

АЛИФАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ ВО ВЗВЕСИ СНЕЖНО-ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА БЕЛОГО МОРЯ

д-р. геол.-минерал. наук И.А. НЕМИРОВСКАЯ¹,

*канд. геол.-минерал. наук В.П. ШЕВЧЕНКО, мл. науч. сотр. А.М. ТИТОВА¹,
инженер А.Г. БОЕВ¹, науч. сотр. А.В. ТРАВКИНА¹, д-р. физ.-мат. наук И.П. ТРУБКИН²*

*¹ — Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН), Москва,
e-mail: nemir@ocean.ru*

² — Всероссийский научно-исследовательский институт охраны природы, Москва

Представлены результаты многолетних исследований (2010, 2012, 2015 и 2016 гг.) алифатических углеводородов и взвешенного вещества в снежно-ледяном покрове двух районов Белого моря: губы Ругозерской (район биологической станции МГУ — ББС, периферия Кандалакшского залива) и устья Северной Двины (район г. Архангельска). В снеге, из-за загрязнения атмосферы в отопительный сезон, концентрации углеводородов повышались от февраля к марту, особенно в устье Северной Двины (до 616 мкг/л). Во льду в зависимости от условий льдообразования концентрирование углеводородов происходит в разных частях керна. В верхней части льда на содержание углеводородов оказывает влияние их поступление со снегом, а в нижней — из подледной воды, при этом большое значение приобретают процессы на границе лед–вода. Проведено сопоставление полученных данных с результатами изучения углеводородов в снеге и во льду в фоновых районах Арктики и Антарктики.

Ключевые слова: Белое море, снег, лед, алифатические углеводороды, взвесь, органическое вещество.

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к исследованию углеводородов (УВ) в значительной степени обусловлен нефтяным загрязнением морских акваторий, так как на их долю приходится до 95 % нефти и нефтепродуктов (Немировская, 2013; Руководство..., 1993; АМАР, 2007). Современная система экологического мониторинга из-за сложности анализа нефти основана на определении содержания УВ (Руководство..., 1993). Снежно-ледяной покров меняет картину поведения нефти при разливах, так как создает два дополнительных барьера снег–лед и лед–вода (АМАР, 2007). Изучение последствий нефтяных разливов в Арктике показало, что для таких ситуаций характерно замедление скорости испарения легких фракций; повышение плотности сырой нефти, снижение ее текучести, ограничение подвижности нефти за счет ее абсорбции на поверхности льда и накопления в пористых наслоениях, каналах и пустотах ледяного покрова (АМАР, 2007; Fingas, Hollebhone, 2003; Prince, Bragg, 1997). По некоторым оценкам (Glover, Dickins, 1999), в арктических условиях лед способен аккумулировать и удерживать до 1 млн баррелей нефти на 1 квадратную милю льда. Образование ледяного покрова примерно в два раза сокращает площадь разлива (Немировская, Трубкин, 2013).

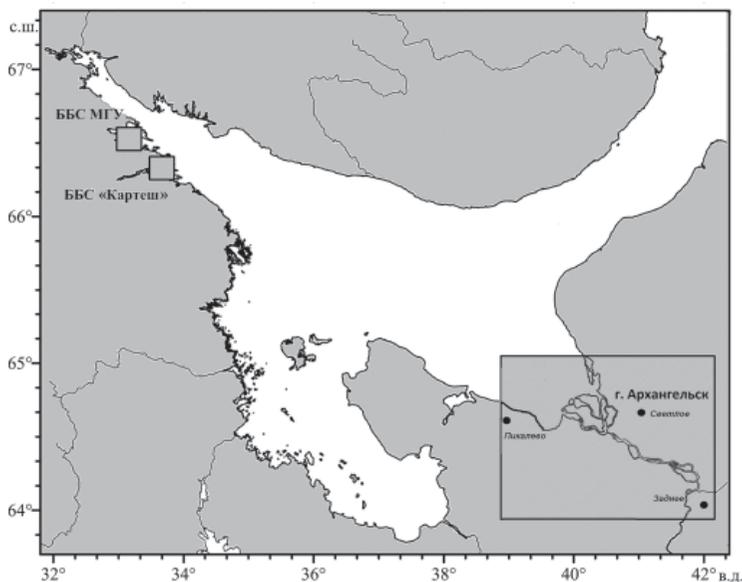


Рис. 1. Основные районы отбора проб снежно-ледяного покрова в Белом море.

Распределение УВ в снежно-ледяном покрове Белого моря было рассмотрено в монографии Немировской и Леонова (2012). Здесь приводятся данные, полученные в 2010–2016 гг. в сравнении с предыдущими результатами. Цель исследования — определить особенности распределения УВ во взвеси снежно-ледяного покрова периферии Кандалакшского залива (район Беломорской биологической станции МГУ — ББС, губа Ругозерская), в устье Северной Двины и на озерах в районе Архангельска (рис. 1). Изучали УВ в сопоставлении с содержанием других компонентов органического вещества — $C_{орг}$, липидов, хлорофилла «а» и самой взвеси. Районы исследования отличаются не только криобиологическими процессами образования снежно-ледяного покрова, но и антропогенной нагрузкой на экосистемы.

По классификации Н.Н. Зубова Белое море относится к замерзающим морям большой ледовитости (Зубов, 1944), с сезонным ледяным покровом. В феврале–марте здесь наблюдается устойчивый припай толщиной от 40 до 80 см, в среднем 57 см (Думанская, 2012). Сезонные припайные льды в сравнении с арктическими морскими многолетними образуются из водно-снежного льда, который характеризуется высокой пористостью, изотропной структурой и, как следствие, значительной обводненностью (Пантюлин, 2012; Сажин, Ратькова, 2012; Черепанов и др., 1997). В отдельных случаях нижняя часть льдов окрашена в бурый цвет из-за развития диатомовых водорослей. В прибрежной зоне лед может захватывать осадочный материал эрозии берегов, речного стока и донных отложений.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Все оборудование для отбора и таяния снега и льда (скребки, мешки, полиэтиленовые фляги и баки) было предварительно тщательно протерто кашицей из пищевой соды для удаления жировых загрязнений с поверхности полиэтиленовой посуды. Затем посуда была ополоснута разбавленным раствором соляной кислоты для удале-

ния металлических загрязнений и потом промыта несколько раз дистиллированной водой. При отборе проб также соблюдали меры по предотвращению загрязнения. Снег собирали с поверхности льда пластиковым совком. Пробы льда отбирали с помощью ручного кольцевого бура ($d = 14,5$ см). Лед распиливали на части с помощью титановой пилы, учитывая его строение, и помещали в специальные баки для таяния. Для получения необходимого количества талой воды одновременно растапливали 5–8 кернов. Время плавления кернов — 2–2,5 суток.

Взвесь выделяли из воды методом мембранной фильтрации на предварительно отмытые (4 % особо чистой соляной кислотой) поликарбонатные ядерные фильтры (диаметр пор 0,45 мкм) под вакуумом 0,4 атм. и определяли концентрацию гравиметрически. Для определения концентраций УВ взвесь выделяли фильтрацией из воды под вакуумом 0,2 атм. на предварительно прокаленные при 450 °С стекловолокнистые фильтры GF/F фирмы Whatman (эффективный размер пор 0,7–1,2 мкм). Липиды (суммарная фракция) экстрагировали метилхлоридом из подсушенных на воздухе фильтров на ультразвуковой бане «Сапфир» при 30 °С.

УВ из липидной фракции выделяли с помощью колоночной хроматографии на силикале гексаном. Концентрацию липидов (до колоночной хроматографии) и алифатических УВ (после колоночной хроматографии) определяли ИК-методом на приборе IRAffinity-1, фирмы Shimadzu. В качестве стандарта использовали смесь (по объему): 37,5 % изооктана, 37,5 % гексадекана и 25 % бензола, используемую при анализе нефтяных УВ (Руководство..., 1993). Чувствительность метода — 3 мкг/мл экстракта.

$C_{\text{орг}}$ во взвеси определяли методом сухого сжигания при 800 °С на приборе АН-7529М с кулонометрическим окончанием. Фильтр помещали в фарфоровый тигель и использовали обычные процедуры, применяемые при определении $C_{\text{орг}}$ в донных осадках (Люцарев, 1986). Чувствительность метода 6 мкг углерода в пробе, точность 3–6 относительных процентов. Для пересчета концентраций УВ в концентрации $C_{\text{орг}}$ использовали коэффициент 0,5 (Руководство..., 2004).

Микрофотографии взвеси, собранной на ядерных фильтрах, выполнены при помощи сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA-3.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В губе Ругозерской исследования проводили в разные годы, но в основном в одно и то же время в конце января – начале февраля и в одних и тех же районах — озеро Кисло-Сладкое и причал ББС (рис. 2).

В снеге озера Кисло-Сладкое (ст. 1), расположенного в удалении от станции, концентрации УВ были ниже, чем на ст. 2, расположенной у причала ББС (рис. 2). Территория ББС относится к зоне повышенного увлажнения и характеризуется продолжительной, относительно теплой зимой, длящейся приблизительно 4–4,5 месяца с середины ноября по март. Первый снег здесь обычно выпадает в середине октября. Снежный покров существует 170–190 дней в году высотой 40–50 см, достигая максимума в марте. Осадков выпадает здесь около 450–550 мм в год, колебания от года к году часто составляют большие величины, но не превышают 650 мм. В течение года преобладают ветры юго-западного и западного направлений, захватывающие аэрозоли из Европы (Шевченко и др., 2012).

В феврале в снеге за весь период наблюдений в районе ББС содержание УВ изменялось в сравнительно узком интервале и не превысило 42 мкг/л (табл. 1). При этом УВ не являлись доминирующей фракцией в составе ОВ и в разные годы иссле-

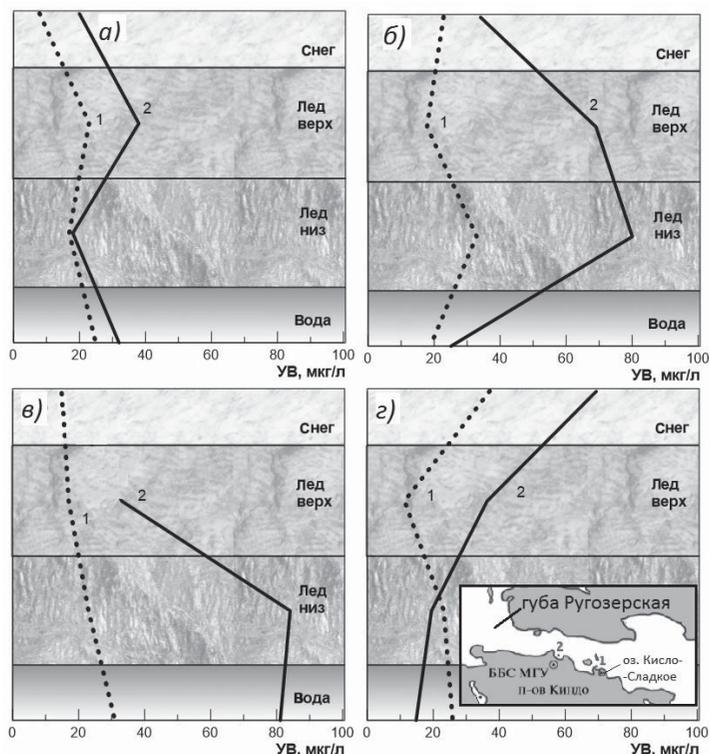


Рис. 2. Распределение алифатических УВ в снежно-ледяном покрове района ББС: *a* — 2010, *б* — 2012, *в* — 2015, *з* — 2016 гг.; 1 — озеро Кисло-Сладкое, 2 — причал ББС МГУ.

дования не превышали 8 % от $C_{\text{орг}}$. Обусловлено это, скорее всего, тем, что в общей структуре выбросов в атмосферу загрязняющих веществ (ЗВ) над Белым морем УВ составляют в среднем 16 % (Шварцман, Трубицына, 2007).

Загрязненность арктической атмосферы из-за отопления жилищ должна повышаться от ноября к марту и значительно превышать их концентрации в фоновых акваториях. Действительно, исследования снега, проведенные в марте 2015 г. в губе Ругозерской, установили более высокое содержание УВ (табл. 1): 40–92, в среднем 60 мкг/л ($n = 7, \sigma = 17$). Однако их концентрации были ниже, чем в другом районе Кандакшского залива — в губе Чупа в марте 2004 г.: 80–239 мкг/л (табл. 1). В то же время даже в феврале в составе взвеси снега губы Ругозерской наряду с диатомовыми водорослями и минералами обнаружена окалина, зола ТЭЦ, зола от сжигания угля (рис. 3).

В устье Северной Двины также установлены более высокие концентрации УВ в снеге в марте по сравнению с губой Ругозерской: 83–583 мкг/л (2007 г.), 27–616 мкг/л (2015 г.) по сравнению с февралем — 5–83 мкг/л (2008 г.) (табл. 1). Содержание взвеси в снеге в этом районе резко убывало с удалением от источников эмиссии (Шевченко и др., 2012). Поэтому в марте 2015 г. концентрации взвеси в снеге г. Архангельска между районом Яхтклуба и п. Экономия различались в 158 раз (0,74–116,79 мг/л), а УВ — в 23 раза (27–616 мкг/л) (см. рис. 4). В районе п. Экономия содержание УВ достигло 120 мкг/мг взвеси. Значительно ниже были концентрации УВ в снеге около побережья о. Мудьюг в феврале 2008 г. — 5,7 мкг/мг взвеси.

**Содержание алифатических углеводов (мкг/л) во взвеси снежно-ледяного покрова
Белого моря в сопоставлении с другими районами Мирового океана**

Район/год	Объект			
	Снег	Лед (верх)	Лед (низ)	Подледная вода
Губа Ругозерская, 2010 г., февраль	8–20	23–38	17–18	25–32
Губа Ругозерская, 2012 г., февраль	23–34	18–69	33–80	19–25
Губа Ругозерская, 2015 г., февраль	15	17–33	23–84	31–81
Губа Ругозерская, 2015 г., март	40–92	Не определяли	Не определяли	Не определяли
Губа Ругозерская, 2016 г., февраль	10–46	11–36	12–33	15–26
Губа Чупа, 2004 г., март	80–239	60–271	264–471	6–46
Устье Сев. Двины, 2007 г., март	83–583	50–300	78–420	130–249
Устье Сев. Двины, 2008 г., февраль	5–83	2–39	3–40	0–17
Устье Сев. Двины, 2015 г., март	27–616	46–55	73–103	98–1604
Озера в районе Архангельска, 2016 г., март	98–1064	Не определяли	Не определяли	Не определяли
СЛО, поднятие Менделеева, 2000 г., сентябрь	0–39	2–8	28–132	18–38
Антарктида, море Содружества, залив Прюдс, 2010 г., март	8–16	16–40	116–162	7–9
Антарктида, море Содружества, залив Тала, 2014 г., март	1	4	14	2

В большинстве растопленных снеговых проб в устье Северной Двины значения рН были слабокислыми, так как варьировали в интервале от 4,36 до 6,85 (Шевченко и др., 2012), что характерно для снежного покрова многих районов севера Русской равнины (Трубицына, 2010). В тоже время значения рН оказались выше установленных в снежном покрове западной части Кольского п-ова и прилегающих районов Финляндии и Норвегии (4,53–4,96) (Caritat et al., 1998), где существенно влияние выбросов медно-никелевых комбинатов. Для Архангельской агломерации характерны высокие нагрузки выпадений сульфатов. На станциях мониторинга Северного УГМС атмосферные осадки с рН > 7,2 в 1990–2003 гг. отмечены не были. В то же время рН был выше на станции около места выброса сточных вод Архангельского ЦБК и на станции около железнодорожного моста в Архангельске (Шевченко и др., 2012). Эти районы характеризовались повышенными концентрациями взвеси (от 11 до 83 мг/л),

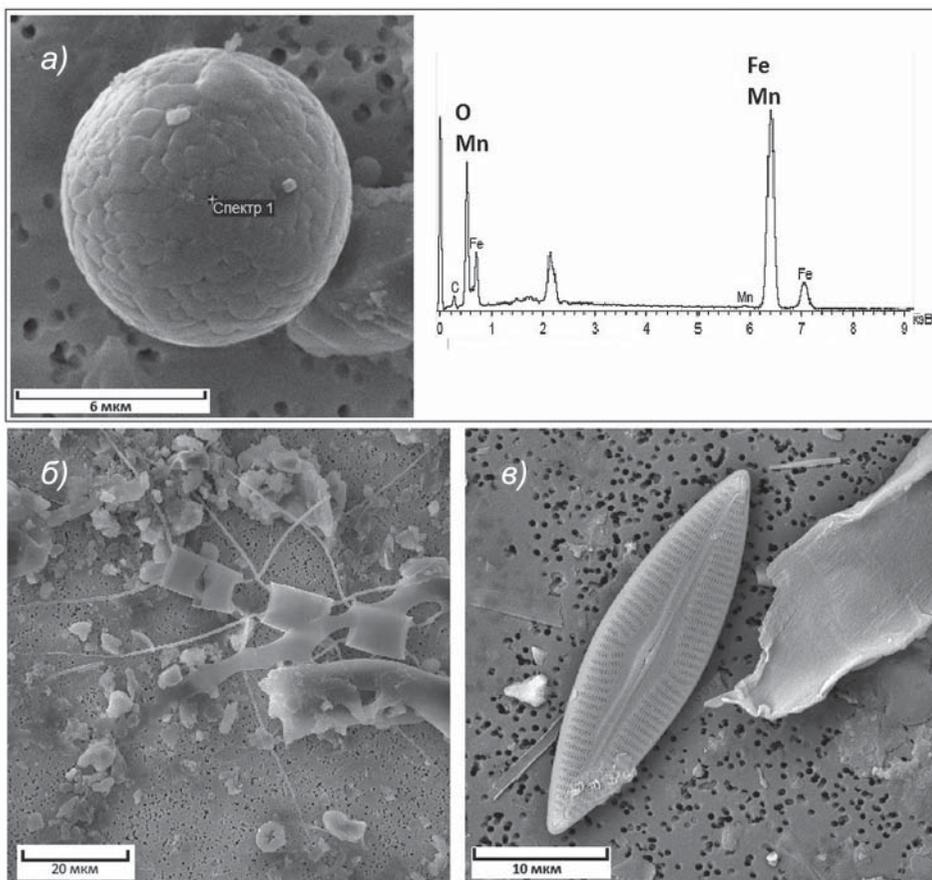


Рис. 3. Состав взвеси снега (данные сканирующего электронного микроскопа): *а* — окалина и ее состав, полученный с помощью приставки-микроанализатора к сканирующему электронному микроскопу; *б* — диатомовые и минеральные частицы; *в* — диатомовые и органическая ткань.

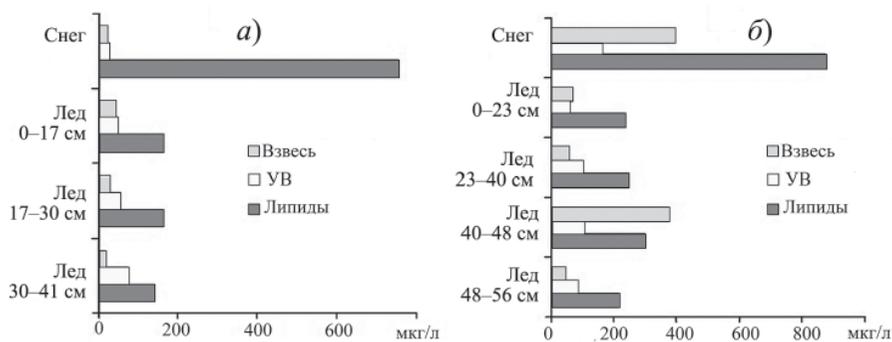


Рис. 4. Распределение взвеси (мкг/л/100), УВ и липидов (мкг/л) в снежно-ледяном покрове в районе Архангельска в марте 2015 г.: *а* — район Яктклуба, *б* — порт Экономика.

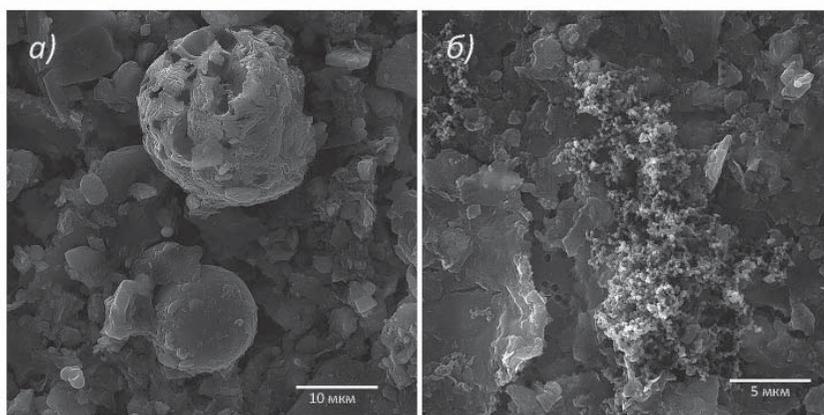


Рис. 5. Состав взвеси снега озера Пикалево (данные сканирующего электронного микроскопа): *a* — сфера сгорания жидкого топлива с рыхлой ноздреватой поверхностью и алюмосиликатная каменноугольная зола ТЭЦ с гладкой сферической поверхностью; *б* — рыхлый агрегат округлых частиц сажи.

которая способствовала нейтрализации кислотных выпадений. Более высокое содержание взвеси установлено на станциях около г. Новодвинска, в зоне влияния АЦБК, около 29-го лесозавода, в 1 км от устья протоки Хаторица, через которую в протоку Кузнечиха поступают сточные воды Соломбальского ЦБК.

В 2016 г. были отобраны пробы снега на озерах вокруг Архангельска — Пикалево, Светлое и Заднее (рис. 1, вставка, район Архангельска). Изменчивость концентраций УВ была столь высокая, что среднее их содержание (542 мкг/л) оказалось сопоставимым со стандартным отклонением (536 мкг/л). Максимальное количество УВ (1605 мкг/л) установлено в снеге о. Заднее, наиболее приближенного к Архангельску, а минимальное (98 мкг/л) — в снеге о. Светлое, находящегося в удалении от Архангельска на северо-восток. Взвесь, выделенная из снега, имела черный цвет, так как состояла из сфер сгорания, золы ТЭЦ, сажи (рис. 5) и др. антропогенных частиц.

Во льду, отобранном в губе Ругозерской, УВ концентрировались в разных частях ядра в разные годы исследования (рис. 2), и не превышали 30 % в составе липидов, что характерно для свежееобразованных органических соединений (Немировская, 2013). Последнее может свидетельствовать о незначительном нефтяном загрязнении вод этого района.

Примечательно, что зимой 2010 г. в нижнем слое льда концентрации УВ были в 3,4 раза выше, чем в подледной воде, а в 2012 г. разница в их содержании была меньше (табл. 1). Скорее всего, эти различия определялись условиями и, как следствие, особенностями формирования льда. Отличительная черта Белого моря состоит в том, что толщина снега и припайных льдов соизмеримы. Поэтому верхняя часть ледяных кернов прибрежных районов Белого моря, как правило, образована мутным матовым льдом снежного генезиса, а нижняя — обводненным кристаллическим льдом (Пантюлин, 2012; Сажин, Ратькова, 2012). Декабрь 2011 г. и январь 2012 г. были значительно теплее, чем в предыдущие годы. Однако в конце января наблюдался резкий температурный спад, между -25 и -30 °С, и льдообразование происходило в 5–6 раз интенсивнее, чем в декабре (Пантюлин, 2012). Кроме того, необходимо учитывать,

что в исследуемом районе Белого моря приливной ход имеет полусуточный характер с двумя полными и малыми водами. Поэтому возможны случаи совпадения резкого понижения температуры с выходом воды на поверхность через трещины (при одинаковой толщине снега и льда), которая, перемешиваясь со снегом, быстро превращается сначала в снежный, а потом и в матовый лед. В результате концентрация УВ в нижней части льда в 2012 г. оказалась незначительно выше, чем в подледной воде (табл. 1). В противоположность этому в губе Чупа Кандалакшского залива наблюдался рост концентраций $C_{\text{орг}}$, липидов, УВ в нижних слоях льдов (табл. 1). При этом происходило синхронное изменение концентраций этих соединений: $r(C_{\text{орг}} - \text{лип}) = 0,83$; $r(C_{\text{орг}} - \text{УВ}) = 0,67$; $r(\text{лип} - \text{УВ}) = 0,88$. На нижней поверхности всех исследованных ледяных кернов были обнаружены углеводородокисляющие микроорганизмы (Сажин, Ратькова, 2012). Их средняя численность была максимальной при приближении к берегу. По направлению к центральной части губы Чупа численность углеводородокисляющих бактерий снижалась до минимальных величин (0,06 тыс кл/мл).

В устье Северной Двины при переходе от снега ко льду содержание УВ во взвеси резко уменьшалось (табл. 1). Исследования населения сезонного льда Белого моря установили, что в начале зимы наибольшее обилие бактерий чаще свойственно верхним и средним слоям льда, а весной — нижним слоям (Сажин, Ратькова, 2012). В конце марта пик бактериального обилия приходится на самый нижний слой льда, толщиной несколько сантиметров. Поэтому количество УВ, имеющих биогенный состав, так же, как самой взвеси, в нижнем слое льда зачастую выше, чем в верхнем (табл. 1). В акватории о. Мудьюг в 2008 г. органические соединения концентрировались в нижней части льда, так как лед во время отлива коснулся дна. Поэтому нижний слой льда (40–52 см) из-за очень высокой концентрации взвеси (80,7 мг/л) приобрел темно-серый цвет (Шевченко и др., 2012). В составе взвеси преобладали минеральные частицы песчаной фракции с примесью микроводорослей. В верхнем мутном слое льда (0–25 см) снежного генезиса концентрация взвеси была значительно ниже — 9,8 мг/л и даже ниже средней многолетней концентрации во льдах устья Северной Двины — 10,3 мг/л.

Увеличение концентраций органических соединений и взвеси в нижнем слое льда характерно не только для припайных льдов Белого моря, но и паковых льдов в СЛО (поднятие Менделеева), толщина которых достигала 3 м, и припайных антарктических льдов. В СЛО содержание УВ во взвеси в нижней части льда в среднем было в 8 раз выше (до 64 мкг/л), чем в подледной воде, в то время как концентрации в растворенной форме были близки (6–10 мкг/л) (Немировская, 2013). В бухте Ленинградской моря Лазарева (Антарктида) под толстым слоем фирна в нижней части ледового керна при аномально высоких концентрациях органических соединений ($C_{\text{орг}}$, хлорофилла «а», УВ) установлено даже сероводородное заражение (Немировская, Кравчишина, 2015). В заливе Прюдс моря Содружества концентрации УВ в нижней части льда, толщина которого составляла 2,5 м, также были высокими — до 116 мкг/л (см. табл. 1). Функционирование экосистемы льда приводит к интенсивному накоплению органических соединений, в том числе и УВ, за счет фотосинтеза ледовой флоры на границе лед–вода (Мельников, Гогорев, 2008). Включение водной взвеси в состав льда происходит в результате подъема к поверхности новообразованных единичных кристаллов льда с сорбированными ими частицами ледовых микроводорослей (Черепанов и др., 1997). Этот процесс способствует аккумулярованию органических

соединений во льду в концентрациях, сопоставимых с водами высокопродуктивных районов Мирового океана (Мельников, Семенова, 2013).

Таким образом, большая площадь поверхности делает снег и лед эффективными ловушками для переносимых воздухом соединений, в том числе ЗВ, поступающих из атмосферы и из воды во время ледостава. Несмотря на низкие зимние температуры, в пограничных слоях снег—лед и лед—вода интенсивно происходят как процессы разложения, так и синтеза органических соединений, в том числе и УВ. В верхней части керна льда, как и в снеге, минеральная часть преобладала над биологической. Видовое разнообразие водорослей последовательно повышалось от снега к нижней части льда, где минеральные частицы практически не встречались. Продукты стгорания также не обнаружены. Подводно-подледные исследования показали, что основное распределение организмов связано с поверхностью основания льда (Melnikov, 1998). Льды легко аккумулируют взвесь. Было отмечено, что новообразованный лед в районе острова Новая Земля содержит в 2–3 раза взвеси и в 5 раз $C_{\text{орг}}$ больше по сравнению с морской водой (Кодина и др., 2007). За счет накопления на границе лед—вода питательных веществ создаются благоприятные условия для развития здесь диатомовых водорослей. В то же время при высоких концентрациях УВ в загрязненной нефтепродуктами подледной воде может происходить их поглощение льдом, как это наблюдалось в устье Северной Двины в 2007 г. (Немировская, 2013). Большое количество взвеси во льдах, а также гидрофобные свойства УВ обуславливают преимущественное содержание их во взвешенной форме даже в фоновых арктических и антарктических районах. Вода при волнении на поверхности размягчает лед и оказывает на его структуру двойное действие: увеличивает число каналов и капилляров во льду, а также расширяет их диаметр (Гершуни, Жуховицкий, 1972). Это интенсифицирует процессы обмена между водой и льдом.

Эксперименты по испарению нефтяных пленок с водной поверхности установили, что в водах, свободных ото льда, потери от испарения для легких нефтей достигали 40 %, а при наличии битого льда — всего 20–25 % (Немировская, 2013). Эти данные подтвердились при изучении разлива из танкера «Эксон Валдез» в море Бофорта, где испарилось лишь 20 % от общего количества нефти (АМАП, 1998; Prince, Bragg, 1997). Поэтому в высокоширотной Арктике и особенно в водах с наличием льда испарение в целом идет медленнее. Поглощение разлитой «свежей» нефти льдом не превышает 5–10 % (Fingas, Hollebhone, 2003). Во всех ситуациях нефть не налипала на лед, а находилась либо в воде, либо в ледяной каше. Однако рыхлой нижней поверхностью льда она сорбировалась значительно легче, чем гладкой верхней (АМАП, 2007). Поэтому концентрации УВ в загрязненных нефтью районах увеличивались в пограничном слое лед—вода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Распределение УВ в снежно-ледяном покрове Белого моря отличается пространственной и временной изменчивостью их концентраций от года к году даже в одном и том же районе. Обусловлено это, прежде всего, состоянием самого снежно-ледяного покрова.

Снег становится накопителем аэрозольных ЗВ, поступающих из атмосферы и с поверхности моря, — эффект «промокашки» (Лисицын, 2014). Поэтому концентрации УВ в снеге Белого моря выше, чем в фоновых районах Арктики и Антарктики. Низкая доля УВ среди других ОС обусловлена составом выбросов их в атмосферу.

Однолетние льды Белого моря фиксируют состояние поверхностного слоя вод в период замерзания. Особенности формирования припая приводят к изменчивости концентраций УВ в разных слоях льда. Верхний слой льда аккумулирует соединения, поступающие со снегом, а при погружении льда в воду — из поверхностных вод.

Содержание и состав УВ в нижнем слое льда зависят не только от их концентраций в подледной воде, но и от интенсивности биогеохимических процессов в пограничном слое вода–лед. Поэтому во льдах Белого моря концентрации УВ могут быть ниже, чем в паковых льдах СЛО и припайных льдах Антарктики (табл. 1).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 14-05-00223, 15-05-08374 и 14-05-31512-мол.) и госзадания 0149-2014-0038 «Геолого-геохимические исследования природных и антропогенных процессов в воде, взвесах и донных осадках морских акваторий, в том числе в окраинных районах Мирового океана».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

АМАП (Программа арктического мониторинга и оценки). Загрязнение Арктики: Доклад о состоянии окружающей среды в Арктике. СПб.: Гидрометеоздат, 1998. 188 с.

Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. М.: Наука, 1972. 392 с.

Думанская И.О. Статистическая модель эволюции ледяного покрова // Система Белого моря. Т. 2. М.: Научный мир, 2012. С. 132–156.

Зубов Н.Н. Льды Арктики. М.: Изд. Главсевморпути, 1944. 360 с.

Кодина Л.А., Люцарев С.В., Богачева М.П. Концентрирование водной взвеси новыми льдами на первых стадиях их образования // Геология морей и океанов. М.: ГЕОС, 2003. Т. 2. С. 122–123

Лисицын А.П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер земли // Мировой океан. Т. 2. М.: Научный мир, 2014. С. 331–571.

Люцарев С.В. Определение органического углерода в морских донных отложениях методом сухого сжигания // Океанология. 1986. Т. 26. Вып. 4. С. 704–708.

Мельников И.А., Гогорев Р.М. Криобиологические характеристики морского льда прибрежной зоны Антарктики // Природные процессы в полярных областях. 2008. № 3 (2). С. 226–232.

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

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

Немировская И.А., Леонов А.В. Углеводороды в снежно-ледяном покрове и водах Белого моря // Система Белого моря. Т. 2. / Под ред. А.П. Лисицына, И.А. Немировской. М.: Научный мир, 2012. С. 548–579.

Немировская И.А., Трубкин И.П. Антропогенные и природные углеводороды в воде и взвеси Арктических морей // Система Белого моря. Т. 3. М.: Научный мир, 2013. С. 438–470.

Руководство по методам анализа морских вод. РД 52.10. 243-92. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. 264 с.

Пантюлин А.Н. Ледовитость и лед Белого моря по данным наблюдений // Система Белого моря. Т. 2. М.: Научный мир, 2012. С. 120–131.

Руководство по современным биохимическим методам исследования водных систем, перспективных для промысла и марикультуры. М.: ВНИРО, 2004. 124 с.

Руководство по методам анализа морских вод. РД 52.10. 243-92 / Под ред. С.Г. Орадовского. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 264 с.

Сажин А.Ф., Ратькова Т.Н. Население сезонного льда Белого моря // Система Белого моря. Т. 2. М.: Научный мир, 2012. С. 201–224.

Трубицына О.П. Пространственное распределение нагрузок кислотных выпадений Севера Русской равнины по данным мониторинга // Экология арктических и приарктических территорий. Архангельск: Институт экологических проблем Севера УрО РАН, 2010. С. 128–131.

Шварцман Ю.Г., Трубицына О.П. Геоэкологическое состояние атмосферного воздуха и осадков на севере Русской равнины // Вестник АГУ. Сер. «Прикладная геоэкология». 2007. Вып. 70. С. 151–163.

Шевченко В.П., Филиппов А.С., Новигатский А.Н. и др. Рассеянное осадочное вещество пресноводных и морских льдов // Система Белого моря. Т. 2. М.: Научный мир, 2012. С. 169–201.

Черепанов Н.В., Федотов В.И., Тышко К.П. Кристаллическое строение морского льда // Морской лед. СПб.: Гидрометеиздат, 1997. С. 36–37.

AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). Chapter 4. Sources, Inputs and Concentrations of Petroleum Hydrocarbons, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and other Contaminants. Oslo: AMAP, 2007. 87 p.

Caritat P. de, Åyräs M., Niskavaara H. et al. Snow composition in eight catchments in the Central Barents Euro-Arctic region // Atmos. Environ. 1998. Vol. 32. № 14/15. P. 2609–2626.

Fingas M.F., Hollebone B.P. Review of behavior of oil in freezing environments // Mar. Pollut. Bull. 2003. Vol. 47. № 9–12. P. 333–340.

Glover N.W., Dickins D.F. Response plans for Arctic oil and ice encounters // Proceedings of the 1999 International Oil Spill Conference. Washington, D.C.: API, 1999. 10 p.

Melnikov I. A. Winter production of sea ice algae in the western Weddell Sea // J. Mar. Systems. 1998. Vol. 17. P. 195–205.

Prince R.C., Bragg M. Shoreline bioremediation following the Exxon Valdes oil spill in Alaska // Bioremediation J. 1997. Vol. 1. P. 97–104.

*I.A. NEMIROVSKAYA, V.P. SHEVCHENKO, A.M. TITOVA, A.G. BOEV,
A.V. TRAVKINA, I.P. TRUBKIN*

ALIPHATIC HYDROCARBONS IN SUSPENDED MATTER OF SNOW-ICE COVER OF DIFFERENT REGIONS OF THE WHITE SEA

There are presented the results of multiyear research (2010, 2012 and 2015 and 2016) of aliphatic hydrocarbons and suspended matter in snow-ice cover of two regions of the White Sea: the Ruzozerskaya bay (near the biological station of Moscow state University, the periphery of the Kandalaksha Bay) and the mouth of the Northern Dvina (near Archangelsk). Due to the atmospheric pollution in the heating season, hydrocarbon concentration increases, especially in the mouth of the Northern Dvina (up to 616 mg/l). In the ice, according to the conditions of ice formation, the concentration of the studied substances occurs in different parts of the core. In the top part of the ice the inflow of hydrocarbons with snow influence hydrocarbon concentration and in the bottom part the main role plays the inflow with under-ice water, in particular, a big role goes to the processes on the border ice-water. A comparison of the obtained data with the results of the research of hydrocarbons was produced in snow and ice in the background areas of the Arctic.

Keywords: White Sea, snow, ice, aliphatic hydrocarbons, suspended matter, organic matter.