

**А.С. ГОРШКОВА, В.В. МАЛЬНИК, Т.Я. КОСТОРНОВА,
Н.В. ПОТАПСКАЯ, О.А. ТИМОШКИН**

Лимнологический институт СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, Россия,
kovadlo@yandex.ru, malnik80@mail.ru, kostornovat@mail.ru, potapskaya@lin.irk.ru, tim@lin.irk.ru.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАКТЕРИЙ — ИНДИКАТОРОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ЗАПЛЕСКОВОЙ ЗОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Исследовано распространение фекальных индикаторных бактерий и культивируемых гетеротрофных микроорганизмов в интерстициальных водах зоны заплеска и прибрежных водах оз. Байкал в 2011–2019 гг. Общепринятые индикаторы фекального загрязнения — термотолерантные колиформные бактерии и фекальные энтерококки — использовались для отслеживания поступления сточных вод в заплесковую зону оз. Байкал. Отбор проб проводился по всему периметру озера с более подробным анализом бухты Большие Коты и пос. Листвянка. Все станции отбора проб были разделены на три группы. В первую группу вошли станции с плотно прилегающей к берегу застройкой частного сектора, ко второй группе отнесены населенные пункты, расположенные далее 500 м от берега оз. Байкал, либо участки с небольшим уровнем туристического кемпинга, в третью группу — станции дикой природы. Установлены статистически значимые различия между исследуемыми группами. Зона заплеска первой группы содержала большее количество фекальных индикаторных бактерий по сравнению с зоной заплеска второй группы. Для третьей группы установлены самые низкие количества фекальных индикаторных бактерий. Количество культивируемых гетеротрофных микроорганизмов не различалось в зоне заплеска у различных по антропогенной нагрузке участков береговой зоны озера. Обнаружено неравномерное распределение фекальных индикаторных бактерий как в зоне заплеска, так и в прибрежных водах. Показана четкая тенденция увеличения концентрации исследованных групп бактерий в интерстициальных водах зоны заплеска по сравнению с прибрежными водами.

Ключевые слова: термотолерантные колиформные бактерии, энтерококки, прибрежная зона оз. Байкал, интерстициальные воды, культивируемые гетеротрофные микроорганизмы.

**A.S. GORSHKOVA, V.V. MAL'NIK, T.Ya. KOSTORNOVA,
N.V. POTAPSKAYA, O.A. TIMOSHKIN**

Limnological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 3, Russia,
kovadlo@yandex.ru, malnik80@mail.ru, kostornovat@mail.ru, potapskaya@lin.irk.ru, tim@lin.irk.ru

DISTRIBUTION OF BACTERIA AS THE POLLUTION INDICATORS IN THE SPLASH ZONE OF LAKE BAIKAL

We investigated the distribution of fecal indicator bacteria (FIB) and cultivated heterotrophic microorganisms in the interstitial waters of the splash zone and in the surface waters of for the time interval 2011–2019. Generally accepted indicators of fecal contamination, such as thermotolerant coliform bacteria and fecal enterococci, were used to monitor input of wastewater into the splash zone of Lake Baikal. Samples were collected along the entire perimeter of Lake Baikal, and a more detailed analysis was made for Bolshie Koty Bay and the settlement of Listvyanka. The sampling stations were all subdivided into three groups. The first group consisted of stations with adjacent buildings of the private sector; the second group included settlements located more than 500 m from the shore of Lake Baikal or sites with a low level of tourist camping, and the third group consisted of wildlife stations. Statistically significant differences between the groups under study were revealed. The splash zone of the first group contained a larger amount of FIB when compared with the splash zone of the second group. The third group showed the lowest values of the amount of fecal indicator bacteria. The number of cultivated heterotrophic microorganisms did not differ in the splash zone for the sections of the lake's coastal zone differing by anthropogenic loads. An uneven distribution of FIB was observed in the splash zone as well as in coastal waters. A clear trend for an increase in concentration of the groups of bacteria under study was revealed in the interstitial waters of the splash zone when compared with coastal waters.

Keywords: thermotolerant coliforms, enterococci, coastal area of Lake Baikal, interstitial water, cultivated heterotrophic organisms.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в прибрежных водах озера Байкал наблюдаются резкие экологические изменения. Их самое яркое проявление — это не наблюдаемое ранее обильное развитие нетипичных для Байкала видов водорослей [1]. Изучение причин наблюдаемой эвтрофикации представляет огромный интерес. Одним из факторов эвтрофикации прибрежных вод может быть нецентрализованное поступление сточных вод за счет разгрузки грунтовых вод [2] и поверхностного стока, формирующегося ливневыми потоками [3]. Различные рассредоточенные источники сточных вод могут попадать в зону заплеска, а затем и в прибрежные воды [4, 5]. Заплесковая зона — это зона потока заплеска волн, т. е. участок пляжа с прерывистым потоком воды, ограниченный максимальным накатом волн и границей их обратного потока. Наиболее характерная особенность заплеска — это существование динамической обстановки с высокой энергией движения водной толщи и большими скоростями потока при малой его глубине [6]. Рециркуляция водной массы, вызванная волнами, увеличивает перемешивание между прибрежными и грунтовыми водами и, по модельным подсчетам, может достигать половины от общей массы разгрузки грунтовых вод в прибрежные воды [7]. Наличие и глубина залегания капиллярной каймы, т. е. слоя грунта над водоносным горизонтом, куда просачивается вода и заполняет поры, оказывает основное влияние на гидродинамику пляжных грунтовых вод [8]. Воды, заполняющие капилляры между частицами пляжного грунта (интерстициальные воды), представляли собой объект нашего исследования.

Отследить поступление нецентрализованных сточных вод можно с использованием такого показателя, как фекальные индикаторные бактерии (ФИБ). В 2009 г. мы начали междисциплинарное изучение зоны заплеска в заливе Лиственничном и бухте Большие Коты [9]. В пробах воды определяли термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ) и фекальные энтерококки (ЭНТ) — это группы, объединяющие виды бактерий, обитающие в кишечнике теплокровных животных. Обнаружение их в природной среде с высокой вероятностью означает наличие фекального загрязнения [10]. Первые фрагментарные данные указывали на обилие этих бактерий в интерстициальных водах заплесковой зоны [9, 11].

Цель данной работы — изучение распределения ФИБ в заплесковой зоне оз. Байкал.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Мы поделили все станции отбора проб на оз. Байкал на три группы. В первую из них вошли станции из зоны заплеска, к которой прилегает плотная застройка частного сектора на расстоянии 30–150 м от берега. Вторую группу станций составляли населенные пункты, находящиеся от 500 м и далее от берега, и станции со слабой степенью застройки и плотностью туристического кемпинга. Здесь была отобрана большая часть проб. Третья группа — станции на территориях, не освоенных человеком, участки дикой природы. В данной работе представлены результаты исследования проб, отобранных за период 2011–2019 гг. (табл. 1, рис. 1).

Пробы интерстициальной и поверхностной воды отбирались в трехкратной повторности стерильным шприцом объемом 150 мл в стерильные емкости. Выбирались чистые участки побережья, свободные от береговых скоплений детрита. Прочие особенности отбора проб охарактеризованы в предыдущей публикации [9]. Для микробиологического анализа использовалась вода, набирающаяся в лунки глубиной 30–50 см, сформированные в 1 м выше уреза воды во время штиля. Во время ветреной и штормовой погоды, когда имеется волнение, участок, где отбиралась проба, подвержен влиянию волн. Прибрежные воды отбирались с поверхности на небольшом расстоянии от берега, где глубина не превышала 1,5 м.

Для того чтобы оценить равномерность распределения изучаемых микроорганизмов на небольшом участке береговой линии (15 м²), был выбран пляж в центре пос. Листвянка. Во время отбора проб высота волн составляла 0,5 м. Первый ряд лунок был сделан на линии в 50 см от границы, которую достигали волны. Второй ряд лунок был сделан в 1 м от первого ряда по направлению к поселку.

Образцы воды пропускали через нитроцеллюлозные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм. Фильтры помещали на селективные питательные среды. Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ) определяли и учитывали согласно методическим рекомендациям. Пробы из лунок с большим количеством взвешенных частиц учитывали на жидкой среде с лактозой методом десятикратных разведений [10].

Таблица 1

Станции отбора проб

Группа	Станция отбора	Дата отбора проб	Координаты
1	2	3	4
Станции отбора проб с плотно прилегающей застройкой на расстоянии 30–150 м от берега	пос. Култук	Июнь 2013 г.	51°43,396' с. ш. 103°42,996' в. д.
	пос. Сахюрта	Июнь 2013 г.	53°01,092' с. ш. 106°5,280' в. д.
	пос. Максимиha	Июнь 2013 г.	53°16,275' с. ш. 108°42,878' в. д.
	г. Нижнеангарск	Июнь 2013 г.	55°46,167' с. ш. 109°33,376' в. д.
	пос. Листвянка	Сентябрь 2011 г. Апрель 2012 г. Май 2012 г. Июль 2012 г. Сентябрь 2012 г. Ноябрь 2012 г. Ноябрь 2013 г. Май 2016 г. Август 2016 г. Май 2019 г.	51°50'42,9' с. ш. 104°52'30,8' в. д. 51°51'01,8' с. ш. 104°52'04,9' в. д. 51°52'05,4' с. ш. 104°49'48,2' в. д.
Станции отбора проб с населенными пунктами, отдаленными более чем на 500 м от берега, и места с небольшой плотностью туристического кемпинга	г. Северобайкальск	Июнь 2013 г.	55°38,741' с. ш. 109°22,042' в. д.
	бухта Большие Коты	Июнь 2011 г.	51°53'56' с. ш.
		Июль 2011 г.	105°7'24' в. д.
		Сентябрь 2011 г.	51°53,995' с. ш.
		Июнь 2012 г.	105°03,809' в. д.
		Июль 2012 г.	51°53'19,3' с. ш.
		Сентябрь 2012 г.	105°02'17,3' в. д.
		Июнь 2013 г.	
	Июль 2013 г.		
	Август 2013 г.		
Сентябрь 2013 г.			
Май 2016 г.			
Август 2016 г.			
г. Байкальск	Июнь 2013 г.	51°31,634' с. ш. 104°51,588 в. д. 51°31,310' с. ш. 104°11,179' в. д. 51°31,266' с. ш. 104°11,241' в. д.	
У пос. Култук	Июнь 2013 г.	51°43,177' с. ш. 103°42,750' в. д.	
пос. Бугульдейка	Июнь 2013 г.	52°31,754' с. ш. 106°03,620' в. д.	
		52°32,005' с. ш. 106°04,000' в. д.	
пос. Хужир	Июнь 2013 г.	53°11,567' с. ш. 107°19,803' в. д.	
пролив Малое Море	Июнь 2013 г.	53°03,224' с. ш. 106°47,047' в. д.	
		53°05,656' с. ш. 106°58,437' в. д.	

Окончание табл. 1

1	2	3	4
Станции отбора проб с населенными пунктами, отдаленными более чем на 500 м от берега, и места с небольшой плотностью туристического кемпинга	пос. Монахово	Июнь 2013 г.	53°39,941' с. ш. 109°00,004' в. д.
	пос. Байкальское	Июнь 2013 г.	55°21.507' с. ш. 109°12,120' в. д.
Станции отбора проб в местах дикой природы	Ушканьи острова	Июнь 2011 г.	53°51,107' с. ш. 108°39,395' в. д.
	полигон Березовый	Июнь 2013 г.	51°50,8166' с. ш. 104°54,1596' в. д.
	мыс Елохин	Июнь 2014 г.	54°32,483' с. ш. 108°39,678' в. д.

Численность фекальных энтерококков определяли методом мембранной фильтрации с последовательным использованием селективного агара Slanetz and Bartley Medium («Himedia» № M612), а затем Bile Esculine Azide Agar («Himedia» № M493).

Культивируемые гетеротрофные микроорганизмы, или культивируемые гетеротрофы (КГ), — важный показатель в водной микробиологии. Концентрация КГ строго соответствует различному трофическому статусу водоемов [12]. В олиготрофных водоемах она, соответственно, ниже, чем в эвтрофных. Гетеротрофные микроорганизмы культивировали на рыбо-пептонном агаре (РПА/10) при комнатной температуре в течение 7 сут [13].

Полученные данные проверяли на нормальность распределения. Различия между двумя выборками анализировали с помощью непараметрического критерия Манна–Уитни в STATISTICA 8.0.



Рис. 1. Станции отбора проб в период 2011–2019 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительное изучение КГ, ТКБ, ЭНТ в интерстициальных водах зоны заплеска и в прибрежных водах. Гетеротрофные микроорганизмы составляют основу естественного микробного сообщества в зоне заплеска и прибрежных водах. Однако их концентрация в поровых водах грунта пляжа выше, чем в прибрежных водах озера. На основе анализа проб различных участков береговой зоны по всему периметру озера Байкал (см. рис. 1) можно сделать вывод, что количество культивируемых гетеротрофных микроорганизмов в интерстициальных водах зоны заплеска выше, чем в прибрежных (табл. 2). Таким образом, интерстициальные воды зоны заплеска характеризуются более интенсивными микробиологическими процессами разложения органического вещества и более высоким трофическим уровнем, чем воды прибрежные. Химический анализ исследуемых образцов также подтвердил четкую разнородность поровых вод зоны заплеска и прибрежных вод озера [14].

ФИБ в целом, несмотря на неравномерное распределение, в прибрежных водах также были менее многочисленны, чем в интерстициальных водах зоны заплеска (см. табл. 2). Такую же тенденцию наблюдали и при изучении интерстициальных и прибрежных вод на озере Гурон (Канада). Количество кишечной палочки (*Escherichia coli*) (доминирующий вид ТКБ) в интерстициальных водах колебалось от 1×10^2 до 6×10^5 КОЕ/100 мл, тогда как в прибрежных водах — от 7×10^1 до 3×10^2 КОЕ/100 мл [15].

Пространственное распределение КГ и ТКБ в зоне заплеска на участке 15 м². Изучение небольшого участка пляжа показало, что лунки первого ряда, более близкого к урезу воды, заполнились водой более прозрачной, чем лунки второго ряда, сделанные дальше от уреза. Оказалось, что в ближнем к озеру ряду лунок количество КГ и ТКБ было ниже, чем во втором (табл. 3).

Полученные данные говорят о том, что даже на небольшом участке зоны заплеска, в зависимости от удаленности от уреза воды, концентрации КГ, ТКБ варьируют очень значительно. Также видно, что чем ближе к берегу, тем больше интерстициальные воды разбавлены байкальскими. Интересно отметить, что повышение концентрации ФИБ в направлении от озера к берегу наблюдали и в одном из исследований на оз. Эри [16], однако обратная тенденция была выявлена при изучении небольшого участка пляжа оз. Гурон [15].

Распределение ФИБ в зоне заплеска и прибрежных водах с разной антропогенной нагрузкой. Мы предполагали, что в интенсивно освоенных человеком местах на побережье оз. Байкал грунтовые воды загрязнены неочищенными хозяйственно-бытовыми стоками из-за отсутствия адекватной современной системы их очистки. Так как большое количество населенных пунктов и рекреационных зон расположены в непосредственной близости к озеру, это, возможно, сказывается на загрязнении его зоны заплеска.

Таблица 2

Количество КГ, ТКБ, ЭНТ в зоне заплеска и прибрежных водах озера Байкал в 2011–2019 гг.

Вид ФИБ	Кол-во проб	Место отбора	Среднее ± стандартное отклонение	Минимум	Максимум
ТКБ, $\times 10^2$ КОЕ/100 мл	76	Зона заплеска	$6,3 \pm 22$	0	150
	115	Прибрежные воды	$0,12 \pm 0,3$	0	3
ЭНТ, $\times 10^2$ КОЕ/100 мл	76	Зона заплеска	$9,2 \pm 15$	0	50
	114	Прибрежные воды	$0,28 \pm 0,3$	0	2,5
КГ, $\times 10^3$ КОЕ/1 мл	71	Зона заплеска	35 ± 57	3,2	340
	113	Прибрежные воды	$0,6 \pm 1,5$	0	12

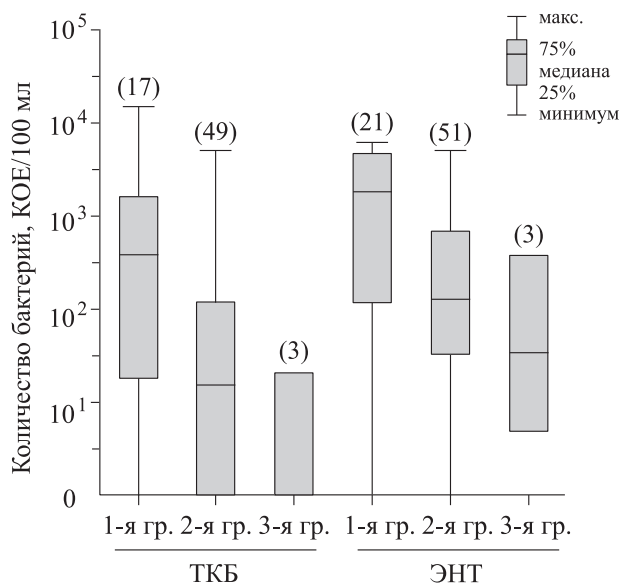
Таблица 3

Распределение КГ, ТКБ в зоне заплеска на участке 15 м²

Место отбора проб	Количество, КОЕ/мл					
	культивируемых гетеротрофных микроорганизмов ± стандартное отклонение			термотолерантных колиформных бактерий ± стандартное отклонение		
	1-я лунка	2-я лунка	3-я лунка	1-я лунка	2-я лунка	3-я лунка
2-й ряд лунок	5600 ± 210	4100 ± 120	$10\ 400 \pm 230$	7000 ± 563	1100 ± 362	$11\ 000 \pm 362$
1-й ряд лунок	640 ± 63	1080 ± 78	1280 ± 79	13 ± 9	81 ± 36	66 ± 58
Прибрежные воды		140 ± 26			50 ± 23	

Рис. 2. Диаграмма Box-Whisker. Сравнение численности ФИБ в зоне заплеска на различных по антропогенному влиянию участках озера Байкал.

1-я группа — станции отбора проб с прилегающей плотной застройкой на расстоянии 30–150 м; 2-я группа — станции отбора проб с населенными пунктами, отдаленными более чем на 500 м от берега, и места с небольшой плотностью туристического кемпинга; 3-я группа — станции отбора проб в местах дикой природы на побережье оз. Байкал. В скобках обозначено количество станций отбора проб.



На рис. 2 графически отражено распределение ФИБ в заплесковой зоне оз. Байкал в зависимости от освоенности человеком той или иной части береговой линии. Во-первых, видно крайне неравномерное распределение ФИБ в заплесковой зоне. Так как эти бактерии не представляют собой естественную составляющую природного микробного сообщества, то одна из причин данного явления — это, вероятно, неравномерный характер привнесения данной группы бактерий в грунтовые воды прибрежной области. В похожем исследовании на одном популярном пляже оз. Эри пробы воды отбирались таким же способом, что и в данной работе [16]. Концентрация кишечной палочки — доминирующего представителя ТКБ — в интерстициальных водах заплесковой зоны варьировала также в очень широком диапазоне. В один и тот же день отбора на 200-метровом пляже в четырех точках концентрация могла различаться на два порядка [15]. Работа по изучению интерстициальных вод зоны заплеска на оз. Гурон (Канада) также выявила неравномерный характер распределения ФИБ. Исследования проходили на участке пляжа, окруженного преимущественно фермами по разведению домашнего скота. Концентрация кишечной палочки на участке примерно 1 км в 9 лунках в один и тот же день различалась на порядки и насчитывала сотни, тысячи и сотни тысяч колоний в 100 мл. Авторы отмечали, что повышенные значения концентрации кишечной палочки они получили на участках скопления птиц. Примечательно также и то, что в каждой лунке был свой генетический профиль кишечной палочки с высокой степенью гомологии (более 90 %), а уровень генетической гомологии между пробами из отдельных лунок составил 65–85 % [15].

Во-вторых, из данных рис. 2 следует, что ФИБ в интерстициальных водах зоны заплеска более многочисленны у первой группы станций отбора проб. Культивируемые гетеротрофные микроорганизмы в первой и второй группах станций отбора проб не имели статистически значимых различий в численности ($p = 0,75$, при уровне значимости $p < 0,05$, критерий Манна–Уитни), в отличие от ТКБ ($p = 0,016$) и ЭНТ ($p = 0,047$). Гетеротрофы представляют собой естественную составляющую природного микробного сообщества в отличие от фекальных бактерий, привносимых извне в природную среду. Поэтому появляются основания полагать, что на фоне относительно равномерного распределения микроорганизмов естественной природной среды в зоне заплеска выявленные повышенные концентрации ФИБ в местах, приуроченных к жизнедеятельности человека, имеют антропогенное происхождение.

В ненарушенной береговой зоне (третья группа проб) концентрация ФИБ оказалась ниже, чем у населенных пунктов и в местах активной рекреации. Однако сравнение было сделано при анализе небольшой выборки проб со станций, недоступных для массового посещения.

Количество ФИБ в зоне заплеска бухты Большие Коты оказалось меньше, чем в пос. Листвянка (табл. 4). Выявлены значимые различия, полученные для термотолерантных колиформных бактерий. Бухта Большие Коты и зал. Лиственничный, где расположен пос. Листвянка, находятся на схожих природных территориях, в пределах одной ландшафтно-экологической единицы, на расстоянии всего 20 км друг от друга. Однако поселки Листвянка и Большие Коты существенно различаются как по количеству домов, постоянных резидентов и гостиниц, так и по числу посетителей и туристов. Листвянка — самое доступное для туризма место на оз. Байкал, так как поселок соединен с Иркутском качественной автотрассой, а пос. Большие Коты не имеет никакого сообщения, кроме водного, что

Таблица 4

Распределение ФИБ в пос. Листвянка и в бухте Большие Коты

Место отбора проб	Даты отбора проб	Зона заплеска ×10 ² КОЕ/100 мл, среднее ± стандартное отклонение		Прибрежные воды, ×10 ² КОЕ/100 мл, среднее ± стандартное отклонение	
		ТКБ	ЭНТ	ТКБ	ЭНТ
пос. Листвянка	Апрель, май, июль, сентябрь, ноябрь 2012 г., ноябрь 2013 г., май, август 2016 г., май 2019 г.	31 ± 48	20 ± 20	0,2 ± 0,2	0,09 ± 0,2
бухта Большие Коты	Июнь, июль, сентябрь 2011 г., июль, сентябрь 2012 г., июль, июль 2013 г.	8 ± 16	5 ± 7	0,02 ± 0,07	0,06 ± 0,1

закономерно отражается на экологическом состоянии побережья этих населенных пунктов. Следует также отметить, что в прибрежных водах пос. Листвянка в среднем также оказалось больше ТКБ, чем в бухте Большие Коты ($p = 0,035$), но для энтерококков различия были не столь значительные ($p = 0,8$). Впрочем, распределение энтерококков в прибрежных водах в целом по Байкалу не показало четкой взаимосвязи между различными станциями отбора проб, но такая взаимосвязь прослеживалась для ТКБ. Так, например, в прибрежных водах у первой и второй групп станций отбора проб выявлены различия не только в интерстициальных водах, но и в прибрежных ($p = 0,004$). Различия между второй и третьей группами по количеству ТКБ в прибрежных водах были менее значительными ($p = 0,087$), а энтерококки вовсе не различались.

Ранее в рамках мониторинговых наблюдений озера и работ по определению условно-патогенных бактерий установлено, что поверхностные воды Байкала в непосредственной близости от некоторых населенных пунктов в летний период могли содержать значительные количества бактерий группы кишечных палочек (БГКП) — общих колиформных бактерий [17]. В 1997–2000 гг. проводилось исследование по выявлению бактерий семейства энтеробактерий (Enterobacteriaceae) по всему Байкалу в литоральных и пелагиальных его областях поверхностных вод, а также в устьях рек. В летний пери-

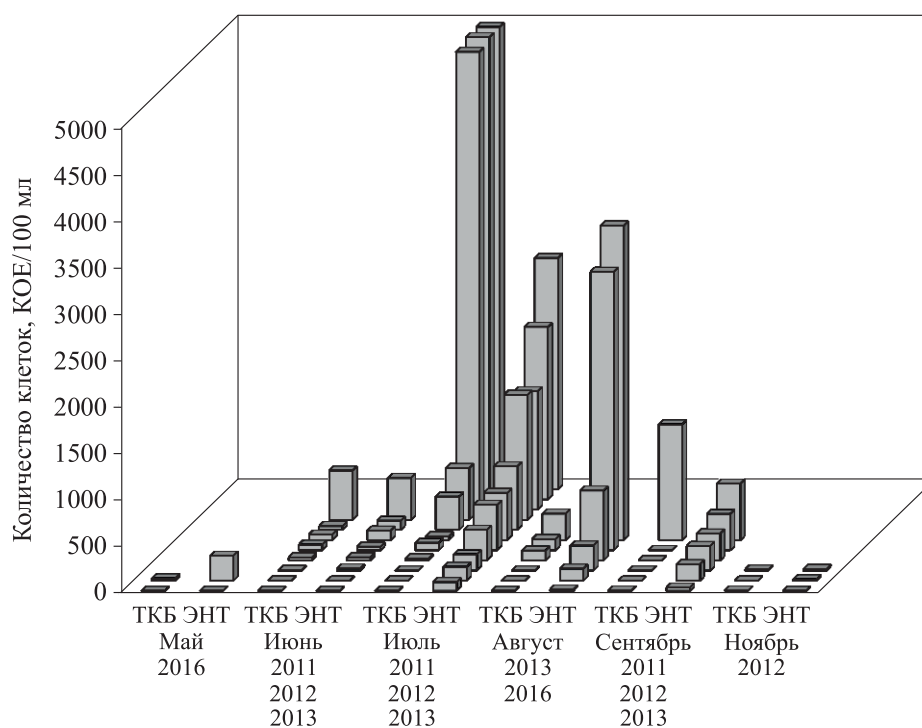


Рис. 3. Изменения численности ФИБ в летне-осенний период в бухте Большие Коты в 2011–2016 гг.

од было отмечено влияние зон рекреации, населенных пунктов и судоходства на присутствие потенциально патогенных бактерий в водах оз. Байкал [18, 19].

Изменения в численности ТКБ, ЭНТ в зоне заплеска на станциях периодических наблюдений. Для понимания временного распределения ФИБ были проведены измерения в пробах, отобранных на одних и тех же станциях, но в разные месяцы на протяжении нескольких лет. На рис. 3 представлены результаты таких наблюдений в бухте Большие Коты. Большая часть проб была отобрана в летние месяцы. Измерения проводили в районе стационара Лимнологического института, в пади Чёрная, расположенной в 3 км юго-западнее вдоль берега от пос. Большие Коты, пади Варначка, находящейся в 3,5 км северо-восточнее пос. Большие Коты, а также в районе причала поселка и бухты Пещерка. На графике приведены обобщенные данные по численности энтерококков и термотолерантных колиформных бактерий. Максимальные значения ФИБ в зоне заплеска регистрировались в июле и августе (по сравнению с другими месяцами с мая по ноябрь).

Многочисленные рандомизированные измерения также проводились в пос. Листвянка на станции в центре поселка напротив почтового отделения и напротив здания нерпинария (апрель, май, июль, сентябрь, ноябрь 2012 г., ноябрь 2013 г., май, август 2016 г., май 2019 г.). Количество ТКБ напротив здания почты составило в среднем $(5 \pm 6) \times 10^3$ КОЕ/100 мл, у нерпинария — $(0,7 \pm 1) \times 10^3$ КОЕ/100 мл; энтерококки у почты насчитывали в среднем $(2 \pm 2,1) \times 10^3$ КОЕ/100 мл, а у нерпинария — $(1 \pm 1,8) \times 10^3$ КОЕ/100 мл. Большая часть проб была взята в мае и ноябре, и явных различий в численности ФИБ не обнаружено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данное исследование представляет собой первую попытку изучения закономерности распространения как автохтонных микроорганизмов (КГ), так и аллохтонных (ТКБ и ЭНТ) в заплесковой зоне оз. Байкал. Полученные данные показали сложный характер факторов, обуславливающих распространение ФИБ. Прежде всего, выявлен неравномерный характер распределения ФИБ в интерстициальных водах. Также важно, что наблюдалась взаимосвязь между пунктом отбора проб и количеством ФИБ как в интерстициальных, так и прибрежных водах. Особенно наглядно это прослеживалось при сравнении количества термотолерантных колиформных бактерий в зоне заплеска и в прибрежных водах разных по степени освоенности частей береговой линии озера. Сравнение данных многократных наблюдений, полученных за несколько лет в бухте Большие Коты и в пос. Листвянка, подтверждает этот вывод. Проведенная работа дает основательную базу для дальнейших фундаментальных исследований в области гидробиологии заплесковой зоны. Выявленные особенности распространения санитарно-показательных бактерий указывают на необходимость исследований, направленных на определение антропогенной составляющей в загрязнении озера Байкал.

Пока поверхностные воды мелководной части Байкала в целом остаются чистыми, а глубинная вода может использоваться как питьевая, но при неправильном рекреационном пользовании мы можем столкнуться с нежелательными последствиями в виде загрязнения воды за пределами литоральной зоны. Кроме того, хозяйственно-бытовые стоки, поступающие в Байкал из населенной прибрежной части, обычно обогащены биогенными элементами, что является причиной эвтрофикации и массового развития макроводорослей [1]. Качество межгрунтовых вод также необходимо оценивать и контролировать, поскольку грунты (галечные, песчаные и др.) служат фильтром, предохраняющим воду от попадания в нее различных бактерий, в том числе патогенных, поступающих с грунтовыми водами, а качество поровой воды является индикатором, указывающим на неблагоприятную санитарно-бактериологическую обстановку в том или ином районе озера.

Работа выполнена в рамках государственного задания Лимнологического института СО РАН № 0345–2019–0009.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Timoshkin O.A., Samsonov D.P., Yamamuro M., Moore M.V., Belykh O.I., Malnik V.V., Sakirko M.V., Shirokaya A.A., Bondarenko N.A., Domysheva V.M., Fedorova G.A., Kochetkov A.I., Kuzmin A.V., Lukhnev A.G., Medvezhonkova O.V., Nepokrytykh A.V., Pasyukova E.M., Poberezhnaya A.E., Potapskaya N.V., Rozhkova N.A., Shevelova N.G., Tikhonova I.V., Timoshkina E.M., Tomberg I.V., Volkova E.A., Zaitseva E.P., Zvereva Y.M., Kupchinsky A.B., Bukshuk N.A. Rapid ecological change in the coastal zone of Lake Baikal (East Siberia): Is the site of the world's greatest freshwater biodiversity in danger? // Journ. of Great Lakes Research. — 2016. — N 42. — P. 487–497.

2. Timoshkin O.A., Moore M.V., Kulikova N.N., Tomberg I.V., Malnik V.V., Shimaraev M.N., Troitskaya E.S., Shirokaya A.A., Sinyukovich V.N., Zaitseva E.P., Domysheva V.M., Yamamuro M., Poberezhnaya A.E., Timoshkina E.M. Groundwater contamination by sewage causes benthic algal outbreaks in the littoral zone of Lake Baikal (East Siberia) // Journ. of Great Lakes Research. — 2018. — N 44. — P. 230–244.
3. Parker J.K., McIntyre D., Noble R.T. Characterizing fecal contamination in stormwater runoff in coastal North Carolina, USA // Water Research. — 2010. — Vol. 44, N 14. — P. 4186–4194.
4. Ge Z., Whitman R.L., Nevers M.B., Phanikumar M.S. Wave-induced mass transport affects daily *Escherichia coli* fluctuations in nearshore water // Environ. Sci. Technol. — 2012. — N 46. — P. 2204–2211.
5. Yamahara K.M., Sassoubre L.M., Goodwin K.D., Boehm A.B. Occurrence and persistence of bacterial pathogens and indicator organisms in beach sand along the California coast // Appl. Environ. Microbiol. — 2012. — Vol. 78, N 6. — P. 1733–1745.
6. Долотов Ю.С. Динамические обстановки прибрежно-морского рельефообразования и осадконакопления. — М.: Наука, 1989. — 269 с.
7. Xin P., Robinson C., Li L., Barry D.A., Bakhtyar R. Effects of wave forcing on a subterranean estuary // Water Resour. Res. — 2010. — Vol. 46, N 12. — P. 1–17.
8. Horn D.P. Measurements and modeling of beach groundwater flow in the swash-zone: a review // Continental Shelf Research. — 2006. — Vol. 26, N 5. — P. 622–652.
9. Тимошкин О.А., Сутурин А.Н., Куликова Н.Н., Рожкова Н.А., Шевелева Н.Г., Оболкина Л.А., Домышева В.М., Зайцева Е.П., Мальник В.В., Максимова Н.В., Томберг И.В., Непокрытых А.В., Широкая А.А., Лухнев А.Г., Попова О.В., Потапская Н.В., Вишняков В.С., Волкова Е.А., Зверева Ю.М., Логачёва Н.Ф., Сакирко М.В., Косторнова Т.Я. Биология прибрежной зоны озера Байкал. Сообщ. 1: Заплесковая зона: первые результаты междисциплинарных исследований, важность для мониторинга экосистемы // Изв. Ирк. ун-та. Сер. Биология. Экология. — 2011. — Т. 4, № 4. — С. 75–110.
10. Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов. Методические указания. МУК 4.2.1884-04, 2004. [Электронный ресурс]. — <https://files.stroyinf.ru/Data1/45/45900/> (дата обращения 25.10.2018).
11. Тимошкин О.А., Вишняков В.С., Волкова Е.А., Широкая А.А., Куликова Н.Н., Зайцева Е.П., Лухнев А.Г., Попова О.В., Томберг И.В., Потапская Н.В., Зверева Ю.М., Мальник В.В., Бондаренко Н.А., Рожкова Н.А., Оболкина Л.А., Шевелева Н.Г., Косторнова Т.Я., Сутурин А.Н., Непокрытых А.В., Сайбаталова Е.В., Логачёва Н.Ф. Биология прибрежной зоны озера Байкал. Сообщ. 2: Береговые скопления заплесковой зоны: классификация, сезонная динамика количественных и качественных показателей их состава // Изв. Ирк. ун-та. Сер. Биология. Экология. — 2012. — Т. 5, № 1. — С. 40–91.
12. Жукинский В.Н., Оксий О.П., Олейник Г.Н., Кошелева С.И. Принципы и опыт построения экологической классификации качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. — 1981. — Т. 17, № 2. — С. 38–39.
13. Горбенко Ю.А. О наиболее благоприятном количестве сухого питательного агара в средах для культивирования морских микроорганизмов // Микробиология. — 1961. — Т. 30, № 1. — С. 168–172.
14. Томберг И.В., Сакирко М.В., Домышева В.М., Сезько Н.П., Лопатина И.Н., Башенхаева Н.В., Филевич Е.А., Куликова Н.Н., Попова О.В., Мальник В.В., Лухнев А.Г., Зайцева Е.П., Потапская Н.В., Зверева Ю.М., Тимошкин О.А. Первые сведения о химическом составе интерстициальных вод заплесковой зоны озера Байкал // Изв. Ирк. ун-та. Сер. Биология. Экология. — 2012. — Т. 5, № 1. — С. 64–74.
15. Kon T., Weir S.C., Howell E.T., Lee H., Trevors J.T. Genetic relatedness of *Escherichia coli* isolates in interstitial water from a Lake Huron (Canada) beach // Appl. Environ. Microbiol. — 2007. — Vol. 73, N 6. — P. 1961–1967.
16. Francy D.S., Gifford A.M. *Escherichia coli* in the swash zone at four Ohio bathing beaches. USGS Fact Sheet FS-134-02, 2002 [Электронный ресурс]. — <https://pubs.usgs.gov/fs/2002/0134/report.pdf> (дата обращения 25.10.2018)
17. Парфёнова В.В., Павлова О.Н., Кравченко О.С., Косторнова Т.Я., Никулина И.Г., Томберг И.В., Иванов В.Г., Мейер Й., Джайгер Д., Фикель Я., Баксман Т., Обст У. Изучение локального антропогенного влияния на горизонтальное и вертикальное распределение микроорганизмов в воде оз. Байкал // Гидробиол. журн. — 2009. — Т. 45, № 2. — С. 51–62.
18. Панасюк Е.Ю., Дрюккер В.В., Парфёнова В.В., Косторнова Т.Я. Биоразнообразие и распределение бактерий семейства Enterobacteriaceae и неферментирующей группы в озере Байкал // Сиб. экол. журн. — 2002. — № 4. — С. 485–490.
19. Дрюккер В.В., Косторнова Т.Я., Моложавая О.А., Афанасьев В.А. Оценка качества воды оз. Байкал по санитарно-бактериологическим показателям // География и природ. ресурсы. — 1993. — № 1. — С. 60–64.

Поступила в редакцию 17.08.2018

После доработки 08.11.2018

Принята в печать 25.12.2019