

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ МАСС ЮЖНОГО БАЙКАЛА В РАЙОНЕ ВЛИЯНИЯ БАЙКАЛЬСКОГО ЦБК ПО МНОГОЛЕТНИМ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ¹

© 2013 г. Е. В. Щетинина, В. В. Максимов, О. В. Крайковская, Э. А. Максимова

Научно-исследовательский институт биологии при Иркутском государственном университете

664003 Иркутск, ул. Ленина, 3, а/я 24

E-mail: peterkb@mail.ru

Поступила в редакцию 11.07.2012 г.

Изложены результаты многолетних (1990–2009 гг.) микробиологических исследований вод в различных по антропогенной нагрузке районах Южного Байкала. Долговременные ряды наблюдений позволили установить тенденции изменения структуры и функциональной активности микробиоценозов в результате естественной эволюции и антропогенного влияния. Получена микробиологическая информация, характеризующая качество вод и уровень техногенных возмущений в районе Байкальского целлюлозно-бумажного комбината. Оценка качества воды по санитарно-бактериологическим показателям свидетельствует о том, что акватория сброса сточных вод Байкальского ЦБК хронически подвергается бактериологическому загрязнению. С 1990-х гг. до настоящего времени техногенный пресс на экосистему Южного Байкала существенно не уменьшился.

Ключевые слова: микробиоценозы Байкала, сапрофитные микроорганизмы, санитарно-бактериологические показатели, гетеротрофная ассимиляция углекислоты, продукция бактерий, Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат.

DOI: 10.7868/S0321059613060114

За 43 года работы Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК) и влияния его сточных вод на экосистему озера возникло множество проблем, сопряженных практически со всеми аспектами экономики, политики, охраны природы Байкала, здоровья людей, технологий производства и очистки сточных вод. Инженерные сооружения для очистки сточных вод БЦБК представляют собой современную трехступенчатую схему технологии очистки, но и они не обеспечивают полного изъятия минеральных, взвешенных, органических и труднорастворимых веществ, которые поступают в Байкал. Ежедневно БЦБК сбрасывает в Байкал 420 тыс. м³ очищенных сточных вод [8]. Многоплановые гидробиологические и гидрохимические исследования на акватории в районе БЦБК выявили серьезные нарушения естественного развития бактериальных

сообществ и круговоротов веществ [8, 12, 13, 18, 19].

С февраля 2009 г. БЦБК не производил целлюлозу, в связи с этим очень важно продолжать наблюдения за микробиологическими показателями воды в районе его деятельности в этот период.

Актуальность микробиологических исследований в районах, подверженных хроническому антропогенному прессу, обусловлена проблемой выработки стратегии оптимального природопользования и сохранения чистоты уникальных вод Байкала, являющихся одной из непреходящих ценностей для человечества. Определение временных и пространственных границ стабильности и самовозобновления экосистемы в условиях активного техногенеза — одна из главных современных задач.

Цель статьи — оценить состояние вод Байкала на подверженных постоянному антропогенному влиянию участках по многолетним микробиологическим показателям.

¹ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Аналитической ведомственной целевой программы “Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2011 гг.)”, в рамках Проекта РНП № 2.1.1/10127.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Пробы воды для микробиологического анализа отбирали батометром Молчанова в фоновом районе (пос. Большие Коты) и в районе деятельности БЦБК в летний период по утвержденной многолетней сетке станций с глубин 0, 10, 35 м. Глубинные пробы в пелагиали отбирали батометром Сорокина. Акватория в районе пос. Большие Коты была выбрана в качестве фоновой, так как здесь отсутствует промышленное антропогенное влияние.

Общую численность микроорганизмов (ОЧМ) определяли по [25] на мембранных фильтрах марки “Сынпор” с размером пор 0.2 мкм. Подсчет бактерий вели под микроскопом с иммерсионным объективом увеличением в 1350 раз в десяти полях зрения. В 2000-х гг. при определении ОЧМ дополнительно применяли флуоресцентный метод с использованием диамидина-4', 6-фенил-2-индолдихлоргидрата (DAPI) в качестве красителя [38]. Количество сапрофитных бактерий (СБ) учитывали на РПА:10 глубинным посевом при температуре 18°C через 7 сут. Темновую ассимиляцию углекислоты (ГА) и продукцию (П) микроорганизмов определяли радиоуглеродным ^{14}C -методом [25]. Расчеты бактериальной П проводили с учетом коэффициента гетеротрофной ассимиляции углекислоты (6.3), экспериментально вычисленного для условий Байкала [20]. Деструкция органических веществ (ОВ) микробиоценозами определялась на основании П, отнесенной к коэффициенту усвояемости, равному 0.4 [24, 39].

При определении бактерий группы кишечных палочек (БГКП) был использован метод мембранных фильтров, пророщенных на фуксин-сульфатной среде Эндо с добавлением розоловой кислоты, которая обладает ингибирующим свойством по отношению к микрофлоре воды и позволяет четко дифференцировать рост кишечных бактерий [5, 14, 27, 29]. Статистическую обработку данных осуществляли стандартными методами [10]. Анализ выборок на достоверность различия было проведено с применением непараметрических критериев (Манна–Уитни) с помощью компьютерной программы Statistica 6.0. Расчеты средних показателей проводились на основе 150 ежегодных проб.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ состояния вод в зоне влияния сбросов БЦБК в течение лет исследований достоверно подтверждает зависимость микробиологических характеристик байкальских вод от степени разбавленности сточных вод комбината, которая

определяется положением станции исследования относительно глубинного выпуска сточных вод [18, 19, 31]. На акватории распространения сточных вод БЦБК на протяжении лет исследований (1990–2008 гг.) ОЧМ составляла в среднем 4800 ± 674 тыс. кл/мл. Распространяясь в восточном, северо-восточном направлении, сточные воды обнаруживались непосредственно около их выпуска и в радиусе 3 км в северо-восточном и западном направлении. Разброс показателей ОЧМ в районе сброса очень высок – от 566 ± 73 до 2800 ± 364 тыс. кл/мл. С 1994 по 2000 г. количество микроорганизмов в данном районе было на уровне 1000 ± 130 тыс. кл/мл (рис. 1). Воды у западного побережья (акватория у пос. Большие Коты) в этот период содержали ОЧМ в среднем 460 ± 60 тыс. кл/мл, что в 2 раза меньше, чем у восточного побережья. В течение 2001–2009 гг. наблюдались колебания ОЧМ как в районе сброса, так и у пос. Большие Коты. У западного побережья отмечаются более низкие показатели ОЧМ по сравнению с районом сброса сточных вод БЦБК. В связи с резкими колебаниями климатических условий в 2007–2009 гг. (высокая солнечная активность) отсутствовало стратификационное распределение численности, характерное для данного фонового района в летний период. Различия по ОЧМ между фоновым районом и районом сброса сточных вод БЦБК были достоверны ($U = 316$, $Z = 5.06$ при $p \leq 0.001$).

Эколого-микробиологические исследования водных масс в районе сброса сточных вод БЦБК показали, что в течение 2006–2009 гг. значения ОЧМ колебались незначительно и составили в среднем 1478 ± 192 тыс. кл/мл (рис. 1). Необходимо отметить, что в 50% проб, отобранных с глубины 35 м (место выпуска сточных вод БЦБК), ОЧМ была достоверно выше, чем на поверхности. Вертикальное и горизонтальное распределение микроорганизмов зависит от распространения стоков. В районе сброса сточных вод БЦБК существует транзитный перенос вод вдоль берега на восток и запад, а также местные циркуляции водных масс, охватывающие прибрежный участок озера. Сточные воды комбината на глубине 35–42 м распространялись преимущественно в восточном-северо-восточном направлении, образуя автономные меандры с разбавлением байкальскими водами в соотношении 1 : 10–1 : 40 [3, 4]. Плотность новообразованных меандров такова, что они погружаются на глубины 10–35 м. Влияние сточных вод комбината значительно ослабевает в радиусе 1 км от труб рассеивающего выпуска.

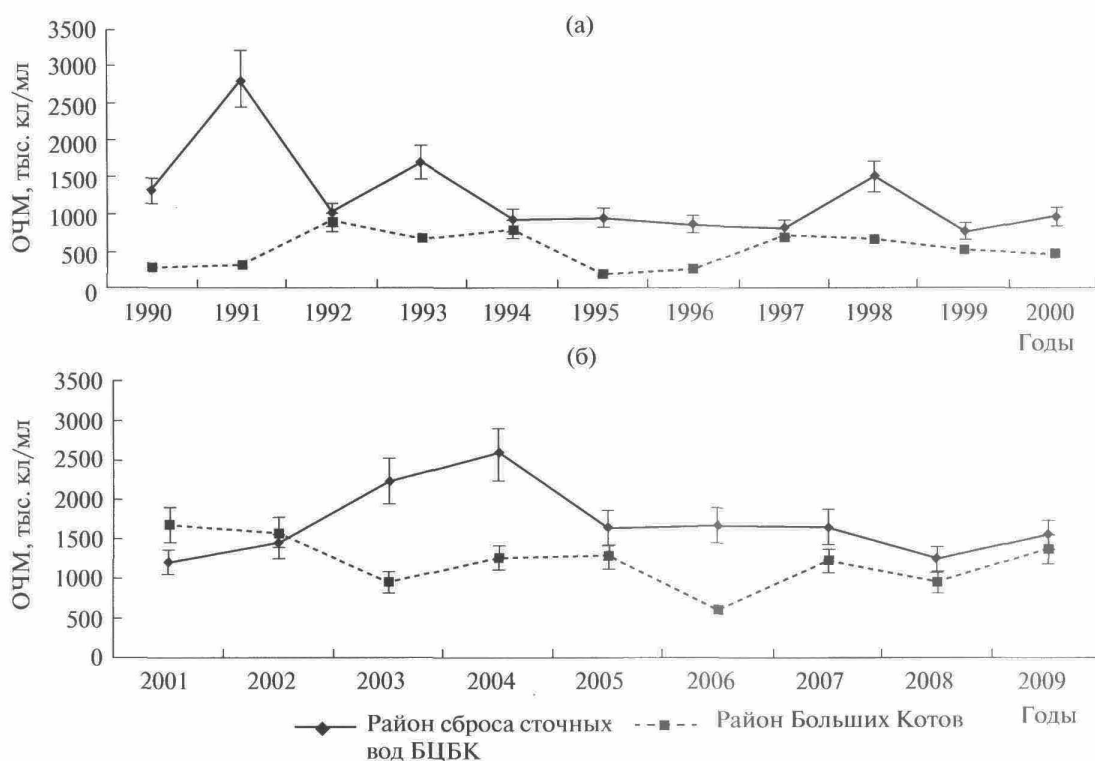


Рис. 1. Межгодовые колебания ОЧМ в слое воды 0–35 м в литорали различных участков Южного Байкала.

Согласно гидрохимическим исследованиям [9, 28], концентрация биогенных элементов возрастает от поверхности к придонному слою и не превышает для кремния 1.9 мг Si/л, для нитратов — 0.14 мг N/л, для фосфатов — 0.020 мг P/л. Результаты исследований показывают, что с 1960–1970-х гг. не наблюдаются изменения в содержании биогенных элементов в пелагиали озера. Колебания концентраций фосфатов и нитратов на отдельных глубинах не превышают ошибки метода определения. В настоящее время антропогенное воздействие практически не отражается на химическом составе воды озера благодаря разбавляющему действию и мощному механизму самоочищения вод.

Численность микроорганизмов, количественный и качественный состав СБ — суммарный отклик микробиоценозов на влияние трофических условий их обитания. СБ, составляя 0.002–0.050% ОЧМ водной толщи Байкала, быстро реагируют на изменения окружающей среды. Индикаторная роль СБ обусловлена природой их метаболизма, определение их количества в районах активной антропогенной нагрузки является необходимым тестом для оценки качества вод. В 1970–1980-е гг. в летний период СБ в районе сброса сточных вод БЦБК распределялись микроразнообразно,

аналогично распространению сточных вод. Максимальная численность (до 3 тыс. КОЕ/мл) обнаруживалась в восточном направлении от труб сброса, высокие значения численности СБ сохранялись в этом районе вплоть до 1986 г. [18, 21, 30, 32]. В самих сточных водах содержание СБ колебалось в эти годы от 700 до 19000 КОЕ/мл. Как видно на рис. 2, в районе пос. Большие Коты у западного побережья (фоновый район) численность СБ была на порядок ниже, чем в районе БЦБК. Различия по СБ между фоновым районом и районом сброса сточных вод БЦБК были достоверны ($U = 297$, $Z = 5.2$ при $p \ll 0.001$).

С 1994 г. картина распределения СБ в двух исследуемых районах изменилась: у западного побережья средние значения численности СБ были на том же уровне, что и у восточного побережья, или выше. Для СБ в районе сброса в 2000-е гг. отмечалось следующее: во-первых, — микроразнообразие распределения; во-вторых, — численность на порядок выше, чем в фоновом районе. Исключение — 2005 г., когда численность сапрофитов в контрольном районе достигла 500 КОЕ/мл (против 370 КОЕ/мл в районе сброса). Реакции СБ на поступление легкоокисляемых ОВ в районе сброса сточных вод БЦБК и на западном побережье —

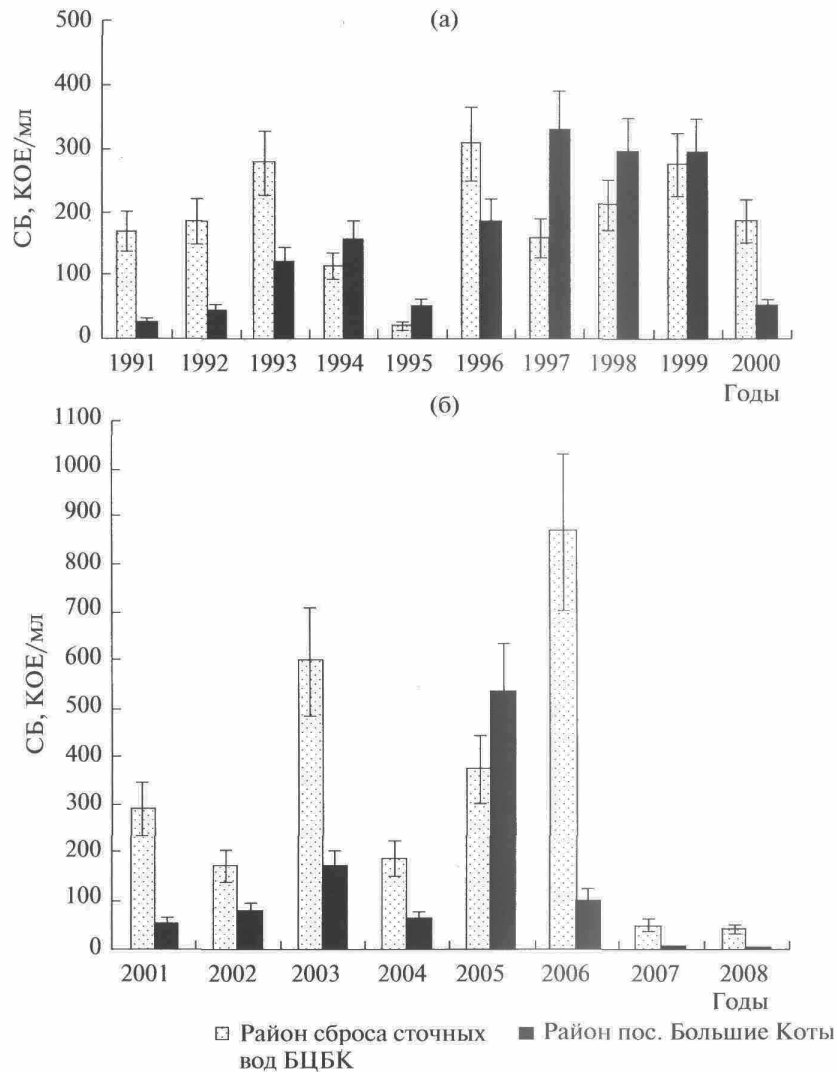


Рис. 2. Межгодовые колебания СБ в слое воды 0–35 м в литорали различных участков Южного Байкала.

тождественны. Группа СБ столь гетерогенна по субстратному сродству, что практически одинаково проявляет себя по отношению к легкоокисляемым органическим соединениям и антропогенного, и природного происхождения. Эту особенность водных микробиоценозов Байкала – неспецифичность их реакции на обширный класс органических соединений – необходимо учитывать при анализе локальных экологических условий и при объективной оценке современной ситуации [31]. Численность СБ в 2006 г. в районе сброса сточных вод увеличилась в 2.3 раза по сравнению с 2005 г. и составила в поверхностном слое в среднем 1175 ± 123 КОЕ/мл. В сточных водах пруда-аэратора (конечное звено очистки сточных вод) содержалось 8660 КОЕ/мл СБ. Вся акватория, примыкаю-

щая к району сброса сточных вод, была насыщена СБ. В этот период в районе пос. Большие Коты количество СБ составляло в поверхностном слое в среднем 119 ± 20 , а на глубине 35 м – 89 ± 7 КОЕ/мл.

Летом 2007 г. в районе сброса сточных вод отмечалась аномально низкая численность СБ, нехарактерная для данного периода (1–20 КОЕ/мл). И лишь на одной станции непосредственно у труб сброса на глубине 25 м количество СБ составило 253 КОЕ/мл. В 2008–2009 гг. низкая численность СБ отмечена как в районе сброса сточных вод БЦБК, так и в районе пос. Большие Коты (рис. 2). Низкая численность СБ в 2007–2009 гг. в двух исследуемых районах могла быть вызвана следующими причинами: во-первых, низким содержанием

ОВ в воде; во-вторых, тем, что между водорослями и бактериями преобладают антагонистические отношения, обусловленные выделением водорослями биологически активных веществ, которые могут изменяться под влиянием экологических и биологических факторов и в период максимального развития фитопланктона ингибировать активность бактерий [6, 33]. В Байкале существенно изменился состав массовых видов водорослей, стали доминировать виды ранее малочисленные, относящиеся к синезеленым, золотистым, динофитовым и зеленым водорослям [11]. В период отмирания водорослей, когда появляются высокомолекулярные ОВ, а низкомолекулярные вещества составляют до 8%, бактерии начинают активно развиваться [26] и в Байкале повышается численность СБ. Активность бактерий и уровень их развития зависят не только от концентрации, но и от качественного состава растворенного ОВ [1, 34, 35, 37].

Сброс сточных вод ведет к нарушению целостности экосистемы, и микроорганизмы в первую очередь реагируют на него. Важный критерий оценки устойчивости экосистемы – видовое разнообразие микроорганизмов. Известно, что под действием антропогенных факторов снижается устойчивость экосистемы в результате упрощения их видового состава и уменьшения неоднородности их пространственного распространения [2, 15, 36], биохимической активности и экологической гибкости [17, 22, 23]. Исследование видового разнообразия микроорганизмов в водах в местах стоков БЦБК и в районах, непосредственно прилегающих к трубам сброса, показало, что выделенные микроорганизмы идентичны. По степени видового разнообразия СБ хорошо прослеживается распространение сточных вод комбината на расстояние до 7 км к северо-востоку от места сброса. Были выделены следующие виды микроорганизмов: *Mycobacterium filiforme*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas desmolyticum*, *Bacillus mycoides*, *Bacillus cereus*. В фоновых районах (пос. Большие Коты) в 1990–2000-х гг. доминировали р. *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Arthrobacter*. С 2007 г. изменился качественный состав СБ в водах Байкала: в районе сброса сточных вод БЦБК и в фоновом районе преобладали микобактерии – *Mycobacterium album*, *Mycobacterium flavum*, *Mycobacterium filiforme*.

Проводимое в течение многих лет санитарно-микробиологическое зондирование водных масс в районе сброса сточных вод БЦБК позволило показать направление распространения сточных вод, степень разбавления их байкальской водой и степень загрязненности Байкала чуждыми его

экосистеме бактериями колиформной природы [7, 18, 19].

Сточные воды БЦБК на протяжении последних 20 лет исследований содержали очень большое количество колиформных бактерий (до 34 тыс. КОЕ ОКБ/л), хронически загрязняя прибрежные воды Байкала (таблица). Необходимо отметить, что загрязнение БГКП сосредоточено в основном в пределах литоральной зоны в поверхностном слое в концентрациях от 66 до 20625 в 1991–1999 гг. и от 38 до 1155 КОЕ ОКБ/л в 2000–2009 гг. Кумуляция бактериологических загрязнений, поступающих со сточными водами, не является доминирующим процессом. Превалируют механизмы элиминации чужеродных бактерий [31] и дальних переносов, сопровождающиеся сильным разбавлением чистыми озерными водами. Струи более теплых, чем байкальские, сточных вод всплывают к нижней границе термоклина [3] и переносятся основным потоком вдоль берега, что хорошо заметно по распределению санитарно-бактериологических и микробиологических показателей.

Ранее [16] было определено, что поверхностные воды литорали в районе сброса сточных вод БЦБК контаминированы вирусами гепатита А, ротавирусами. Отсутствие вирусов антропонозной природы, БГКП в глубинных зонах озера (ниже 100 м) подтверждает абсолютную закрытость последних от проникновения поверхностных и техногенных веществ.

С февраля по декабрь 2009 г., когда завод не проводил варку целлюлозы, содержание БГКП в сточных водах (таблица) оставалось на прежнем уровне. Санитарно-бактериологический анализ в районе сброса сточных вод БЦБК показал, что литоральные воды в летне-осенний период загрязнены бактериями группы кишечных палочек. Этот факт свидетельствует о постоянной антропогенной нагрузке в виде сточных вод БЦБК, а также коммунально-бытовых вод, которые подаются на очистные сооружения и обнаруживаются по содержанию БГКП в Байкале.

В качестве индикатора активности микроорганизмов определялись темновая ГА и П в различные сезоны года (рис. 3). В 1970-е гг. значения П бактерий в районе сброса сточных вод БЦБК в слое 0–35 м в зимний период колебались от 0.20 до 0.98 мкг С/л сут. В это время в неподверженных загрязнению районах П микроорганизмов на один два порядка выше, чем в районе сброса [18]. В зимние периоды в 1980-х гг. гетеротрофная ГА в районе сброса сточных вод составляла 0.009–0.270 мкг С/л сут, что соответствовало П микро-

Загрязненность вод литоральных районов Южного Байкала бактериями семейства Enterobacteriaceae, КОЕ ОКБ/л, в летний период (знак \pm – погрешность метода)

Годы	Сточные воды БЦБК	Район сброса сточных вод БЦБК		Район пос. Большие Коты	
	0 м	0 м	35 м	0 м	35 м
1991	34250 \pm 1027	20625 \pm 618	1812 \pm 54	390 \pm 11	1682 \pm 50
1992	2000 \pm 60	1085 \pm 33	495 \pm 15	150 \pm 5	40 \pm 2
1993	1454 \pm 43	295 \pm 9	66 \pm 2	76 \pm 2	0
1994	1260 \pm 38	612 \pm 18	888 \pm 27	30 \pm 1	0
1995	28000 \pm 840	38 \pm 2	600 \pm 18	66 \pm 2	20 \pm 1
1996	6000 \pm 180	66 \pm 2	88 \pm 3	30 \pm 1	0
1997	8125 \pm 243	104 \pm 3	161 \pm 5	0	0
1998	4812 \pm 144	314 \pm 9	170 \pm 5	200 \pm 6	45 \pm 1
1999	3687 \pm 111	377 \pm 11	0	160 \pm 5	9 \pm 1
2000	7160 \pm 215	38 \pm 1	95 \pm 3	48 \pm 1	0
2001	3625 \pm 109	113 \pm 3	38 \pm 1	47 \pm 1	9 \pm 1
2002	17687 \pm 530	152 \pm 5	570 \pm 17	57 \pm 1	28 \pm 1
2003	3500 \pm 105	355 \pm 11	266 \pm 8	71 \pm 2	0
2004	4466 \pm 134	66 \pm 2	66 \pm 1	67 \pm 2	38 \pm 1
2005	13125 \pm 394	377 \pm 11	100 \pm 3	200 \pm 6	155 \pm 5
2006	9677 \pm 290	344 \pm 10	2220 \pm 66	177 \pm 5	22 \pm 1
2007	8750 \pm 262	1155 \pm 35	511 \pm 15	111 \pm 3	57 \pm 1
2008	18625 \pm 558	972 \pm 29	457 \pm 13	62 \pm 2	0
2009	26818 \pm 805	428 \pm 13	400 \pm 12	42 \pm 1	0

биоценозов – 0.15–4.38 мкг С/л сут [18, 19]. В летние периоды в 1980-х гг. П микроорганизмов в районе сброса достигала 36.51 мкг С/л сут. Суточная П микроорганизмов у труб сброса сточных вод в Байкал превышала таковую в районе пос. Большие Коты в 4.8 раз (7.46 мкг С/л сут). Высокая бактериальная деструкция (12 мкг С/л сут) отмечалась на значительном расстоянии от выпуска стоков – до 10 км к северо-востоку.

П – показатель уровня активности микробиоценозов, тогда как численность СБ – индикатор поступления и разбавления сточных вод. В летние периоды вплоть до 2007 г. самоочищающаяся способность вод в районе сброса сточных вод БЦБК была высокой. Значения суточной П микроорганизмов превышали аналогичные значения в чистых районах, что свидетельствует о возбуждении микробиоценозов антропогенным влиянием и о выходе их на более высокий энергетический уровень обмена. Активная реакция микробиоценозов на поступление сточных вод сохраняется и тогда, когда временно прекращается сброс сточных вод в момент остановки завода на профилактический ремонт. Показатель численности СБ в единице объема воды не связан в

определенный период с их активностью из-за очень незначительной доли СБ в ОЧМ, а также из-за того, что не вся микробная популяция участвует в активных процессах метаболизма. Вероятно, антропогенный фактор возбуждает какую-то часть микробиоценозов, которая долго сохраняет свой высокий уровень энергии обмена. Активное продуцирование в районе сброса сточных вод в такие периоды объясняется, по-видимому, активностью этих микробиоценозов. В районах, не подверженных антропогенному влиянию, низкие показатели П бактериальной биомассы олиготрофной экосистемы Байкала характерны для летнего периода.

Многолетние систематические наблюдения за активностью микроорганизмов с помощью ^{14}C -метода показали, что на станциях, расположенных в непосредственной близости от труб сброса сточных вод, П микроорганизмов несколько выше, чем на станциях, удаленных от сброса. По данным деструкции, поток сточных вод распространялся под влиянием гидрологических условий в основном в северо-восточном направлении. Высокая бактериальная П в сточных водах БЦБК (до 35.55 мкг С/л сут) в летние пери-

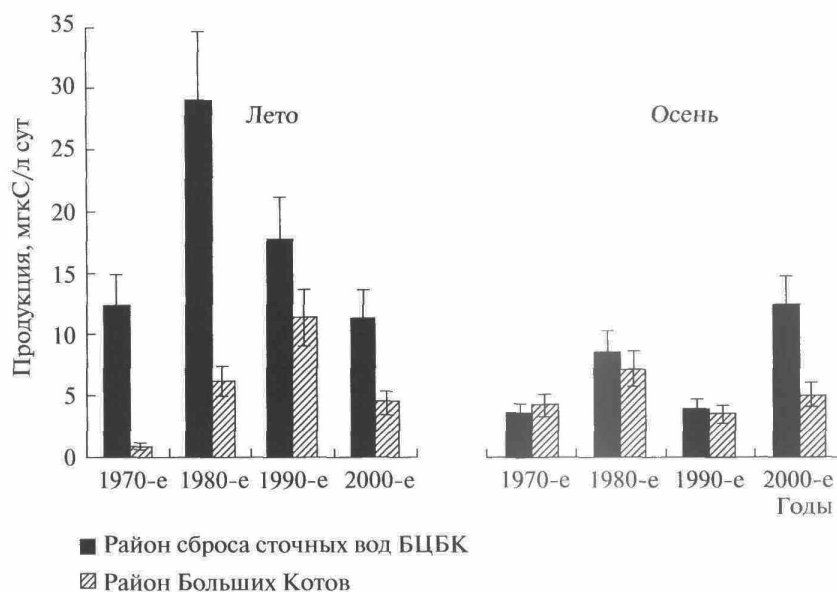


Рис. 3. Максимальные значения P микробных сообществ в литоральных районах Южного Байкала в различные биологические сезоны.

оды 1990-х гг. свидетельствовала о том, что самоочистительные процессы в воде Байкала в районе сброса в большей мере были обусловлены деятельностью микроорганизмов, поступающих из пруда-аэратора. На акватории сброса сточных вод БЦБК показатели суточной бактериальной P в 1990-х гг. колебались от 1.11 до 17.77 мкг С/л сут. На протяжении ряда лет в районе БЦБК отмечалась высокая бактериальная деструкция — до 70 мкг С/л сут. P микроорганизмов в районе сброса в зимние периоды 1990-х гг. была высокой и максимальные значения достигали 14.28 мкг, тогда как у западного побережья активность микробиоценозов соответствовала данному периоду и не превышала 1 мкг С/л сут. Увеличение деструкционных процессов в районе сброса сточных вод доказывает стойкое влияние сточных вод на ход естественных обменных процессов в экосистеме Байкала. Деструкция ОВ в период осенней циркуляции вод протекала с одинаковой интенсивностью в районе сброса и у западного побережья у пос. Большие Коты (7.92 и 7.12 мкг С/л сут соответственно). Радиоуглеродный анализ в районе влияния сточных вод БЦБК в 2003–2007 гг. показал, что диапазон колебаний бактериальной P в слое 0–35 м составлял в среднем 3.25–11.35 мкг С/л сут. В фоновом районе диапазон величин бактериальной P незначителен — 1.70–4.44 мкг С/л сут. Анализ максимальных значений бактериальной P в различные сезоны показал, что ситуация в районе сброса в зимние периоды 1980–1990-х гг. измени-

лась в сторону повышения активности микроорганизмов подо льдом. В летние периоды в эти годы максимальные значения P в районе сброса превышали P в районе пос. Большие Коты в среднем в 2.6 раза. В 2003–2006 гг. в летние периоды P бактерий в районе сброса уменьшилась по сравнению с 1990-ми гг. в 1.5, в районе пос. Большие Коты — в 2.5 раза (рис. 3).

Полученные многолетние сведения о продукционных возможностях микробиального звена в экосистеме Байкала позволили определить активность микробиоценозов в процессах самоочищения в районах Байкала, неодинаково подверженных антропогенному воздействию. В летний период самоочищающая способность вод в районе БЦБК во все годы исследований была высокой; активность микроорганизмов свидетельствует об их постоянной включенности в активную биодеструкционную деятельность. Установленная исследованиями способность прокариотных микробиоценозов байкальских вод изменять свою численность и активность — защитный гомеостатирующий механизм поддержания динамического постоянства свойств вод Байкала [17].

ВЫВОДЫ

Сравнительный анализ количества микроорганизмов в литоральных районах в современный период показал, что границы изменений ОЧМ на протяжении последних пяти лет были практически

постоянными, что свидетельствует о монотонности антропогенных и абиотических воздействий, свойственных для данного района экосистемы Байкала. Отклонения значений численности СБ от многолетних средних в летне-осенний период на современном этапе связаны с резкими колебаниями климатических условий.

В целом в 2000–2009 гг. состояние бактериальных сообществ в районе сброса сточных вод БЦБК оставалось на одном уровне, но тенденцию увеличения санитарно-бактериологических показателей в литорали необходимо учитывать при оценке и прогнозе состояния водных масс экосистемы Байкала.

В краткосрочной перспективе степень бактериологического загрязнения в местах сброса сточных вод БЦБК по абсолютным величинам в локальных объемах воды и на детерминированной площади загрязненной акватории остается в пределах ранее фиксированных границ. В долгосрочной перспективе (межгодовые вариации микробиологических и бактериологических показателей) кумуляция антропогенных бактериальных загрязнений в районе сброса сточных вод БЦБК не происходит. Локальные бактериологические загрязнения вод не индуцируют развитие вторичных эффектов микробного загрязнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анонасенко А.Д., Шур Л.А. Влияние минеральной взвеси на продукционные характеристики бактерио- и фитопланктона // Микробиология. 2009. Т.78. № 2. С.275–280.
2. Аристовская Т.В., Чугунова М.В., Зыкина Л.В. Скорость биологической реакции почвы на внесение органических веществ как показатель способности микрофлоры к регуляции условий почвенной среды // Микробиология. 1988. Вып. 5. Т. 53. С. 860–867.
3. Верболов В.И. Течения и водообмен в Байкале // Вод. ресурсы. 1996. Т. 23. № 4. С. 413–423.
4. Ветров В.А., Кузнецова А.И. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал. Новосибирск: Изд-во СО РАН НИЦ ОИГГМ, 1997. 234 с.
5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Контроль качества: Санитарные правила и нормы СанПин 2.1.5.980-00-М. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава РФ, 2000. 27 с.
6. Гаухман З.С., Рябов Ф.П. Динамика численности синезеленых водорослей и сапрофитных бактерий в Среднем Днепре после образования Кременчугского водохранилища // Экология и физиология синезеленых водорослей. М: Наука, 1965. С. 79–85.
7. Гоман Г.А. Влияние сточных вод Байкальского целлюлозного завода на микробиологические процессы в воде и грунтах Южного Байкала. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск: ИГУ, 1973. 19 с.
8. Государственный доклад “О состоянии окружающей природной среды Иркутской области в 2007 году”. Иркутск, 2008. 359 с.
9. Домышева В.М., Сакирко М.В., Нецветова О.Г. К оценке современного состояния озера Байкал // Вопросы экологической безопасности и охраны окружающей среды. Вторая региональная науч.-практ. конф. Иркутск, 2009. С.66–68.
10. Закс Л. Статистическое оценивание. М: Статистика, 1976. 598 с.
11. Измествьева Л.Р., Павлов Б.К., Шимараева С.В. Современное состояние экосистемы озера Байкал и тенденции его изменения // Тез. докл. VIII Съезда Гидробиол. о-ва РАН. Калининград, 2001. Т. 1. С. 12–14.
12. Кожов М.М. О современном состоянии фауны и флоры Байкала в районе сброса промышленных стоков Байкальским целлюлозным заводом (район Утулик-Мурина) // Исследования гидробиологического режима Сибири. Иркутск, 1971. С. 3–9.
13. Кожова О.М. Межгодовые изменения в биоценозах района Утулик – Мурино Южного Байкала // Продуктивность Байкала и антропогенные изменения его природы. Иркутск, 1974. С. 160–172.
14. Корш Л.Е., Артемова Т.З. Ускоренные методы санитарно-бактериологического исследования воды. М.: Медицина, 1973. 253 с.
15. Львов Ю.А. К оценке устойчивости биогеосистем // Тез. докл. конф. “Экология и практика”. Томск: ТГУ, 1989. С. 19–23.
16. Максимов В.В., Астафьев В.А., Духанина А.В. и др. Индикация патогенных вирусов в воде озера Байкал и его притоках // Гигиена и санитария. 2003. № 2. С.15–18.
17. Максимова Э.А., Щетинина Е.В., Максимов В.В., Крайкивская О.В. Микробиологический мониторинг состояния экосистемы вод Байкала: концепция системности и фактора времени как фундамента достоверности и правильного прогноза // Экосистемы и природные ресурсы горных стран. Новосибирск: Наука, 2004. С. 107–119.
18. Максимова Э.А. Бактериопланктон оз. Байкал // Состояние сообществ Южного Байкала. Иркутск, 1982. С. 46–57.
19. Максимова Э.А. Сравнительная характеристика некоторых микробиологических процессов, протекающих в различных участках литоральной зоны Южного Байкала // Продуктивность Байкала и антропогенные изменения его природы. Иркутск, 1974. С. 230–244.
20. Максимова Э.А., Максимов В.Н. Микробиология вод Байкала. Иркутск: ИГУ, 1989. 168 с.

21. Максимов В.В., Щетинина Е.В., Крайкивская О.В., Максимова Э.А. Реакция микробных сообществ Байкала на воздействие экстремальных температур // Микробиология. 2006. Т. 75. № 6. С. 1–6.
22. Марфенина О.Е. Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. М.: Наука, 1987. 189 с.
23. Наплекова Н.И., Булавко Г.И. Микробиоценозы почв при антропогенном воздействии. Новосибирск: Наука, 1985. 47 с.
24. Романенко В.И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. Л.: Наука, 1985. 295 с.
25. Романенко В.И., Кузнецов С.И. Экология микроорганизмов пресных водоемов. Лабораторное руководство. Л.: Наука, 1974. 189 с.
26. Сакевич А.И., Осипов Л.Ф., Тронько Н.И. Внеклеточные метаболиты и бактерии спутники синезеленых водорослей. Микробиол. журн. 1979. Т. 41. № 6. С. 640–644.
27. Сборник государственных стандартов. М., 1974. 70 с.
28. Тарасова Е.Н., Мещерякова А.И. Современное состояние гидрохимического режима оз. Байкал. Новосибирск: Наука, 1992. 143 с.
29. Утевский Н.А. Микробиология с техникой микробиологических исследований. М., 1965. С. 423.
30. Щетинина К.В., Крайкивская О.В. Многолетний микробиологический мониторинг состояния экосистемы Байкала в акватории Байкальского ЦБК: взгляд в будущее // Вестн. Бурятского ун-та. 2006. Спец. вып. С. 239–247.
31. Щетинина Е.В., Максимов В.В. Индикаторная роль сапрофитных микроорганизмов в системе речных и озерных вод Байкала // Проблемы экологии. Чтения памяти проф. М.М. Кожова. Иркутск, 1999. Ч. II. С. 73–75.
32. Щетинина Е.В., Максимов В.В., Глебова И.В. Бактериальное загрязнение вод Байкала: механизмы и период их полной элиминации // Матер. междунар. конф. “Первичная продукция водных экосистем”. Ярославль, 2004. С. 108–109.
33. Berland B.R., Borrin D.J., Maestrini S.V. Study of bacteria associated with marine algae in culture. Organic substrates supporting growth // Mar. Biol. 1970. V. 5. P. 68–77.
34. Carlson C.A., Ducklan U.W. Arowth of bacterioplankton and consuption of dissolved orgznic carbon in Sargasso Sea // Aguatic. Microl. Ecol. 1996. V. 10. P. 69–85.
35. Coffin R.B., Connolly J.P., Harris P.S. Availability of dissolved organic carbon to bacterioplankton examined by oxygen utilization // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1993.V. 101. P. 9–22.
36. Frontier S. Deversity and structure in aguatic ecosystems // Oceanogr. Ann. Mar. Biol. Rew. 1985. № 23. P. 253–312.
37. Jahnke R.A., Craven D.B. Quantifying the role of heterotrophic bacteria in the carbon cycle: a need for respiration rate measurements // Limnol. Oceanogr. 1995. V. 40. P. 436–441.
38. Porter K.G., Feig Y.S. The use of DAPI for identifying and counting aguatic microflora // Limnol. Oceanogr. 1980. V. 25. P. 943–947.
39. Straskrabova V., Izmest'yeva L.R., Maksimova E.A. et al. Primary production and microbial activity in euphotic zone of Lake Baikal (Southen basin) during late winter // Global and Planetary Change. 2005. V. 46. P. 57–73.