

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

*На правах рукописи*

Мошарова Ирина Викторовна

**ЭКОЛОГИЯ БАКТЕРИЙ, ТРАНСФОРМИРУЮЩИХ  
ПОЛИХЛОРИРОВАННЫЕ БИФЕНИЛЫ, И ИХ МЕСТО В СОСТАВЕ  
МОРСКОГО ГЕТЕРОТРОФНОГО БАКТЕРИОПЛАНКТОНА**

Специальность 03.00.16 - Экология

Специальность 03.00.18 – Гидробиология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

**Москва - 2008**

Работа выполнена в Институте Глобального Климата и Экологии Росгидромета и РАН и на кафедре гидробиологии биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

**Научные руководители:**

академик РАН, Цыбань Алла Викторовна

доктор биологических наук, профессор Ильинский Владимир Викторович

**Официальные оппоненты:**

доктор биологических наук, профессор Садчиков Анатолий Павлович

кандидат биологических наук, Москвина Мария Игоревна

**Ведущая организация:** Институт биологии внутренних вод РАН

**Защита диссертации состоится:** 2008 г. на заседании специализированного диссертационного совета Д.501.001.55 при Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, по адресу: 119899, г. Москва, Воробьевы горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, Биологический факультет, аудитория 389.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

Автореферат разослан: «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2008 года.

Ученый секретарь  
специализированного диссертационного совета,  
кандидат биологических наук

Н.В. Карташева.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Введение. Актуальность проблемы.

Современная ситуация в различных районах Мирового океана характеризуется возрастанием степени антропогенного воздействия, в первую очередь - химического загрязнения морской среды. Загрязнение хлорированными углеводородами стоит на втором месте после нефтяного загрязнения по степени опасности для морских экосистем [АМАП, 2002]. Полихлорированные бифенилы (ПХБ), в отличие от нефтяных углеводородов, относятся к ксенобиотикам, то есть к веществам, чужеродным для окружающей среды и входят в «грязную дюжину» по классификации UNEP [UNEP, 1999]. Благодаря своей стойкости к разрушению и липофильным свойствам ПХБ накапливаются в пищевой цепи. Токсичность и канцерогенность некоторых из конгенов ПХБ делает их серьезной проблемой для окружающей среды и здоровья населения.

ПХБ слабо подвержены абиотическому разложению, основным процессом их преобразования в окружающей среде является микробная трансформация, во многих случаях ведущая к неполному окислению этих веществ или к частичному изменению структуры их молекул [Furukawa, 1982; Abramowicz, 1995]. Микробная трансформация ПХБ - прекрасный пример реакции гетеротрофного бактериоценоза на присутствие в окружающей среде ксенобиотиков [Ford, 2000; Furukawa, 2003]. Гетеротрофные бактерии, обладающие способностями к трансформации ПХБ (ПХБ-трансформирующие бактерии или сокращенно ПХБ-ТРБ) и бактерии, не способные к трансформации ПХБ, но устойчивые к присутствию этих веществ в среде обитания (ПХБ-толерантные бактерии или сокращенно ПХБ-ТОБ), получают преимущество при загрязнении этими ксенобиотиками среды обитания, что в конечном итоге приводит к изменениям структуры первоначально сложившегося гетеротрофного бактериоценоза.

Изучение морских ПХБ-ТРБ началось сравнительно недавно [Colwell R. et al., 1973; Цыбань, Панов и др., 1985]. Сведения о распространении и видовом составе морских ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ пока еще очень ограничены [Израэль, Цыбань, 1989; Pieper, 2005; Luigi, 2007]. Практически полностью отсутствует информация о влиянии факторов окружающей среды (температуры воды, солености, содержания биогенов, взвешенного вещества, различных уровней загрязнения ПХБ и др.) на численность ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ в морских экосистемах. Сведения о возможностях использования отдельных эколого-физиологических групп гетеротрофных бактерий (в том числе ПХБ-ТРБ) в качестве индикаторов состояния морских микробиоценозов крайне противоречивы [Colwell et al.,

1973; Миронов, 1980; Atlas, 1981; Израэль, Цыбань, 1989; Ильинский, 2000]. Кроме того, большинство имеющихся на эту тему исследований связано только с влиянием на микроорганизмы нефтяного загрязнения морской среды [Миронов, 1980; Ильинский 2000; Кураков, 2006]. Таким образом, морские ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ до сих пор изучены недостаточно, между тем многие зарубежные исследователи возлагают большие надежды на вклад этой группы бактерий в процессы естественного очищения загрязненных ПХБ экосистем, в том числе и морских [Furukawa, 2003; Ohtsubo et al., 2004; Pieper, 2005].

Исходя из вышесказанного, становится очевидна необходимость исследований экологии ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ, а также гетеротрофного бактериоценоза в морях России, с различным уровнем загрязнения ПХБ.

### **Цель и задачи работы.**

Основная цель работы заключалась в изучении особенностей количественного распределения полихлорбифенил-трансформирующих, полихлорбифенил-толерантных и сапротрофных бактерий, а также гетеротрофного бактериоценоза в загрязненных, слабозагрязненных и незагрязненных полихлорированными бифенилами морях умеренных, субарктических и арктических широт России, а также в оценке влияния на численность бактерий этих групп гидролого-гидрохимических факторов морской среды.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить распространение и численность ПХБ-ТРБ, ПХБ-ТОБ и сапротрофных бактерий (СБ), а также общую численность гетеротрофного бактериопланктона в хронически загрязненной ПХБ морской экосистеме (Балтийское море), в слабозагрязненных этими ксенобиотиками морских экосистемах (Байдарацкая губа Карского моря и Анадырский залив Берингова моря), а также в незагрязненной экосистеме Чукотского моря.

2. Оценить влияние гидролого-гидрохимических параметров среды (температуры воды, солености, содержания в воде биогенов и кислорода, взвешенного вещества, загрязнения ПХБ и др.) на распределение и численность ПХБ-ТРБ, ПХБ-ТОБ, а также СБ и общую численность гетеротрофного бактериопланктона в вышеперечисленных морских экосистемах.

3. Рассмотреть особенности многолетней динамики количественных показателей, характеризующих степень развития ПХБ-ТРБ и СБ в Балтийском и Чукотском морях, а также Анадырском заливе Берингова моря.

4. Определить таксономическую принадлежность выделенных ПХБ-ТРБ из вод исследованных морей.

### **Положения, выносимые на защиту.**

1. ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ при современном уровне антропогенного воздействия на морские экосистемы умеренных, субарктических и арктических широт являются обычными компонентами гетеротрофного бактериоценоза. Они присутствуют во всех исследованных нами морях России. Наибольшего количественного развития ПХБ-ТРБ достигают в хронически загрязненном ПХБ Балтийском море.

2. Значимые корреляционные связи между численностями ПХБ-ТРБ, ПХБ-ТОБ и концентрациями ПХБ во взвешенном веществе наблюдаются только на отдельных горизонтах (поверхностном полуметровом и придонном) в хронически загрязненной ПХБ экосистеме Балтийского моря. Загрязнение ПХБ оказывает влияние на численность ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ на фоне действия таких гидролого-гидрохимических факторов среды, как температура воды, соленость, содержание взвешенного вещества, фосфора и азота и др.

3. В слабозагрязненных субарктических морских экосистемах (Анадырском заливе Берингова моря и Байдарацкой губе Карского моря), а также в незагрязненной арктической экосистеме - Чукотском море, значимые корреляционные связи между численностью ПХБ-ТРБ и концентрациями ПХБ во взвешенном веществе отсутствуют.

### **Научная новизна.**

На основе комплексных наблюдений получены сведения об особенностях пространственного распределения и количественных изменениях обилия ПХБ-ТРБ, ПХБ-ТОБ и СБ в морских экосистемах умеренных, субарктических и арктических широт России, в разной степени загрязненных ПХБ. Впервые получены результаты для отдельных морей (в частности, для Карского и Чукотского) и статистически оценено влияние гидролого-гидрохимических факторов морской среды (в т.ч. загрязнения ПХБ) на численность и распространение ПХБ-ТРБ, ПХБ-ТОБ, СБ и общую численность гетеротрофных микроорганизмов для всех исследованных экосистем. Показано участие в трансформации ПХБ вида *Serratia fonticola* (Gavini et al. 1979). Ранее в литературе сведений об этом не встречалось, что позволяет считать обнаруженное нами свойство новым дополнительным таксономическим признаком вида *Serratia fonticola*. (Gavini et al. 1979).

### **Практическая значимость работы.**

Результаты настоящего исследования были использованы при подготовке ежегодных изданий «Обзор загрязнения природной среды в Российской Федерации» за 2001-2004 гг., а также для характеристики экологического состояния Балтийского, Берингова и Чукотского морей в рамках работ по ФЦП «Мировой океан», подпрограммы «Исследование природы Мирового океана» и Программы фундаментальных исследований

Президиума РАН № 17 «Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология». Полученные результаты послужили основой для микробиологических мониторинговых исследований в морских экосистемах, испытывающих различную степень антропогенной нагрузки по ПХБ, проведенных отделом экологии и мониторинга океана ИГКЭ Росгидромета и РАН 2001-2004 годах.

Применение нами современного метода учета общей численности гетеротрофных микроорганизмов по прямому счету с использованием красителя-флуорохрома DAPI, для исследований гетеротрофного бактериопланктона в Голубой бухте Черного моря позволяет рекомендовать данный краситель к широкому применению при проведении микробиологических исследований в других прибрежных районах морей.

Основные результаты наших исследований могут быть рекомендованы к включению в курсы лекций и учебные пособия по проблемам водной микробиологии, гидробиологии, токсикологии и охраны водной среды.

#### **Апробация работы**

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались в период с 2005 по 2008 г. на следующих конференциях: Международной конференции «Комплексное управление, индикаторы развития, пространственное планирование и мониторинг прибрежных регионов Юго-Восточной Балтики» (Калининград, 2008), Конференции «Водные экосистемы, организмы, инновации-7» и «Водные экосистемы, организмы, инновации-8» (Москва, октябрь 2005 и октябрь 2006 гг.), XXII Международной береговой конференции «Проблемы управления и устойчивого развития прибрежной зоны моря», (Геленджик, 2007), XVII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии (Москва, 2007 г.); II Всероссийской конференции «Научные аспекты экологических проблем России», (Москва, 2006). 5<sup>th</sup> Baltic Sea Science Congress – The Baltic Sea changing ecosystem, (Sopot, Poland, 2005).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 15 научных работ. Из них 1 работа в рецензируемом издании, 5 работ в коллективных монографиях и 9 работ – тезисы к научным конференциям.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. Работа содержит 196 страниц машинописного текста, 15 таблиц и 42 рисунка. Список литературы включает 193 наименований, из них 90 - зарубежных авторов.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Глава 1** носит обзорный характер.

Дана характеристика ПХБ, как наиболее опасного вида загрязнения окружающей среды (в том числе морских экосистем). Рассматриваются экологические особенности морских экосистем: незагрязненных ПХБ (Чукотское море), слабозагрязненных (Анадырский залив Берингова моря и Карское море) и загрязненных (Балтийское море). Анализ данных литературы показал, что Балтийское море лидирует среди рассмотренных нами морей по уровню загрязнения ПХБ воды и взвешенного вещества (ВВ) (рис. 1).

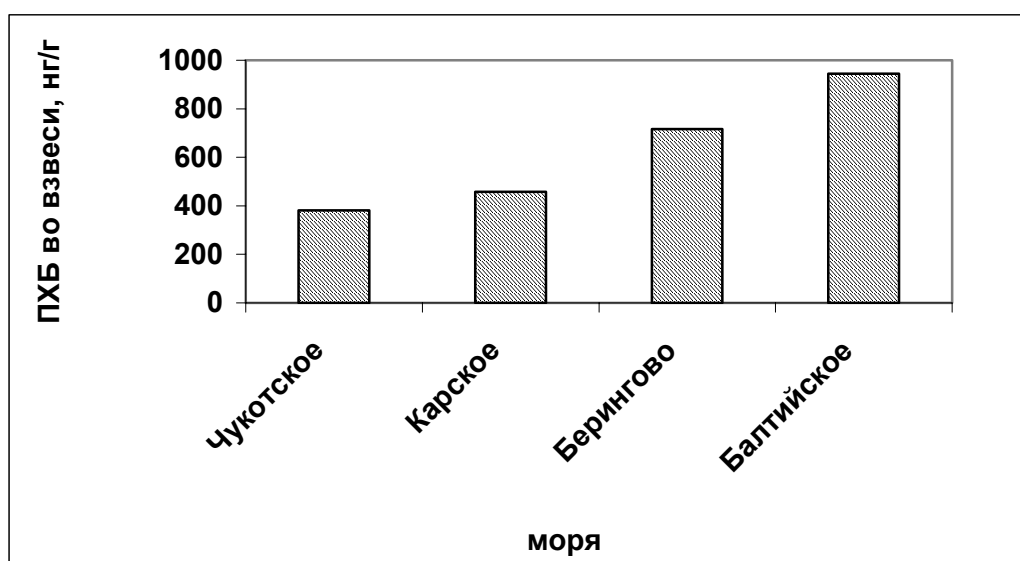


Рис.1. Средние концентрации полихлорированных бифенилов во взвешенном веществе (нг/г) в исследованных морях по (Израэль, Цыбань и др. 2000; Цыбань, Мошаров, 2007).

Рассматривается роль гетеротрофного бактериопланктона в морских экосистемах и особенности его реакции на присутствие загрязняющих веществ (в частности, ПХБ). Анализируются особенности микробной трансформации ПХБ и распространение ПХБ-ТРБ в окружающей среде. Анализ научной литературы указывает на необходимость серьезных и комплексных исследований морских гетеротрофных бактерий, способных к трансформации ПХБ. Их распространение в морских экосистемах, место и роль в составе гетеротрофного микробиоценоза, зависимость от гидролого-гидрохимических факторов среды до сих пор исследованы недостаточно.

**Глава 2** **Материалы и методы.**

Материалом для настоящей работы послужили пробы воды, полученные во время комплексных экологических экспедиций в Балтийском (22.09-17.10.2001 г. и 22.06. - 18.07.2004 г.), Карском (10.07.-27.07.2007 г. и 24.09-11.10.2007 г.), Чукотском морях и

Анадырском заливе Берингова моря (10.08.-19.09.2002 г.), а также в Голубой бухте Черного моря (10-13.06.2005 г.; 19.09. 2005 г. и 7.10.2005 г.).

Для отбора проб из поверхностного микрослоя (ПМС) воды толщиной около 0,02 м применяли стерильный батометр-бактерионейстонособиратель (БНС), разработанный А.В. Цыбань [Цыбань, 1970]. Для отбора проб из остальных горизонтов (поверхностного 0,5 м, придонного и термоклина) применяли пластиковые батометры Нискина, предварительно простерилизованные спиртом. Для получения профилей температуры и солености на каждой станции использовали CTD-зонды (“Sea Bird”).

Учет численности бактерий разных физиологических групп проводили методом предельных разведений на жидких питательных средах. Для учета численности ПХБ-ТРБ применяли среду ММС [Mills et al., 1978; Коронелли, Ильинский, 1984]. В качестве единственного источника углерода и энергии в каждую пробирку после посева вносили 1-2 капли маточного раствора, содержащего ПХБ (Хлофен А-60). Для определения численности ПХБ-ТОБ в пробирки со средой ММС, наряду с субстратом (Хлофеном А-60), вносили по 1-2 капли стерильного 10%-го раствора глюкозы. Учет численности СБ осуществляли на разбавленном стерильном рыбном бульоне, приготовленном на морской воде из места взятия пробы [Методические основы..., 1988]. В Карском море учет численности СБ проводили на жидкой модифицированной среде Зобелла 2216Е [Aaronson, 1970]. Всего было обследовано 564 пробы воды, общее число анализов составило 1920.

Идентификацию 53 культур бактерий, выделенных из воды Балтийского, Чукотского и Анадырского залива Берингова моря проводили стандартными микробиологическими методами [Нетрусов А.И. и др.; Определитель бактерий Берджи]. Чистую культуру ПХБ-ТРБ из Карского моря, показавшую уверенный рост на жидких средах в присутствии ПХБ в качестве единственного источника углерода и энергии идентифицировали с помощью анализа нуклеотидных последовательностей 16S-rРНК. Анализ 16S-rРНК был проведен специалистами ФГУП ГосНИИГенетика. Общую численность бактерий в Голубой бухте Черного моря определяли методом прямого счета с помощью эпифлуоресцентной микроскопии с использованием красителей-флуорохромов АО и DAPI [Porter, Feig, 1980].

В работе были использованы данные по содержанию взвешенного вещества и ПХБ во взвеси, любезно предоставленные Мошаровым С.А., а также данные по температуре воды, солености, содержанию в воде биогенов и кислорода, полученные сотрудниками атлантического отделения ИО РАН и РЦ «Мониторинг Арктики». Статистические анализы проводили на персональном компьютере с использованием пакетов программ



Statistica 6.0 и Excel 2002 г. Все приводимые в работе коэффициенты корреляции значимы на уровне  $p \leq 0,01$ .

### **Глава 3 Полихлорбифенил-трансформирующие и полихлорбифенил-толерантные бактерии, как компонент гетеротрофного бактериоценоза Балтийского моря (по данным экспедиций 2001 и 2004 гг.)**

Повышенные уровни ПХБ в Балтийском море регистрируются, начиная с 1966 г. [Jensen, 1966] и по сегодняшний день [Израэль, Цыбань, 2005; Nfon, Cousins, 2007]. Изучение распространения и численности ПХБ-ТРБ (в комплексе с другими микробиологическими показателями) в загрязненных морских экосистемах имеет большое значение, поскольку именно в этих районах реакция гетеротрофного бактериоценоза на загрязнение ПХБ обычно проявляется наиболее ярко.

#### **3.1. Результаты наблюдений, выполненных в осенний период 2001 г**

Работы в Балтийском море выполняли на 16 международных станциях HELCOM, расположенных на продольном осевом разрезе моря. Пробы воды отбирались с 4 – 6 горизонтов водной тощи, в зависимости от глубины района.

По данным экспедиции осени 2001 г. установлено, что в открытой части Балтийского моря широко распространены гетеротрофные бактерии всех учитываемых по посеву групп: СБ, ПХБ-ТОБ, ПХБ-ТРБ. Осенью 2001 г. 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 максимальной - 7,5 тыс. кл/мл (на горизонте 0,5 м ст. ВУ-1). Наибольшая средняя численность ПХБ-ТРБ (а также ПХБ-ТОБ и СБ) была обнаружена в поверхностном (0,5 м) слое водной толщи (рис. 2).

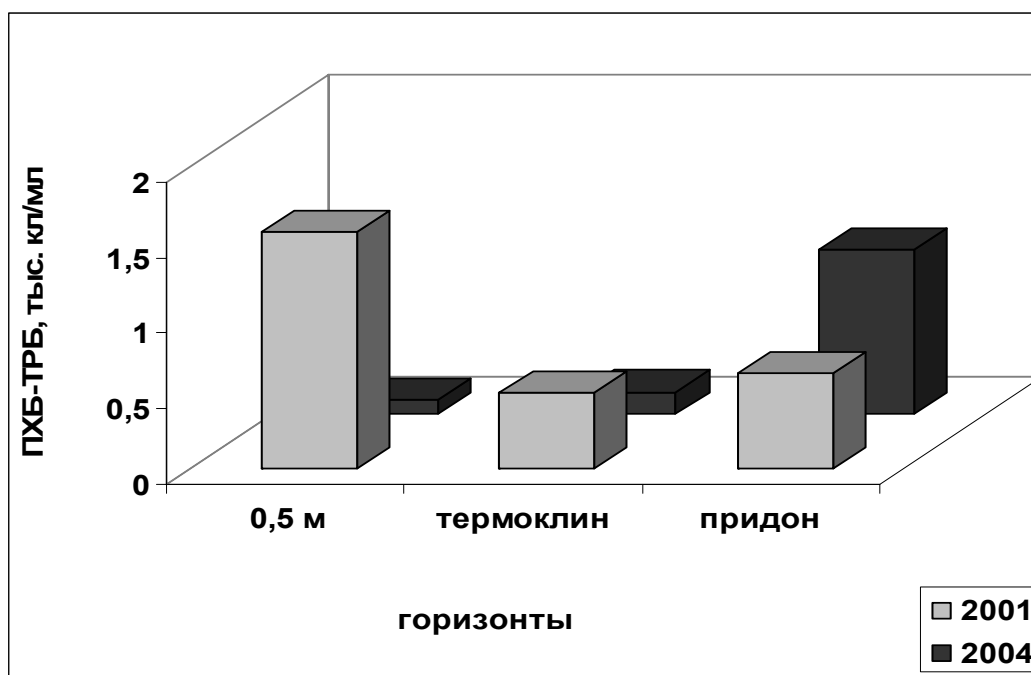


Рис. 2. Средние величины численности полихлорбифенил-трансформирующих бактерий на исследованных в 2001 и 2004 гг. горизонтах водной толщи Балтийского моря.

В поверхностном слое (0,5 м) выявлены тесные 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 ( $R=0,76$ ) (Табл.). Максимальные величины средней численности ПХБ-ТРБ, также как ПХБ-ТОБ и СБ, обнаружены в районе Арконской впадины (рис. 3), на фоне более высоких значений температуры воды, содержания ПХБ во взвешенном веществе (ПХБ в ВВ) и взвешенных ПХБ в воде, а также минимальных значений солености и концентраций валового и минерального фосфора, а наиболее низкие величины средних значений численности ПХБ-ТРБ, ПХБ-ТОБ и СБ обнаружены в районе Западного Готланда (рис. 3). При этом наиболее значимые корреляции численности ПХБ-ТРБ выявлены со следующими абиотическими факторами: концентрациями ПХБ в ВВ ( $R=0,81$ ) и взвешенных ПХБ в воде ( $R=0,57$ ), концентрациями общего и минерального фосфора ( $R=0,62$  и  $R=0,63$ , соответственно). Обнаруженные корреляционные связи между количествами в воде ПХБ-ТРБ, ПХБ-ТОБ и СБ позволили предположить, что ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ являются частью сапротрофного бактериоценоза. Массовое развитие этих групп микроорганизмов в составе гетеротрофного бактериоценоза Балтийского моря может указывать на реакцию экосистемы моря на хроническое загрязнение ПХБ.

Табл.

Сводная таблица значимых коэффициентов корреляции ( $p < 0,01$ ) между численностями полихлорбифенил-трансформирующих, полихлорбифенил-толерантных, сапротрофных и абиотическими факторами для разных горизонтов в Балтийском море (по результатам экспедиций 2001 и 2004 гг.)

**Поверхностный слой, 0,5 м**

|             | <b>СБ</b> | <b>ПХБ-ТОБ</b> | <b>ПХБ-ТРБ</b> |
|-------------|-----------|----------------|----------------|
| СБ          | -         | 0,69/-         | 0,72/-         |
| ПХБ-ТОБ     | 0,69/-    |                | 0,76/-         |
| ПХБ-ТРБ     | 0,72/-    | 0,76/-         | -              |
| ВВ          | -         |                | 0,49/-         |
| ПХБ в ВВ    | -         | 0,75/-         | 0,81/0,79*     |
| взвеш. ПХБ  | -         | 0,56/-         | 0,57/-         |
| Мин. фосфор | 0,66/-    | 0,49/-         | 0,63/0,53*     |
| Орг. фосфор | 0,52/-    |                |                |
| Общ. фосфор | 0,82/-    | 0,60/-         | 0,62/0,55*     |
| Нитриты     | -         | -              | - /0,69        |
| Аммоний     | -         | -              | - /0,75        |

**Слой термоклина**

|            |         |   |         |
|------------|---------|---|---------|
| ПХБ-ТОБ    | -       | - | -/0,59* |
| ПХБ-ТРБ    | -/0,59* | - | -       |
| взвеш. ПХБ | -       | - | 0,72/-  |

**Придонный слой**

|             |        |        |          |
|-------------|--------|--------|----------|
| СБ          | -      | 0,69/- | -        |
| ПХБ-ТОБ     | 0,69/- |        | 0,72/-   |
| ПХБ-ТРБ     | 0,72/- | 0,76/- | 0,76/-   |
| ВВ          | -      | -      | -        |
| ПХБ в ВВ    | -      | 0,75/- | 0,49/-   |
| взвеш. ПХБ  | -      | 0,56/- | 0,81/-   |
| Температура | -      | -      | 0,57/-   |
| Мин. фосфор | 0,66/- | 0,49/- | - /0,54* |
| Орг. фосфор | 0,52/- |        | 0,63/-   |
| Общ. фосфор | 0,82/- | 0,60/- |          |
| Нитриты     | -      | -      | 0,62/-   |

Примечание: 0,59\* - результаты за 2004 г.;

«-» - не выявлена значимая корреляционная связь.

Для оценки совместного влияния одновременно нескольких абиотических факторов на микробиологические параметры был применен метод множественной пошаговой линейной регрессии, а для сокращения числа взаимодействующих факторов был использован метод главных компонент. В результате выявлено следующее: 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 помимо количества ВВ, концентраций ПХБ в ВВ

и взвешенных ПХБ в воде также оказывало влияние содержание общего фосфора в морской воде, эффект которого зависел от сочетания таких факторов, как соленость и температура ( $R^2=0,7$ ).

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

PCA2 – соленость, температура

PCA3 – содержание ВВ, концентрация ПХБ в ВВ, концентрация взвешенных ПХБ в воде; PCA4 – минеральный фосфор, общий фосфор.

Численность ПХБ-ТРБ в придонном слое воды (помимо концентраций ПХБ в ВВ и взвешенных ПХБ в воде) была значимо связана также с соленостью и температурой ( $R^2=0,8$ ;  $p = 0,01$ ).

$$Y=0,6+0,7PCA5+0,4PCA2 \quad (2), \text{ где}$$

PCA2 – соленость, температура; PCA5 - концентрация ПХБ в ВВ, концентрация взвешенных ПХБ в воде.

Уравнение регрессии, значимо описывающее зависимость численности СБ от абиотических факторов, нам удалось получить только для поверхностного слоя воды (0,5 м), согласно этому уравнению, численность СБ достоверно зависела от концентраций общего фосфора ( $R^2=0,7$ ). Для придонного горизонта и для слоя термоклина факторов, значимо связанных с численностью ПХБ-ТОБ и СБ, обнаружить не удалось.

### **3.2. Результаты наблюдений, выполненных на Балтийском море летом 2004 г.**

С целью подтверждения стабильности обнаруженных осенью 2001 г. корреляционных связей между микробиологическими и абиотическими параметрами были проведены повторные исследования в открытой части Балтийского моря в летний период 2004 г.

Максимальное среднее количество ПХБ-ТРБ летом 2004 г. (в отличие от осени 2001 г.), было приурочено к придонному слою водной толщи, а минимальная средняя численность ПХБ-ТРБ была обнаружена в поверхностном слое воды (0,5 м) (рис. 2). Пространственное распределение ПХБ-ТРБ по районам Балтийского моря летом 2004 г., также как и осенью 2001 г., было неравномерным (рис. 3). Максимальная величина их численности обнаружена в Восточном Готланде - 0,51 тыс. кл/мл. Высокая величина этого показателя отмечена также в районе о. Борнхольм - 0,48 тыс. кл/мл. Минимальная численность ПХБ-ТРБ обнаружена в районе Западного Готланда - 0,06 тыс. кл/мл (рис. 3).

Распределение сапротрофных бактерий (СБ) летом 2004 г. было аналогичным распределению ПХБ-ТРБ, но их численность увеличилась почти в 3 раза по сравнению с осенью 2001 г.

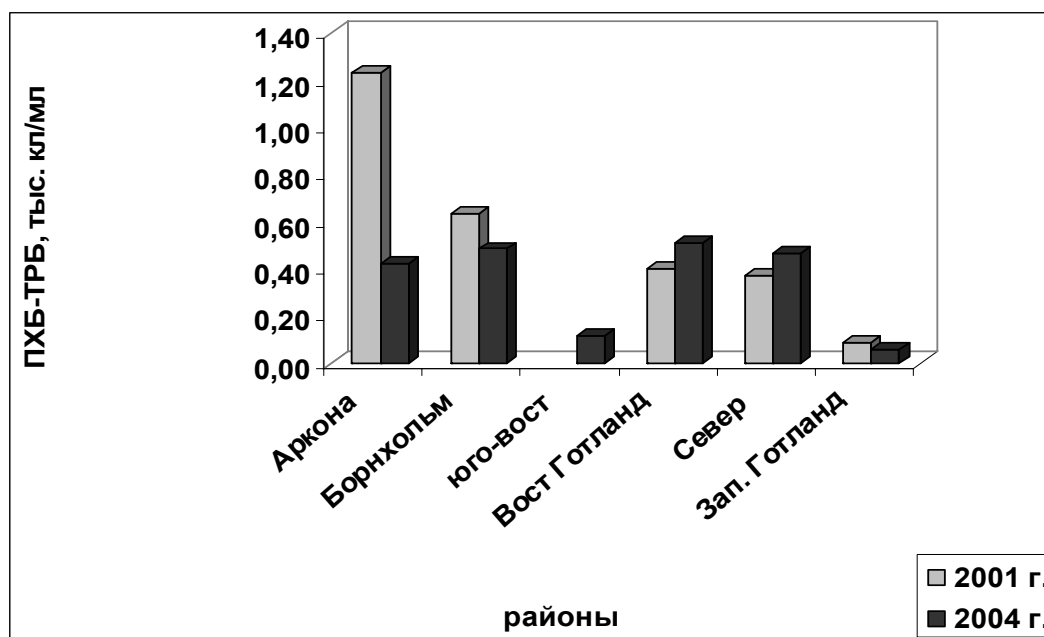


Рис. 3. Средние для районов Балтийского моря значения численности полихлорбифенил-трансформирующих бактерий по данным экспедиций 2001 и 2004гг. (В 2001 г. исследования в юго-восточной части Балтики не проводились).

Таким образом, горизонтальное и вертикальное распределение ПХБ-ТРБ в 2004 г. значительно отличалось от распределения этих бактерий в 2001 г. В 2004 г. вновь были обнаружены значимые корреляционные связи как между микробиологическими и гидролого-гидрохимическими параметрами, так и между численностями ПХБ-ТРБ и СБ в поверхностном слое и в слое термоклина (табл.). Результаты парного корреляционного анализа выявили следующее: летом 2004 г., (также как и осенью 2001 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 ( $R=0,55$ ). Однако летом 2004 г. (в отличие от осени 2001 г.) была 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 температурой воды и соленостью в 2004 г. не было установлено (табл.). Оценка совместного влияния абиотических факторов на численность ПХБ-ТРБ, ПХБ-ТОБ и СБ методом множественной пошаговой линейной регрессии показала, что летом 2004 г., также 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 ( $R^2=0,8$ ).

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

(3), где

PCA1 - фосфор валовой; фосфор минеральный; аммонийный азот; PCA5 – концентрация ПХБ в ВВ.

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. В отличие от осени 2001 г., в летний период 2004 г. не выявлено статистически достоверной связи на горизонте 0,5 м между численностью ПХБ-ТРБ, температурой воды и соленостью.

Зависимости численности СБ в поверхностном слое (0,5 м) от концентраций общего и минерального фосфора в летний период 2004 г. (в отличие от 2001 г.) не было установлено (табл.). По-видимому, это было связано с крайним истощением запасов фосфора в поверхностном слое моря в летний период в связи с цветением фитопланктона [Израэль, Цыбань, 2005]. Таким образом, на численность СБ в разные сезоны оказывают влияние разные абиотические факторы, а численность ПХБ-ТРБ в Балтийском море в оба сезона неизменно определялась в первую очередь концентрациями ПХБ во взвешенном веществе.

### **3.3. Межгодовые изменения численности сапротрофных и ПХБ-трансформирующих бактерий в Балтийском море.**

#### Динамика численности сапротрофных бактерий.

Анализ межгодовой динамики средних для Балтики значений численности СБ показал, что варьирование этого показателя за последние 25 лет можно охарактеризовать как "затухающие колебания", т.е. колебания с уменьшающейся амплитудой (рис. 4).

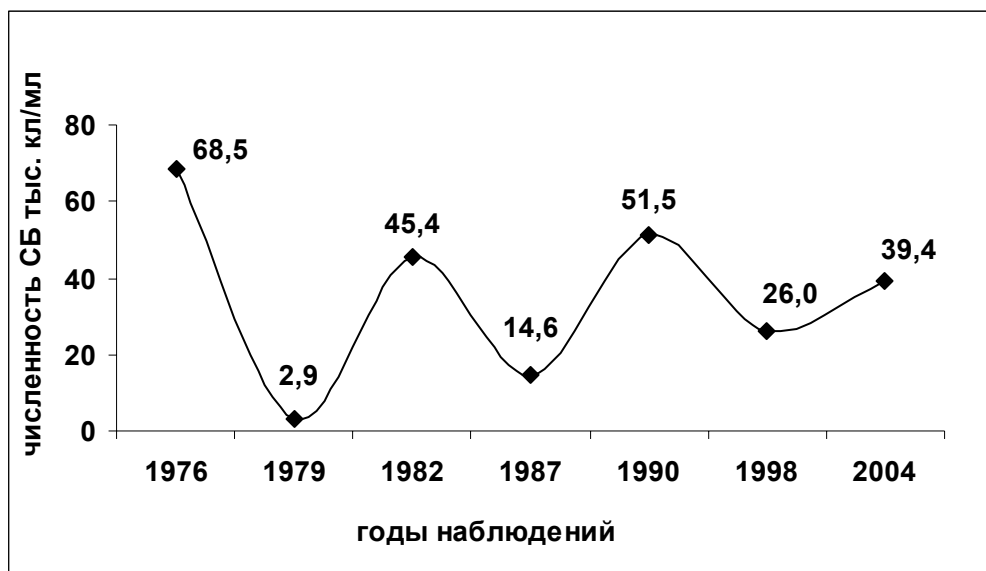


Рис. 4. Межгодовые изменения средних для акватории Балтики значений численности сапротрофных бактерий (по данным за летний период 1976 - 2004 гг.).

По-видимому, экологические факторы, определяющие уровень развития популяций СБ в Балтийском море, имеют циклическую природу с тенденцией к относительной стабилизации в последние годы. Известно, что в Балтийском море значительную роль в изменении экологических условий, необходимых для развития популяций микроорганизмов, играют периодические затопы через Датские проливы больших масс североморских вод. С этим, возможно, и связаны обнаруженные нами межгодовые колебания численности СБ.

#### Динамика численности ПХБ-трансформирующих бактерий.

Анализ межгодовой динамики средних для Балтийского моря значений численности ПХБ-ТРБ показал, что максимального количественного развития бактерии этой группы достигали в начальный период наблюдений, в 1979 г. (рис. 5), затем их количество в открытой части моря постепенно снижалось. Небольшое увеличение средней численности ПХБ-ТРБ имело место летом 1990 г., что можно объяснить аномально высокой температурой воды в этот период [Израэль, Цыбань, 2005]. Можно полагать, что после 1990 г. численность ПХБ-ТРБ в акваториях Балтики неуклонно снижалась. Минимальное значение средней численности ПХБ-ТРБ (0,30 тыс. кл/мл) было отмечено в 2004 г., причем оно оказались даже ниже, чем значение средней численности бактерий этой группы, выявленное осенью 2001 г. (0,59 тыс. кл/мл). По-видимому, снижение численности ПХБ-ТРБ в Балтийском море связано с тем, что после запрета на использование ПХБ в промышленных целях (в 1977 г.), уровень загрязнения ПХБ Балтийского моря постепенно снижается [HELCOM, 2002; Nfon, Cousins, 2007].



Рис. 5. Межгодовые изменения средних для акватории Балтики в целом значений численности полихлорбифенил-трансформирующих бактерий (по данным за летний период 1976 - 2004 гг.).

**Глава 4. Гетеротрофный бактериопланктон субарктических: Берингова (Анадырский залив), Чукотского (южная часть) и арктических - Карского (Байдарацкая губа) - морей России.**

Для оценки изменчивости отдельных микробиологических показателей и прогноза экологических последствий загрязнения морской среды необходимы наблюдения за состоянием микробиоценозов не только в загрязненных районах Мирового океана (Балтийское море), но также в слабозагрязненных и незагрязненных экосистемах. К слабозагрязненным морским экосистемам, согласно имеющимся в литературе данным, относятся Анадырский залив Берингова моря и Карское море (Байдарацкая губа). К незагрязненным морским экосистемам относится Чукотское море (рис. 1).

**4.1. Микробиологическая ситуация в Анадырском заливе Берингова моря**

Работы в заливе проводили на сети из 10 станций. Исследовали 5-6 горизонтов водной толщи. По результатам экспедиции лета 2002 г. установлено, что в Анадырском заливе Берингова моря широко распространены ПХБ-ТРБ, а также ПХБ-ТОБ и СБ. Средняя численность ПХБ-ТРБ для залива составила 0,54 тыс. кл/мл при диапазоне колебаний от <10 кл/мл до 6 тыс. кл/мл. Наибольшие значения численности ПХБ-ТРБ были выявлены в придонном слое (800 кл/мл), а наименьшие (8 кл/мл) – в поверхностном (0,5 м). В поверхностном микрослое (0,02 м) бактерии этой группы были обнаружены только на одной станции. Наиболее высокие значения численности ПХБ-ТРБ в среднем для столба воды (от поверхности до дна) обнаружены на 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 – на ст. 1, расположенной в наиболее мористой части залива.

В поверхностном (0,5 м) и придонном горизонтах выявлены корреляционные связи между численностью ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ ( $R=0,53$ ;  $R=0,62$ , соответственно), а также между концентрациями взвешенного вещества в воде (ВВ) и численностью ПХБ-ТРБ ( $R=0,57$ ;  $R=0,61$ , соответственно). статистически значимых зависимостей численности ПХБ-ТРБ от абиотических факторов среды ни 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 ( $R=0,68$ ;  $R=-0,83$ , соответственно). С помощью регрессионного анализа установлено, что численность ПХБ-ТОБ в поверхностном слое определялась предиктором «температура воды и содержание в ней кислорода»- ( $R^2=0,7$ ).

В придонном слое количественные изменения ПХБ-ТОБ были связаны только с концентрациями взвеси ( $R=0,93$ ), причем количества ПХБ в ВВ и взвешенных ПХБ в воде на численность ПХБ-ТОБ не влияли. Значимых уравнений регрессии, демонстрирующих связь численности СБ с какими-либо абиотическими параметрами не было получено.

Однако, для таких относительных показателей, как доля численности ПХБ-ТРБ от ОЧБ и доля численности СБ от ОЧБ, значимые уравнения регрессии получить удалось, но только для придонного слоя воды. Исходя из полученных уравнений можно утверждать, что концентрации ВВ в воде, а также концентрации ПХБ в ВВ и взвешенные ПХБ в воде значимо связаны с долей численности ПХБ-ТРБ от ОЧБ ( $R^2=0,9$ ), а концентрации ВВ в воде - с долей численностью СБ от ОЧБ ( $R^2=0,9$ ). Обнаружение этих связей позволяет утверждать, что загрязнение вод ПХБ в некоторых случаях может не оказывать прямого влияния на численность бактерий по посеву, однако результатом присутствия ПХБ может быть изменение структуры гетеротрофного микробиоценоза, в данном случае – возрастание в нем доли СБ и ПХБ-ТОБ.

#### **4.1.2. Анализ межгодовой динамики численности ПХБ-трансформирующих и сапротрофных бактерий в Анадырском заливе Берингова моря.**

Результаты многолетнего изучения СБ в Анадырском заливе Берингова моря показали постепенное увеличение средней для этого района численности бактерий этой группы в период с 1988 по 2002г (рис. 6). Максимальная численность ПХБ-ТРБ отмечалась в этом районе в 1993 г., в 2002 г. средняя численность ПХБ-ТРБ снизилась по сравнению с 1993 г., в 1,6 раза (рис. 6). Однако, по сравнению с 1988 г., численность ПХБ-ТРБ в 2002 г. была высокой – 750 кл/мл против 90 кл/мл в 1988 г.

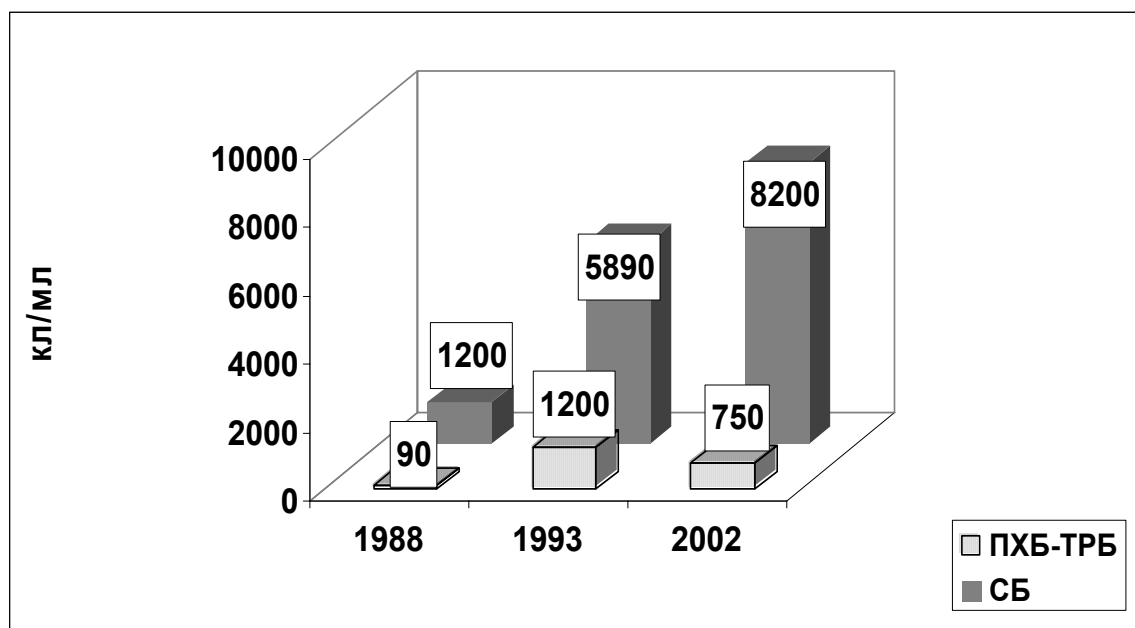


Рис. 6. Межгодовая динамика средней численности (к/л/мл) сапротрофных и полихлорбифенил-трансформирующих бактерий в Анадырском заливе Берингова моря.

Таким образом, на фоне увеличивающейся численности СБ численность ПХБ-ТРБ в Анадырском заливе была невысокой, что может свидетельствовать об отсутствии дополнительного поступления ПХБ в Анадырский залив.

#### 4.2. ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ как компонент гетеротрофного бактериоценоза Байдарацкой губы Карского моря

Работы в Карском море выполняли на 17 станциях. В связи с мелководностью Байдарацкой губы пробы отбирали только с поверхностного (0,5 м) и придонного горизонтов.

По уровню загрязнения ПХБ Карское море занимает среднее положение среди исследованных нами морей (рис. 1). Впервые в июле 2007 г. в акватории Байдарацкой губы нами было установлено наличие бактерий, интенсивно развивающихся в присутствии ПХБ – как ПХБ-ТОБ, так и ПХБ-ТРБ. Присутствие ПХБ-ТРБ было установлено на 10-ти станциях из 17-ти обследованных. В поверхностном горизонте средняя численность ПХБ-ТРБ составила 6 кл/мл, при варьировании от 0 до 10 кл/мл. В придонном горизонте использованном нами методом учета бактерий этой группы обнаружить не удалось. В поверхностном (0,5 м) и придонном горизонтах выявлены корреляционные связи между количествами ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ ( $R= 0,87$ ;  $R= 0,52$ , соответственно),

В октябре 2007 г. численность ПХБ-ТРБ возросла и варьировала от  $< 10$  до 250 кл/мл (в среднем для полигона - 49 кл/мл). Также как и летом, наибольшая численность

бактерий этих двух групп была приурочена к поверхностному горизонту (0,5 м). Между численностями ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ на этом и придонном горизонтах были обнаружены корреляционные связи ( $R=0,61$ ).

#### **4.3. Микробиологическая ситуация в фоновом по загрязнению ПХБ районе - Чукотском море.**

Наблюдения проводили осенью 2002 г. на 19 станциях. В зависимости от глубины района пробы отбирались с 3-6 горизонтов одной толщи.

Осенью 2002 г. в Чукотском море, как и в других, морских экосистемах, доминировали сапротрофные бактерии. Второй по численности группой были ПХБ-ТОБ, ПХБ-ТРБ встречались лишь в единичных случаях, их численность варьировала от  $<10$  кл/мл до 2,5 тыс. кл/мл, а средняя для обследованного района моря величина составила 150 кл/мл. ПХБ-ТРБ в Чукотском море оказались наиболее малочисленными. Наибольшие значения численности ПХБ-ТРБ были обнаружены в придонном слое Чукотского моря.

В поверхностном (0,5 м) и придонном горизонтах выявлены корреляционные связи между численностью ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ ( $R=0,78$ ;  $R=0,66$ , соответственно), при этом статистически значимых зависимостей численности ПХБ-ТРБ от абиотических факторов среды ни на одном из исследованных горизонтов в Чукотском море установить не удалось.

Количество ПХБ-ТОБ в придонном слое оказалась слабо связано с концентрациями ВВ ( $R=0,50$ ) и более тесно - с количеством взвешенных форм ПХБ в воде ( $R=0,70$ ). Эту зависимость удалось описать с помощью уравнения регрессии ( $R^2=0,4$ ). Обнаружить связь между другими абиотическими факторами и численностью ПХБ-ТРБ, а также численностью бактерий других исследованных групп не удалось.

#### 4.3.1. Межгодовая динамика численности сапротрофных и ПХБ-трансформирующих бактерий в южной части Чукотского моря.

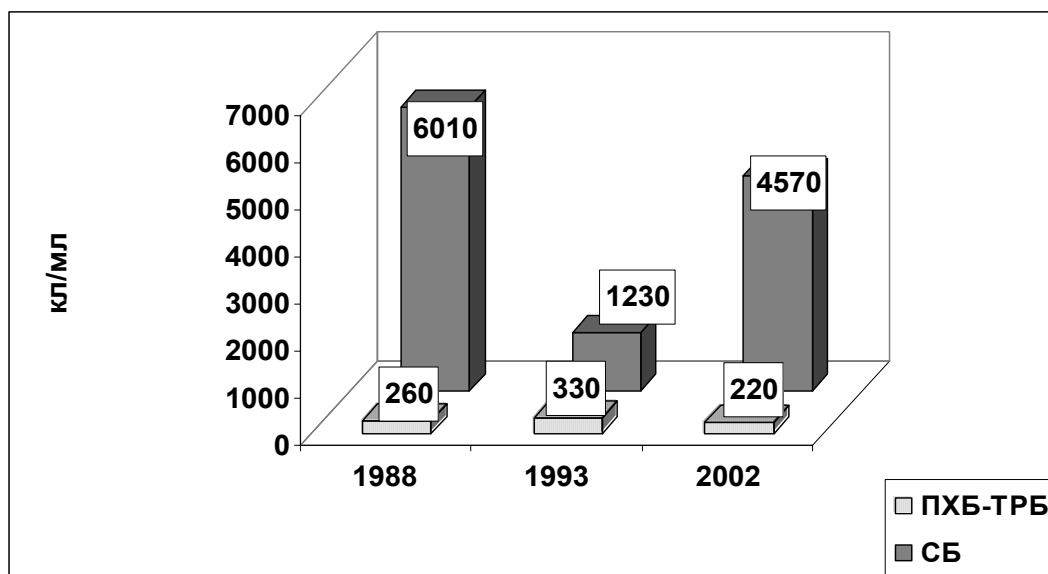


Рис. 7. Межгодовая динамика средней для всего района численности (к/л/мл) сапротрофных и полихлорбифенил-трансформирующих бактерий в Анадырском заливе Берингова моря.

Самые высокие значения средней для южной части Чукотского моря численности СБ в были выявлены в 1988 г., в 1993 г. по сравнению с 1988 г., численность СБ значительно снизилась, а в 2002 г. опять отмечено увеличение численности бактерий этой группы (рис. 7). Численность ПХБ-ТРБ в южной части Чукотского моря с 1988 г. оставалась стабильной, на уровне «сотен к/л/мл», что, вероятно, соответствует уровню современного природного фона.

Таким образом, в 2002 г. для ПХБ-ТРБ и СБ в Чукотском море были характерны более низкие уровни численности, чем в Анадырском заливе Берингова моря (рис. 6 и 7). Очевидно, что экосистема Анадырского залива испытывает более существенную антропогенную нагрузку по сравнению с экосистемой южной части Чукотского моря. Это подтверждают также исследования других авторов [АМАП, 2002; Цыбань, Володкович, 2006].

В целом, полученные результаты позволяют нам утверждать, что даже при относительно слабом загрязнении морских вод ПХБ происходит увеличение численности бактерий таких физиологических групп, как ПХБ-трансформирующие и ПХБ-толерантные, что свидетельствует о заметных перестройках в структуре гетеротрофного микробоценоза. Как следует из наших данных, численность ПХБ-ТРБ в слабозагрязненных субарктических и арктических морских экосистемах невелика, однако она превышает таковую в фоновой акватории – Чукотском море. Обнаружить

абиотические параметры, достоверно связанные с численностью ПХБ-ТРБ, для арктической морской экосистемы – Карского моря - нам не удалось, однако такие связи были обнаружены нами для численности ПХБ-ТОБ на отдельных горизонтах как Анадырского залива, так и Чукотского моря. Несмотря на то, что в последние годы численность ПХБ-ТРБ в Анадырском заливе снизилась, изменения в сообществе гетеротрофных бактерий, обусловленные длительным присутствием ПХБ в этой морской экосистеме, сохранились.

### **Глава 5. Морфологический и таксономический состав доминирующих культивируемых форм гетеротрофного бактериопланктона Балтийского, Карского, Чукотского морей и Анадырского залива Берингова моря.**

Наибольшее морфологическое разнообразие доминирующих форм сапротрофных бактерий обнаружено в Беринговом и Чукотском морях (слабозагрязненном и фоновом районах по загрязнению ПХБ, соответственно), в то время как морфологический состав сапротрофного бактериоценоза Балтийского моря (загрязненный район) и Байдарацкой губы Карского моря (слабозагрязненный район) был сравнительно однороден.

Большинство культур, выделенных из воды Балтийского моря (14 из 21, то есть 67%) при посеве на твердую агаризированную среду образовывали крупные от 1 до 5 мм, молочно-белые, блестящие, с неровным краем, флуоресцирующие в проходящем свете колонии. Эти культуры представляли собой подвижные прямые или слегка изогнутые палочки размером 0,5-1,0 x 1,2-2,0 мкм, грамотрицательные, оксидазоположительные, каталазоположительные, хорошо усваивающие глюкозу. Все эти признаки позволили нам заключить, что обладающие ими культуры предположительно относятся к роду *Pseudomonas sp.* Эти культуры бактерий росли в присутствии высоких концентраций ПХБ в агаризированной среде (0,1 мкг/мл). Из них 5 культур обладали способностью к трансформации ПХБ при выращивании на жидких средах, содержащих ПХБ в качестве единственного источника углерода и энергии

Большая часть 18 из 32 бактериальных культур (57%) из Берингова и Чукотского морей образовывала пигментированные колонии, особенно культуры, выделенные из поверхностного слоя водной толщи. Цветовая гамма пигментов оказалась достаточно широкой: от молочно-белого до ярко-красного. Из 32 культур бактерий, выделенных из Берингова и Чукотского морей только две были способны к росту на жидких средах с ПХБ в качестве единственного источника энергии и углерода. Одна культура отнесена нами предположительно к роду *Pseudomonas sp.* Вторая культура представляла собой неподвижные кокки диаметром 0,5-0,8 мкм, объединенные в тетрады, образовывала

красные колонии, грамположительна, каталазо- и оксидазоположительна - отнесена нами предположительно к роду *Micrococcus sp.*

Из воды Байдарацкой губы Карского моря нами было выделено 6 культур сапротрофных бактерий, способных к росту на питательных средах в присутствии ПХБ. При росте на агаре культуры образовывали два типа колоний: 1) молочно-белые, флуоресцирующие в проходящем свете, размером от 1 до 5 мм, с неровным краем; 2) светло-желтого цвета, матовые, сухие, размером от 1 до 3 мм. 1 культура сохранила способность к трансформации ПХБ в лабораторных условиях. Этот штамм, названный «Карский белый 250», в соответствии с морфологическими и физиологическими признаками был предварительно отнесен нами к роду *Pseudomonas*. После анализа нуклеотидных последовательностей генов 16S-рРНК он был переопределен как вид *Serratia fonticola* (уровень сходства 99,9%).

Таким образом, наблюдаются существенные отличия бактериопланктона Балтийского моря от микроорганизмов Берингова и Чукотского морей по морфофизиологическим характеристикам, таксономическому разнообразию и относительной численности представителей р. *Pseudomonas*. Наибольшее число чистых культур ПХБ-ТРБ, было получено из наиболее загрязненного ПХБ Балтийского моря, что может свидетельствовать о наличии существенного влияния хронического загрязнения ПХБ на состав культивируемых форм гетеротрофного бактериопланктона этого моря.

#### **Глава 6. Опыт использования красителя-флуорохрома DAPI для определения общей численности бактериопланктона в Голубой бухте Черного моря.**

В настоящее время наиболее распространенными в мировой практике методом учета общей численности морского гетеротрофного бактериопланктона является метод эпифлуоресцентной микроскопии с использованием красителей-флуорохромов акридинового оранжевого и 4'-6-диамидино-2-фенилиндола (DAPI) [Porter, Feig, 1980; Hoff, 1988; Hoff, 1993]. Из этих красителей в отечественной практике используется в основном только акридиновый оранжевый [Мишустина И.Е., 1985; Ильинский, 2000]. Его применение имеет недостатки, один из главных – неспецифическое окрашивание детрита, обычно присутствующего в пробах морской воды, что затрудняет счет ОЧБ в пробах воды, особенно из прибрежных морских районов. В связи с этим при выполнении методических работ в Голубой бухте Черного моря нами был опробован в качестве красителя флуорохром DAPI.

Полученные результаты позволили сделать вывод, что бактериальные клетки, окрашенные DAPI, легче распознаются, чем окрашенные другими красителями, особенно в пробах с большим количеством взвеси. Наши данные хорошо согласуются с

результатами работ других авторов в этом же районе Черного моря в период с 1976 по 2005 гг. [Сорокин, 1982; Мамаева и др. 1983; Мамаева 1987; Сажин, 1987; Толоконникова, Студеникина, 2000; Шумакова, 2002; Korylov, Kosolapov, 2004; Morgan et al., 2006]. Это позволяет рекомендовать ДАPI к широкому применению в микробиологических исследованиях морского гетеротрофного бактериопланктона.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ:**

Данные литературы, имеющиеся к началу работы позволяли предположить, что ПХБ-ТРБ и ПХБ-ТОБ не являются самостоятельной группой гетеротрофных бактерий, а представляют собой часть сапротрофного бактериопланктона, обладающую 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 целом подтвердили эти предположения. В то же время в слабозагрязненных и фоновых морских экосистемах связей между содержанием ПХБ и численностью ПХБ-ТРБ обнаружить не удастся, здесь такие связи иногда выявляются только для ПХБ-ТОБ. Очевидно, что уровни загрязнения ПХБ в этих акваториях еще не достигли пороговых значений, за которыми начинаются серьезные и устойчивые перестройки гетеротрофных бактериценозов.

Итак, проведенные нами комплексные микробиологические и гидролого-гидрохимические исследования в загрязненных ПХБ морских экосистемах - Балтийском море, слабозагрязненных - Анадырском заливе Берингова моря, Байдарацкой губе Карского моря и незагрязненной экосистеме Чукотском море позволяют сделать следующие выводы:

### **ВЫВОДЫ:**

1. Полихлорбифенил-трансформирующие и полихлорбифенил-толерантные бактерии присутствуют в морских экосистемах разных широт (от умеренных до полярных), несмотря на различные уровни их загрязнения ПХБ.
2. Наибольшего развития ПХБ-трансформирующие и ПХБ-толерантные бактерии достигают в хронически загрязненных ПХБ экосистемах - Балтийском море, их численность здесь достигает нескольких тысяч клеток в 1 мл. Только в Балтийском море и только в поверхностном горизонте (0,5 м) нами выявлены значимые и устойчивые

корреляционные связи между количествами ПХБ-трансформирующих и ПХБ-толерантных бактерий с одной стороны и содержанием взвешенных ПХБ – с другой. Обнаружены также значимые связи численности бактерий этой группы в Балтийском море с другими абиотическими факторами морской среды (температурой воды, соленостью, содержанием фосфора и азота), их число варьирует в разные годы наблюдений.

3. В слабозагрязненных субарктических акваториях - Анадырском заливе Берингова моря и в Байдарацкой губе Карского моря, также обнаружено широкое распространение ПХБ-трансформирующих бактерий, но в меньших по сравнению с Балтикой количествах - десятков – сотен клеток в 1 мл. Значимых корреляционных связи между численностью бактерий этой группы и абиотическими факторами не обнаружено. Однако такие связи выявлены для группы ПХБ-толерантных бактерий.

4. В фоновой арктической экосистеме - Чукотском море - ПХБ-трансформирующие бактерии встречались лишь в единичных случаях, тогда как ПХБ-толерантные бактерии были более представительны, при этом никаких значимых связей между микробиологическими параметрами и абиотическими факторами не было выявлено.

5. Впервые выделенные из Байдарацкой губы Карского моря доминирующие представители ПХБ-трансформирующих бактерий на основании анализа 16S-rРНК отнесены к виду *Serratia fonticola* (Gavini et al. 1979). Способность к трансформации ПХБ для данного вида описана впервые.

**Благодарности:** Автор выражает особую благодарность своему научному руководителю, академику РАН Цыбань Алле Викторовне за постановку задачи и организацию экспедиций. Автор выражает искреннюю признательность своему научному руководителю, профессору, доктору биологических наук Ильинскому Владимиру Викторовичу за руководство диссертационной работой, квалифицированные консультации и подаренную мне веру в себя. Благодарю доктора биологических наук Азовского Андрея Игоревича за консультации по статистической обработке материала, кандидата биологических наук Мошарова Сергея Александровича за высказанные ценные советы и поддержку, кандидата биологических наук Кудрявцева Василия Марковича за любезно предоставленные данные по общей численности бактерий в Балтийском, Беринговом и Чукотском морях, кандидата биологических наук Дмитриеву Аиду Георгиевну за грамотные консультации по оформлению работы. Сотрудников кафедры гидробиологии МГУ за поддержку и грамотные замечания, а также всех сотрудников отдела экологии и мониторинга океана Института Глобального Климата и Экологии за совместную работу.



## Список работ, опубликованных по теме диссертации:

Всего опубликовано 15 работ.

- 1 **Мошарова И.В.**, А.Ф.Сажин Гетеротрофный бактериопланктон северо-восточной части Черного моря в летний и осенний периоды 2005 г. *Океанология* **2007**, том 47 N 5, с. 720-728.
- 2 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./гл. ред. В. А. Акуличев. Кн. 2: Исследования морских экосистем и биоресурсов/отв. ред. В.П. Челомин. М.: Наука, **2007**. С.483-503.
- 3 Цыбань А. В., Володкович Ю. Л., Мошаров С. А., **Мошарова И. В.**, Кудрявцев В. М., Щука Т. А., Умбрумянц И. О. Современное состояние и изменчивость шельфовых экосистем Восточно-Сибирского, Чукотского и Берингова морей в условиях антропогенного воздействия. В кн.: *Фундаментальные исследования океанов и морей*. М. Наука, **2006**, с. 383-413.
- 4 Израэль Ю.А., Цыбань А.В., Орадовский С.Г., Пака В.Т., Щука С.А., Голенко Н.Н., Кудрявцев В.М., Баринаева С.П., Мошаров С.А., Щука Т.А., **Мошарова И.В.**, Володкович Ю.Л., Умбрумянц И.О., Серова Е.М. // Исследование экосистемы Балтийского моря. Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, С. 324, **2005**.
- 5 Цыбань А.В., Панов Г.В., Баринаева С.П., **Мошарова И.В.**, Кнаб В.А. Экологические свойства и динамика гетеротрофных микроорганизмов // *Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей*. М., «Наука», **2000**.
- 6 Израэль Ю.А., Цыбань А.В., Кудрявцев В.М., Щука С.А., Жукова А.И., **Мошарова И.В.** Воздействие биологически активной УФ-радиации на важнейшие биологические процессы в высоких широтах. // *Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей*. М., «Наука», **2000**.
- 7 Ильинский В.В., **Мошарова И.В.**, Комарова Т.И., Семененко М.Н. Особенности применения микробиологического мониторинга для оценки экологического состояния морских и прибрежных акваторий при освоении нефтегазовых месторождений (тезисы доклада) – Современные проблемы морской инженерной экологии (изыскания, ОВОС, социально-экономические аспекты). Материалы международной научной конференции г. Ростов-на-Дону, 9-11 июня 2008 г. / Отв. ред. акад. ГГ. Матишов. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, **2008**. 292 с.
- 8 **Мошарова И.В.**, Ильинский В.В., Азовский А.И. Изучение влияния факторов окружающей среды (включая антропогенные) на структуру гетеротрофного бактериоценоза в Балтийском море (тезисы доклада) – Комплексное управление, индикаторы развития, пространственное планирование и мониторинг прибрежных регионов Юго-Восточно Балтики. Материалы международной конференции, Калининград, 26-30 марта, 2008. Калининград, Терра Балтика, **2008**. С. 185.
- 9 **Мошарова И.В.**, Ильинский В.В. Об обнаружении в Байдарацкой губе Карского моря ПХБ-толерантных и ПХБ-трансформирующих гетеротрофных бактерий (тезисы доклада), - *Геология морей и океанов*. Материалы XVII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии, Москва, ноябрь 2007 г. Том III, М. ГЕОС, **2007**. С.155.
- 10 **Мошарова И.В.**, Сажин А.Ф. Гетеротрофный бактериопланктон прибрежной зоны северо-восточной части Черного моря в изменяющейся экологической обстановке. Материалы XXII международной береговой конференции <Проблемы управления и

устойчивого развития прибрежной зоны моря», г. Геленджик, 16-20 мая 2007г. с. 263-265.

- 11 **Мошарова И.В.**, Ильинский В.В. Использование флуорохромов в микробных биотехнологиях, применяемых для мониторинга численности и распределения гетеротрофного бактериопланктона в морских водах. (тезисы докладов). - Водные экосистемы и организмы-8: Труды научной конференции, Москва, 20 октября 2006 г. М.: МАКС Пресс, 2007. С. 69.
- 12 **Мошарова И.В.** К вопросу об использовании микробоценозов как биомаркеров устойчивости морских экосистем к антропогенному стрессу (тезисы докладов). - Водные экосистемы и организмы-7: Труды научной конференции, Москва, 15 октября 2005 г. М.: МАКС Пресс, 2006. С. 67.
- 13 Цыбань А.В., **Мошарова И.В.**, Мошаров С.А. О возможности использования гетеротрофных бактерий в качестве биоиндикаторов химического загрязнения морских экосистем. // Научные аспекты экологических проблем России: Труды II Всероссийской конференции / Под редакцией Ю.А. Израэля. – М.: 2006. – с. 116-120.
- 14 Цыбань А.В., **Мошарова И.В.**, Мошаров С.А. О возможности использования гетеротрофных бактерий в качестве биоиндикаторов химического загрязнения морских экосистем. – Тезисы докладов II Всероссийской конференции «Научные аспекты экологических проблем России», Секция 1 «Оценка состояния природной среды в России и стратегия решения основных экологических проблем; экологическая безопасность; глобальная антропогенная экология», Москва, 29-31 мая 2006 г. Москва, 2006. С. 29.
- 15 Tsyban A.V., **Mosharova I.V.**, PCB-transforming and BP-transforming heterotrophic bacteria groups are as biomarkers of bacteriocenosis receptivity to presence of toxicants in the sea water // 5<sup>th</sup> Baltic Sea Science Congress – The Baltic Sea changing ecosystem, Sopot, Poland 20-24 June 2005. Book of Abstract. P. 32.