

СОДЕРЖАНИЕ И СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ОЗЕРАХ В АНТАРКТИКЕ И АРКТИКЕ

И.А. НЕМИРОВСКАЯ

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН), г. Москва, e-mail nemir@ocean.ru

Представлены результаты многолетних исследований органических соединений в отделяющихся водоемах в двух районах: в озере Степед, залив Прюдс, море Содружества (Антарктика) и в озерах периферии Кандалакшского залива Белого моря (Арктика). Установлено, что эвтрофирование водоемов в значительной степени зависит от связи этих озер с морем. Восстановление экосистемы озер происходит при поступлении морских вод. Прибрежная антропогенная деятельность влияет в меньшей степени. Наибольшие различия между органическими соединениями в арктических и антарктических озерах установлены в составе углеводов. В Антарктике, из-за отсутствия растительности, в составе алканов преобладают автохтонные соединения, а в Арктике, наряду с автохтонными, аллохтонные.

Ключевые слова: отделяющиеся озера, Антарктика, Арктика, снег, лед, донные осадки, взвесь, органическое вещество, углеводороды.

ВВЕДЕНИЕ

Обособленные от моря водоемы (меромиктические) — это озера-изгои, отторгнутые сушей, в которых отсутствует циркуляция воды между слоями различной минерализации. Характерны они для приливных морей и заливов с сильно изрезанной береговой линией и котловинами (Jeffries et al., 1984; Krouse et al., 1984). Эволюция таких водоемов включает несколько стадий (Long et al., 2011). На первой стадии сохраняется приливной водообмен через порог, но происходит некоторое обособление вод котловины. Когда порог поднимается настолько, что блокирует приливной водообмен и не препятствует стоку поверхностных вод в море, водоем переходит во вторую стадию развития — отторгнутого морем (Пантюлин, Краснова, 2011). Порог перекрывает весь диапазон колебаний уровня моря, и проникновения морских вод становятся эпизодическими при совпадении приливов и нагонов. Водоем уже практически отделился от моря, но высота порога при этом не препятствует свободному стоку поверхностных вод, поэтому он не опресняется. Продолжительность этой стадии эволюции оценивается по крайней мере в несколько десятилетий, когда морская вода уже не может проникнуть в бассейн, а на поверхности начинает накапливаться пресная вода. В результате в водоеме образуется двухслойная структура, состоящая из пресного слоя толщиной 1–2 м и подстилающего соленого слоя. Вода нижнего слоя озера более минерализованная и плотная, чем вода верхнего слоя. Недостаточное количество кислорода лимитирует окисление органических веществ и приводит к образованию сероводорода. Обновление вод котловины может происходить вследствие двух процессов: зимней вертикальной конвекции и адвекции вод через дно (Лисицын и др., 2013).

С целью определения особенностей распределения органических соединений (ОС) — липидов, углеводов (УВ), $C_{\text{орг}}$ и хлорофилла *a* (хл *a*) — в отделяющихся озерах проведено их изучение в двух высокоширотных районах: в озере Степед (залив Прюдс, море Содружества, Антарктика) и в озерах губы Ругозерской (Кандакшский залив Белого моря, Арктика).

Для установления генезиса алифатических УВ используют маркеры в составе алканов. Считается, что в нефтях алканы имеют плавное распределение гомологов (Немировская, 2013; АМАР, 2007; Tolosa et al., 2004) и отношение нечетных к четным гомологам в высокомолекулярной области (индекс нечетности CPI) близко к 1. Для автохтонных алканов характерны максимумы в низкомолекулярной, а для аллохтонных — в высокомолекулярной областях.

Состав полициклических ароматических углеводов (ПАУ) в зависимости от их происхождения (петрогенное, пирогенное, биогенное) также существенно различается. Для определения их происхождения обычно используют маркеры — соотношение индивидуальных соединений. Антропогенные ПАУ, представленные преимущественно продуктами высокотемпературного пиролиза органического сырья — периконденсированные, такие как пирены, бенз- и индопирены, в загрязненных районах превалируют над ПАУ, которые образуются в природных процессах: фенантрены, хризены, пицены (АМАР, 2007). Однако во многих случаях в антропогенных и природных процессах (в активных тектонических зонах, в богатых биотой отложениях) механизм образования ПАУ совпадает. При сжигании различных видов топлив происходит образование практически всех незамещенных полиаренов, поэтому зимой их концентрации значительно выше, чем летом.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Взвесь для определения ОС выделяли из проб воды на предварительно прокаленные при 450 °С стекловолокнистые фильтры GF/F (0,7 мкм). Кроме того, для определения количества взвеси ее выделяли методом мембранной фильтрации на предварительно отмытые (4-процентной особо чистой соляной кислотой) поликарбонатные ядерные фильтры (0,45 мкм) под вакуумом при 0,4 атм. Пробы донных осадков отбирали дночерпателем «Океан».

Для экстракции липидов (суммарная экстрагированная фракция) из воды, взвеси и донных осадков использовали метилхлорид. Углеводородную фракцию выделяли гексаном методом колоночной хроматографии на силикагеле. Концентрацию липидов (до колоночной хроматографии на силикагеле) и УВ (после колоночной хроматографии на силикагеле) определяли ИК-методом (Определение..., 1996) на приборе IRAffinity-1 Shimadzu. Состав алканов определяли методом капиллярной газовой хроматографии (колонка длиной 30 м, жидкая фаза ZB-5) на хроматографе Intersmat GC 121-2, оснащенный пламенно-ионизационным детектором при программировании температуры от 100 до 320 °С со скоростью 8°/мин.

Содержание и состав ПАУ определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе «LC-20 Prominence» (Shimadzu). Калибровали прибор при помощи индивидуальных ПАУ и их смесей производства фирмы «Supelco». В результате были идентифицированы следующие полиарены: Н — нафталин, MeH — 1-метилнафталин, АСНФ — аценафтен, Флуор — флуорен, Ф — фенантрен, АН — антрацен, ФЛ — флуорантен, П — пирен, БаН — бенз(а)антрацен, ХР — хризен, БеП — бенз(е)пирен, БбФЛ — бенз(б)флуорантен, БкФЛ — бенз(к)флуорантен,

БП — бенз(а)пирен, ДБаhА — дибенз(а,h)антрацен, БПЛ — бенз(г,h,i)перилен, ИДП — индено(1,2,3-с,d)пирен.

Определение $C_{орг}$ в пробах взвесей и донных осадков проводили методом сухого сожжения на анализаторе АН-7529. Концентрацию хлорофилла *a* (хл *a*) определяли флуориметрическим методом на предварительно откалиброванном флуориметре Trilogy (модель 1.1) фирмы Turner Designs (США). Подробности методических процедур описаны (Немировская, 2013; Немировская и др., 2015).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Озеро Степпед (залив Прюдс моря Содружества) расположено в котловине между российской станцией Прогресс и китайской станцией Зонгшан (рис. 1, вставка) и образовано благодаря таянию ледников и заплеску соленых вод во время шторма. Проведенные исследования снежно-ледяного покрова озера и почвы на берегу установили значительную межгодовую изменчивость в концентрациях всех изучаемых соединений (табл. 1). В 2008 г. в слое снега 11–20 см концентрации ОС были выше, чем в слое 0–10 см (свеженаметанный снег) почти в 4 раза. Содержание ПАУ изменялись в этих слоях снега в 2 раза, 467 и 959 нг/л соответственно. ПАУ в основном образуются при горении органического топлива (АМАР, 2007; Tolosa et al., 2004). В составе ПАУ в верхнем слое снега доля природных соединений – фенантрена и хризена составила 62 %, а в нижнем — всего 23 %. Состав ПАУ в верхнем слое льда также указывал на влияние пирогенных соединений, так как отношение флуорантен/пирен равно 0,74. При трансформации пирогенных соединений обычно повышается доля флуорантена — более устойчивого полиарена (Пиковский и др., 1998).

Последующие исследования показали, что в марте 2010 г. содержание УВ во взвеси снега оз. Степпед по сравнению с 2008 г. увеличилось до 56 мкг/л, а затем к 2010 г. понижалось. В марте 2012 г. взвесь снега на озере отличалась также низкими концентрациями хл *a* (0,01 мкг/л) и снижением по сравнению с предыдущими годами

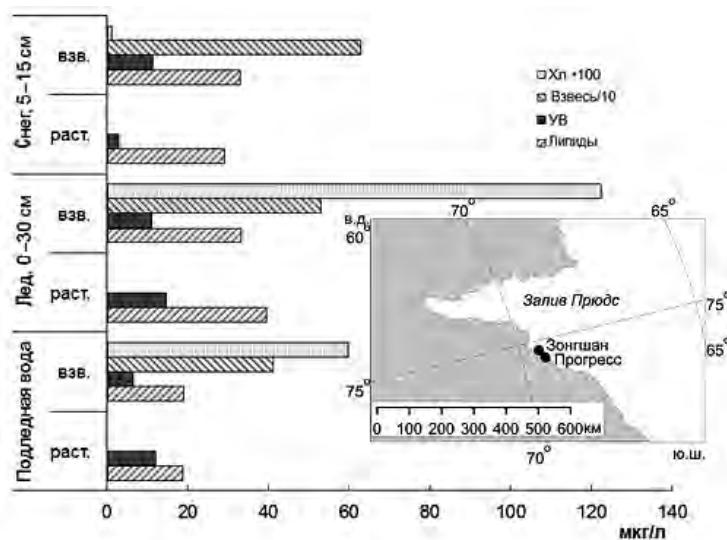


Рис. 1. Распределение органических соединений и взвеси в снежно-ледяном покрове оз. Степпед в марте 2012 г.: взв. — соединения во взвешенной, раст. — в растворенной формах. На вставке расположение оз. Степпед

концентраций взвеси (0,67 мг/л), липидов (33 мкг/л) и УВв (взвеси) (15 мкг/л, рис. 1). Наиболее низкое содержание ОС и взвеси установлено в 2014 г. (табл. 1), так как во время отбора снега вертолеты не летали. Очевидно, на распределение взвеси и ОС в снеге оказывают влияние аэрозольные поступления от двигателей вертолетов.

Таблица 1

Изменчивость органических соединений в снежно-ледяном покрове озера Степед (69° 22',97 ю.ш., 76°22',65 в.д.)

Год	Объект	Горизонт, см	мкг/л				Взвесь, мг/л
			Липиды	УВ	Хл а	БОУ	
2008	Снег***	0–10	49*/33	37/22	Н.о.	Н.о.	155
	Снег***	10–20	31/134	26/82	То же	То же	312
	Лед	0–20	50/119	42/50	–“–	–“–	–
	Лед	20–40	54/224	35/112	–“–	–“–	–
	Подледная вода		12/57	4/29	–“–	–“–	–
2010	Снег***	5–10	33/74	22/56	0,005	–“–	1,00
	Лед	0–25	50/119	42/50	0,025	–“–	0,37
	Подледная вода		23/19	7/14	0,024	–“–	0,36
2012	Снег	5–15	29/33	11/15	0,010	17,6	0,67
	Лед	0–30	39/33	12/15	1,22	0,9	0,50
	Подледная вода		19/19	6/12	0,596	132	0,72
2014	Снег	5–15	–/31	–/10	0,002	Н.о.	0,21
	Лед	0–60	–/20	–/6	0,008	То же	0,50
	Подледная вода		–/16	–/5	0,170	–“–	0,45

Примечание. * — 10/17 — растворенная/взвешенная формы; **Н.о. — не определяли; *** — снег на берегу озера; БОУ — взвешенный органический углерод.

Отобранные керны льда озера Степед различались не только величиной, но и внешним видом. В 2001 и 2003 гг. во льду концентрации УВ изменялись в диапазоне 5–6 мкг/л, а в 2008 г. их содержание увеличилось до 112 мкг/л (табл. 1). В воде было много водорослей, поэтому керн льда был окрашен в желтый цвет. Подледная вода пахла сероводородом, то есть к марту 2008 г. произошло эвтрофирование вод озера. Поэтому предположили, что поступление загрязняющих веществ в озеро связано с хозяйственной деятельностью станций, расположенных поблизости. Рост концентраций УВ по сравнению с данными 2001 и 2003 гг. произошел не только в снежно-ледяном покрове, но также в почве, мхах и лишайниках, отобранных на берегу (Немировская, Чернявский, 2010). В настоящее время прибрежные районы антарктического континента не могут считаться экологически чистыми, так как деятельность научных станций, развитие туризма и активное использование транспорта приводят к их загрязнению, в том числе органическими соединениями (Balks at al., 2002; Deprez at al., 1999).

Однако уже в 2010 г. наблюдалось снижение концентраций всех изучаемых соединений (табл. 1). В подледной воде содержание УВ (4–7 мкг/л) оказалось на грани чувствительности метода определения и практически совпадало с данными 2003 и 2001 гг. (Немировская, 2006). Вода озера не пахла сероводородом, как в 2008 г., и практически не содержала водорослей. Следовательно, к 2010 г., несмотря на низкие

температуры, экосистема этого водоема восстановилась. В марте 2012 г. лед озера имел бело-серый цвет и содержал большое количество пузырьков, что может указывать на его нарастание как сверху, так и снизу. Содержание хл *a* во льду (1,224 мкг/л) и в подледной воде озера (0,596 мкг/л) оказалось довольно высоким (рис. 1), что может указывать на высокую первичную продукцию в озере. В то же время количество самой взвеси снизилось (табл. 1). Нарастание озерного льда идет наиболее интенсивно сразу после замерзания, и процесс этот происходит одновременно как снизу, так и сверху (Лисицын и др., 2011). Видимо, взвесь озера содержала значительную долю органических частиц, концентрация которых обусловлена биологическими, а не минеральными факторами. Последнее подтверждает и состав алканов, в которых доминировали легкие автохтонные гомологи (рис. 2а). Несмотря на низкие температуры, водоросли и бактерии развиваются в однолетнем и растущем льду, при этом продукционные процессы могут преобладать над деструкционными (Сажин и др., 2004). Поэтому их биомасса и содержание хл *a* в 2012 г. были значительно выше, чем в подледной воде. Концентрации растворенных и взвешенных форм липидов и УВ для снега, льда и подледной воды незначительно различались, что свидетельствует о свежееобразованном органическом веществе (ОВ).

В 2012 и 2014 гг. были отобраны донные осадки из оз. Степед. Они состояли в основном из детрита и остатков водорослей, имели черный цвет, пахли сероводородом и содержали в большом количестве ОС. Концентрация липидов достигла 1409, УВ — 265 мкг/г сухого веса, $C_{\text{орг}}$ — 18,2 %, а ПАУ — всего 48 нг/г (табл. 2).

Таблица 2

Содержание органических соединений в донных осадках

Местоположение отбора проб	Влажность, %	УВ, мкг/л	$C_{\text{орг}}$, %	Доля УВ, % от $C_{\text{орг}}$
Залив Прюдс, море Содружества, Антарктика				
Озеро Степед, 2012	75,6	265	18,170	0,121
Озеро Степед, 2014	80,2	77	17,712	0,042
Губа Ругозерская, Кандалакшский залив, Белое море, 2015 г.				
Озеро Трехцветное	90,46	73	7,348	0,086
Озеро Верхнее Ершовское	78,11	44	4,948	0,077
Озеро на Зеленом мысу	88,57	97	6,982	0,119
Озеро Кисло-Сладкое	89,41	151	8,698	0,149
Губа Ермолинская	59,91	9	2,467	0,032
Пирс Беломорской биологической станции (ББС)	54,97	15	1,402	0,090

В составе алканов осадков преобладали легкие гомологи (рис. 2а), источником формирования которых являются продукты разложения отмерших водорослей, скапливающихся на дне. В составе ПАУ, наряду с природным полиаренами фенантреном и хризеном, значительна концентрация нефтяных гомологов — метилнафталина и нафталина, а также пирогенных — флуорантена и пирена (рис. 2б). При этом почва на берегу в большей степени была загрязнена нефтяными и пирогенными ПАУ, по сравнению с осадком из озера, так как доля гомологов нафталина была выше и отношения: $H/mеN_{\text{почва}} = 0,25$; а $H/mеN_{\text{осадок}} = 4,58$. Последнее может указывать на свежее нефтяное загрязнение (Balks et al., 2002). Следовательно, несмотря на довольно низкие концентрации ПАУ, в их составе прослеживается поступление нефтяных и пирогенных полиаренов в район оз. Степед как в 2008, так и в 2012 г.

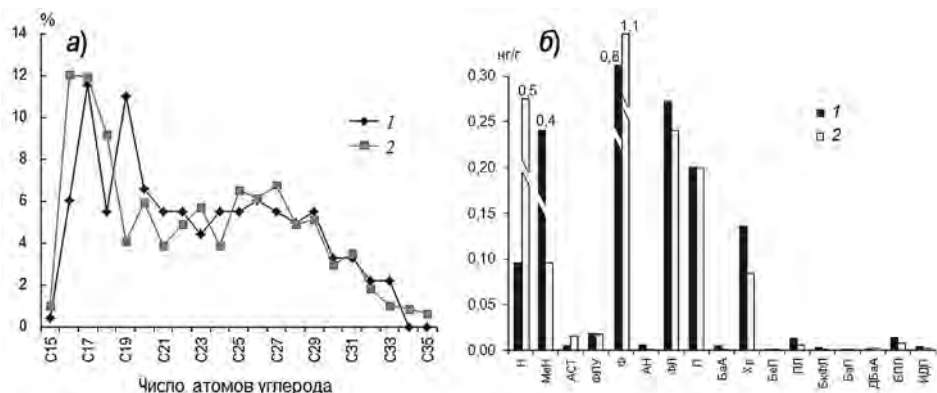


Рис. 2. Состав алканов (а) и ПАУ (б) в почве (1) на берегу и в осадке (2) озера Степед в 2012 г.

На периферии Кандалакиского залива Белого моря береговая линия сильно изрезана, вдоль берегов расположено множество островов, а для дна характерно чередование котловин и порогов (рис. 3). Поэтому здесь происходит постепенное отделение от моря небольших водоемов со слабым пресным стоком (Пантюлин, Краснова, 2011). Обследованные водоемы по степени обособления от моря располагаются следующим образом. Ермолинская губа имеет свободный водообмен с морем. Озеро на Зеленом Мысу находится в начальной стадии отделения, в нем есть постоянный приливной водообмен с морем, приливные колебания уровня составляют около 10 см. Кисло-Сладкое озеро лишено постоянного водообмена, морская вода проникает в него эпизодически, но высота порога не препятствует свободному стоку поверхностных вод. Трехцветное озеро считается полностью отделившимся от моря, на что указывали поверхностный двухметровый слой пресной воды и нижний соленый слой, характеристики которого не менялись в течение нескольких лет (типичный признак меромиктического водоема). Верхнее Ершовское озеро является полностью пресным (Лисицын и др., 2013).

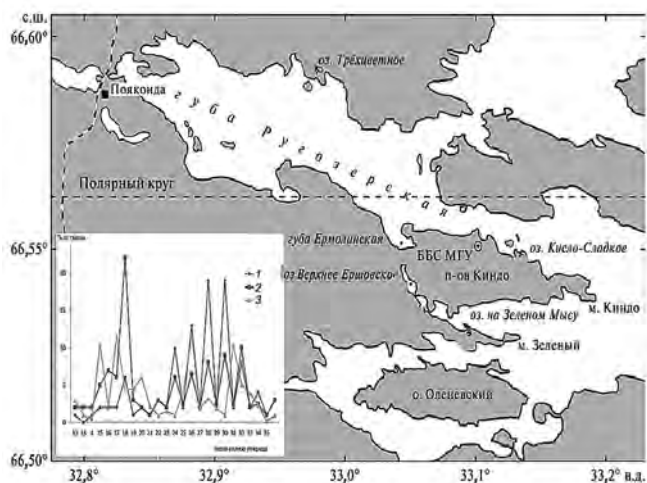


Рис. 3. Схема расположения исследованных отделяющихся озер в губе Ругозерской. На вставке состав алканов донных осадков озер: 1 — Кисло-Сладкое, 2 — на Зеленом Мысу, 3 — Трехцветное.

Исследования поверхностных вод в этих озерах летом 2015 г. установило высокое содержание липидов (106–1329, в среднем 359 мкг/л) и УВ (21–683, в среднем 110 мкг/л). Однако максимальная концентрация приурочена к району пирса ББС: для липидов и УВ соответственно 12909 и 4204 мкг/л. Последнее может указывать не только на активно происходящие процессы образования ОС в летний период, но и на поступление загрязняющих веществ. Примечательно, что зимой их содержание было значительно ниже и в среднем в подледных водах не превышало 30 мкг/л (Немировская и др., 2016).

Концентрирование ОС происходило в донных осадках. В частности, летом 2010 г. в Белом море наиболее высокое содержание УВ, так же, как и $C_{орг}$, установлено в илистых осадках губы Ругозерской и Еремеевской — до 96 мкг/г, но в составе $C_{орг}$ их доля не превышала 0,18 %. В Двинском и Онежском заливах их концентрации были значительно ниже: 6–16 мкг/г, а в составе $C_{орг}$ — соизмеримы (0,05–0,20 %).

В 2015 г. в составе осадков отделяющихся озер (табл. 2), обогащенных органическим детритом, также установлены повышенные концентрации $C_{орг}$ (в среднем 6,994 %) и УВ (в среднем 91,3 мкг/г). Доля УВ в составе $C_{орг}$, как и ранее, была низкой и колебалась в интервале 0,03–0,15 %, что может указывать на их природное происхождение (Немировская, 2013). Только возле пирса ББС содержание УВ понижалось до 15 мкг/г, а $C_{орг}$ — до 1,402 %. Однако и здесь доля УВ составила всего 0,09 % от $C_{орг}$. Для сравнения в донных осадках, загрязненных нефтью, во время половодья в рукавах дельты Северной Двины доля УВ в составе $C_{орг}$ увеличивалась до 15,79–35,9 % (Немировская, 2013). Напротив, в не загрязненных нефтью осадках водосбора Северной Двины доля УВ в составе была значительно ниже: в районе о. Кумбыш — 0,42 %, при впадении р. Лая — 0,81 % и впадении р. Пинегы — 0,60 %.

В осадках отделяющихся озер губы Ругозерской состав алканов имел бимодальное распределение гомологов (рис. 3, вставка). В низкомолекулярной области так же, как в осадках оз. Степед, доминировали автохтонные биогенные алканы: *n*-C17, имеющий планктоногенное происхождение, и четные гомологи *n*-C14–C18, свидетельствующие об интенсивных микробных процессах. В высокомолекулярной области повышена концентрация нечетных аллохтонных алканов — *n*-C25–C31. Поэтому значениями СРІ были высокими (9,6–11,9), что указывает на терригенную природу УВ, связанную с восками высших наземных растений (Tolosa et al., 2004).

Таким образом, в Антарктиде и в Арктике в отделяющихся озерах процессы, формирующие ОБ в водах и осадках, были близкими. Эпишельфовое оз. Степед, образовано благодаря таянию ледников и поступлению соленых вод во время шторма (Антарктида..., 2012). Эвтрофирование вод озера в значительной степени обусловлено естественными природными процессами: взаимодействием вод озера с морем. Поступление морских вод способствовало восстановлению его экосистемы с 2008 к 2010 г., а к 2014 г. вновь произошло эвтрофирование вод озера. В марте 2014 г. в придонном слое озера концентрация сероводорода достигала 0,6 мл/л при солёности 1,5 psu. В оз. Степед наблюдалось очень высокое содержание аммонийного азота — 28,7 μ М (восстановленная форма азота, которая образуется при разложении органического вещества в морских водах). Его концентрации увеличились в два раза за период с 2012 по 2013 г. и в 25 раз с 2013 по 2014 г. (устное сообщение Н.И. Торгуновой и К.В. Артамоновой, ВНИРО, 2014 г.), что также подтверждало эвтрофирование этого водоема.

Влияние морских вод на состояние экосистемы прослеживалось также и для отделяющихся озер периферии Кандалакшского залива. В этих более глубоководных по сравнению с оз. Степед водоемах, в отсутствие морских вод, происходило образование двухслойной структуры: верхний — распресненный, а нижний — более соленый слой с пониженным содержанием кислорода (Лисицын и др., 2013; Пантюлин, Краснова, 2011). На осолонение поверхностного слоя влияет адвекция морских вод через порог. В ее отсутствие водоем превращался в пресное озеро со следами осолонения пресной воды в ямках, где накапливался сероводород. В частности, озеро Трехцветное имело четкую двухслойную структуру: с поверхностным пресным слоем толщиной 2 м и нижним соленым слоем, содержащим сероводород (Пантюлин, Краснова, 2011). При этом сезонные колебания пресного слоя распространялись до глубин, превышающих 5 м.

На процессы седиментации ОС в этих озерах также влияет хозяйственная деятельность на их берегах. Поэтому в составе ПАУ осадка оз. Степед прослеживалось влияние пирогенных и нефтяных соединений. В то же время максимальное содержание присуще фенантрону, имеющему в основном природное происхождение. Увеличение хозяйственной деятельности на берегу может усиливать эрозийные процессы в этих озерах, что приводит к поступлению большого количества наносов в водоем. В результате в донных осадках появляются черные гидротроилитовые прослои (FeS и H_2O), обусловленные существованием застойных анаэробных зон на дне (Субетто и др., 2012; Korsakova et al., 2016). Их небольшая мощность связана со временем изоляции озер и большой длительностью осадконакопления.

Различие в составе ОС соединений в озере Степед и в меромиктических водоемах Белого моря сказывается на составе УВ. В Антарктике отсутствие высших растений обуславливает доминирование в составе алканов донных осадков, автохтонных гомологов. Напротив, для донных осадков отделяющихся озер Белого моря характерно влияние двух источников: низкомолекулярных биогенных соединений, образующихся в море, и терригенных компонентов высшей растительности, поступающих с суши. Поэтому значения СРІ в осадках отделяющихся озер были значительно выше, чем в открытых районах Белого моря. В осадках центральной части Кандалакшского залива значения СРІ не превышали 3,06, а в Двинском заливе — 1,98 (Беляев, 2015).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В отделяющихся озерах высокоширотных районов (в Антарктике и в Арктике), несмотря на низкие температуры, происходит образование большого количества органических соединений, что приводит к существованию застойных анаэробных зон и эвтрофированию вод этих водоемов. Поступление морских вод способствует уменьшению концентраций ОС в воде и осадках, то есть функционирование их экосистемы зависит от периода изоляции озер от моря.

Молекулярный состав УВ отражает доминирующие источники органического вещества, поступающего в отделяющиеся озера. Выявленные существенные различия в составе алканов осадков оз. Степед и озер периферии Кандалакшского залива, особенно в высокомолекулярной области, связаны с отсутствием растительного покрова в Антарктике.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ 17-05-00356, программы 0149-2015-0056 президиума РАН и на стадии обобщения материала программы Российского научного фонда № 14-27-0011-П и госзадания 0149-2014-0038.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Антарктида — особенности пространственной дифференциации. Почвы, растительный и животный мир Антарктиды. М.: Мысль, 2012. 58 с.

Беляев Н.А. Органическое вещество и углеводородные маркеры Белого моря: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2015. 24 с.

Лисицын А.П., Васильчук Ю.К., Шевченко В.П., Буданцева Н.А., Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н., Филиппов А.С., Чижова Ю.Н. Изотопно-кислородный состав воды и снежно-ледяного покрова отделяющихся водоемов на разных стадиях изоляции от Белого моря // ДАН. 2013. Т. 449. № 4. С. 467–473.

Немировская И.А. Органические соединения в снежно-ледяном покрове Восточной Антарктиды // Геохимия. 2006. № 8. С. 891–901.

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

Немировская И.А., Кравчишина М.Д., Реджепова З.Ю. Органические соединения и взвесь в снежно-ледяном покрове и почвах в районах антарктических станций России // Лед и снег. 2015. Т. 55. № 4. С. 114–126.

Немировская И.А., Чернявский Н.Г. Новые данные о распределении органических соединений в снежно-ледяном покрове Восточной Антарктиды // Лед и снег. 2010. № 2. С. 109–117.

Немировская И.А., Шевченко В.П., Боев А.Г., Титова А.М. Алифатические углеводороды во взвеси снежно-ледяного покрова Белого моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. № 4 (110). С. 30–40.

Определение загрязняющих веществ в морских донных отложениях и взвеси. РД.52.10.556.1996. 57 с.

Пантюлин А.Н., Краснова Е.Д. Отделяющиеся водоемы Белого моря: новый объект для междисциплинарных исследований // Геология океанов и морей. Т. 3. М.: ГЕОС, 2011. С. 241–245.

Ровинский Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 224 с.

Сажин А.Ф., Ратькова Т.Н., Кособокова К.Н. Население прибрежного льда Белого моря в ранне-весенний период // Океанология. 2004. Т. 44. № 1. С. 92–100

Субетто Д.А., Шевченко В.П., Лудинова А.В. Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления // ДАН. 2012. Т. 446. № 2. С. 183–190.

AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). Persistent organic pollution in the Arctic. Oslo: AMAP, 2007. Chapter 4. 87 p.

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. Vol. 14 (4). P. 319–326.

Deprez P.P., Arents M., Locher H. Identification and assessment of contaminated sites at Casey station, Wilkes Land, Antarctica // Polar Record. 1999. Vol. 35. P. 299–316.

Jeffries M.O., Krouse H.R., Shakur M.A., Harris S.A. Isotope geochemistry of stratified Lake “A,” Ellesmere Island, N.W.T. Canada // Can. J. Earth Sci. 1984. Vol. 21. P. 1008–1017.

Korsakovaa O.P., Kolkaa V.V., Tolstobrova A.N., Lavrovab N.B., Tolstobrova D.S., Shelekhovab T.S. Lithology and Late Postglacial Stratigraphy of Bottom Sediments in Isolated Basins of the White Sea Coast Exemplified by a Small Lake in the Chupa Settlement Area (Northern Karelia) // Stratigraphy and Geological Correlation. 2016. Vol. 24. № 3. P. 81–101.

Krouse R.H., Legge A.H., Brown H.M. Sulphur gas emissions in the boreal forest: The West Whitecourt case study V. Stable sulphur isotopes // Water Air Soil Pollut. 1984. Vol. 22. P. 321–347.

Long A.J., Woodroffe S.A., Roberts D.H., Dawson S. Isolation basin, sea-level change and the Holocene history of the Greenland ice sheet // Quatern. Sci. Revs. 2011. Vol. 30. P. 3748–3768.

Monitoring of hazardous substances in the White Sea and Pechora Sea: harmonisation with OSPAR's Coordinated Environmental Monitoring Programme (CEMP). Tromsø: Akvaplan-niva, 2011. 71p.
Tolosa I., Mora S., Sheikholeslami M.R., Villeneuve M.R., Bartocci J., Cattini C. Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments // Marine Pollution Bulletin. 2004 .Vol. 48 (1–2). P. 44–60.

I.A. NEMIROVSKAYA

CONTENT AND COMPOSITION OF ORGANIC COMPOUNDS IN SEPARATE LAKES IN ANTARCTICA AND THE ARCTIC

The results of long-term studies of organic compounds in separated water bodies in two regions: Lake Stepped, Prydz Bay, Commonwealth Sea, (Antarctica) and lakes of the periphery of the Kandalaksha Gulf of the White Sea (the Arctic) are presented. It is established that the eutrophication of these reservoirs largely depends on the connection of these lakes with the sea. Coastal anthropogenic activity affects to a lesser extent. The restoration of the ecosystem of these lakes occurs at the launch of sea waters. The greatest differences between organic compounds in the Arctic and Antarctic waters are established in hydrocarbons. In Antarctica, due to the lack of vegetation, alkanes are dominated by autochthonous compounds, and in the Arctic along with autochthonous, allochthonous.

Keywords: separating lakes, Antarctica, Arctic, snow, ice, bottom sediments, suspended matter, organic matter, hydrocarbons.