный из идентифицированных ПАУ, то в осадочной толще в слое 15–25 см – перилен, доля которого увеличивалась в 6 раз по сравнению с поверхностным горизонтом. Перилен рассматривается, как полиарен геохимического фона [12]. В антропогенных источниках (нефтепродукты, пиролитические процессы) перилен относится к минорным компонентам [13]. Повышенные концентрации перилена установлены как в осадках с поступлением аллохтонного ОВ, так и в осадках районов, где их снос маловероятен, т.е. наряду с терригенным возможен гидробионтный генезис перилена. Считается, что в осадочной толще он образуется *in situ* микробальным путем [12].

Таким образом, проведенные исследования показали, что УВ интенсивно вымываются снегом, особенно в первые часы снегопада. Причем фоновое содержание УВ в снеге сопоставимо с их концентрациями в поверхностных водах. Снег обладает высокой степенью очищения атмосферы от аэрозольного материала, даже более высокой, чем дожди [14]. Поэтому снег рассматривается в качестве насоса, который выкачивает аэрозольные частицы и способствует дальнейшему атмосферному переносу как природных, так и антропогенных органических и неорганических элементов и в итоге транспортирует их на поверхность океанской воды или ледового покрова. Соединения, обладающие сравнительно малой растворимостью, такие как АУВ (в составе которых преобладали высокомолекулярные компоненты), адсорбируются твердыми частицами и попадают в воду лишь на заключительной стадии таяния снега и, в основном, в составе взвеси [15]. Напротив, для ПАУ аэрозольная составляющая низкомолекулярных полиаренов меньше, чем в растворенной форме.

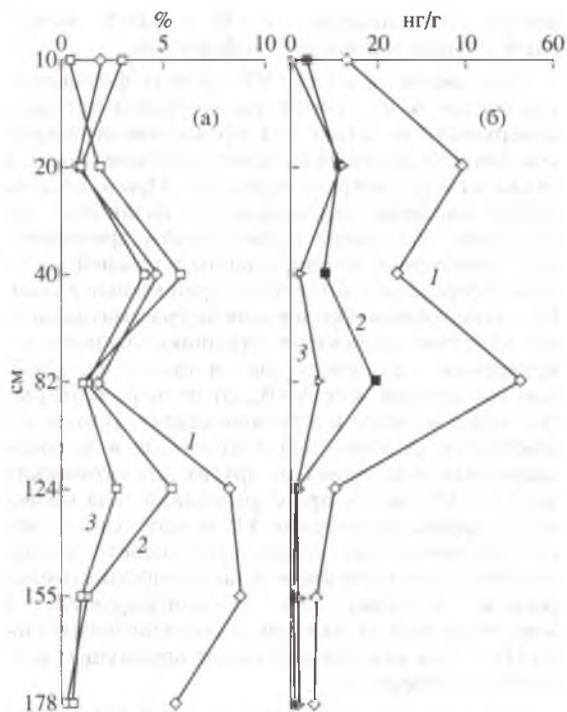


Рис. 5. Изменение содержания в толще донных осадков склона желоба Франц-Виктория (ст. 4).

- а) 1 – алифатических углеводородов (% от $C_{орг}$) $\times 10^{-4}$; 2 – Σ ПАУ (% от $C_{орг}$) $\times 10^{-4}$; 3 – микробиологической активности;
б) 1 – Σ ПАУ; 2 – флуорантена; 3 – перилена.

Межмолекулярные и сорбционные взаимодействия, характерные для УВ, определяются массой и формой молекул. Растворимость алканов уменьшается при 25°C от 1.3×10^2 ppb для $n-C_{17}$ до 7.57×10^{-5} ppb для $n-C_{35}$. Для изомерных пар полиаренов: фенантрен/антрацен; хризен/трифенилен; перилен/бенз(а)пирен существенным является величина L/V (отношение максимальной длины к максимальной ширине при прямоугольном охвате молекулы), характеризующая форму молекулы. Растворимость уменьшается от фенантрена до бенз(а)пирена на 6 порядков. Поэтому, чем крупнее молекулы, тем необратимее их сорбция на взвешенных частицах, и если доля алифатических УВ выше во взвесах [5, 7], из-за гидрофобности высокомолекулярных алканов, которые преобладают в их составе, то содержание полиаренов выше в водной фазе, так как в их составе доминирует наиболее растворимый из идентифицированных УВ – фенантрен. Следовательно, гидрофобно-гидрофильные свойства в значительной степени обуславливают различия в распреде-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Загрязнение Арктики: доклад о состоянии окружающей среды в Арктике. АМАП (Программа арктического мониторинга и оценки). Санкт-Петербург, 1998. 188 с.
2. Коронелли Т.В., Ильинский В.В., Семенов М.П. Нефтяное загрязнение и стабильность морских экосистем // Экология. 1993. № 4. С. 79–80.
3. Агатова А.И., Лапина Н.М., Торгунова Н.И. Органическое вещество в водах высоких широт Баренцева и Норвежского морей // Геология морей и океанов М.: Наука, 1999. Т. 1 С. 270.
4. Леин А.Ю., Пименов Н.В., Саввичев А.С. и др. Геохимические особенности диагенеза голоценовых отложений в районе архипелага Шпицберген // Океанология. 2000. Т. 40. № 2. С. 247–236.
5. Немировская И.А. Углеводороды пограничных зон Рижского и Финского заливов // Океанология. 1994. Т. 34. № 3. С. 283–290.
6. Дмитриев Ф.А., Гудков А.М. Алифатические углеводороды и изомеры гексахлорциклогексана в образцах воды, льда и снега в Гренландском море // Океанология. 1987. Т. 27. Вып. 5. С. 753–757.
7. Немировская И.А. Геохимия органических соединений в районе постоянного нефтяного загрязнения // Геохимия. 1988. № 3. С. 393–400.
8. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Купцов В.М. и др. Состав аэрозолей в приземном слое атмосферы над морями западного сектора российской Арктики // Океанология. 1999. Т. 39. № 1. С. 142–151.
9. Химические процессы в экосистемах северных морей / Г.Г. Матишов, Л.Г. Павлова, Г.В. Ильин, Т.Л. Щекатурина, О.Г. Миронов, В.С. Петров. Апатиты, 1997. 404 с.
10. Kennicutt II M.C., Jeffrey L.M. Chemical and GC-MS characterization of marine dissolved lipids // Mar. Chem. 1981. № 10. P. 367–387.
11. Богданов Ю.А., Сагалевич А.М., Возг П.Р. и др. Грязевой вулкан Хаакон Мосби в Норвежском море: результаты комплексных исследований с глубоководных обитаемых аппаратов // Океанология. 1999. Т. 39. № 3. С. 412–419.
12. Venkatesan M.J. Occurrence and possible sources of perylene in marine sediments. – a Review. // Mar. Chem. 1988. V. 25. № 1. P. 1–27.
13. Pereira W.E., Hotettler F.D., Luoma S.N. и др. Sedimentary record of anthropogenic and biogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in San Francisco Bay, California // Mar. Chem. 1999. V. 64. № 1–2. P. 99–113.
14. Лисицын А.П. Ледовая седиментация в Мировом океане. М.: Наука, 1994. 448 с.
15. Skotvold T., Wartena E.M. Pathways of contaminants in Arctic freshwater systems // AMAP. International Symposium on Environmental Pollution in the Arctic Extended abstracts. Tromso, Norway. 1997. P. 29–30.
16. Саввичев А.С., Русанов И.И., Мицкевич И.Н. и др. Особенности биогеохимических процессов круговорота углерода в водной толще, донных осадках, ледяном и снежном покрове центральной Арктики // ДАН. 2000. Т. 374. № 1. С. 107–110.
17. Rysgaard S., Thamdrup B., Risgaard-Petersen N. et al. Seasonal carbon and nutrient mineralization in a high-Arctic Coastal marine sediment Young Sound, Northeast Greenland // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1998. V. 175. P. 261–276.