

Матишов Г.Г., Голубев В.А., Жичкин А.П. Температурные аномалии вод Баренцева моря в летний период 2001–2005 годов // Докл. РАН. 2007. Т. 412, № 1. С. 112–114.

Миронов Е.У. Ледовые условия в Гренландском и Баренцевом морях и их долгосрочный прогноз. СПб.: Изд. ААНИИ, 2004. 320 с.

Современные климатические тенденции в Баренцевом море / Г.Г. Матишов, В.В. Денисов, А.П. Жичкин и др. // Докл. РАН. 2011. Т. 441, № 3. С. 395–398.

Среда обитания и экосистемы Земли Франца-Иосифа (архипелаг и шельф) / Отв. ред. Г.Г. Матишов. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1994. 256 с.

УДК 551.46 (268.45) + 574.4:504.05

Г.В. Ильин

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Мурманск, Россия

ХИМИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ В МОРСКОЙ СРЕДЕ ВЫСОКОШИРОТНЫХ АРХИПЕЛАГОВ

Аннотация

Исследован уровень загрязненности морской среды высокоширотной зоны Баренцева моря органическими поллютантами, включая нефтяные углеводороды, ПАУ и стойкие хлорорганические соединения – пестициды, полихлорбифенилы, фенол. Показано, что уровень антропогенного воздействия на среду в регионе и концентрация загрязняющих веществ в воде и в донных отложениях значительно ниже, чем в морской среде центральной, западной и южной частей моря. Определяющими факторами загрязнения являются трансграничный водный и атмосферный перенос поллютантов. Дана характеристика токсичности морских донных отложений в районе архипелагов Шпицберген и Земля Франца-Иосифа.

G.V. Ilyin

Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Murmansk, Russia

CHEMICAL POLLUTANTS IN THE SEA ENVIRONMENT OF HIGH-ALTITUDE ARCHIPELAGOES

Abstract

The article analyzes levels of contamination in the northern Barents Sea by organic pollutants including petroleum hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons, and persistent organochlorides: pesticides, polychlorinated biphenyl, and phenol. The level of man-caused impacts on the environment of the region is much lower than in the central, western and southern parts of the Barents Sea, thus the levels of pollutants are much lower as well. The key factors of pollution in the region are transboundary marine and atmospheric transfer of contaminants. The article also characterizes levels of toxicity of bottom sediments off the Svalbard and Franz-Josef Land Archipelagos.

Введение. Морские евро-арктические акватории (и территории) в настоящее время играют важную роль в экономическом и геополитическом развитии страны. Будущее устойчивое развитие экономической активности требует своевременного продвижения в практику принципов экосистемно

ориентированного управления хозяйственной деятельностью в пределах этих территорий. Пока это больше касается прибрежных континентальных зон. Однако в связи с прогрессирующим освоением Арктики этот тезис становится все более актуальным и для отдаленных арктических архипелагов.

Уже к настоящему времени в международной хозяйственной практике складывается “резерватный” тип хозяйственно-экономического использования таких территорий, который имеет в основе организацию на архипелагах и прилегающих к ним водах морских охраняемых территорий (Об особо ..., 2009). Такой тип хозяйственного развития высокоширотных областей Арктики в качестве одного из элементов экосистемного управления подразумевает исследование и защиту качества окружающей среды архипелагов (Тишков, 2005; Ecosystem ..., 2009).

Местные и удаленные источники загрязняющих веществ. Высокоширотный арх. Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) удален от основных источников техногенного загрязнения и мало освоен. Хозяйственная деятельность на суше и прилегающей акватории слабо выражена. Однако на некоторых островах наблюдаются следы былой военно-хозяйственной активности в виде брошенной техники и многочисленных площадок хранения горючесмазочных материалов. В настоящее время эти объекты превращаются в источник неконтролируемого загрязнения суши и акватории нефтепродуктами и полихлорбифенилами.

Расположенный западнее, также в границах Баренцева моря, арх. Шпицберген относится к числу исторически наиболее освоенных в Арктике. На самом крупном из островов – Западном Шпицбергене – расположено несколько урбанизированных поселений и существует промышленное производство, в частности: шахтная добыча каменного угля; порты Баренцбург и Лонгйир; аэропорт. Очаг хозяйственной активности на острове является для высокоширотных районов Баренцева моря источником воздушных выбросов теплоцентралей, шахтных газов, угольной и минеральной пыли от промышленного производства и от выветривания горных пород, содержащих уголь. Эти загрязнители могут переноситься на дальние расстояния в соответствии с господствующими направлениями ветровых потоков (розой ветров), в том числе и в южном направлении, к матерiku, в зимний период (Ильин, Громов, 2011; Результаты ..., 2013).

На акватории Баренцева моря круглогодично ведется активная хозяйственная деятельность. В высокоширотных районах моря хозяйственная деятельность связана, прежде всего, с рыбным промыслом и, отчасти, с транспортным судоходством по трассе Севморпути.

На рыбном промысле в море постоянно находятся десятки судов рыбодобывающих компаний. Это дополняет техногенную нагрузку на морскую среду. Но наиболее значимая часть транспортных потоков формируется в южной части морского региона, на участке от Карских Ворот до Мурманска (Ильин, 2009).

Таким образом, в условиях малой интенсивной хозяйственной деятельности в окрестностях архипелагов основным фактором загрязнения

среды становится воздушный и водный трансграничный перенос техногенных органических и неорганических загрязнителей. Местные источники могут рассматриваться как точечные, имеющие локальное в масштабе архипелагов значение. Именно с распространением атлантических вод связывается поступление в Баренцево море стойких хлорорганических загрязнителей, мышьяка, искусственных радионуклидов (Ильин, 2003, 2011).

Однако экологическое состояние морской среды высокоширотных архипелагов исследовано слабо и неравномерно в связи с их труднодоступностью.

Остается неизученной роль водообмена с арктическим бассейном в формировании качества вод архипелагов и всей высокоширотной части Баренцева моря (рис. 1). Основная роль принадлежит постоянным течениям, определяющим водообмен через проливы Шиллинга (желоб Франц-Виктория) и Британский канал. В верхнем слое до 100 м холодные течения полярных вод осуществляют вынос загрязнителей из моря в Арктический бассейн. Течения относительно теплых вод атлантического происхождения в промежуточном слое от 100 до 300 м могут вносить свойственные водам Атлантики загрязняющие вещества в Баренцево море. Эти воды поступают из Арктического бассейна в виде ответвлений потока Fram strait branch, образованного, в свою очередь, Шпицбергенской ветвью Норвежского течения (Никифоров, Шпайхер, 1980; On the intermediate ..., 1994). Характерными для них загрязнителями являются алифатические (нефтяные) углеводороды, хлорорганические соединения и мышьяк.

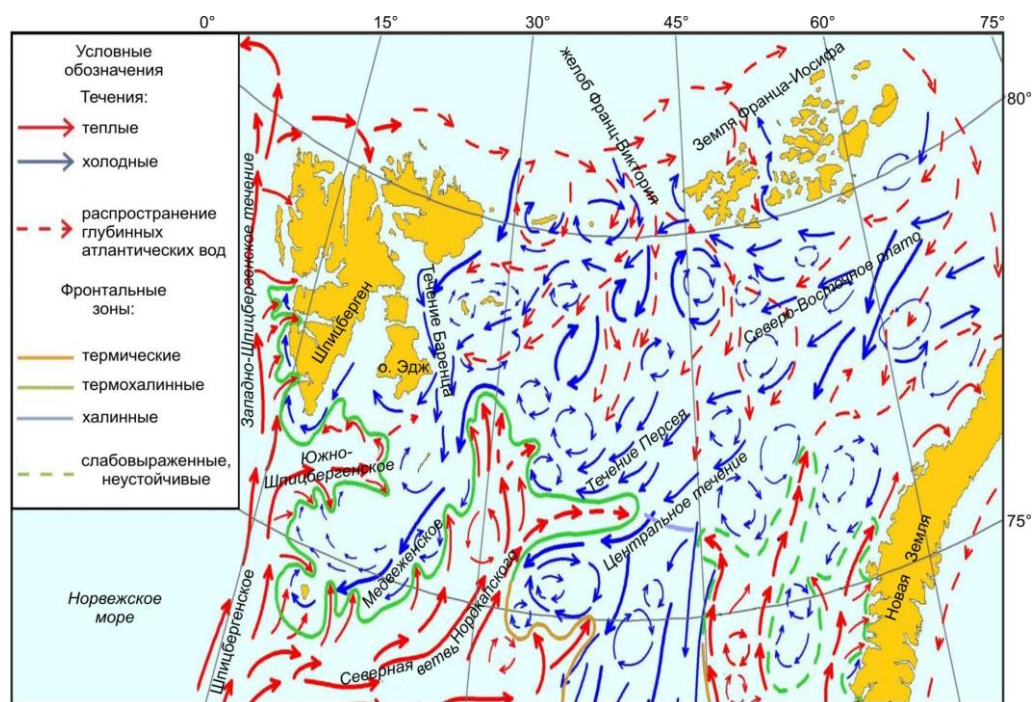


Рис. 1. Схема циркуляции вод в северной части Баренцева моря (Учет ..., 2013)

Кроме того, пресноводный сток также вносит вклад в формирование фона загрязняющих веществ в водной среде близ островов ЗФИ и Шпицбергена.

Анализ экологического состояния морской среды в районе архипелагов выполнен по данным экспедиционных исследований ММБИ, проведенных в 2001–2009 гг.

В целом, в водной среде ЗФИ концентрация загрязняющих веществ, как правило, не превышает рыбохозяйственные предельно допустимые концентрации и варьирует в пределах глобального фонового уровня. Однако закономерности распределения отдельных загрязнителей различаются в зависимости от типа их источника.

Чем же характеризуется распределение загрязнений в высокоширотной части Баренцева моря?

Нефтепродукты и парафины в морской среде. Данных о загрязнении водной среды нефтепродуктами в районе ЗФИ очень мало (рис. 2). В поверхностном слое воды летом на большей части акватории их, как правило, не обнаруживают. Однако местами наблюдаются загрязненные участки. В частности, в водах пролива Шиллинга содержание нефтепродуктов на некоторых станциях составляет примерно 0.02–0.03 мг/л. Характер распределения нефтепродуктов в водах района ЗФИ в целом соответствует характеру пятнистого распределения и концентрациям нефтепродуктов на акватории центральной части Баренцева моря (Химические ..., 1997; Ильин и др., 2011).

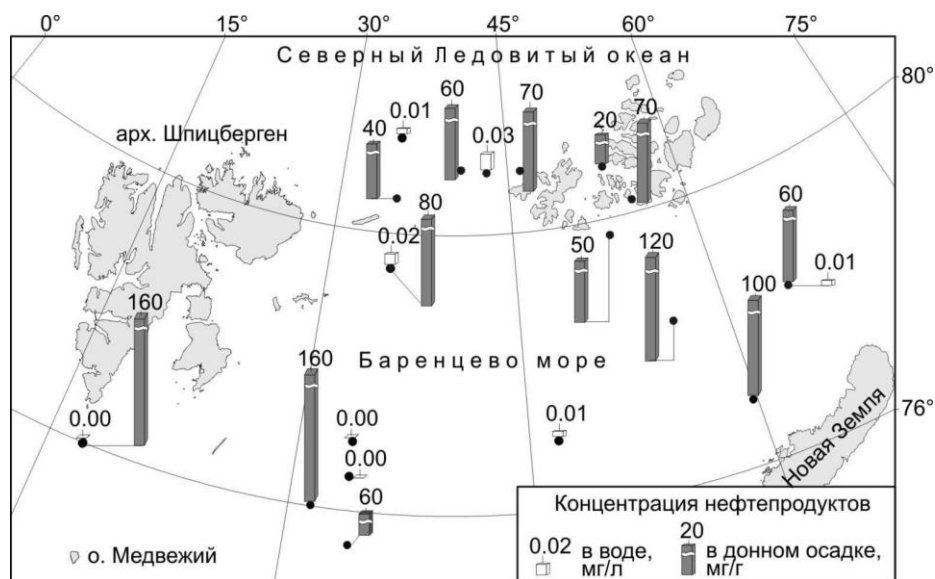


Рис. 2. Распределение нефтепродуктов в воде и донных отложениях северной части Баренцева моря

Появление загрязненных участков в зоне водообмена Баренцева моря с Арктическим бассейном ассоциируется с потоком выходящих баренце-

воморских полярных вод, с ветвями местной локальной циркуляции. Источником загрязнения может быть циркуляционный перенос в высокие широты вод из районов техногенной нагрузки, в том числе загрязненных в результате судоходства. Так, например, в водах южнее архипелага, между ЗФИ и оконечностью о. Северный арх. Новая Земля (пролив Макарова), отмечались участки акватории, загрязненные нефтепродуктами, что, скорее всего, связано с судоходством и имеет эпизодический характер (рис. 2).

Исследования состава алифатических углеводородов в верхнем слое вод свидетельствуют о “бедности” спектра парафинов в этих водах. В целом по району спектр алканов составлен соединениями, содержащими от 10 до 25 атомов углерода ($C_{10}-C_{25}$). Однако на разных участках акватории наблюдается более узкий спектр парафинов.

Общая концентрация нормальных парафинов не превышает 1.5 мкг/л, что на два порядка ниже, чем в промышленно освоенных южных районах моря (Ильин, 2009; Ильин и др., 2011).

В прибрежных водах ЗФИ и в водах пролива Шиллинга спектр алифатических углеводородов ограничен нормальными парафинами $C_{15}-C_{24}$. Доминируют алканы C_{18} (28 %) и C_{23} (19 %). Предположительно, наблюдаемый фон алифатических углеводородов вблизи побережья архипелага не связан с нефтяным загрязнением, а создается метаболитами организмов местной морской биоты, по-видимому, планктоном и макрофитами. Длинноцепочных соединений, характерных для наземных растительных остатков и берегового стока (Ильин, 1997, 2011; Ильин и др., 2004), в воде отмечено не было.

С удалением к югу от побережья архипелага, в проливе Макарова, общее содержание нормальных алканов снижается до 0.7 мкг/л. Но в отличие от прибрежных вод, в их спектре обнаруживаются в небольшом количестве короткоцепочные соединения $C_{10}-C_{15}$, характерные для углеводородов нефтяного происхождения (Биогеохимия ..., 1982). На этих же станциях было отмечено и повышение общего содержания нефтепродуктов. Но преобладают в спектре по массе все же парафины биогенного происхождения $C_{15}-C_{17}$ (43 %), источниками которых являются планктонные организмы (зоопланктон). Низкую величину отношения нечетных соединений к четным (0.8) на этом участке можно рассматривать как индикатор присутствия в среде техногенных нефтепродуктов.

Источниками нефтяных углеводородов и ПАУ, содержащихся в верхнем слое донных отложений, являются процессы сорбции и седиментации.

Слабое хозяйственное использование этого участка морской акватории и соответственно малая интенсивность поступления загрязнителей в осадок определяют низкий уровень концентрации нефтепродуктов в донных осадках района ЗФИ. Их содержание здесь на 1–2 порядка ниже, чем в южных районах (рис. 2). К примеру, в осадках центральных районов моря концентрация нефтепродуктов составляет примерно 0.14 мг/г сухого осадка, а в относительно незагрязненных участках побережья Кольского полуострова – до 1.8 мг/г, местами, в хозяйственно освоенных участках, – до 10 мг/г (Ильин и др., 2011).

Для оценки указанных величин в качестве ориентировочно допустимой концентрации общих нефтепродуктов в незагрязненных морских осадках можно принять норматив Норвежского агентства по контролю за загрязнениями (SFT) – 50 мг/г сух. осадка (Klassifisering ..., 1997).

Нефтяную составляющую в углеводородном составе подтверждает присутствие в донных отложениях смол и асфальтенов, хотя и в низких концентрациях (0.03–0.10 мг/кг сух. осадка).

Хотя смолы и асфальтены относят к неуглеводородным компонентам нефти (НУК), это все же загрязняющие вещества нефтяного происхождения, продукты видоизменения нефти в техногенезе и в природных процессах (Гурвич, Немировская, 2009).

Относительное повышение содержание НУК (до 0.06–0.1 мг/кг) отмечено в осадках западной части акватории – на склонах и в тальвеге желоба Франц-Виктория. Этому повышению, возможно, способствуют условия осадконакопления в желобе и система течений в проливе Шиллинга. Через пролив осуществляется выход баренцевоморских полярных вод в верхних слоях и адвекция вод атлантического происхождения в промежуточном слое. При этом и те, и другие воды могут содержать нефтепродукты. К тому же здесь может сказываться влияние угольсодержащих пород, подверженных абразии на суше и на морском дне, как это наблюдается на Шпицбергене (Савинов и др., 2003).

В составе парафинов легкокипящие, короткоцепочные алканы составляют более 50 % по массе. Однако значительна и доля биогенных составляющих. В отсутствие прямого нефтяного загрязнения следует предположить, что относительное “обилие” короткоцепочных парафинов формируется под влиянием инвазии летучих компонентов из осадочного чехла, а также вследствие аккумуляции стока терригенного материала.

Полиароматические углеводороды. Углеводороды ароматической структуры присутствуют в воде в очень малых количествах и существенно ниже, чем в центральных и южных районах моря, где их концентрация достигает 70 нг/л (рис. 3). Относительно повышенным содержанием ПАУ, нефтепродуктов и парафинов выделяется район желоба Франц-Виктория.

Композиционный состав ПАУ в воде очень беден, тем не менее существуют территориальные различия в их составе. В водах близ Шпицбергена высока доля петрогенных ПАУ – в частности, фенантрена, около 70 % и пирогенных ПАУ – пиренов, флуорантенов. В районе Новоземельской банки на фоне очень низкой концентрации ПАУ преобладают пирогенные компоненты и продукты морских диагенетических преобразований – пирен и перилен. В районе желоба Франц-Виктория ПАУ на 98 % представлены нафталинами, что характерно для нефтяного загрязнения. Очевидно, что фактором поступления нефтяных ПАУ может стать деятельность рыболовного флота в районе Шпицбергена и адвекция этих соединений с течениями из южных районов моря. Единичные канцерогенные соединения обнаруживаются в следовых количествах. Индекс общей токсичности растворенных ПАУ в регионе незначителен.

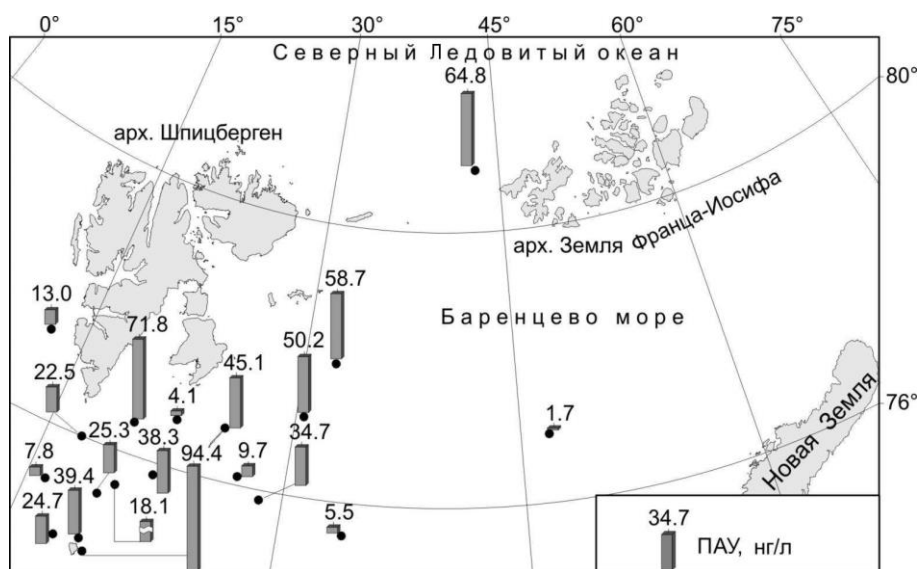


Рис. 3. Суммарное содержание полиароматических углеводородов в водной среде северной части Баренцева моря

Распределение ПАУ в осадках изучено более полно. Это дает возможность анализировать природу фона полиароматических углеводородов в удаленной высокоширотной зоне Баренцева моря. Относительно повышенные концентрации ПАУ сгруппированы в прибрежье Шпицбергена и вблизи его южной оконечности – 3000–7000 нг/г сух. осадка (рис. 4). По величине концентрации ПАУ осадки прибрежья Шпицбергена сходны с осадками района Штокмановской газоконденсатной структуры, что соответствует умеренному (300–2000 нг/г) и среднему уровням (2000–6000 нг/г) загрязнения. В открытых морских районах в пределах Шпицбергенско-Медвежинского участка шельфа концентрации ПАУ в осадках существенно выше, чем в центральных районах моря, и лишь с удалением к востоку содержание ПАУ значительно снижается до уровня, характерного для центральных частей Баренцева моря.

Анализ состава ПАУ показывает относительно высокое содержание фенантрена, нафталина и его метилированных гомологов. В пределах Шпицбергенско-Медвежинского участка шельфа, и особенно у побережья Шпицбергена, доля этих петрогенных углеводородов выше 70 %. Это отражает ведущую роль выветривания и абразии горных пород архипелага, содержащих уголь, воздушное распространение пылевого материала в формировании фона ПАУ в осадках.

Относительно высокая концентрация нафталина и метилнафталинов, наличие короткоцепочных алканов в осадках указывает на менее значимый источник загрязнения – инвазию ПАУ вместе с нефтяными углеводородами из осадочного чехла. Концентрация нафталинов, фенантрена и дибензтиофенов вокруг Шпицбергена в 20–30 раз превосходит их концентрацию в других частях моря (500–2000 нг/г сух. осадка; Савинов и др., 2003).



Рис. 4. Суммарное содержание полиароматических углеводородов в донных отложениях северной части Баренцева моря

В составе ПАУ высока доля соединений пиролизного происхождения – от 10 до 25 %. Концентрация пиролизных ПАУ указывает на значимое влияние эолового переноса антропогенных загрязнителей в формировании фона полиароматических углеводородов вокруг арх. Шпицберген. Повышенное соотношение флуорантена и пирена является следствием сжигания угля, используемого на Шпицбергене. Система ветров переносит дымовые выбросы далеко в море. Но уже в районе желоба Франц-Виктория это соотношение меняется в пользу других источников пирогенных ПАУ, связанных с глобальным воздушным и водным переносом и геохимическим перераспределением ПАУ в процессе переноса.

В районе Шпицбергена доля потенциально канцерогенных ПАУ (Σ КПАУ) варьирует около 1.5 % суммарного содержания ПАУ, при концентрации от 13 до 130 нг/г сух. осадка. В более южных и восточных районах их доля существенно возрастает вместе с обеднением композиционного состава ПАУ и снижением их общей концентрации (рис. 4). В осадках желоба Франц-Виктория концентрация канцерогенных компонентов ПАУ – бенз(а)пирена, бенз(а)антрацена, бенз(б)флуорантена, бенз(к)флуорантена и индено(1,2,3-сд)пирена (40–140 нг/г) – имеет тот же интервал величин, но их суммарная доля в общем составе ПАУ повышена в среднем до 22 %.

С высоким содержанием канцерогенов в донных отложениях связаны токсические свойства осадка для гидробионтов. Токсичность каждого канцерогенного компонента определяется относительно хорошо изученного бенз(а)пирена, выступающего в данном случае в качестве эквивалента токсичности (IARC ..., 1987). Суммарная эквивалентная токсичность смеси КПАУ (Total toxic benz(a)pyrene-equivalent, Σ ТЕQ) рассчитывается по формулам

$$\Sigma TEQ = \Sigma VAR_{eq} dose_i,$$

$$VAR_{eq} dose_i = TEF_i \cdot Dose_i,$$

где TEF_i – коэффициент токсической эквивалентности i -го соединения ПАУ по отношению к бенз(а)пирену; $Dose_i$ – его концентрация, нг/г сух. осадка; $VAR_{eq} dose_i$ – эквивалентная доза токсичности i -го соединения ПАУ.

Значения TEF , принятые для бенз(а)пирена, бенз(а)антрацена, бенз(б)флуорантена, бенз(к)флуорантена и индено(1,2,3-сд)пирена, равны 1.0, 0.1, 0.1, 0.01, 0.1, 1.0 соответственно (U.S. ..., 1993).

Расчет условного показателя токсичности показал, что, несмотря на высокую общую концентрацию ПАУ в осадках Медвежинско-Шпицбергенского района, их токсичность невысока – в среднем 19 нг/г сух. осадка, хотя местами она возрастает до 45. Это сопоставимо с токсичностью осадков малозагрязненных норвежских фьордов (Савинов и др., 2003). Токсичность осадков желоба Франц-Виктория при этом варьирует от 9 до 33 нг/г, а в центральных районах моря, где большая плотность судоходства и сильное влияние атлантических вод на состав ПАУ, токсичность осадков может быть заметно выше.

Стойкие хлорорганические соединения и фенолы. Несмотря на удаленность от промышленных и сельскохозяйственных центров, в водах северной периферии моря обнаруживаются метаболиты ядохимикатов ДДТ (0.7 нг/л), ГХЦГ (около 0.6 нг/л) и техногенного загрязнителя ПХБ (1.3 нг/л). Концентрация этих стойких хлорорганических соединений (ХОС) ниже допустимых рыбохозяйственных пределов. Предельно допустимая концентрация хлорорганических загрязнителей для вод рыбохозяйственных водоемов составляет 10 нг/л (Перечень ..., 1999). В формировании фонового загрязнения пестицидами принимают участие как трансокеанические течения, так и атмосферный перенос. Разделить степень влияния этих источников при незначительном количестве наблюдений сложно. Но очевидно, что с теплыми течениями в этот морской регион поступают трансформированные препараты, обогащенные устойчивыми метаболитами ДДЕ, α -ГХЦГ, а с атмосферными выпадениями – менее измененные смеси сельскохозяйственных и промышленных пестицидов.

В частности, в водах пролива Шиллинга наблюдали следы поступления хлорорганических поллютантов, уже долго циркулирующих в среде. Концентрация метаболитов ДДТ была очень низкой – 0.7 нг/л, а в композиционном составе обнаружены лишь метаболиты p,p' -ДДЕ и p,p'' -ДДТ. Препарат гексахлорциклогексана представлен лишь метаболитом α -ГХЦГ в очень низкой концентрации.

В центральной же части моря, в районе возвышенности Персея и Новоземельской банки, наблюдали следы малотрансформированных препаратов, свойственных воздушным выпадениям. В воде Новоземельской банки и возвышенности Персея, куда подходят атлантические воды ветвей Новоземельского и Нордкапского теплых течений, отмечаются на порядок более высокие концентрации ДДТ – 3.3–7 нг/л и ГХЦГ – 0.6–7 нг/л (рис. 5). В период проведения экспедиционных работ в районе Новоземель-

ской банки (НИС “Михаил Сомов”, 2001 г.) было отмечено обогащение спектра соединений ДДТ метаболитами о,p'-ДДД, p,p'-ДДД и о,p"-ДДТ, а также весьма распространенного, но неустойчивого изомера γ-ГХЦГ, в дополнение к вышеуказанным соединениям. В районе возвышенности Персея композиционный состав гексахлорциклогексана был дополнен легко трансформируемым β-изомером в количестве 50 % от общего содержания ГХЦГ. Фрагментарность распределения концентраций и неравномерность композиционного состава пестицидов подчеркивает связь уровня антропогенной загрязненности высокоширотных районов моря с особенностями трансграничного переноса загрязнителей атлантическими течениями и атмосферными потоками.

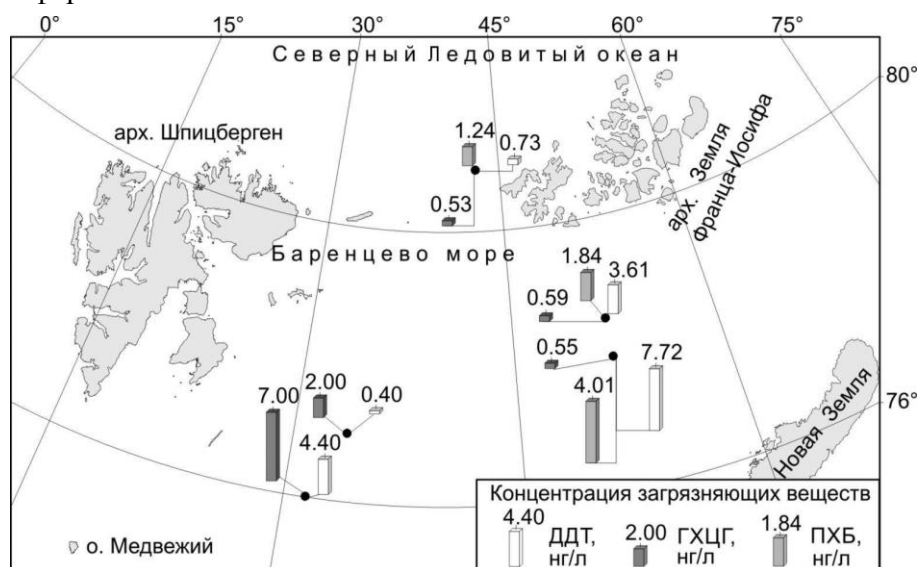


Рис. 5. Накопление стойких хлорорганических соединений в воде северной части Баренцева моря

Это подтверждается наблюдениями, сделанными при анализе снежного покрова ледовых полей в некоторых точках моря. На поверхности ледового покрова накапливаются выпадающие из атмосферы в течение зимы загрязнители, поступающие с атмосферными потоками. В районе Новоземельской банки снежный надледный покров аккумулирует в течение зимы соединений ПХБ 1.8–4 нг/л, а ДДТ – 3.6–7.7 нг/л. В проливах между островами ЗФИ в снежном покрове обнаружено 1.2 нг/л ДДТ.

Аналогичные закономерности свойственны и распределению полихлорбифенилов (ПХБ) в водной среде (рис. 5). Общая концентрация ПХБ и количество конгинеров возрастают с усилением влияния атлантических вод у южной окраины района (Новоземельская банка).

Композиционный состав ПХБ в проливе Шиллинга представлен ПХБ-28, ПХБ-52, ПХБ-101, ПХБ-118, ПХБ-138 и ПХБ-153. Высокомолекулярные соединения не обнаруживаются. В области Новоземельской банки состав конгинеров расширен: с низкомолекулярными прослеживаются более тяжелый, высокомолекулярный ПХБ-180.

Доля диоксинподобного соединения ПХБ-118 во всем районе сохраняется квазипостоянной, составляющей примерно 14 % от общей концентрации ПХБ.

Наличие в осадках хлорорганических пестицидов и ПХБ лишь подчеркивает значение глобального воздушного и водного переноса загрязнителей в высокоширотные области моря (рис. 6). В Баренцевом море хорошо выражен широтный градиент концентраций ХОС. Но если в среде южной периферии района легко определяется влияние воздушного переноса, то в районе желоба Франц-Виктория возможно влияние водного переноса с адвекцией атлантических вод из Арктического бассейна.

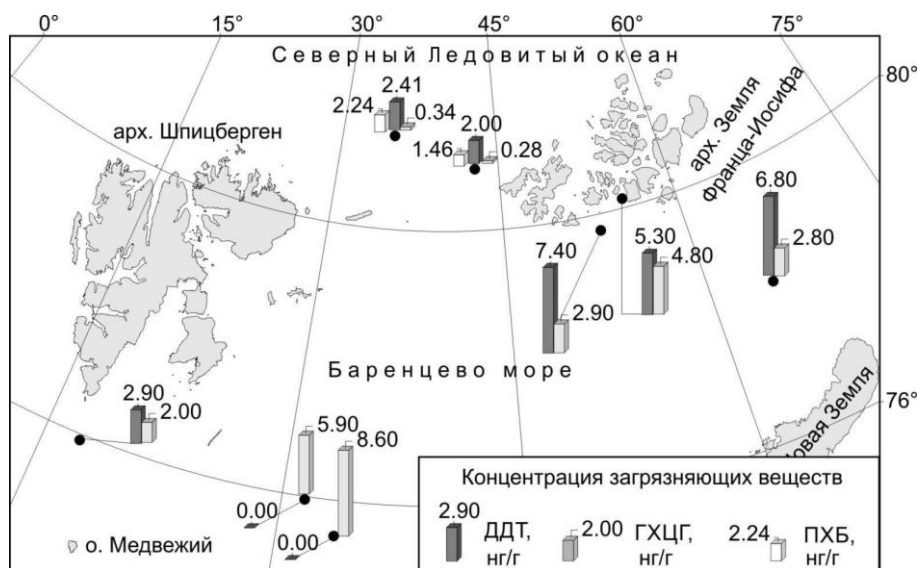


Рис. 6. Накопление стойких хлорорганических соединений в донном осадке высокоширотной зоны Баренцева моря

На этом участке концентрация пестицидов ДДТ и ГХЦГ в осадке относительно равномерная и низкая, а соотношение ДДТ:ГХЦГ в среднем сохраняется как 10:1. Для других участков, включая южную оконечность Шпицбергена, прибрежную зону ЗФИ, желоб Персея, Новоземельскую банку, свойственны иные соотношения хлорорганических пестицидов, что отражает пространственную изменчивость влияния океанографических факторов перераспределения поллютантов в морской среде.

Например, в илисто-песчаных осадках желоба Франц-Виктория ДДТ представлен всеми метаболитами – о,р'-ДДЕ, р,р'-ДДЕ, о,р'-ДДД, р,р''-ДДД, о,р''-ДДТ, р,р''-ДДТ. Массовое преимущество имеют р,р'-ДДЕ и р,р''-ДДД.

В осадках межостровных желобов ЗФИ и Новоземельской банки распространены лишь метаболиты р,р'-ДДЕ, р,р''-ДДД и р,р''-ДДТ, а 75 % суммарного содержания препарата составляет р,р''-ДДТ.

У южной оконечности Шпицбергена в композиционном составе были обнаружены лишь р,р'-ДДЕ и р,р''-ДДТ с относительной массовой долей р,р'-ДДЕ 90 %.

Качественный и количественный состав ГХЦГ также различен на участках высокоширотной зоны. На участке минимальных концентраций (желоб Франц-Виктория) в равной пропорции представлены изомеры α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ. В осадках близ ЗФИ и в проливе Макарова представлены α -, β - и γ -ГХЦГ, однако α - и β -изомеры составляют по массовой доле более 75 % в равных пропорциях. В осадках желоба Персея отмечена повышенная концентрация изомеров, но существенно преобладает по массе β -ГХЦГ. У южной оконечности Шпицбергена фон ГХЦГ на 95 % определяется изомером α -ГХЦГ.

В осадках желоба Франц-Виктория концентрация ПХБ низкая (1.5–2.2 нг/г сух. осадка), а композиционный состав ограничен, как и в водной среде. Преобладают конгинеры № 138 и № 153 (примерно 40 % от суммарного содержания)

В илистых осадках межостровных желобов ЗФИ и Франц-Виктория кроме хлорорганических соединений обнаруживаются фенолы в низкой концентрации – от 0.15 до 0.35 мкг/г сух. осадка. Эта концентрация в несколько раз ниже, чем в осадках прибрежной зоны Мурмана, и обусловлена, по-видимому, естественными процессами диагенеза органического вещества в осадке.

Таким образом, высокоширотная зона Баренцева моря, удаленная от районов хозяйственного развития, также подвержена влиянию антропогенного загрязнения поллютантами глобального распространения – пестицидами, пиро- и канцерогенными ПАУ, полихлорбифенилами, нефтепродуктами.

В целом уровень концентрации антропогенных загрязнителей в водной среде и в донных осадках ниже, чем в центральной, западной и южной частях моря. Основным фактором распространения поллютантов является глобальный воздушный и водный перенос.

Значимым источником загрязнения полиароматическими соединениями является арх. Шпицберген. Абразия слагающих его углесодержащих горных пород и, отчасти, антропогенная деятельность на архипелаге определяют высокую концентрацию ПАУ в морских осадках в районе архипелага и на прилегающей акватории.

Характерной особенностью для района является инфильтрация флюидов нефтяных ПАУ и алканов.

В соответствии с невысоким содержанием канцерогенных полиароматических соединений в донном осадке, уровень их токсичности в высокоширотной зоне Баренцева моря оценивается как низкий.

Л и т е р а т у р а

Биогеохимия органического вещества арктических морей / Е.А. Романкевич, А.И. Данюшевская, А.Н. Беляева, В.П. Русанов. М.: Наука, 1982. 240 с.

Гурвич Л.М., Немировская И.А. Роль неуглеводородных компонентов нефти в загрязнении гидросферы // *Океанология*. 2009. Т. 49, № 4. С. 516–522.

Ильин Г.В. Распространение нефтяных углеводородов в экосистемах Баренцева моря: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Апатиты, 1997. 23 с.

Ильин Г.В. Поступление микроэлементов в Баренцево море и их накопление в компонентах морской экосистемы // Биотестирование и прогноз изменчивости водных экосистем при антропогенном загрязнении. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2003. С. 399–427.

Ильин Г.В. Распространение загрязняющих веществ в шельфовых морях российской Арктики // Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. М.: ГЕОС, 2009. Вып. 1. С. 124–163.

Ильин Г.В. Накопление и распространение нефтяных углеводородов и ПАУ в Азовском море // Вестн. Южного научного центра РАН. 2011. Т. 7, № 2. С. 49–53.

Ильин Г.В., Громов М.С. Загрязнение аэрозолей в приземном слое атмосферы Баренцево-Карского морского региона // Глобальные климатические изменения и их влияние на экосистемы арктических и субарктических регионов: Тез. докл. Междунар. науч. конф. (г. Мурманск, 9–11 ноября 2011 г.). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2011. С. 80–82.

Ильин Г.В., Матишов Д.Г., Касаткина Н.Е. Химическое загрязнение и накопление радионуклидов в элементах экосистемы Баренцева и Белого морей // Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2004. С. 436–459.

Ильин Г.В., Матишов Д.Г., Касаткина Н.Е. Формирование антропогенного загрязнения и экосистемное здоровье морей российской Арктики // Комплексные исследования больших морских экосистем России. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2011. С. 277–325.

Никифоров Е.Г., Шнайхер А.О. Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана. Л.: Гидрометеиздат 1980. 259 с.

Об особо охраняемых природных территориях: Федеральный закон РФ от 14.03.1995 г. № 33-ФЗ (с изм. на 27 дек. 2009 г.). 2009. URL: <http://docs.kodeks.ru/document/>

Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: Изд-во ВНИРО, 1999. 304 с.

Результаты измерений тяжелых металлов в атмосферных аэрозолях в открытых районах арктических морей в 2009–2010 гг. / Н.И. Голубева, Л.В. Бурцева, Г.Г. Матишов, Г.В. Ильин // Докл. РАН. 2013. Т. 453, № 1. С. 72–75.

Савинов В.М., Дале С., Олссон К. Полициклические ароматические углеводороды в донных отложениях прибрежных районов Шпицбергена: уровни, композиционный состав, источники загрязнения // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2003. Вып. 3. С. 178–192.

Тишков А.Г. Биосферные функции природных экосистем России. М.: Наука, 2005. 309 с.

Учет вековой динамики климата Баренцева моря при планировании морской деятельности / Г.Г. Матишов, С.Л. Дженюк, В.В. Денисов и др. // Тр. КНЦ РАН. 2013. № 1(14). С. 56–71.

Химические процессы в экосистемах северных морей (гидрохимия, геохимия, нефтяное загрязнение / Отв. ред. И.А. Шпарковский. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. 404 с.

Ecosystem – based management for the oceans / K. McLeod, H. Leslie (Eds.). Washington, DC, USA: Island Press, 2009. 368 p.

IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Suppl. 7. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 1987. 440 p. (Overall evaluation of carcinogenicity: an updating of IARC monographs. V. 1–42)

Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning / J. Molvaer, J. Knutsen, J. Magnusson et al. // SFT. Veiledning. 1997. V. 97, № 3. 36 p. (in Norwegian).

On the Intermediate depth waters of the Arctic Ocean / B. Rudels, E.P. Jones, L.G. Anderson, G. Kattner // *The Polar Oceans and their role in shaping the global environment*. Washington, DC, USA: Am. Geophys. Union, 1994. P. 33–46 (Geophysical Monograph 85).

U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). Provisional guidance for quantitative risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons. EPA/600/R/089 / Office of Research and Development. Washington, DC, 1993.

УДК 551.4 (268.45 + 470.118):504.054 + 546.027

И.С. Усягина, Н.Е. Касаткина, Г.В. Ильин

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Мурманск, Россия

ТЕХНОГЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В МОРСКОЙ СРЕДЕ И ЭЛЕМЕНТАХ НАЗЕМНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА

Аннотация

Исследована многолетняя динамика состояния радиэкологического фона морской и наземной экосистем Земли Франца-Иосифа. Приведены данные об активности техногенных радионуклидов в компонентах среды окружающей акватории, в растительности и почвогрунтах архипелага. Даны сравнительные оценки радионуклидного фона в районе Земли Франца-Иосифа и других географических районах моря. Показаны основные факторы, формирующие региональный радиэкологический фон. Приведены данные о современной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в морской среде и наземной экосистеме архипелага. Характерные для района в настоящее время низкие концентрации техногенных изотопов практически не отличаются от среднего уровня для всего бассейна Баренцева моря.

I. S. Usiagina, N.E. Kasatkina, G.V. Ilyin

Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Murmansk, Russia

ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN THE MARINE ENVIRONMENT AND ELEMENTS OF TERRESTRIAL ECOSYSTEM OF THE FRANZ-JOSEF LAND ARCHIPELAGO

Abstract

The Article analyzes the long-term dynamics of the radioecological status of marine and terrestrial ecosystems of Franz-Josef Land. It adduces data on the activity of artificial radionuclides in components of the marine environment, vegetation, rocks and soils of the archipelago. It also presents comparative assessments of background radionuclide levels in the Franz-Josef Land region and other geographical areas of the Barents Sea. It then depicts major factors forming regional background radionuclide levels. Adduced are also data on current activity of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the marine environment and terrestrial ecosystem of the archipelago. The article ends with a conclusion that low levels of artificial radionuclides are well correlate with the average levels for the whole basin of the Barents Sea.

Введение. Баренцево море оказалось одним из морских регионов непосредственного воздействия ядерных технологий во второй половине XX века и остается таковым до настоящего времени. Испытания ядерного оружия, захоронения радиоактивных отходов российским атомным фло-