

УДК 574.52.044

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОЛИХЛОРБИФЕНИЛ-ТРАНСФОРМИРУЮЩИХ И ПОЛИХЛОРБИФЕНИЛ-ТОЛЕРАНТНЫХ БАКТЕРИЙ В МОРЯХ УМЕРЕННЫХ И ПОЛЯРНЫХ ШИРОТ С РАЗЛИЧНЫМИ УРОВНЯМИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫМИ БИФЕНИЛАМИ

И.В. Мошарова, В.В. Ильинский, С.А. Мошаров, А.И. Азовский

(кафедра гидробиологии; e-mail: ivtpost@mail.ru)

Установлено присутствие ПХБ-трансформирующих и ПХБ-толерантных бактерий в Балтийском, Беринговом и Чукотском морях. Обнаружено, что наибольшего развития (в среднем до несколько тысяч клеток в 1 мл) бактерии этих физиологических групп достигают в хронически загрязненной ПХБ морской экосистеме — Балтийском море. Установлено, что численность ПХБ-трансформирующих и ПХБ-толерантных бактерий зависит здесь главным образом от концентраций ПХБ во взвеси. Эта зависимость проявляется на фоне статистически значимого влияния других абиотических факторов среды — температуры и солености воды, содержания в ней различных форм фосфора и азота.

Ключевые слова: *ПХБ-трансформирующие морские бактерии, ПХБ-толерантные морские бактерии.*

Загрязнение хлорированными углеводородами стоит на втором месте после нефтяного загрязнения по степени опасности для морских экосистем [1]. Полихлорированные бифенилы (ПХБ) относятся к ксенобиотикам, т.е. веществам, чужеродным для окружающей среды, и входят в “грязную дюжину” по классификации UNEP [2]. Эти вещества слабо подвержены абиотическому разложению, а основным процессом их преобразования в окружающей среде является микробная трансформация, во многих случаях ведущая лишь к неполному окислению и частичному изменению структуры молекул ПХБ [3]. Возможность развития при загрязнении ПХБ среды своего обитания получают гетеротрофные микроорганизмы двух групп: это бактерии, обладающие способностью к трансформации ПХБ (ПХБ-трансформирующие бактерии, или сокращенно ПХБ-ТРБ), и бактерии, не способные к трансформации ПХБ, но устойчивые к их присутствию (ПХБ-толерантные бактерии, или сокращенно ПХБ-ТОБ).

Изучение морских ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ началось сравнительно недавно [4, 5], а информация о влиянии факторов окружающей среды на численность бактерий этих групп в морских экосистемах практически полностью отсутствует.

Основные цели нашей работы заключались в изучении особенностей количественного распределения ПХБ-ТРБ, а также ПХБ-ТОБ и сапротрофных бактерий (СБ) в загрязненных, слабозагрязненных и незагрязненных ПХБ морях умеренных, субарктических и арктических широт, а также в оценке влияния на численность бактерий этих групп гидролого-гидрохимических факторов морской среды.

Материалы и методы

Материалом для настоящей работы послужили данные комплексных экологических экспедиций, полученные в 2001—2004 гг. в Балтийском и Чукотском морях, а также в Анадырском заливе Берингова моря.

Для отбора проб воды из поверхностного (0,5 м) и придонного горизонтов, а также из слоя термоклина применяли простерилизованные спиртом пластиковые батометры Нискина. Для получения профилей температуры и солености на каждой станции использовали СТД-зонды (“Sea Bird”, США).

Учет численности бактерий разных физиологических групп проводили методом предельных разведений на жидких питательных средах. Для учета численности ПХБ-ТРБ бактерий применяли среду ММС [6; 7] следующего состава (г): NaCl — 5,0; MgSO₄ × 7H₂O — 1,0; KCl — 0,7; K₂HPO₄ — 2,0; Na₂HPO₄ — 3,0; NH₄NO₃ — 1,0; вода дистиллированная — 1,0 л. В качестве единственного источника углерода и энергии в каждую пробирку после посева вносили 1—2 капли маточного раствора, содержащего ПХБ (Хлофен А-60). Для получения маточного раствора ПХБ навеску в 1 мг субстрата растворяли в 1 мл ацетона, раствор вносили в 100 мл стерильной среды ММС. Стерилизовали маточный раствор методом тинадализации, т.е. дробным кипячением. Для определения численности ПХБ-ТОБ в пробирки со средой ММС наряду с ПХБ вносили 1—2 капли стерильно-го 10%-го раствора глюкозы [8]. Для учета численности сапротрофных бактерий применяли разбавленный стерильный рыбный бульон, приготовленный на морской воде из места взятия пробы [8].

Для определения концентрации ПХБ, аккумулированного во взвешенном веществе (взвешенное ПХБ), пробы морской воды фильтровали через предварительно взвешенные мембранные фильтры “Дубна” (диаметр пор 0,45 мкм). После высушивания фильтров со взвесью их снова взвешивали и по разнице весов и объему профильтрованной воды определяли концентрацию взвешенного вещества. При последующем анализе фильтров со взвесью методом высокоэффективной газожидкостной хроматографии (ВЭЖХ) определяли содержание ПХБ во взвешенном веществе, а с учетом объема профильтрованной воды рассчитывали концентрацию взвешенного ПХБ в воде.

Для оценки совместного влияния на микробиологические параметры одновременно нескольких абиотических факторов был применен метод множественной пошаговой линейной регрессии. Для сокращения числа взаимодействующих факторов был использо-

ван метод главных компонент. Все приводимые в работе коэффициенты корреляции значимы на уровне $p \leq 0,01$. Статистические анализы проводили на персональном компьютере с использованием пакетов программ Statistica 6.0 и Excel 2002.

Результаты и обсуждение

Микробиологическая ситуация в открытой части Балтийского моря осенью 2001 г.

С 1966 г. ПХБ стабильно обнаруживаются во всех компонентах морской экосистемы Балтики [9]. Несмотря на то что после запрещения в 1977 г. сброса ПХБ в морскую среду наблюдается снижение концентрации этих соединений в поверхностном слое воды Балтийского моря (с 4,8–6,1 до 0,05–2,5 нг/л), ПХБ продолжают оставаться в нем довольно распространенными загрязняющими веществами [10].

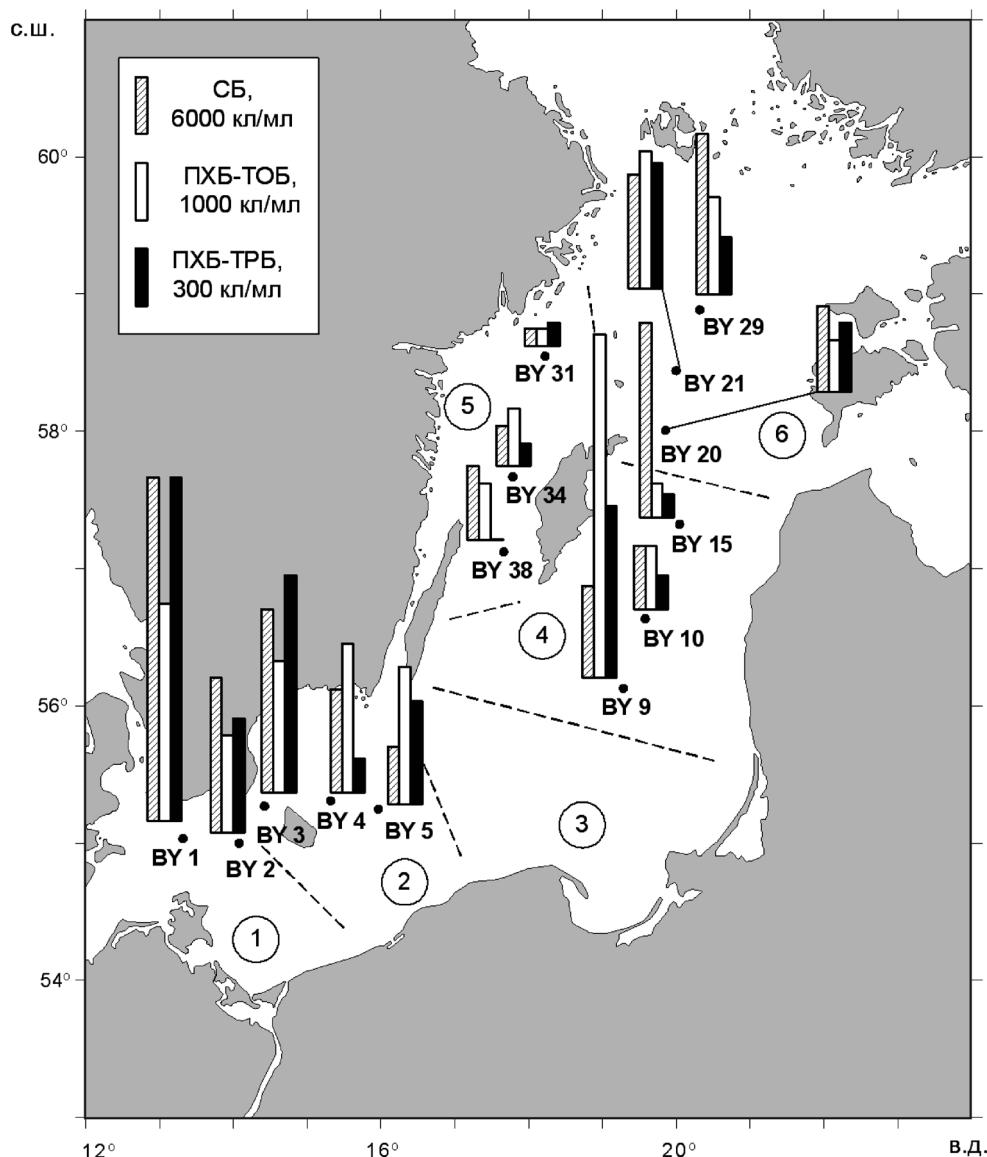


Рис. 1. Распространение сапротрофных, полихлорбифенил-толерантных и полихлорбифенил-трансформирующих бактерий в открытой части Балтийского моря летом 2001 г. Районы моря: 1 — Арконская впадина; 2 — акватория о. Борнхольм; 3 — юго-восточный район моря; 4 — Восточный Готланд; 5 — Западный Готланд

По данным экспедиции, проведенной осенью 2001 г., установлено, что в открытой части Балтийского моря широко распространены гетеротрофные бактерии всех трех исследованных нами групп: ПХБ-ТРБ, ПХБ-ТОБ и СБ (рис. 1).

Средняя численность ПХБ-ТРБ для открытой части Балтийского моря составила 0,59 тыс. кл/мл при варьировании от < 10 кл/мл (на ряде станций) до 7,5 тыс. кл/мл (на станции ВY-1 в Арконском бассейне моря). Численность ПХБ-ТОБ в этой же части Балтики варьировала от < 10 кл/мл до 25 тыс. кл/мл (при средней величине 2,36 тыс. кл/мл). Максимальная численность бактерий этой группы, так же как и наибольшее обилие ПХБ-ТРБ, имеет место в акватории Арконской впадины (средняя для этого района численность ПХБ-ТОБ составила 2,80 тыс. кл/мл) (рис. 1).

Численность СБ варьировала от менее 10 кл/мл до 250 тыс. кл/мл (в среднем — 13,2 тыс. кл/мл). Максимальное обилие бактерий этой группы было выявлено также в районе Арконского бассейна (рис. 1).

Наибольшие величины численности бактерий всех трех физиологических групп (ПХБ-ТРБ, ПХБ-ТОБ и СБ) были установлены для поверхностного (0,5 м) слоя водной толщи (в среднем для разреза 1,57; 4,9 и 29,39 тыс. кл/мл соответственно), наименьшие — для слоя термоклина (в среднем 0,5; 2,04 и 9,4 тыс. кл/мл соответственно). В придонном слое водной толщи численность бактерий всех трех исследованных групп вновь возрастила (в среднем 0,63; 3,49 и 19,8 тыс. кл/мл соответственно).

С помощью парного корреляционного анализа для этого горизонта нами были выявлены тесные прямые корреляционные связи между количествами ПХБ-ТРБ и СБ ($R = 0,72$), ПХБ-ТОБ и СБ ($R = 0,69$), а также ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ ($R = 0,76$). Обнаруженные корреляционные связи между численностью бактерий этих двух групп и СБ позволяют предположить, что ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ являются частью сапротрофного бактериоценоза. Максимальные величины численности ПХБ-ТРБ, так же как ПХБ-ТОБ и СБ, обнаружены в районе Арконской впадины на фоне более высоких значений температуры воды, содержания ПХБ во взвешенном веществе (ВВ) и взвешенных ПХБ в воде, а также минимальных значений солености и концентраций валового и минерального фосфора. Массовое развитие этих групп микроорганизмов в составе гетеротрофного бактериоценоза Арконской впадины может быть следствием реакции экосистемы данного района моря на его хроническое загрязнение ПХБ. Наиболее низкие величины средних значений численности ПХБ-ТРБ, ПХБ-ТОБ и СБ обнаружены в районе Западного Готланда — они имели место на фоне низкого содержания ПХБ во взвешенном веществе (ВВ) и взвешенных ПХБ в воде (рис. 1).

При анализе парных связей между микробиологическими и абиотическими параметрами наиболее тесные связи численности ПХБ-ТРБ выявлены с концентрациями ПХБ в ВВ ($R = 0,81$) и с количеством взвешенных ПХБ в воде ($R = 0,57$), а также

с концентрациями общего и минерального фосфора ($R = 0,62$ и $R = 0,63$ соответственно).

Для того чтобы количественно оценить эти многочисленные связи, а значит, и степень воздействия различных абиотических факторов на микробиологические параметры, использовали множественный регрессионный анализ. Расчеты проводили для всех трех обследованных горизонтов водной толщи: поверхностного горизонта (0,5 м); слоя термоклина и придонного горизонта. Всего регрессионному анализу было подвергнуто 11 абиотических факторов: содержание ВВ в воде (мг/л); концентрация ПХБ в ВВ (нг/мг); содержание взвешенных ПХБ в воде (взв. ПХБ, нг/л); температура воды (t , °C); соленость (%); насыщенность воды кислородом (O_2 , %); концентрации фосфора минерального (PO_4^{3-} , мкг-ат./л); фосфора органического (мкг-ат. Р/л); фосфора валового (мкг-ат. Р/л); нитритов (NO_2^- , мкг/л); аммония (NH_4^+ , мг/л).

В результате анализа было установлено, что численность ПХБ-ТРБ в поверхностном и придонном слоях водной толщи, а также в слое термоклина в Балтийском море в осенний период 2001 г. была достоверно связана с количеством ВВ, концентрациями ПХБ в ВВ и количеством взвешенных ПХБ в воде.

На численность ПХБ-ТРБ в поверхностном слое водной толщи также оказывало влияние содержание общего фосфора в морской воде, причем данный эффект зависел от сочетания таких факторов, как соленость и температура ($R^2 = 0,7$):

$$Y = 1,57 + 1,31PCA3 + 0,8PCA4 \times (1 + 0,9PCA2), \quad (1)$$

где PCA2 — соленость и температура; PCA3 — содержание ВВ в воде, концентрации ПХБ в ВВ и содержание взвешенных ПХБ в воде; PCA4 — минеральный и общий фосфор.

Численность ПХБ-ТРБ в придонном слое воды была значимо связана с концентрациями ПХБ в ВВ и содержанием взвешенных ПХБ в воде (PCA5), а также с соленостью и температурой ($R^2 = 0,8$):

$$Y = 0,6 + 0,7PCA5 + 0,4PCA2. \quad (2)$$

Микробиологическая ситуация в открытой части Балтийского моря летом 2004 г.

Повторные микробиологические исследования открытой части Балтики были проведены летом 2004 г., в состав наблюдений входило определение численности бактерий двух групп — ПХБ-ТРБ и СБ. Последняя группа бактерий доминировала на всех станциях. Ее численность варьировала от 0,25 до 600 тыс. кл/мл и в среднем составила 39,01 тыс. кл/мл. Осенью 2001 г. численность СБ была значительно почти в 3 раза ниже и составляла в среднем 13,2 тыс. кл/мл. Летом 2004 г. максимального количественного развития СБ достигали в районах Юго-Восточной Балтики и Восточного Готланда, тогда как осенью 2001 г. максимальная численность СБ наблюдалась в акваториях Восточ-

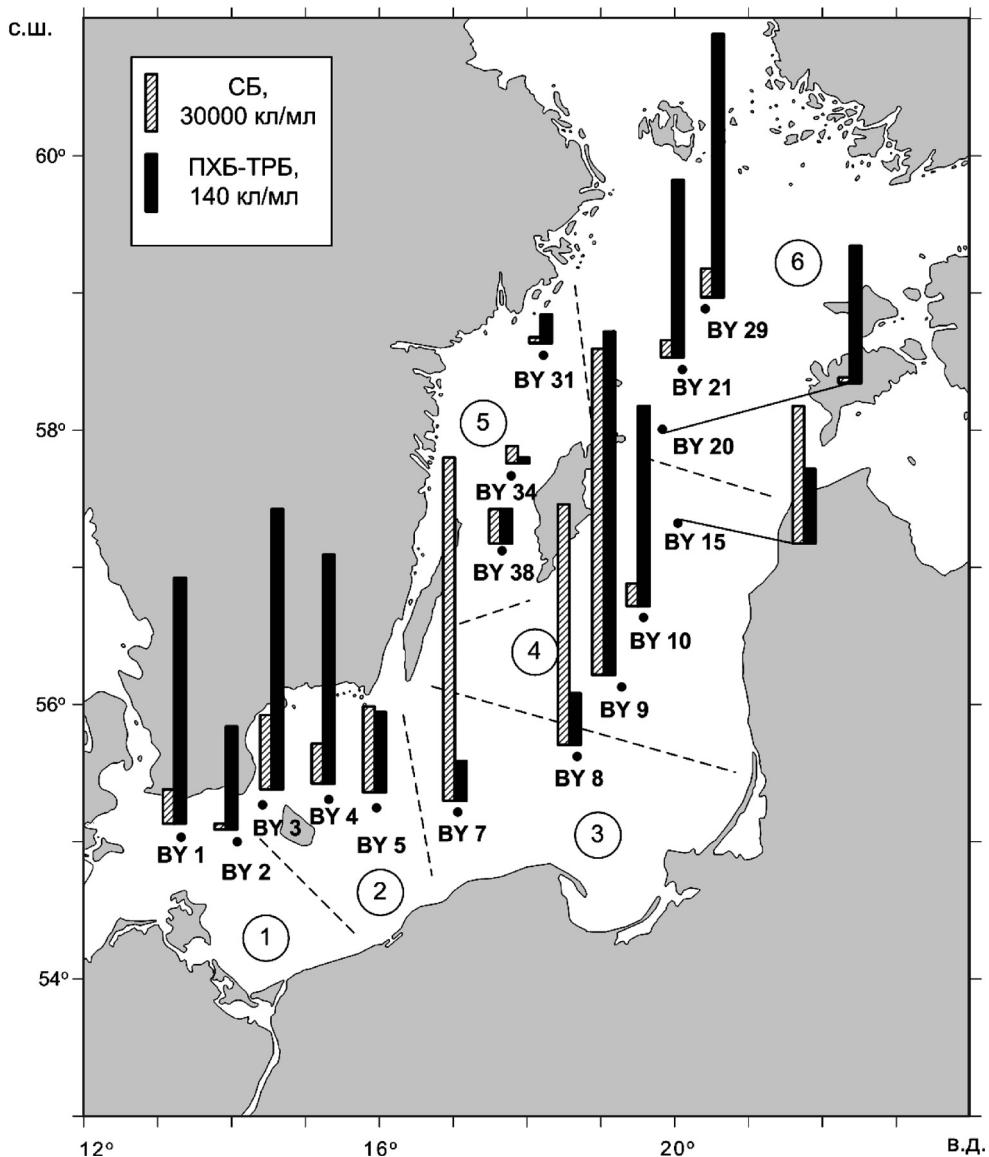


Рис. 2. Распространение сапротрофных, полихлорбифенил-толерантных и полихлорбифенил-трансформирующих бактерий в открытой части Балтийского моря осенью 2004 г.

ного Готланда и Арконской впадины. При распределении по горизонтам водной толщи наиболее высокое среднее значение численности СБ было обнаружено для придонного горизонта — 113,4 тыс. кл/мл при варыировании от 2,5 до 600 тыс. кл/мл, в то время как в 2001 г. максимальные значения численности СБ были характерны для поверхностного горизонта (0,5 м). В поверхностном и в слое термоклина численность СБ оказалась примерно одинаковой и в среднем составила 26,6 и 26,3 тыс. кл/мл соответственно.

Наиболее высокое для всех трех обследованных горизонтов среднее значение численности ПХБ-ТРБ в этот период, в отличие от осени 2001 г., было обнаружено в придонном слое водной толщи. Оно составило 1,1 тыс. кл/мл, при этом численность ПХБ-ТРБ варьировала от < 10 кл/мл до 2,5 тыс. кл/мл. Самое низкое среднее значение численности ПХБ-ТРБ летом 2004 было обнаружено в поверхностном слое воды (0,5 м) — 0,09 тыс. кл/мл, при этом диапазон

колебаний количеств ПХБ-ТРБ в этом слое составил от < 10 кл/мл до 0,25 тыс. кл/мл.

Пространственное распределение ПХБ-ТРБ по районам Балтийского моря летом 2004 г., так же как и осенью 2001 г., было неравномерным (рис. 2). Наибольшие количества бактерий этой группы были обнаружены в Восточном Готланде, их средняя величина для данного района составила 0,51 тыс. кл/мл. Высокая величина этого показателя была отмечена также для района о. Борнхольм — 0,48 тыс. кл/мл. Самая низкая величина среднего значения численности ПХБ-ТРБ обнаружена для района Западного Готланда — 0,06 тыс. кл/мл (рис. 2). В 2001 г. максимальная численность ПХБ-ТРБ была обнаружена в районе Арконской впадины, а наиболее низкие значения этого параметра — также в районе Западного Готланда. Таким образом, как горизонтальное, так и вертикальное распределение ПХБ-ТРБ в 2004 г. отличалось от распределения этих бактерий в 2001 г.

В 2004 г. вновь были обнаружены значимые парные корреляционные связи между численностями ПХБ-ТРБ и СБ в слое термоклина ($R = 0,59$), а также между ПХБ-ТРБ и СБ и гидролого-гидрохимическими параметрами. Так же как и осенью 2001 г., летом 2004 г. численность ПХБ-ТРБ в поверхностном слое водной толщи (0,5 м) достоверно зависела от концентраций ПХБ в ВВ ($R = 0,79$), а также от концентраций минерального ($R = 0,53$) и валового фосфора ($R = 0,55$). Кроме того, летом 2004 г. была также обнаружена связь численности ПХБ-ТРБ с концентрациями нитритов ($R = 0,69$) и аммонийного азота ($R = 0,75$). В то же время достоверных связей численности ПХБ-ТРБ с температурой воды и соленостью в 2004 г., в отличие от 2001 г., не было установлено. Оценка совместного влияния абиотических факторов на численность ПХБ-ТРБ, ПХБ-ТОБ и СБ методом множественной пошаговой линейной регрессии показала, что летом 2004 г., так же как и осенью 2001 г., численность ПХБ-ТРБ в поверхностном слое (0,5 м) Балтийского моря в первую очередь достоверно зависела от концентраций ПХБ в ВВ. Эта зависимость проявлялась на фоне совместного влияния концентраций в воде общего фосфора и аммонийного азота ($R^2 = 0,8$):

$$Y = 0,09 + 0,05(1,6PCA5 + PCA1), \quad (3)$$

где PCA1 — фосфор валовой; фосфор минеральный и аммонийный азот; PCA5 — концентрация ПХБ в ВВ.

Таким образом, на станциях с высокой численностью ПХБ-ТРБ отмечались и более высокие концентрации ПХБ в ВВ по сравнению с остальными станциями. Для них также были характерны повышенные концентрации общего фосфора и аммонийного азота.

На основании полученных нами уравнений регрессии можно утверждать, что на численность ПХБ-ТРБ в водах Балтики в летне-осенний сезоны оказывают значимое влияние не только концентрации ПХБ в воде и содержание ПХБ в ВВ, но и другие гидролого-гидрохимические факторы (в частности — концентрации валового и минерального фосфора, нитритного и аммонийного азота, температура, соленость воды), на фоне которых и проявляется действие ПХБ.

Микробиологическая ситуация в Анадырском заливе Берингова моря

К слабозагрязненным морским экосистемам, согласно имеющимся в литературе данным, относится Анадырский залив Берингова моря [1, 11]. Нами установлено, что в Анадырском заливе Берингова моря также широко распространены ПХБ-ТРБ, ПХБ-ТОБ

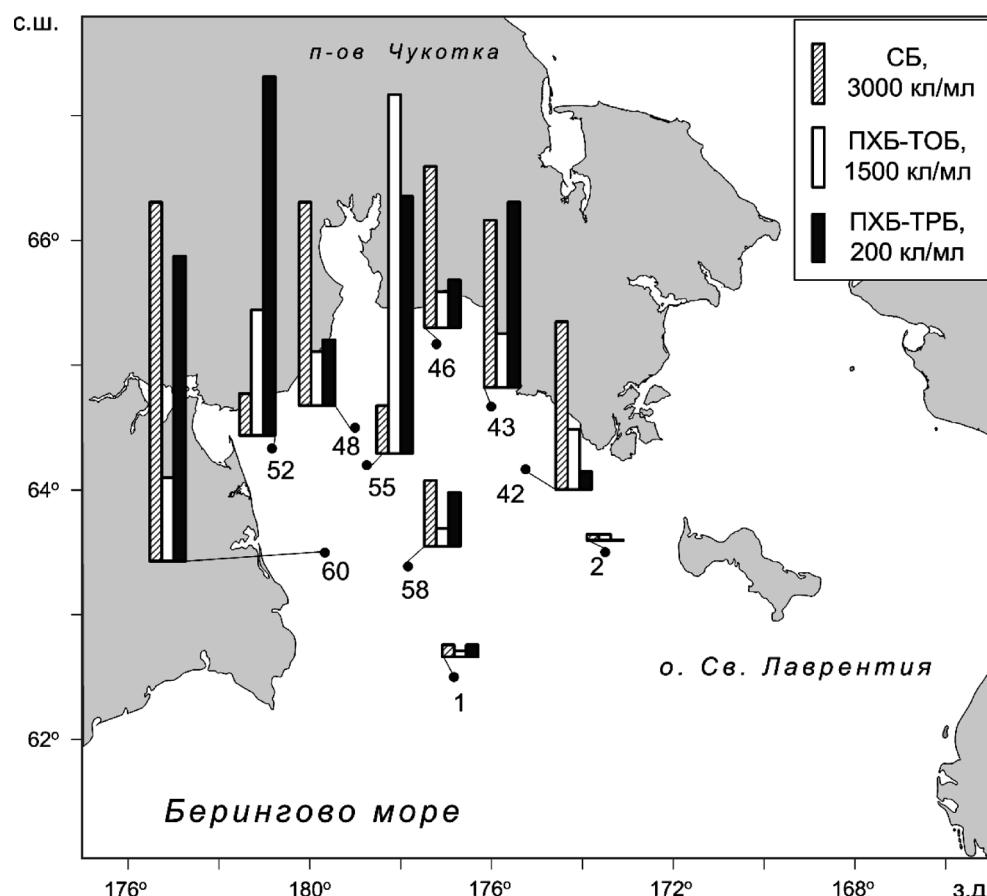


Рис. 3. Распространение сапротрофных, полихлорбифенил-толерантных и полихлорбифенил-трансформирующих бактерий в Анадырском заливе Берингова моря

и СБ (рис. 3). Средняя численность ПХБ-ТРБ для залива составила 0,54 тыс. кл/мл при диапазоне колебаний от < 10 кл/мл до 6 тыс. кл/мл. Наиболее высокие средние для столба воды (от поверхности до дна) значения численности ПХБ-ТРБ обнаружены для ст. 52 (1,52 тыс. кл/мл) и ст. 55 (1,07 тыс. кл/мл), находящихся под влиянием стока р. Анадырь, а минимальные — 0,06 тыс. кл/мл — для ст. 1, расположенной в наиболее мористой части залива (рис. 3).

ПХБ-ТОБ были выявлены на всех станциях Анадырского залива. Их численность варьировала от 25 кл/мл до 25 тыс. кл/мл (в среднем 1,44 тыс. кл/мл). Наиболее высокие средние для столба воды значения численности ПХБ-ТОБ были обнаружены на ст. 55 (9,86 тыс. кл/мл) и ст. 52 (3,44 тыс. кл/мл), расположенных в зоне влияния стока реки Анадырь (рис. 3).

Численность СБ варьировала от < 10 кл/мл до 25 тыс. кл/мл при среднем значении 4,92 тыс. кл/мл. Наиболее высокие средние для столба воды значения численности СБ были обнаружены для ст. 60 (18,3 тыс. кл/мл) и для ст. 48 (10,4 тыс. кл/мл), а наи-

менее высокие — на ст. 1 и 2 в мористой части залива (0,73 и 0,33 тыс. кл/мл соответственно). Между численностью СБ в поверхностном слое 0,5 м и концентрацией взвешенных ПХБ в воде обнаружена прямая корреляционная связь ($R = 0,71$). В придонном слое обнаружена прямая корреляционная связь численности СБ с концентрацией ПХБ в ВВ ($R = 0,60$).

Как для поверхностного (0,5 м), так и для придонного горизонта выявлены корреляционные связи — между численностью ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ ($R = 0,53$ и $R = 0,62$ соответственно) и между концентрациями ВВ и численностью ПХБ-ТРБ ($R = 0,57$ и $R = 0,61$ соответственно).

Статистически значимых зависимостей численности ПХБ-ТРБ от абиотических факторов среди них на одном из исследованных горизонтов в Анадырском заливе Берингова моря установить не удалось.

Для численности ПХБ-ТОБ в поверхностном слое (0,5 м) были обнаружены тесные корреляционные связи с концентрациями ВВ и температурой воды ($R = 0,68$ и $R = 0,83$ соответственно). В придонном

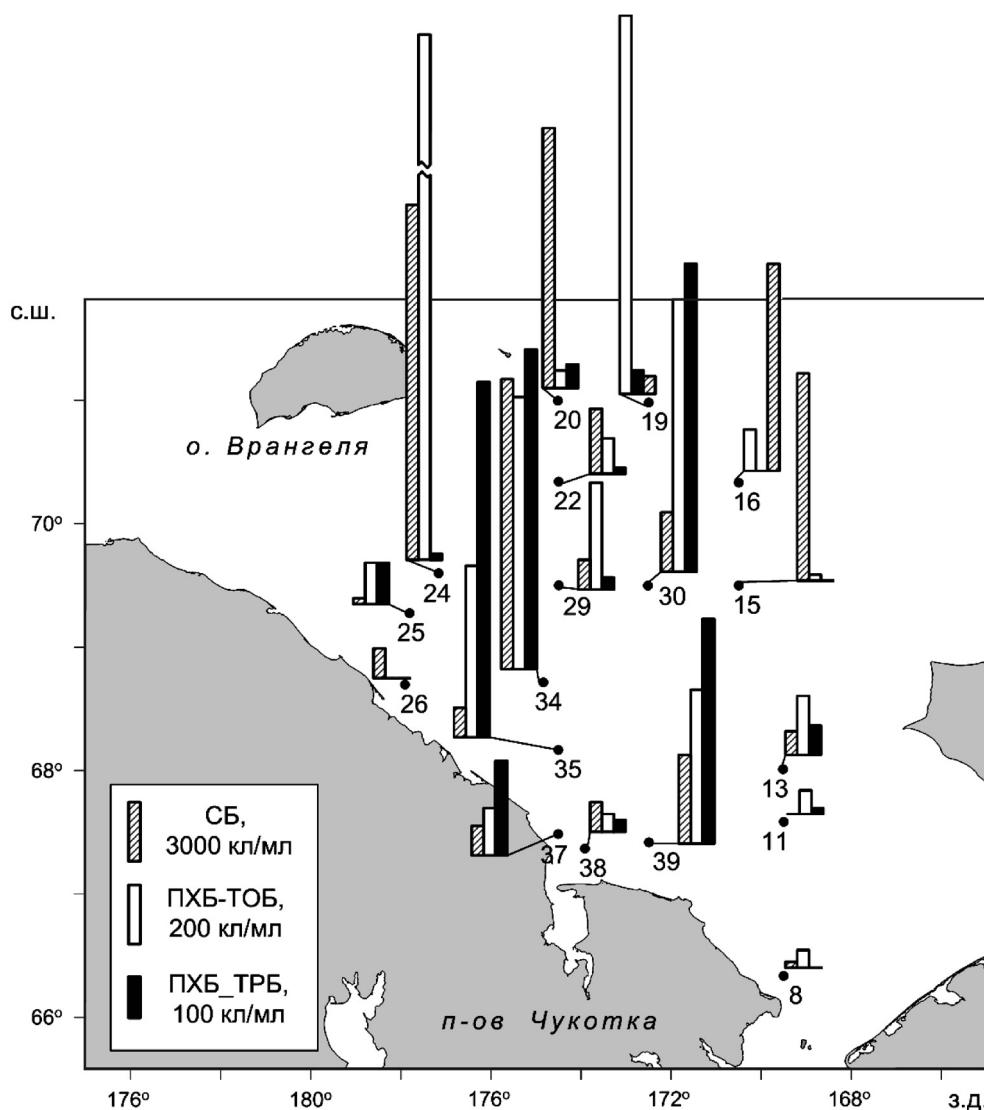


Рис. 4. Распространение сапротрофных, полихлорбифенил-толерантных и полихлорбифенил-трансформирующих бактерий в Чукотском море

слое значимая связь количеств ПХБ-ТОБ обнаружена только с концентрациями ВВ ($R = 0,93$).

Микробиологическая ситуация в Чукотском море осенью 2002 г.

К незагрязненным морским экосистемам относится Чукотское море [1, 11]. В Чукотском море, ПХБ-ТРБ оказались наиболее малочисленными, они встречались лишь в единичных случаях, а их численность варьировала от < 10 кл/мл до 2,5 тыс. кл/мл (в среднем для обследованного района моря — 150 кл/мл). Наибольшие количества ПХБ-ТРБ были обнаружены в придонном слое Чукотского моря.

Численность ПХБ-ТОБ варьировала от < 10 кл/мл до 25 тыс. кл/мл. Численность ПХБ-ТОБ, равная 25 тыс. кл/мл, была обнаружена только в одной пробе на ст. 39 (горизонт 25 м). Наибольшая численность ПХБ-ТОБ была приурочена к придонному слою. В среднем для этого слоя она составила 1,84 тыс. кл/мл.

Максимальное среднее для столба воды значение численности ПХБ-ТОБ было обнаружено для ст. 24 — 6,58 тыс. кл/мл (рис. 4), сравнительно высокое значение этого показателя было установлено также для ст. 26 — 1,49 тыс. кл/мл.

Численность СБ в Чукотском море в осенний период 2002 г. варьировала от < 10 кл/мл до 25 тыс. кл/мл при среднем для разреза значении 4,1 тыс. л/мл. Наибольшие средние для столба воды значения численности СБ были обнаружены для ст. 24 — 16,86 тыс. кл/мл и для ст. 34 — 13,81 тыс. кл/мл (обе эти станции расположены в зоне влияния речного стока с побережья — рис. 4).

В поверхностном (0,5 м) и придонном горизонтах выявлены парные корреляционные связи между численностью ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ ($R = 0,78$; $R = 0,66$ соответственно). Статистически значимых зависимостей численности ПХБ-ТРБ, ПХБ-ТОБ и СБ от абиотических факторов среды ни для одного из обследованных горизонтов в Чукотском море установлено не было.

Данные литературы, имеющиеся к началу работы [4, 5, 10], позволили нам предположить, что

ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ не являются самостоятельной группой гетеротрофных бактерий, а представляют собой часть сапротрофного бактериопланктона, обладающего способностями к трансформации ПХБ. В условиях хронического присутствия повышенных концентраций ПХБ в морских экосистемах эти группы бактерий, вероятно, получают преимущества и соответственно их численность возрастает. В результате численность ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ в таких морях может зависеть от концентраций ПХБ, действие которых будет проявляться на фоне других абиотических факторов среды. Наши исследования в Балтийском море в целом подтвердили эти предположения.

Исследования, проведенные в менее загрязненных ПХБ арктических морях (Беринговом и Чукотском), также показали наличие в них физиологически активного бактериопланктона. В составе гетеротрофных бактериоценозов этих морей присутствуют и ПХБ-ТРБ, и ПХБ-ТОБ, однако их численность здесь невелика и находится, по-видимому, в пределах природного фона.

Выводы

1. ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ бактерии присутствуют в составе гетеротрофного бактериопланктона морских экосистемах разных широт (от умеренных до полярных) несмотря на различные уровни их загрязнения ПХБ.

2. Наибольшего развития ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ достигают в хронически загрязненный ПХБ экосистеме — Балтийском море. Здесь численность ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ зависит от концентраций ПХБ во взвешенном веществе, причем связь с этим фактором проявляется на фоне влияния на численность бактерий других абиотических параметров среды — солености и температуры воды, концентраций фосфора и аммонийного азота.

* * *

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. AMAP, 2002. Arctic Pollution: Persistent Organic Pollutants, Heavy Metals, Radioactivity, Human Health, Changing Pathways. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo, 2002. 112 p.
2. UNEP Dioxin and Furane Inventories (National and Regional Emissions of PCDD/PCDF) // Geneva, 1999. 100 p.
3. Abramowicz D.A. Aerobic and anaerobic PCB biodegradation in the environment // Environmental Health Perspectives. 2005. Vol. 103. Suppl. 5. P. 97—99.
4. Colwell R., Walker J., Nelson J. Microbial ecology and the microbial degradation of oil pollutants // Microbiol. degradation of oil pollutants. Workshop held at Georgia State Univ. Atlanta., 1973. P. 322.
5. Luigi M., Di M.G., Bruni V.L., Giudice An. Biodegradative potential and characterization of psychrotolerant polychlorinated biphenyl degrading marine bacteria isolated from a coastal station in the Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica) // Mar. Poll. Bull. 2007. Vol. 54. P. 1754—1761.
6. Коронелли Т.В., Ильинский В.В. Об учете численности углеводородокисляющих бактерий в морской воде методом предельных разведений // Вестн. Моск. ун-та. 1984. Сер. Биология. № 3. С. 54—56.
7. Mills A.I., Breul C., Colwell R.R. Enumeration of petroleum-degrading marine and estuarine microorganisms by the most probable number method // Can. J. Microbiol. 1978. Vol. 24. P. 552.

8. Методические основы комплексного экологического мониторинга океана // Под ред. А.В. Цыбань. М.: Гидрометеоиздат, 1988. 286 с.
9. Jensen S. The PCB — Story // AMBIO Spec. reports. 1966. Vol. 1. N 4. P. 123—131.
10. Израэль Ю.А., Цыбань А.В., Орадовский С.Г., Панка В.Т., Шука С.А., Голенко Н.Н., Кудрявцев В.М., Баринова С.П., Мошаров С.А., Шука Т.А., Мошарова И.В., Володкович Ю.Л., Умбрумянц И.О., Серова Е.М. Исследование экосистемы Балтийского моря. СПб.: Гидрометеоиздат, 2005. С. 324.
11. Цыбань А.В., Мошаров С.А., Володкович Ю.Л., Мошарова И.В., Умбрумянц И.О. Адаптационная емкость экосистемы северо-западной части Берингова моря // Дальневосточные моря России: в 4 кн. / Глав. ред. В.А. Акуличев. Кн. 2: Исследования морских экосистем и биоресурсов / Отв. ред. В.П. Челомин. М., 2007. С. 483—503.

Поступила в редакцию
20.08.10

DISTRIBUTION OF POLYCHLORINATED BIPHENYLS-TRANSFORMING AND POLYCHLORINATED BIPHENYLS-TOLERANT BACTERIA IN THE SEAS OF THE TEMPERATE AND POLAR LATITUDES WITH DIFFERENT LEVELS OF POLYCHLORINATED BIPHENYLS

I.V. Mosharova, V.V. Il'inskii, S.A. Mosharov, A.I. Azovskii

Determined the presence of PCB-TRB and PCB-TOB in the Baltic Sea, the Bering and Chukchi Seas. It was found that most of these physiological groups of bacteria reach a chronically contaminated PCB marine ecosystem of the Baltic Sea. Revealed that the number of PCB-TRB and PCB-TOB mainly depends on the concentration of PCBs in the suspended matter. The dependence is manifested against the background of the impact of other abiotic environmental factors — temperature and salinity, as well as the content of the various forms of phosphorus and nitrogen.

Key words: *polychlorinated biphenyls-transforming marine bacteria, polychlorinated biphenyls-tolerant marine bacteria.*

Сведения об авторах

Мошарова Ирина Викторовна — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. кафедры гидробиологии биологического факультета МГУ. Тел.: 8-495-939-25-73; 8-910-474-97-17; e-mail: ivmpost@mail.ru

Ильинский Владимир Викторович — докт. биол. наук, проф. кафедры гидробиологии биологического факультета МГУ. Тел.: 8-495-939-25-73; e-mail: vladilin@interwave.ru

Мошаров Сергей Александрович — канд. биол. наук, ст. науч. сотр., Институт океанологии имени П.П. Ширшова. Тел.: 8-499-124-63-88; e-mail: mosharov@ocean.ru

Азовский Андрей Игоревич — докт. биол. наук, доц. кафедры гидробиологии биологического факультета МГУ. Тел.: 8-495-939-25-73; e-mail: aiazovsky@mail.ru