

ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В СНЕЖНО-ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ АНТАРКТИДЫ

И.А. Немировская

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, e-mail: nemir@ocean.ru

Антарктида удалена от промышленных районов, поэтому ранее считалась акваторией, где можно изучать распределение фоновых характеристик различных соединений [12]. К сожалению, в настоящее время деятельность научных станций, туризм, развитие транспорта приводят к загрязнению различными органическими соединениями (ОС) прибрежных антарктических районов [8, 14–16, 21]. В связи с недостаточной изученностью экологии Антарктики и с учетом низкой восстанавливаемости ее биоценозов основным экологическим условием жизнедеятельности человека здесь должно быть соблюдение принципа минимальных контактов с природой. Это предполагает минимизацию технологических и аварийных загрязнений.

Перегрузка и потребление топлива стали штатными ситуациями в Антарктиде. Нефтяные продукты содержат многие соединения. Поэтому при мониторинге воздействия научной и хозяйственной деятельности человека на окружающую среду важная роль отводится различным ОС, а в их составе – углеводородным классам [10], особенно полициклическим ароматическим углеводородам (ПАУ) [14, 15], которые обладают канцерогенными и мутагенными свойствами. При изучении углеводородного загрязнения необходимо учитывать, что распространение антропогенных УВ происходит на существующем биогенном фоне [7].

В рамках Международного полярного года в ходе 53-й Российской Антарктической экспедиции (РАЭ) было проведено исследование ОС по маршруту движения НЭС (научно-экспедиционного судна) «Академик Федоров» от Кейптауна (ЮАР) до материка в прибрежных водах, а также на континентальных озерах Антарктиды (март – апрель 2008 г.). Целью исследования было установление особенностей распределения ОС – $C_{орг}$, липидов, углеводов (алифатических – АУВ и ПАУ), хлорофилла «а» в сопоставлении с распределением взвеси в поверхностных водах и в антарктическом снежно-ледяном покрове.

При отборе и анализе проб соблюдали меры, необходимые для предотвращения загрязнения [7]. Из растопленных проб снега и льда ОС выделяли фильтрацией на стекловолкнистые фильтры GF/F, для изучения взвеси – на ядерные фильтры.

Количество взвеси определяли гравиметрически. Липиды экстрагировали метиленхлоридом. УВ выделяли из липидной фракции методом колоночной хроматографии на силикагели. Концентрацию липидов (до колоночной хроматографии) и АУВ (после колоночной хроматографии на силикагеле) определяли ИК-методом (этот метод используется в качестве арбитражного при анализе нефтяных УВ [11]), содержание и состав ПАУ – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в градиентном режиме (от 75 до 100% ацетонитрила). Хлорофилл «а» во взвеси, выделенной на стекловолокнистые фильтры, определялся флуоресцентным методом, а $C_{орг}$ – методом сухого сжигания. Подробности методики описаны в [7].

Проведенные исследования показали, что в поверхностных водах Южного океана на разрезе от Кейптауна до ст. Новолазаревская и обратно содержание АУВ колебалось в интервале 6.3–35.8, в среднем 8.3 мкг/л, $\sigma=5.3$ (см. Приложение, табл. 1), что составило 41% от концентрации липидов. Определенные величины соответствуют средним концентрациям АУВ в пелагических районах Мирового океана [7] и практически совпадают с данными для этого района, полученными в 2001 и 2003 гг. (в среднем 6 и 7 мкг/л соответственно) [9]. Но так же, как и раньше на фоне низких значений, характерных для мезотрофных вод (3–7 мкг/л для АУВ), более высокое их содержание обнаружено на 49° ю. ш. и в районе 55-57° ю. ш. Повышенные концентрации АУВ (до 30 мкг/л) приурочены к Субарктической зоне и к зоне Антарктической дивергенции (рис. 1). Аналогичная тенденция была отмечена для распределения в поверхностных водах хлорофилла «а» [4] в феврале и апреле 2000 г. в этом районе Южного океана на разрезе между Африкой и Антарктидой. На фоне низких концентраций в поверхностном слое 0.1 – 0.3 мкг/л выделялись зоны с повышенными величинами (более 2.0 мкг/л), которые располагались в районе Полярного фронта и к югу от Антарктической дивергенции.

На шельфе Антарктиды среднее содержание АУВ составило 12.9 мкг/л ($\sigma=8.0$, $n=28$) и 8.6 мкг/л ($\sigma=4.7$, $n=33$) в растворенной форме. Между распределением липидов и АУВ наблюдаются зависимости с высокими коэффициентами корреляции ($r>0.8$). Однако и в этом районе на фоне довольно постоянных величин концентраций наблюдаются мелкомасштабные флуктуации, превышающие фоновые в 3–5 раз. В прибрежных морях Антарктики маршрут судна в основном проходил в молодых льдах. Здесь увеличению концентраций АУВ способствует рост продукции фитопланктона на кромке образующихся льдов. Ранее было показано, что концентрации хлорофилла

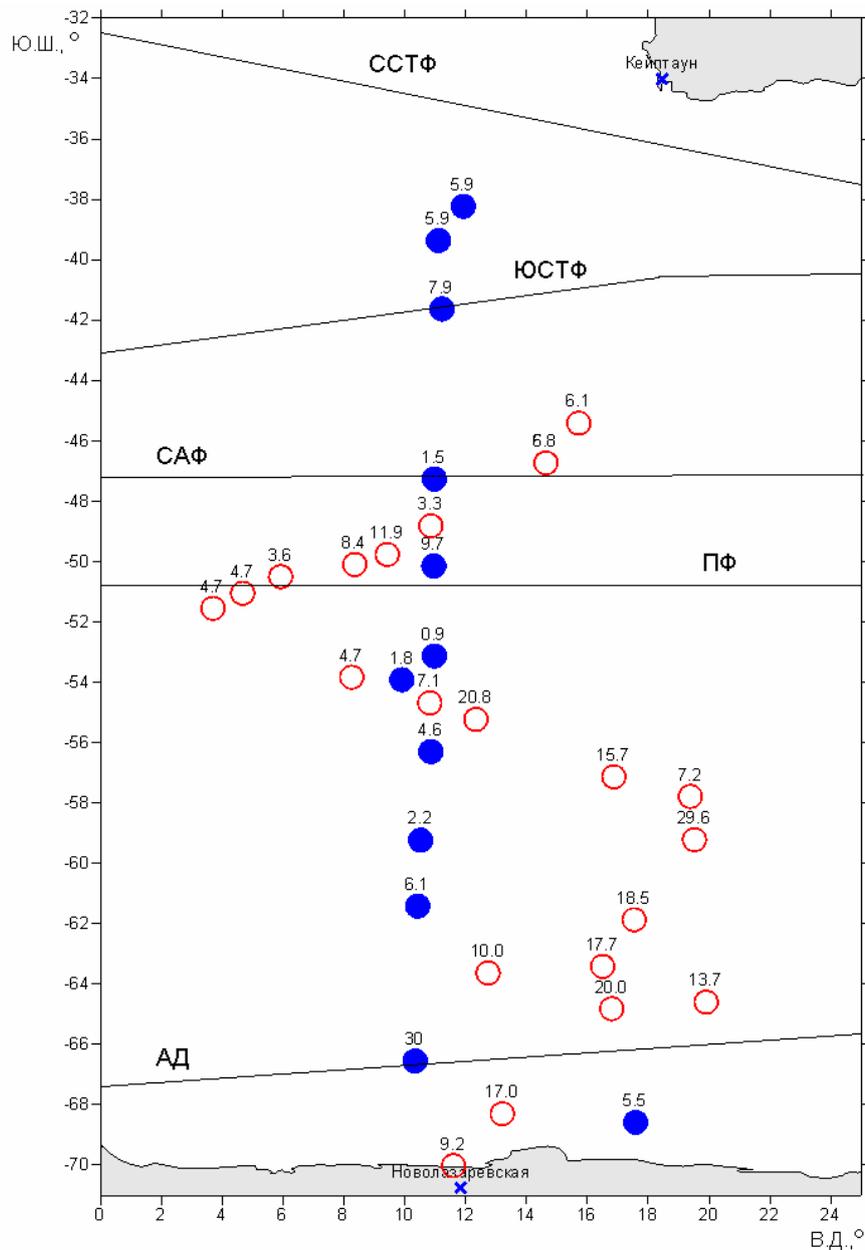


Рис. 1. Распределение УВ (мкг/л) в поверхностных водах на разрезе африканский континент – Антарктида (светлые кружки – путь к Антарктиде, темные кружки – путь из Антарктиды). Цифры рядом с кружками показывают концентрации АУВ, мкг/л. Сплошными линиями схематично показано среднее многолетнее положение основных гидрологических фронтов [4]. ССТФ – северный субтропический фронт, ЮСТФ – южный субтропический фронт, САФ – субантарктический фронт, ПФ – полярный фронт, АД – антарктическая дивергенция

«а» увеличивались от 0.34—0.37 мкг/л в чистых водах до 0.52—0.56 мкг/л в образующихся льдах [4].

В снеге на припайных льдах концентрации АУВ были низкими, особенно концентрации АУВ_в. Обусловлено это крайне низкими концентрациями аэрозолей в атмосфере Антарктиды, которая закрыта ледовым щитом и собственных аэрозолей почти не дает [5]. Количество взвешенных частиц в снеге (270 – 660 мкг/л) оказалось даже более низким (см. Приложение, табл. 2), чем в снеге дрейфующей станции в районе Северного полюса (в среднем 1300 мкг/л) [13], и меньше величин, определенных в 2001 и 2003 гг.: 400—2600 мкг/л [9]. При изучении гранулометрического состава аэрозолей в приводном слое атмосферы (в 2003 г. по маршруту НЭС «Академик Федоров» от Бискайского залива до Антарктиды) было установлено, что в Южном полушарии максимальные концентрации аэрозольных частиц приурочены к северной аридной зоне (южнее африканского побережья на четыре градуса, район Кейптауна) [8]. Это обусловлено эоловыми поступлениями с африканского материка и особенностями циркуляции атмосферных потоков на 40° ю. ш. Начиная с этой широты и вплоть до антарктического побережья (т.е. в умеренных гумидных зонах Южного полушария) происходило постепенное снижение их концентраций в атмосфере. Исключение представляет район моря Содружества (залив Прюдс), где на горах летом отсутствует снег, что приводит к увеличению количества минеральных частиц во взвеси снега. Их концентрации здесь достигали 16700×10^3 частиц/м³. В морях Лазарева, Дейвиса среднее их количество в приводном слое атмосферы составило соответственно 6230×10^3 и 2660×10^3 частиц/м³.

Припайные антарктические льды отличаются неоднородным строением, и в них происходит резкое изменение концентраций ОС от слоя к слою. Распределение ОС в снежно-ледяном покрове моря Дейвиса типично для припайных льдов, в которых нарастание происходит снизу [7]. Это подтверждает также распределение солености, которая в верхней части составила 8.5, в средней — 9, в нижней — 10.2‰. При образовании молодого льда наибольшее количество солей остается в верхнем слое [2]. При дальнейшем нарастании льда, идущем уже от нижней его поверхности, новообразующиеся ледяные кристаллы нарастают в виде игл, направленных преимущественно вертикально вниз. Поэтому большее количество рассола успевает стекать вниз.

Наиболее высокие концентрации ОС установлены в нижней части льда. Особенно увеличилось содержание взвешенных форм ОС: для $C_{\text{орг}}$ – в 19,4; для хлорофилла – в 23 раза, для липидов – в 3,4 (рис. 2).

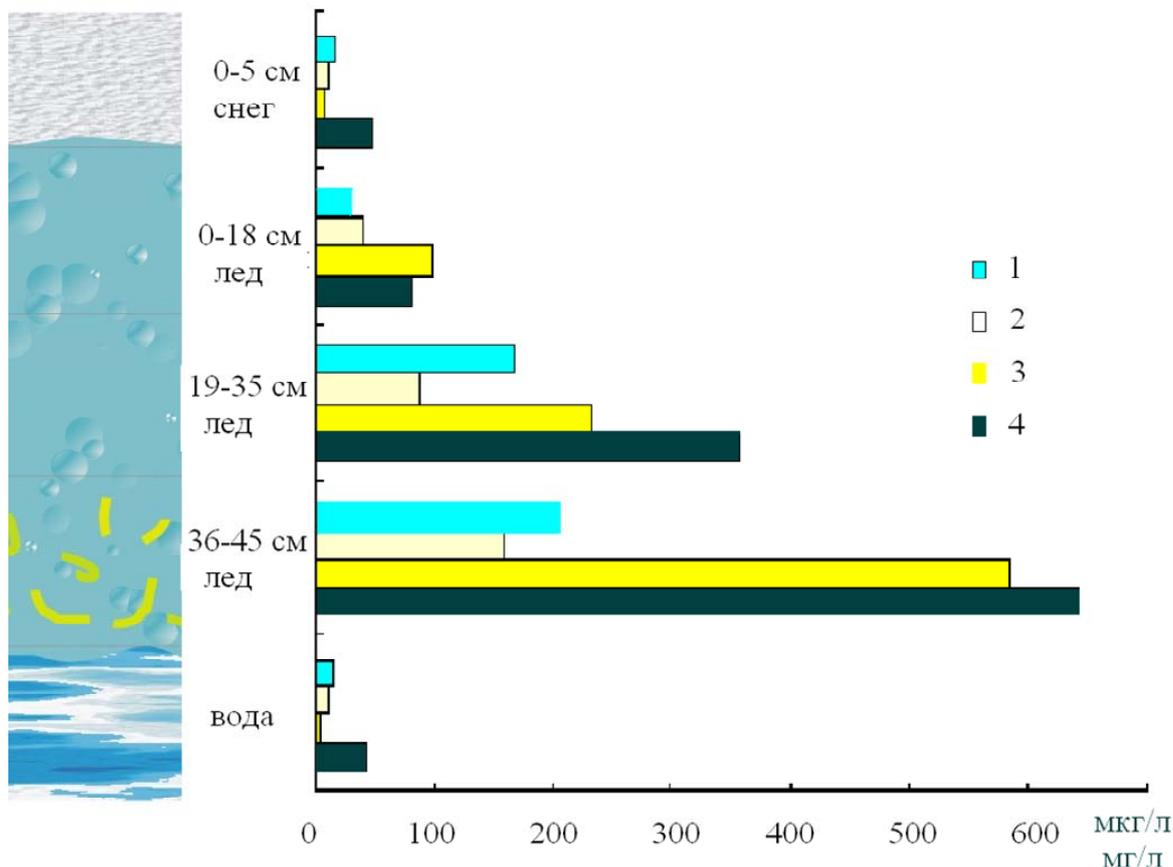


Рис.2. Распределение органических соединений в снежно-ледяном покрове припайного льда в море Дейвиса
 1 – УВ, мкг/л*3; 2 – хлорофилл, мкг/л*20; 3 – $C_{\text{орг}}$, мкг/л/10; 4 – взвесь, мг/л

Связано это с увеличением концентраций самой взвеси почти в 2 раза – до 809 мкг/л. Из-за разницы температур на границе лед – вода в этом слое происходит развитие диатомовых водорослей, обуславливающих увеличение биогенной взвеси и биогенных ОС. При биогенном синтезе УВ не являются доминирующими соединениями, поэтому рост их концентраций происходит в меньшей степени, всего в 1,8 раза. Примечательно, что по отношению к $C_{\text{орг}}$ и взвеси концентрации УВ в нижнем слое льда были ниже, чем в подледной воде (0.12, 0.01 и 0.72 и 0.12 соответственно), что присуще биогенному ОВ. Во взвеси в припайных льдах концентрации исследованных ОС изменялись синхронно: $r(\text{лип}-\text{АУВ})=0.84$; $r(\text{липиды}-C_{\text{орг}})=0.76$; $r(\text{АУВ}-C_{\text{орг}})=0.75$; $r(\text{липиды}-\text{хлорофилл})=0.73$;

$r(\text{АУВ—хлорофилл})=0.87$; $r(\text{C}_{\text{орг}}\text{—хлорофилл})=0.59$ ($n=10$). Это также указывает, несмотря на высокие концентрации, на природный биогенный синтез этих соединений. Состав УВ также подтверждает это предположение, так как среди алканов доминировали легкие автохтонные гомологи $\text{C}_{17}\text{—C}_{20}$, характерные для фитопланктона [9].

В снеге, собранном на материке Антарктида в районе ледяного барьера в море Лазарева (перегрузка оборудования на ст. Новолазаревская), концентрации АУВ составили всего 3—4, а в районе обсерватории Мирный – 4—12 мкг/л. Очевидно, из атмосферы со снегом поступает незначительное количество АУВ, поэтому, несмотря на малую растворимость, АУВ содержатся в основном в растворенной форме. Метеорологические условия на Антарктическом ледовом щите таковы, что внутренние районы хорошо защищены от морских аэрозолей и континентальной пыли, образующейся при разрушении горных пород [5]. Концентрации ПАУ при переходе от снега ко льду в растворенной форме уменьшались в 3 раза, соответственно 45.3 и 14.5 нг/л, при этом в их составе увеличивалась доля флуорантена и пирена, имеющих пирогенное происхождение.

В 2008 г., так же как в 2003 г., на ст. Новолазаревская снег отсутствовал. Однако в 2001 г. в снеге озера Верхнее, расположенного в районе ст. Новолазаревская, концентрации АУВ в растворенной и взвешенной форме составили соответственно 102 и 222 мкг/л, при этом увеличилась доля АУВ в составе липидов, что характерно для загрязненных нефтью районов. Поэтому первоначально было сделано предположение, что столь высокие концентрации обусловлены деятельностью самой станции, так как загрязнение нефтепродуктами было обнаружено в отдельных пробах почвы, где количество АУВ достигало 30000 мкг/г при фоновых концентрациях 10 – 20 мкг/г сухой массы. Кроме того, снег со льда озера Верхнее и с ледяного барьера имел более низкие значения рН: 4.95—4.97, по сравнению со снегом других озер, где значения рН изменялись в интервале 5.03—8.04. Считается [3], что на ионы водорода приходится 38% от ионного состава антарктического снега и снеговая вода Антарктиды может рассматриваться как очень слабый раствор естественных кислот (в основном H_2SO_4 и HNO_3), содержащий малые количества нейтральных солей. Поэтому уменьшение значений рН в населенных районах может служить показателем их загрязненности, так как «кислые дожди» имеют рН=4... 4.5. Однако в спектре алканов снега доминировали биогенные соединения с максимумом при $n\text{-C}_{17}$. Роль терригенных гомологов в составе АУВ сведена к минимуму, так как на материке Антарктида высшие растения отсутствуют.

Отношение нечетных к четным алканам (CPI) колебалось в интервале 1.0–1.1. Концентрации фитана и пристана практически равны ($Pr/Pf=1.1–0.9$), и *n*-алканы преобладали над *изо*-соединениями ($C_{17}/Pr=1.3–2.3$; $C_{18}/Pf=1.7–2.0$), что может свидетельствовать о природном образовании УВ. Континентальные озера, несмотря на свою низкую биологическую продуктивность, являются очагами жизни, и в озере Верхнее имеются водоросли, наличие которых совместно со взвесью способствует образованию ОС и УВ. В 2003 г. лед на озере отсутствовал, однако в поверхностной воде содержание взвеси достигало 4.4 мг/л (при фоновых концентрациях 0.1 мг/л), а АУВ во взвеси — 81 мкг/л. Поэтому столь высокие концентрации УВ обусловлены естественными природными процессами — поступлением аэрозолей из оазиса Ширмахера.

В 2008 г. в прозрачном льду озера Станционное, расположенного в пределах ст. Новолазаревская, концентрации взвеси и АУВ (0.3 мг/л и 2 мкг/л соответственно) также оказались низкими, и в 5.4–9 раз были даже ниже, чем в подледной воде. Вариабельность величин АУВ в снежно-ледяном покрове в районе озер ст. Новолазаревская в 2001–2008 гг., возможно, связана с различной циркуляцией атмосферных потоков из оазиса Ширмахера. Из-за более низкой температуры воздуха в 2008 г. отсутствовали талые воды, которые ранее приносили взвесь в озеро, что способствовало повышению содержания самой взвеси и ОС в ней.

Максимальное увеличение концентраций в 2008 г. произошло в снежно-ледяном покрове эпимельфового озера Степед (район российской станции Прогресс и китайской станции Зонгшан), образованного благодаря таянию ледников и приходу соленых вод во время шторма из залива Прюдс. Строение керна из озера Степед свидетельствовало о нарастании льда сверху. Концентрации растворенных липидов в верхнем и нижнем слоях различались в 5.5, а АУВ — в 3.9 раза. Состав ПАУ в верхнем слое льда указывал на влияние пирогенных соединений, так как отношение ФЛ/П=0.74 (ФЛ — флуорантен, П — пирен). Высокие концентрации ФЛ и П могут быть обусловлены поступлением с аэрозолями продуктов сгорания различных видов топлива [16]. ФЛ, как наиболее устойчивый из идентифицированных ПАУ, доминирует во многих водных объектах даже в районах, удаленных от источников загрязнения [7]. Вблизи источников горения доля П обычно выше, чем доля ФЛ, в дальнейшем его доля уменьшается. В озере Степед и в 2003 г. в подледной воде были обнаружены в большом количестве водоросли, вислоногие

рачки, коловратки [9]. Видимо, в 2003 г. произошло эвтрофирование вод озера, так как вода в нем пахла сероводородом.

В этом районе отмечалось увеличение содержания УВ не только в снежно-ледяном покрове, но также в почве, мхах и лишайниках, водорослях (см. Приложение, табл. 3). Антарктическая почва представляет собой выветренные породы. Ничтожное количество ОС, образующихся в результате жизнедеятельности мхов, лишайников и водорослей, в условиях низких температур и малого количества влаги разлагается крайне медленно. Они составляют верхний “гумусированный” горизонт почв. По сравнению с данными 2003 г., содержание АУВ в почве возросло в 2.4 раза. Лишайники, не имея корневой системы, питаются исключительно за счет веществ эолового выноса, т.е. аккумулируют ОС из воздуха. В суровых условиях Антарктиды они обладают достаточной биологической активностью, обеспечивающей нормальное протекание жизненных процессов, приводящих к образованию и накоплению химических веществ [1].

Концентрации ПАУ в исследованных объектах оказались также довольно высокими: в почве — 250, во мху — 39.8, а в водорослях — 10.7 нг/г сухой массы. Распределение маркеров в составе ПАУ свидетельствует о влиянии антропогенных поступлений. Нефтяной генезис полиаренов отражает повышенное содержание нафталина (Н) и его алкилированных гомологов. В качестве маркеров используется отношение Н/Ф (Ф — фенантрен), которое при значениях >1 маркирует неветренные нефтепродукты. Согласно маркерам, наиболее загрязнен пирогенными и нефтяными ПАУ мох в районе озера Степпед ($\text{ФЛ/П}=0.27$, а $\text{Н/Ф}=1.8$). Однако довольно высокое значение отношения $\text{Ф/АН}=1.44$ (АН — антрацен) может свидетельствовать о том, что ПАУ уже в достаточной степени трансформированы.

Напротив, в районе ст. Новолазаревская концентрации ОС в почве уменьшились, по сравнению с 2001 г.: для района ДЭС — в 3.3 раза. В то же время почва в этом районе, в отличие от других образцов, пахла нефтью, и концентрации АУВ в ней оставались достаточно высокими (9784 мкг/г). Состав ПАУ в почве указывает на максимальное содержание нефтяных и пирогенных УВ, так как отношение ФЛ/П имеет минимальную (0.1), а отношение Н/Ф — максимальную (1.12) величину (рис. 3). Для сравнения: в почве антарктических станций (в частности, на ст. Мак-Мердо) концентрация АУВ изменялась от < 30 до 29100 мкг/г сухой массы [14], а ПАУ — от 664 до 72267 нг/г сухой массы [16]. Эти величины были выше установленных концентраций в почве ст. Новолазаревская.

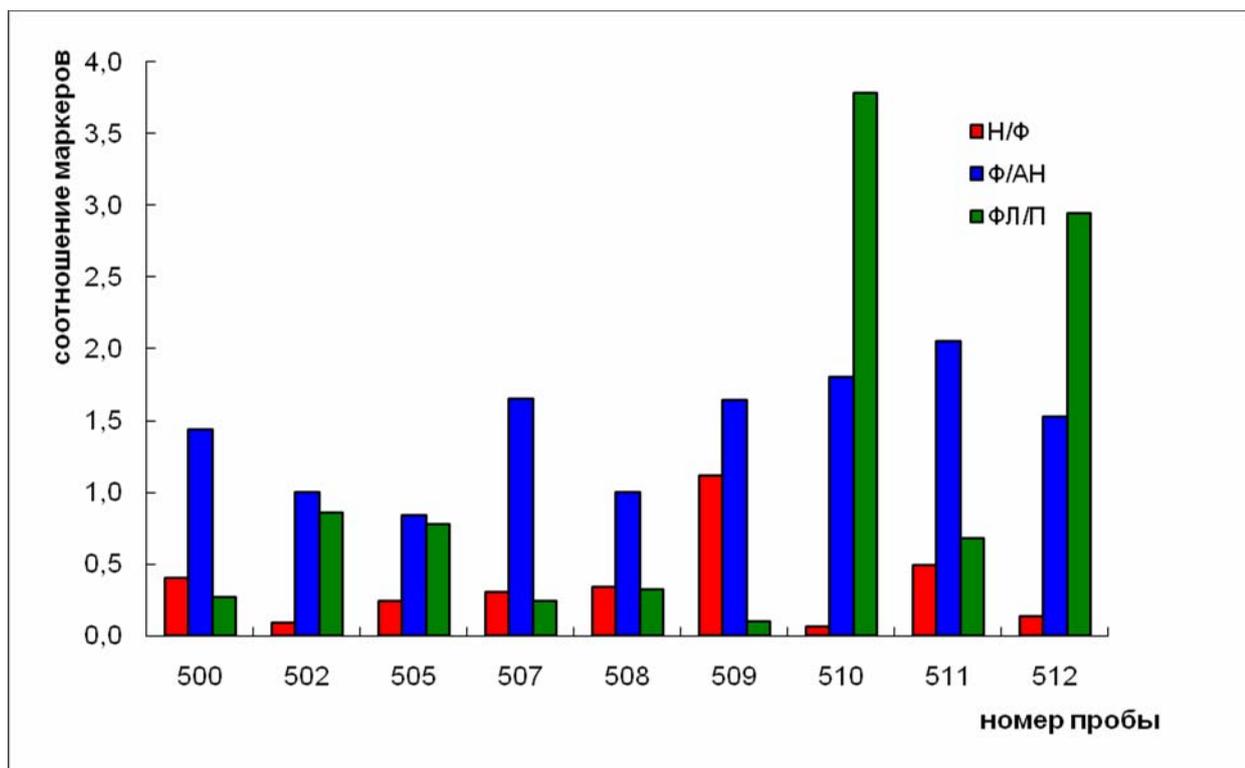


Рис. 3. Соотношение маркеров в составе ПАУ в пробах: 500 - мох о. Степед; 502 - почва о. Степед; 505 - водоросли о. Степед; 507, 508 - почва в районе обсерватории Мирный; 509 и 512 - почвы, ст. Новолазаревская, ДЭЗ и Продсклад, соответственно; 511 – почва о. Станционное

Таким образом, проведенные исследования в марте – апреле 2008 г. можно считать мониторинговыми, так как подобные работы были проведены в 2001 и 2003 гг. Отмеченные различия в уровнях и распределении ОС в снежно-ледяном покрове в разные годы исследований связаны с условиями его образования, которое происходит в своеобразных гидрометеорологических условиях, влияние которых чрезвычайно сложно и многообразно. Большие колебания температуры воздуха отражаются на динамике физико-химических процессов, протекающих во льду и контактирующем с ним водном слое.

В отсутствие антропогенных источников антарктический снежный покров характеризуется низким содержанием ОС, как на припайных, так и на озерных льдах. Полеты вертолетов и деятельность станций могут приводить к увеличению концентраций ОС. В то же время в свеженаметанном снеге содержание ОС уменьшается (показательны в

этом плане результаты изучения снега в районе озера Степед). Поэтому снежный покров является удобным индикатором состояния экосистемы.

Фитопланктон и морские организмы вносят заметный вклад в формирование состава ОС ледяной взвеси [6, 17]. Несмотря на низкие температуры, льды могут выполнять каталитические функции, и, вопреки установившемуся мнению, многие биохимические процессы (окисление, гидролиз) во льдах протекают довольно интенсивно [5]. При образовании антарктических льдов происходит как фотосинтез и рост водорослей внутри льда, способствующие образованию ОС, так и захват взвеси льдом, сопровождающийся биоаккумуляцией ОС из морской воды. За счет высокой биологической активности ледовых водорослей в береговом припайном льду концентрации хлорофилла «а» и $C_{\text{орг}}$ могут достигать очень высоких значений (соответственно до 210 мкг/л и 6000 мкг/л) [6]. В связи с тем, что основное распределение организмов связано с поверхностью льда [20], аккумуляция ОС происходит в барьерных зонах снег – лед и лед – вода, что приводит к увеличению здесь концентраций УВ, особенно во взвеси.

Полученные данные по содержанию УВ свидетельствуют о том, что природные процессы могут формировать их уровни, сопоставимые с величиной ПДК для нефтяных УВ (50 мкг/л). В частности, в нижнем слое припайного льда в море Дейвиса содержание АУВ составило 68.5 – 78.2 мкг/л. Ранее было установлено, что содержание УВ во льду в районе колонии пингвинов возле острова Буромского (2001 г.) достигало 80 мкг/л, а в подледной воде на озере Хасуэлл (2003 г.) – 500 мкг/л [10]. Эти величины концентраций, несмотря на то, что превышали ПДК для нефтяных УВ в 1.6–10 раз, связаны с жизнедеятельностью пингвинов, а не с поступлением нефтяных загрязняющих веществ. Поэтому использование величины ПДК для установления меры загрязненности водных объектов УВ вызывает большие сомнения.

Автор благодарит руководство 53-й РАЭ за помощь в организации работ в рейсе, В.А. Артемьеву и А.К.Павлову – за помощь при отборе и обработке проб.

Работа выполнена при финансовой поддержке РАЭ, РФФИ (грант 08-05-00094а); в рамках Программы № 17 фундаментальных исследований Президиума РАН, гранта Президента РФ (НШ-2236.2006.5); проекта «Наночастицы во внутренних и внешних сферах Земли».

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас Антарктики. Л.: Гидрометеиздат, 1969. Т. 2. 598 с.
2. Бурке А. Морские льды. Л.: Главсевморпуть, 1940. 96 с.
3. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 184 с.
4. Демидов А.Б., Ведерников В.И., Шеберстов С.В. Пространственно-временная изменчивость хлорофилла «а» в атлантическом и индийском секторах Южного океана в феврале – апреле 2000 г. по спутниковым и экспедиционным данным // Океанология. 2007. Т. 47, № 4. С. 546–558.
5. Лисицын А.П. Ледовая седиментация в Мировом океане. М.: Наука, 1994. 448 с.
6. Мельников И.А. Экосистемы морских льдов Антарктики: сравнительный анализ // Арктика и Антарктика. М.: Наука, 2003. Вып. 2 (36). С. 149–164.
7. Немировская И.А. Углеводороды в океане (снег–лед–вода–взвесь–донные осадки). М.: Научн. мир, 2004. 328 с.
8. Немировская И.А. Органические соединения в аэрозолях и поверхностных водах Восточной Атлантики // Океанология. 2006. Т.46, № 3. С. 376–385.
9. Немировская И.А. Органические соединения в снежно-ледяном покрове Восточной Антарктиды // Геохимия. 2006. № 8. С. 891–901.
10. О мониторинге воздействия научной деятельности и операций, проводимых в Антарктике, на окружающую среду. Индия. Гоа: COMNAP, 1999. 9 с.
11. Руководство по методам анализа морских вод. РД 52.10. 243–92. / Под ред. С.Г. Орадовского. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 264 с.
12. Слевич С.Б., Короткевич Е.С. Человек в Антарктиде. СПб.: Гидрометеиздат, 1995. 200 с.
13. Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.
14. Balks M.R., Paetzold R.F., Kimble J.H. Effects of hydrocarbons spills on the temperature and moisture regimes of Creosols in the Ross Sea region // Antarctic Science. 2002. V. 14 (4). P. 319–326.

15. Hugles K.A. Distribution of Sewage pollution around maritime Antarctic research station indicated by faecal coliforms, clostridium pereringens and faecal sterol markers // *Environment Pollut.* 2004. V. 127, №3. P. 315–321.
16. Kim M., Kennicutt II M.C., Qian Y. Molecular and stable carbon isotopic characterization of PAH contaminants at McMurdo Station, Antarctica // *Mar. Pollut. Bull.* 2006. V. 52. P. 1585–1590.
17. Melnikov I.A. Winter production of sea ice algae in the Western Weddell Sea // *J. Mar. Systems.* 1998. V. 17. P. 195–205.
18. Montone R.C., Taniguchi S. PCBs in the atmosphere of King George Island, Antarctica // *Science of the Total Environment.* 2003. V. 308. P. 167–173.
19. NRS (National Research Council) Oil in the sea III: Inputs, fates and effects. NAS. Washington, DC, 2002. 580 p.
20. Pinturier-Geiss L., Laureillard J., Riaux-Gobin C. et al. Lipids and pigments in deep-sea surface sediments and interfacial particles from the Western Crozet Basin // *Mar. Chem.* 2001. V. 75. P. 249–266.
21. Taniguchi S., Montone R.C., Bicego M.C. et al. Chlorinated pesticides, polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons in the fat tissue of seabirds from King George Island, Antarctica // *Mar. Pollut. Bull.* 2009. V. 58. P.129–133.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1. Концентрации липидов и АУВ (мкг/л) в поверхностных водах.

Дата	Район	n	Липиды			АУВ			УВ,% от липидов
			интервал	средняя	σ	интервал	средняя	σ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2008 г.									
15–27.03 21–29.04.	Южный океан	22 _p	6–36	20	7	3–30	8	5	41
25.03–19.04	Шельф	33 _p	5–39	23	8	2–26	9	5	38
	Антарктиды	25 _{вз}	4–34	28	8	1–22	13	8	45
2001 г.									
4-10.04	Южный океан	7 _p	10–48	27	16	1–22	6	7	22
11-17.05	Шельф	13 _p	20–84	37	19	4–41	12	10	30
	Антарктиды	6 _{вз}	9–78	21	28	3–17	6	6	34
13-29.03	Юго-Восточная	22 _p	12–89	33	17	1–53	16	10	30

	Атлантика								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10-13.03	Шельф Западной Европы	6 _р	12–72	37	21	1–18	9	7	24
10-13.03	Северное море	9 _р	17–69	47	18	6–35	22	10	47
2003 г									
16.-22.02 20-24.04	Южный океан	13 _р	15–40	23	14	7–43	7	6	42
23.02-16.04	Шельф Антарктиды	24 _р	9–70	31	13	1–35	13	9	43
		8 _{вз}	14–62	37	17	1–37	12	11	28
01-14.05	Юго-Восточная Атлантика	16 _р	13–44	30	8	3–17	9	4	14
15-18.05	Шельф Западной Европы	10 _р	34–65	49	12	6–39	16	10	14

n- количество проб; р – растворенная, вз – взвешенная формы

Таблица 2. Содержание органических соединений (мкг/л) в снежно-ледяном припайном покрове

Описание пробы	Липиды*	АУВ*	C _{орг}	Взвесь	Хлорофилл	АУВ, % (от липидов)	$\frac{\text{АУВ}}{\text{C}_{\text{орг}}}$	$\frac{\text{АУВ}}{\text{взвесь}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Море Лазарева 70°03' ю.ш. 10°35' в.д								
Шуга	<u>8.66</u>	<u>2.60</u>				<u>23.75</u>		
	104.98	64.31	1435.2	н.о.		61.21	0.04	
Подледная	<u>13.61</u>	<u>11.12</u>				<u>81.66</u>		
вода	17.95	8.71	280.0	н.о		48.53	0.03	
Станция Прогресс, море Содружества, залив Прюдс, 69° 22' ю.ш. 76° 24' в.д.								
Снег	<u>19.45</u>	<u>10.56</u>				<u>54.32</u>		
0-5 см	24.80	16.12	155.7	666		66.98	0.10	0.02
Лед	<u>479.87</u>	<u>289.41</u>				<u>60.31</u>		
0-17 см	319.15	245.52	244.4	4667	41.85	76.93	1.00	0.05

Лед	<u>69.36</u>	<u>16.04</u>				<u>23.65</u>		
18-45 см	220.38	93.20	5130.0	н.о		64.8	0.02	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Станция Дружная, море Содружества, залив Прюдс, 69° 37' ю.ш. 74° 13' в.д.								
Снег	<u>34.94</u>	<u>18.64</u>				<u>53.36</u>		
0-20 см	81.15	17.79	16.5	271	0.00	21.92	1.08	0.07
Лед	<u>96.76</u>	<u>48.42</u>				<u>50.04</u>		
0-20 см	111.33	17.80		1867	1.12	15.99		0.01
Лед.	<u>35.11</u>	<u>23</u>				<u>65.52</u>		
21-66	110.37	29.45	32.1	1667	3.62	26.68	0.92	0.02
Лед	<u>42.39</u>	<u>20.55</u>				<u>48.48</u>		
67-95	143.7	21.31	26.80	1700	1.81	14.83	0.80	0.01
	<u>24.34</u>	<u>12.35</u>				<u>50.74</u>		
Подледная вода	29.68	5.19	120.0	477	0.54	25.10	0.04	0.01
Обсерватория Мирный, море Дейвиса, 66° 32' ю.ш. 92° 54' в.д.								
Снег	<u>17.56</u>	<u>7.70</u>				<u>40.27</u>		
0-5 см	9.45	5.31	30	459	0.01	56.21	0.18	0.01
Лед	<u>20.66</u>	<u>10.72</u>				<u>51.89</u>		
0-18 см	32.46	9.74	583.7	809	2.30	30.10	0.02	0.01
Лед.	<u>92.31</u>	<u>15.51</u>				<u>16.80</u>		
19-35 см	100.44	55.80	231.09	2505	4.38	55.33	0.24	0.02
Лед.	<u>99.02</u>	<u>48.2</u>				<u>48.68</u>		
36-45 см	253.74	68.54	98.24	6444	8.05	27.10	0.70	0.01
Подледная вода	<u>29.18</u>	<u>15.96</u>				<u>54.71</u>		
	8.52	5.07	7.04	40	0.62	58.79	0.72	0.12

*в числителе — растворенная форма, в знаменателе — взвешенная

Таблица 3. Концентрации органических соединений в лишайниках, почвах, фитопланктоне

Проба	Липиды	АУВ	C _{орг}	%		
				Липиды от C _{орг}	АУВ от C _{орг}	АУВ, от липидов
1	2	3	4	5	6	7
Берег озера Степпед, 2008 г.						
Лишайник	4109.45	2708.39	180000	2.3	1.5	65.9
Мох	2499.41	1798.27	35880	7.0	5.0	72.0
Почва	199.25	72.98	1600	12.4	4.6	36.2
Водоросли	1518.23	676.26	127140	1.2	0.5	44.5
Обсерватория Мирный, 2008 г. дом геофизиков						
Почва	47	35	300	15.6	11.8	75.6
Почва	31	23	100	30.8	22.6	73.3
Барьер в районе перегрузки оборудования на ст. Новолазаревская, 2008 г.						
Фитопланктон	370	117	162850	0.2	0.1	31.7
Станция Новолазаревская, почва, 2008 г.						
Рядом с ДЭС	15616	9784	18900	82.6	51.8	62.6
Водозабор	289	264	2000	14.5	13.2	91.0
Озеро			0*			
Станционное	185	140				75.7
Продсклад	293	174	5900	49.7	29.4	59.3
Станция Новолазаревская, почва, 2001 г.						

Рядом с ДЭС	Не определяли	32503	Не определяли			
Водозабор		14				
Озеро Станционное		22				
Продсклад		85				
1	2	3	4	5	6	7
Берег озера Степед, 2003 г.						
Лишайник	1220	311.7	141800	0.86	0.22	25.6
Мох	904	109.8	145500	0.62	0.08	12.1
Почва	146	29.9	3800	3.83	0.79	20.5
Берег озера Хасуэлл, 2003 г.						
Мох	1378	109	239600	0.6	0.1	7.9
Почва	198	12	4200	4.7	0.3	6.1

* 0 – ниже чувствительности метода определения