

ГИДРОХИМИЯ, ГИДРОБИОЛОГИЯ,
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 502.3:658.597.622.33

**АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ
И САНИТАРНО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
ВОДЫ В ПРИТОКАХ ЮЖНОГО БАЙКАЛА (зал. ЛИСТВЕННИЧНЫЙ)¹**

© 2019 г. В. В. Мальник^{1,*}, О. А. Тимошкин¹, А. Н. Сутурин¹, Н. А. Онищук¹,
М. В. Сакирко¹, И. В. Томберг¹, А. С. Горшкова¹, Н. С. Забанова²

¹Лимнологический институт СО РАН
Россия 664033 Иркутск

²Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
Россия 664033 Иркутск
*e-mail: malnik80@mail.ru

Поступила в редакцию 11.04.2017 г.

После доработки 03.04.2018 г.

Принята к публикации 09.04.2018 г.

Проведено санитарно-бактериологическое и гидрохимическое обследование рек, впадающих в оз. Байкал в районе пос. Листвянка, за период с 2014 по 2015 г. Выяснено, что качество воды в устьях рек Большая Черемшанка, Малая Черемшанка и Каменушка не соответствовало критериям нормативно-технической документации, принятой в России, а также за рубежом (в США и Европе) по таким показателям, как термотолерантные колиформные бактерии, *E. coli*, фекальные энтерококки. По гидрохимическим показателям, таким как фосфаты, качество воды в устьях рек Большая Черемшанка, Малая Черемшанка и Каменушка также не соответствовало нормативам, принятым в России. В прибрежной воде оз. Байкал в районе устья р. Большая Черемшанка в июле (пик туристического сезона) 2015 г. норматив по группе термотолерантных колиформных бактерий (ТКБ) был превышен более чем в 10 раз. Таким образом, согласно проведенным исследованиям, можно заключить, что качество воды, отобранной в устьях рек, значительно хуже качества воды участков рек, протекающих выше поселка. Более того, в июле, когда заметно увеличивается рекреационная нагрузка, отмечается и резкое различие количества определяемых бактерий в водах устьев рек в пределах поселка и в пробах воды, отобранных выше по течению (фоновые точки). Выполнен гидрохимический и санитарно-бактериологический анализ прибрежной воды оз. Байкал в местах впадения рек и сделан вывод о влиянии речных вод на качество прибрежной байкальской воды.

Ключевые слова: Южный Байкал, притоки, фекальные индикаторные бактерии, гидрохимические показатели, биогенные элементы.

DOI: 10.31857/S0321-0596465533-543

ВВЕДЕНИЕ

Объектом исследования были южная часть оз. Байкал (южный Байкал), расположенного в Восточной Сибири, а также притоки озера, впадающие в районе пос. Листвянка и зал. Лиственничного (рис. 1). В падах пос. Листвянка протекают руч. Банный и пять рек: Большая Черемшанка (Б. Черемшанка), Малая Черемшанка

(М. Черемшанка), Каменушка, Сенная и Крестовка – самая многоводная из них.

Пос. Листвянка расположен примерно в 60 км юго-восточнее г. Иркутска на северо-западном берегу оз. Байкал у истока р. Ангары и простирается у зал. Лиственничного от м. Рогатка до м. Лиственничный на 5 км. Береговая зона открытого зал. Лиственничного представлена каменистыми пляжами. Численность населения

¹ Гидрохимические исследования выполнены в рамках государственного задания (тема 0345-2019-0008 “Оценка и прогноз экологического состояния озера Байкал и сопряженных территорий в условиях антропогенного воздействия и изменения климата”); микробиологические исследования выполнены в рамках государственного задания (темы 0345-2019-0009 “Крупномасштабные изменения в экологии и биоразнообразии сообществ прибрежной зоны озера Байкал: междисциплинарное исследование, выявление причин, прогноз развития”, 0345-2019-0010 “Влияние изменяющихся природных и антропогенных факторов на биогеохимические процессы на каменистой литорали Байкала”).

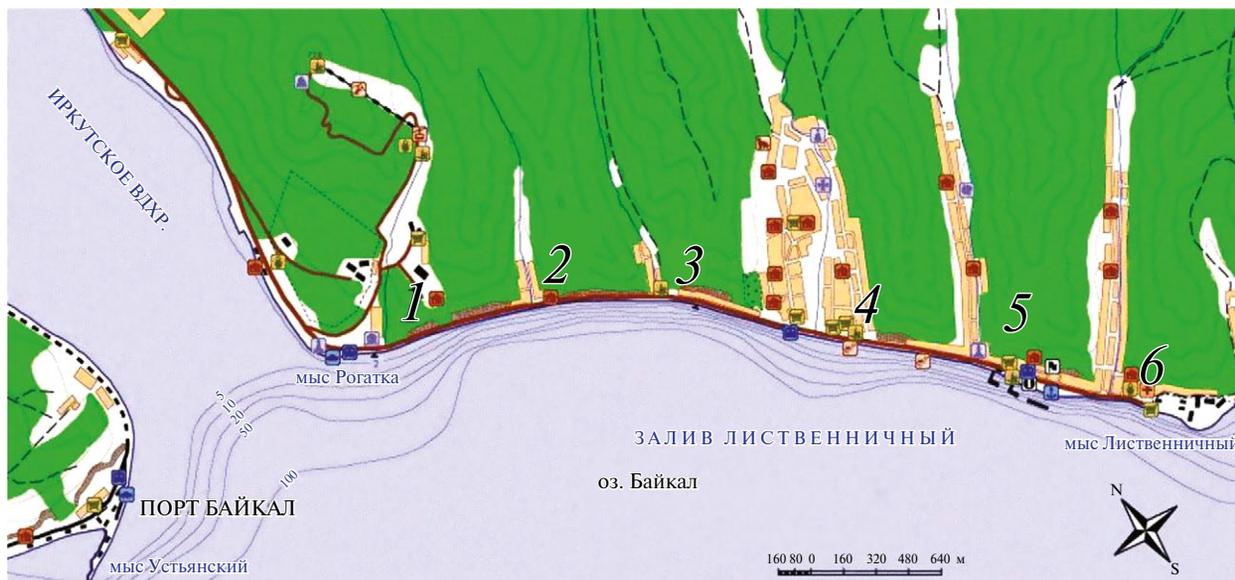


Рис. 1. Картограмма зал. Лиственничного. 1 – р. Каменушка, 2 – р. Сенная, 3 – руч. Банный, 4 – р. Крестовка, 5 – р. Малая Черемшанка, 6 – р. Большая Черемшанка.

пос. Листвянка, по данным на 2015 г., составляет ~2 тыс. чел. [16].

Пос. Листвянка является своеобразной “визитной карточкой” оз. Байкал, близость к г. Иркутску и, следовательно, доступность привлекают большое количество туристов. Так, например, только Байкальский музей посещают более 150 тыс. чел в год [7]. Нагрузка на территорию пос. Листвянка, которую в последнее время активно застраивают турбазами, за последние пятьдесят лет значительно возросла. Централизованная система очистки сточных вод в поселке отсутствует, а основная часть местного населения имеет обычные деревянные туалеты во дворе, в то время как гостиничные комплексы оборудованы выгребными ямами, причем чаще всего это негерметичные емкости. Поселок расположен в водоохранной зоне, для которой устанавливаются особые требования к сбросу сточных вод, которые отражены в соответствующих документах [11]. По [11], сточные воды не должны сбрасываться в черте населенных пунктов. Малая часть поселковых сточных вод вывозится из пос. Листвянка для очистки в пос. Никола, а затем отводится в исток р. Ангары, а все остальные нечистоты пассивно фильтруются через грунт, попадая в прибрежную зону оз. Байкал, а также с водами притоков попадают опять же в озеро.

Первые исследования химического состава воды рек в пос. Листвянка были выполнены в 1950-е гг. [2]. Регулярные исследования проводились на р. Крестовке и р. Б. Черемшанка, гидрохимическая характеристика остальных

рек дана по единичным пробам. Протяженность р. Крестовки ~20 км, рек М. Черемшанка и Б. Черемшанка, Каменушка ≤6 км (рис. 1).

По данным [2], р. Каменушка характеризовалась неустойчивым химическим составом воды. Отмечалось высокое и достаточно стабильное содержание фосфатов – до 0.44 мг/дм³. Концентрация нитратов изменялась от следовых количеств до 0.4 мг/дм³, сезонные изменения этого компонента характеризовались зимним максимумом (до 3.6 мг/дм³) и летним минимумом (≤0.11 мг/дм³). Исследования, проведенные в 1955 г., показали, что в р. М. Черемшанка концентрации биогенных элементов были близкими к таковым в р. Каменушке. В воде р. Крестовки содержание фосфатов близко к их концентрации в воде оз. Байкал (0.009–0.042 мг/дм³). Содержание нитратов в межгодовом аспекте было крайне неустойчиво [2].

Определение содержания биогенных элементов в воде р. Крестовки было выполнено в 2007–2012 гг. [5]. Пробы воды отбирались выше поселка и в его пределах. Концентрация фосфатов изменялась в пределах 0.006–0.360, нитратов – 0.11–1.00, содержание нитритов достигало 0.03, ионов аммония – 0.16 мг/дм³. Сезонная динамика биогенных элементов по сравнению с 1950-ми гг. не изменилась. Сравнительный анализ данных, полученных из участков рек выше заселенной территории и в ее пределах, показал, что концентрация основных ионов в большинстве случаев имеет близкие значения, а содержание фосфатов и нитритов значительно

возрастает в границах поселка в результате хозяйственно-бытовой деятельности [5].

В 2011 г. были выполнены работы по микробиологии и гидрохимии, которые включали в себя количественное определение фекальных индикаторных бактерий и определение биогенных элементов в водах рек, впадающих в оз. Байкал в районе пос. Листвянка. Эти данные получены на реках М. Черемшанка и Крестовка, а пробы брались лишь на расстоянии 100 м вверх от устья. Концентрации как фосфатов, так и других биогенных элементов (аммония, нитратов) в р. М. Черемшанка многократно превышали показатели для воды Байкала. Содержание биогенных элементов в придонной воде озера на глубине 3 м также было очень велико. Там же обнаружены ТКБ в высоких концентрациях (до 320 КОЕ/100 мл) [7, 18].

Согласно основным регламентирующим документам, в водах, используемых для рекреации, количество ТКБ в РФ не должно превышать 100 КОЕ/100 мл [10, 11], *E. coli* в США – 126 КОЕ/100 мл [13, 19], *E. coli* в Европе – 250 КОЕ/100 мл [15], энтерококков в США – 33 КОЕ/100 мл [13, 19].

Цель данного исследования – современная характеристика качества воды некоторых притоков Южного Байкала по гидрохимическим и санитарно-микробиологическим показателям одного из участков наиболее интенсивной рекреационной и туристической деятельности оз. Байкал – зал. Лиственничный, а также оценка влияния речных вод на качество прибрежной озерной воды.

Оценка загрязненности речной воды по санитарно-микробиологическим показателям выполнена в соответствии с существующей нормативно-технической документацией [10, 11, 13, 15, 19], а по гидрохимическим показателям – по наиболее характерным для антропогенного загрязнения показателям – биогенным элементам [8].

Анализы проб воды на количественное определение фекальных индикаторных бактерий, а также на определение химического состава выполнены в ЛИН СО РАН.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В 2014–2015 гг. были проведены исследования воды рек Б. Черемшанка, М. Черемшанка, Каменушка и Крестовка (рис. 1). На каждой реке про-

бы отбирались в одном или двух створах, один из них расположен выше (фоновый створ), другой – в пределах жилого массива в устьевой части реки. Образцы воды брали по центру каждого из створов. Ширина самой многоводной из исследуемых рек (р. Крестовка) в местах отбора проб ≤ 5 м, а глубина составляла от 20 до 40 см в зависимости от времени года. Остальные реки имели ширину ≤ 1 м и глубину ≤ 20 см. Как правило, глубина в местах пробоотбора составляла 10–20 см.

Работы проведены в июне-июле и сентябре 2014 г. и с марта по октябрь 2015 г. Озерную воду у поверхности и дна (придонные слои воды) в прибрежной зоне оз. Байкал отбирали согласно нормативным документам [3], в местах впадения рек Б. Черемшанка, Каменушка и М. Черемшанка в озеро. Работы выполнялись с использованием стерильных шприцов Жане объемом 150 мл и таких же шприцов, закрепленных на длинном шесте (для отбора придонных байкальских вод). Затем пробы воды сливали в стерильные стеклянные флаконы объемом 250 мл. Пробы помещали в сумку-холодильник с хладагентами и доставляли в лабораторию. Далее их размещали в стационарном холодильнике при $+4^{\circ}\text{C}$ до начала аналитических исследований. Время с момента отбора проб до проведения микробиологического анализа не превышало 6 ч.

Для гидрохимического анализа пробы отбирались в пластиковые бутылки объемом 1.5 л. Время с момента отбора проб до проведения гидрохимического анализа не превышало 6 ч. Перед анализом пробы воды фильтровали от взвешенного вещества через мембранные ацетатцеллюлозные фильтры с диаметром пор 0.45 мкм.

Температуру в местах пробоотбора измеряли с помощью портативного термометра (“Horiba”, Japan).

Обнаружение, подсчет исследуемых групп бактерий и интерпретацию результатов проводили, руководствуясь МУК 4.2.1884-04 [10] и ГОСТ 24849-2014 [4], используя метод мембранной фильтрации на нитроцеллюлозных фильтрах с диаметром пор 0.45 мкм.

Количество ТКБ определяли, культивируя образцы, осажденные на фильтрах на дифференциально-диагностической среде Эндо с последующей проверкой типичных лактозоположительных колоний на способность ферментировать лактозу до кислоты и газа при $44\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ в течение 22–24 ч. Предварительно для изолированных колоний выполняли оксидазный тест [10].

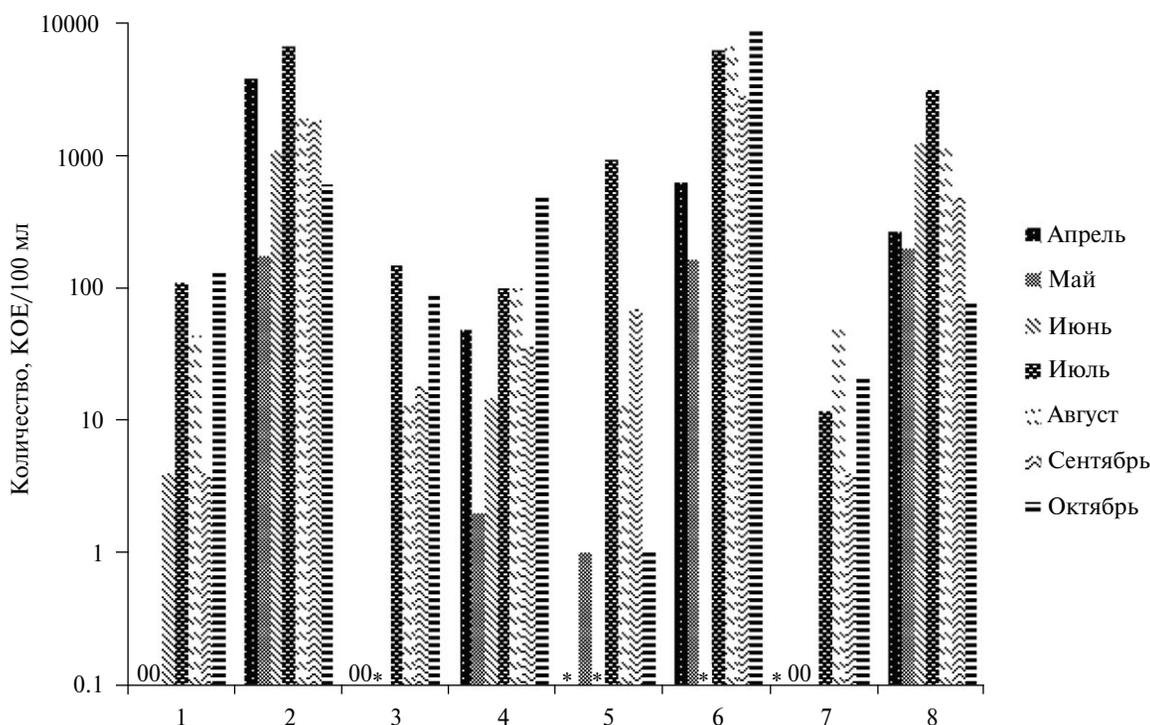


Рис. 2. Распределение ТКБ в водах рек, впадающих в оз. Байкал (2015 г.). 1 – Б. Черемшанка, выше поселка; 2 – Б. Черемшанка, устье; 3 – Крестовка, выше поселка; 4 – Крестовка, устье; 5 – М. Черемшанка, выше поселка; 6 – М. Черемшанка, устье; 7 – Каменушка, выше поселка; 8 – Каменушка, устье. Звездочки на местах столбцов в диаграмме свидетельствуют об отсутствии данных в тот или иной месяц отбора проб. Нули на местах столбцов в диаграмме свидетельствуют о том, что при анализе проб ТКБ не были обнаружены.

Отдельно определяли численность *E. coli* методом мембранной фильтрации с использованием селективного ХайХром агара (производство “Himedia” № M1571) [4].

Присутствие фекальных энтерококков выявляли методом мембранной фильтрации с использованием питательного селективного агара “Slanetz and Bartley Medium” (производство “Himedia” № M612) и “Bile Esculine Azide Agar” (производство “Himedia” № M493) [4].

Измерение концентраций биогенных элементов проводили на фотоколориметре КФК-3 (Россия). Фосфаты определяли методом Дениже–Аткинса, основанном на способности фосфатов образовывать с соединениями шестивалентного молибдена в присутствии хлористого олова комплексные соли, окрашенные в синий цвет. Метод определения нитритов основан на способности ароматических аминов в присутствии азотистой кислоты давать интенсивно окрашенные диазосоединения. Концентрацию ионов аммония определяли индофенольным методом [9, 12]. Концентрации ионов NO_3^- определялись методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с непрямой УФ-детекцией. Метод основан на разделении анионов на колонке с обращенной

фазой, динамически модифицированной бромидом октадецилтриметиламмония [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе проделанной работы стало очевидным, что концентрация ТКБ в водах исследуемых рек была намного выше на приустьевых участках по сравнению с зоной вне влияния поселка (рис. 2). Такая тенденция в меньшей степени замечена на р. Крестовке, где концентрации ТКБ отличались не всегда так значительно, поскольку эта река более многоводна. Большая часть пиков встречаемости ТКБ отмечена в июле, когда вода в реках значительно прогревается (табл. 1,

Таблица 1. Средняя среднемесячная температура воды рек Крестовка, Каменушка, Б. и М. Черемшанка в 2015 г.

Месяц отбора проб	Средняя температура воды, °С
Май	5.70 ± 0.66
Июнь	7.44 ± 0.60
Июль	13.06 ± 0.99
Август	14.20 ± 1.00
Сентябрь	9.86 ± 0.46
Октябрь	1.76 ± 0.55

Таблица 2. Концентрация биогенных элементов и показания температуры воды в реках в июне и июле 2014 г. (2 – Б. Черемшанка, устье; 4 – Крестовка, устье; 6 – М. Черемшанка, устье; 8 – Каменушка, устье; здесь и в табл. 4–6 ПДК – норматив по [8])

Точка отбора проб (реки)	Месяц отбора проб	Температура воды, °С	PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	NO ₂ ⁻ , мг/дм ³
2	Июнь	13.1	0.031	0.120	4.49	0.009
4	»	12.1	0.010	0.350	0.04	0.007
6	»	10.7	0.014	0.410	1.69	0.005
8	»	8.7	0.091	0.330	0.91	0.011
2	Июль	15.3	0.177	0.170	4.95	0.036
4	»	16.6	0.012	0.180	0.10	<0.001
6	»	13.0	0.110	0.100	1.50	0.004
8	»	10.9	0.067	0.070	8.04	0.047
ПДК		Не нормируется	0.150	0.500	40.00	0.080

2) и наибольшее число туристов отдыхает в районе пос. Листвянка.

При учете *E. coli* также отчетливо выделяется повышенное количество этих бактерий в приустьевых зонах рек Б. Черемшанка, М. Черемшанка и Каменушка (рис. 3) в течение всего времени наблюдения.

Большое количество фекальных энтерококков было отмечено в устье р. Б. Черемшанка в разные месяцы исследования в 2015 г. (рис. 4).

Дополнительно проведено обследование прибрежных вод оз. Байкал в районе впадения рек Б. Черемшанка и М. Черемшанка. По полученным данным (июнь–октябрь 2015 г.) выявлено, что норматив по ТКБ в районе устья р. М. Черемшанка в июне превышался в 2 раза, в то время как норматив по *E. coli* в устье той же реки превышался в сентябре в 1.5 раза. В районе устья р. Б. Черемшанка норматив по ТКБ был превышен в июле, августе, сентябре в 10, 3 и 2.5 раза соответственно (табл. 3).

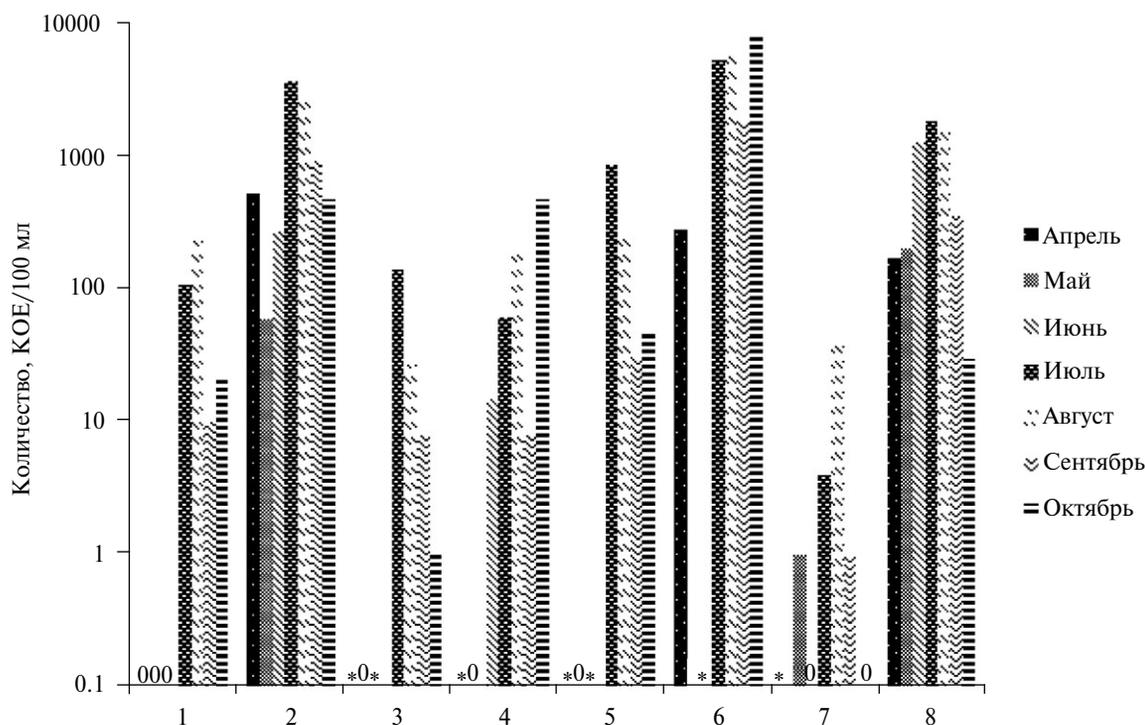


Рис. 3. Распределение *E. coli* в водах рек, впадающих в оз. Байкал (2015 г.). 1 – Б. Черемшанка, выше поселка; 2 – Б. Черемшанка, устье; 3 – Крестовка, выше поселка; 4 – Крестовка, устье; 5 – М. Черемшанка, выше поселка; 6 – М. Черемшанка, устье; 7 – Каменушка, выше поселка; 8 – Каменушка, устье. Звездочки на местах столбцов в диаграмме свидетельствуют об отсутствии данных в тот или иной месяц отбора проб. Нули на местах столбцов в диаграмме свидетельствуют о том, что при анализе проб *E. coli* не были обнаружены.

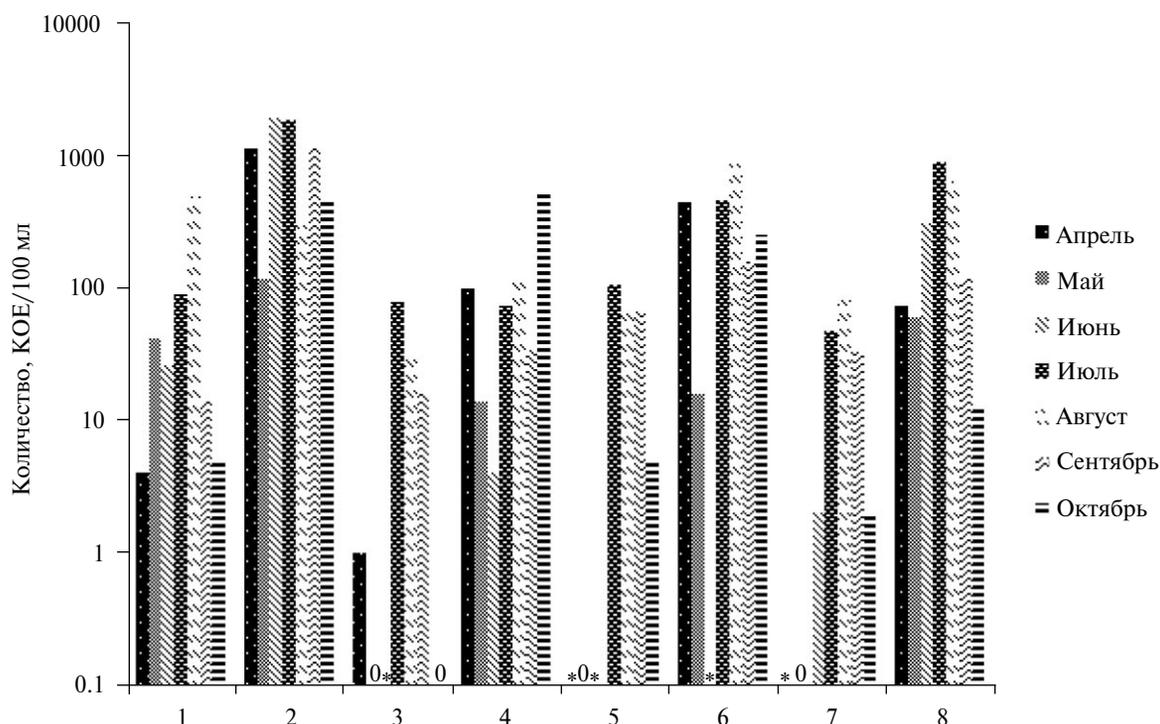


Рис. 4. Распределение фекальных энтерококков в водах рек, впадающих в оз. Байкал (2015 г.). 1 – Б. Черемшанка, выше поселка; 2 – Б. Черемшанка, устье; 3 – Крестовка, выше поселка; 4 – Крестовка, устье; 5 – М. Черемшанка, выше поселка; 6 – М. Черемшанка, устье; 7 – Каменушка, выше поселка; 8 – Каменушка, устье. Звездочки на местах столбцов в диаграмме свидетельствуют об отсутствии данных в тот или иной месяц отбора проб. Нули на местах столбцов в диаграмме свидетельствуют о том, что при анализе проб фекальные энтерококки не были обнаружены.

Таблица 3. Распределение фекальных индикаторных бактерий в прибрежной зоне оз. Байкал в районе впадения рек в 2015 г. (1 – место впадения Б. Черемшанки, 1 м от уреза (расстояние до реки ~37.5 м); 2 – место впадения Б. Черемшанки, из дна (расстояние до реки ~ 37.5 м); 3 – место впадения М. Черемшанки, 1 м от уреза (расстояние до реки ~ 54 м); 4 – место впадения М. Черемшанки, из дна (расстояние до реки ~ 54 м))

Точка отбора проб (реки)	Месяц отбора проб	ТКБ, КОЕ/100 мл	Энтерококки, КОЕ/100 мл	E. coli, КОЕ/100 мл
1	Июнь	1		
1	Июль	1000	1	1
1	Август	326	5	1020
1	Сентябрь	235	154	317
1	Октябрь	69	49	61
2	Июнь	8	24	22
2	Июль	64	2	2
2	Сентябрь	66	2	48
2	Октябрь	4	26	58
3	Июнь	215	4	6
3	Июль	73	9	7
3	Август	2	6	33
3	Сентябрь	88	15	2
3	Октябрь	36	4	107
4	Июнь	24	3	26
4	Июль	62	3	3
4	Сентябрь	104	3	20
4	Октябрь	3	16	142
			3	18

Годом ранее, в 2014 г., в районе устья р. Б. Черемшанки проводилось исследование, в котором было выяснено, что в сентябре количество ТКБ в 1 м от уреза в оз. Байкал было более чем в 1.5 раза выше допустимого по нормативу РФ [11], а количество фекальных энтерококков превышало имеющийся норматив в 4 раза [13, 19].

Количество обнаруженных ТКБ превышало норматив для России [11] в устье р. Б. Черемшанка в июле 2015 г. в 67 раз и августе в 21 раз, а в устьевом створе р. М. Черемшанка – в 63 и 68 раз соответственно. Количество *E. coli* превышало рекомендательные требования США [13, 19] в устье р. Б. Черемшанка в июле и августе 2015 г. в 29 и 21 раз соответственно, а в устье р. М. Черемшанка – в 43 и 50 раз соответственно. Количество *E. coli* превышало нормативы для Европы [15] в устье р. Б. Черемшанка в июле и августе 2015 г. в 15 и 11 раз соответственно, а в устье р. М. Черемшанки – в 21.5 и 25 раз соответственно. Показатели, значительно превышающие рекомендательный норматив США [13, 19] по фекальным энтерококкам, отмечены в устьях рек Б. Черемшанка и Каменушка, особенно в летние месяцы. Максимальные пики численности фекальных энтерококков отмечены в устье р. Б. Черемшанка в июне и июле 2015 г. и превышали этот норматив более чем в 50 раз.

Результаты гидрохимического анализа показали, что состав речных вод, протекающих небольшое расстояние (1–2 км) внутри поселка, претерпевает значительные изменения. В результате поступления хозяйственно-бытовых стоков от жилого массива концентрации минеральных форм азота и фосфора в воде рек увеличиваются ближе к устью в разы по сравнению с их содержанием в воде выше поселка (табл. 2, 4). В воде р. Крестовки содержание нитратов колебалось от 0.01 до 0.19 мг/дм³ в точке выше поселка и от 0.10 до 2.09 мг/дм³ в устье реки, а концентрации фосфатов – от 0.001 до 0.027 и от 0.01 до 0.121 мг/дм³ соответственно. В более мелких речках разница концентраций биогенных элементов между фоновыми и устьевыми станциями значительно выше. Наибольшие различия наблюдаются зимой, когда сток рек минимальный, и весной, когда в русло рек с тальми водами поступает дополнительное количество органики и биогенных элементов. В марте 2015 г. содержание аммонийного азота в устье Б. Черемшанки достигало 0.736 мг/дм³, что в 8 раз превышало значение этого компонента на участке реки выше поселка; концентрации фосфатов увеличились к устью в 6 раз и достигли 0.343 мг/дм³. В мае содержание нитратов в воде

в устье этой реки превысило содержание в фоновом створе в 20 раз. Наиболее сложную ситуацию наблюдали в августе 2015 г. на М. Черемшанке, где к устью реки концентрации аммония увеличились в 4 (до 0.40), нитритов в 8 (до 0.084 мг/дм³), нитратов в 60 раз (до 0.84), а фосфатов – практически на порядок (до 0.264 мг/дм³).

Сравнение полученных гидрохимических данных с нормативными по качеству воды водных объектов рыбохозяйственного значения показало, что в июле 2014 г. в устье р. Б. Черемшанки было зафиксировано превышение норматива по концентрации PO_4^{3-} (табл. 2). В 2015 г. было отмечено, что отдельные концентрации биогенных элементов превышали нормативные во все месяцы исследования, за исключением мая, июня и октября (табл. 4). Например, по фосфатам норматив был превышен в марте, апреле и июле в устьях рек Б. Черемшанка, М. Черемшанка и Каменушка – в 2, 2 и 3 раза соответственно. Также отмечались превышения по ионам NH_4^+ и NO_2^- в марте, апреле, июле и августе 2015 г. (табл. 4).

При рассмотрении межгодовой динамики концентраций биогенных элементов в устье р. Б. Черемшанка в июле было зафиксировано стабильно высокое содержание фосфат-ионов, которое превышало норматив (табл. 2, 4).

Анализ данных по поверхностным и придонным слоям воды из оз. Байкал в районе впадения рек Б. Черемшанка, М. Черемшанка и Каменушка показал, что все полученные результаты соответствовали нормативам качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения (табл. 5, 6) [8].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В июле и августе средние значения температуры воды в разные месяцы исследования были выше, что вместе с предполагаемой большей активностью туристов в эти летние месяцы способствовало более частому обнаружению фекальных индикаторных бактерий (табл. 1).

Повышение содержания фосфат-ионов в речных водах свидетельствует об их привносе со стиральными порошками, моющими и чистящими средствами в хозяйственно-бытовых водах жилого массива, расположенного в падах, где протекают эти реки. Увеличение концентраций нитритов и аммония в марте, апреле, июле и августе 2015 г. может быть связано с оттаиванием выгребных ям после зимнего периода, а также с проникновением фекальных стоков в поверхностные воды в летний период.

Таблица 4. Гидрохимические показатели воды в реках в период с марта по октябрь 2015 г. (1 – Б. Черемшанка, выше поселка; 2 – Б. Черемшанка, устье; 3 – Крестовка, выше поселка; 4 – Крестовка, устье; 5 – М. Черемшанка, выше поселка; 6 – М. Черемшанка, устье; 7 – Каменушка, выше поселка; 8 – Каменушка, устье)

Точка отбора проб (реки)	Месяц отбора проб	PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	NO ₂ ⁻ , мг/дм ³
1	Март	0.058	0.091	2.84	0.016
2		0.343	0.736	10.44	0.210
4		0.121	0.377	2.09	0.032
6		0.221	0.423	16.45	0.109
1	Апрель	0.030	<0.005	1.61	<0.001
2		0.127	0.024	6.91	0.010
3		<0.001	<0.005	0.12	0.020
4		0.026	<0.005	1.19	0.020
6	Май	0.349	0.711	1.24	0.010
8		0.114	0.024	1.19	0.010
1		0.037	<0.005	0.29	0.004
2		0.020	<0.005	5.59	0.019
3	Июнь	0.009	<0.005	0.01	0.006
4		0.020	<0.005	0.11	0.012
6		0.040	<0.005	1.70	0.008
8		0.057	<0.005	7.02	0.006
1	Июль	0.007	<0.005	2.14	0.004
2		0.083	0.059	10.43	0.042
3		0.005	<0.005	0.01	0.006
4		0.010	<0.005	0.21	0.006
6	Август	0.108	0.051	7.32	0.054
8		0.132	<0.005	3.86	0.015
1		0.018	0.159	0.42	<0.001
2		0.182	0.161	9.34	0.025
3	Сентябрь	0.024	0.345	0.01	<0.001
4		0.020	0.318	0.17	<0.001
6		0.202	0.340	3.44	0.023
8		0.466	0.360	4.73	0.106
1	Октябрь	0.016	<0.005	0.28	0.006
2		0.237	0.030	12.47	0.133
3		0.020	0.010	0.19	0.008
4		0.013	0.010	0.40	0.007
5	ПДК	0.003	0.010	0.26	0.011
6		0.264	0.040	14.98	0.084
7		0.050	0.010	0.25	0.004
8		0.298	<0.005	10.29	0.015
1	ПДК	0.004	0.021	0.48	0.004
2		0.117	0.029	10.78	0.017
3		0.027	0.010	0.04	0.008
4		0.015	0.011	0.62	0.006
6	ПДК	0.171	0.042	7.46	0.023
8		0.175	0.019	2.20	0.006
1		0.013	0.026	2.48	0.012
2		0.090	0.031	10.53	0.012
3	ПДК	0.017	0.106	0.04	0.002
4		0.013	0.110	0.35	0.02
6		0.109	0.070	5.26	0.008
8		0.127	0.071	2.05	0.012
ПДК		0.150	0.500	40.00	0.080

Таблица 5. Гидрохимические показатели прибрежных вод оз. Байкал в июне и сентябре 2014 г. (1 – оз. Байкал, рядом с местом впадения р. Б. Черемшанка, 1 м от уреза; 2 – оз. Байкал, рядом с местом впадения р. Б. Черемшанка, из дна (расстояние от берега ~10 м) – глубина 1 м; 3 – оз. Байкал, рядом с местом впадения р. М. Черемшанка, 1 м от уреза; 4 – оз. Байкал, рядом с местом впадения р. М. Черемшанка, из дна (расстояние от берега ~10 м) – глубина 1 м; 5 – оз. Байкал, рядом с местом впадения р. Каменушки, 1 м от уреза; 6 – оз. Байкал, рядом с местом впадения р. Каменушки, из дна (расстояние от берега ~10 м) – глубина 1 м)

Точка отбора проб (реки)	Месяц отбора проб	PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	NO ₂ ⁻ , мг/дм ³
1	Июнь	0.011	0.010	0.40	0.005
2		0.015	0.061	0.03	0.007
3		0.007	0.029	0.06	0.002
4		0.010	0.072	0.12	0.009
5		0.011	0.030	0.08	0.003
6		0.012	0.059	0.14	0.006
1	Сентябрь	0.012	<0.005	0.29	0.003
2		0.011	0.010	0.11	0.002
ПДК		0.150	0.500	40.00	0.080

Таблица 6. Гидрохимические показатели прибрежных вод оз. Байкал в период с июня по октябрь 2015 г. (1 – оз. Байкал, рядом с местом впадения р. Б. Черемшанка, 1 м от уреза; 2 – оз. Байкал, рядом с местом впадения р. Б. Черемшанка, из дна (расстояние от берега ~10 м) – глубина 1 м; 3 – оз. Байкал, рядом с местом впадения р. М. Черемшанка, 1 м от уреза; 4 – оз. Байкал, рядом с местом впадения р. М. Черемшанка, из дна (расстояние от берега ~10 м) – глубина 1 м)

Точка отбора проб (реки)	Месяц отбора проб	PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	NO ₂ ⁻ , мг/дм ³
1	Июнь	0.016	0.017	0.91	0.002
2		0.023	0.003	0.41	0.002
3		0.022	0.005	0.79	0.003
4		0.022	0.006	0.49	0.003
1	Июль	0.005	0.004	0.25	0.002
2		0.009	0.008	0.03	0.002
3		0.009	0.008	0.35	0.002
4		0.024	0.006	0.06	0.007
1	Август	0.004	0.014	—*	0.001
3		0.005	0.016	—*	<0.001
1	Сентябрь	<0.001	0.005	0.24	0.002
2		0.004	0.002	0.09	0.002
3		0.003	0.005	0.53	0.004
4		0.059	<0.005	0.02	0.002
1	Октябрь	0.006	0.015	0.77	0.004
2		0.001	0.027	0.13	0.004
3		0.016	0.029	0.73	0.005
4		0.006	<0.005	0.11	0.001
ПДК		0.150	0.500	40.00	0.080

* Нет данных.

В 2007–2012 гг. проводились исследования содержания биогенных элементов в воде р. Крестовки выше поселка и в устье реки ниже места влияния поселка без определения фекальных индикаторных бактерий в этих пробах. Было выяснено, что содержание биогенных элементов в воде устьевых участков намного больше, чем на участках реки, расположенных выше поселка. Возрастание концентрации фосфатов в воде

р. Крестовки ниже жилого массива (как правило, в 1.5–2 раза) в большинстве случаев регистрировалось в период с апреля по май, что подтвердили наши данные. Также отмечены случаи значительного повышения концентрации нитрит-иона – неизменного компонента фекальных стоков [5].

Полученные результаты свидетельствуют о постоянном привносе фекальных бактерий в прибрежную зону озера с водами впадающих

в него рек. В то же время поступающие в воды рек биогенные элементы быстро разбавляются байкальскими водами в связи с незначительным стоком этих рек. В результате концентрации биогенных элементов в прибрежной воде озера, согласно гидрохимическим данным, остаются в пределах нормы [8]. Однако избыточное поступление биогенных элементов с речным стоком может быть причиной возникновения очагов развития нитчатых водорослей, неэндемичных для оз. Байкал. Доказано, что даже незначительные, но постоянные поступления фосфатов могут стимулировать рост водорослей р. *Sprugiga* [14], которые раньше практически не встречались в водах Байкала [6, 7, 18, 20], а сейчас круглогодично вегетируют в прибрежной зоне зал. Лиственничного, изменяя десятилетиями сформированную водорослевую поясность.

Начало комплексным работам в пос. Листвянка положено в 2011 г. [7], но авторы, во-первых, увеличили количество исследуемых рек, а во-вторых, ввели дополнительные места пробоотбора (выше поселка и в устье рек), чтобы в полной мере оценить влияние человеческой деятельности на реки и прибрежные воды литоральной области озера. Таким образом, до проведения настоящих исследований комплексные данные по санитарно-микробиологическому и гидрохимическому состоянию впадающих в оз. Байкал рек в районе пос. Листвянка были отрывочными и неполными.

Подобного рода комплексные работы планируется проводить вблизи других населенных пунктов, расположенных у оз. Байкал в местах впадения рек, для определения влияния антропогенной деятельности на прибрежные воды литоральной области озера, чтобы оценить и предотвратить их дальнейшее загрязнение.

ВЫВОДЫ

Результаты настоящего исследования позволяют заключить, что воды притоков рек Б. Черемшанка, М. Черемшанка и Каменушка оказывают негативное влияние на санитарно-бактериологическую обстановку в прибрежных водах оз. Байкал в районе пос. Листвянка. Исследованные фекальные индикаторные бактерии способны сохранять свою жизнеспособность и после попадания из реки в озеро. Это может происходить в результате их оседания на дно озера, адсорбции на частицах грунта и водорослях. Таким образом, они избегают губительного для них УФ-облучения и недостатка пита-

тельных веществ. Об обнаружении фекальных бактерий в придонных слоях озерной воды сообщалось и ранее [7, 18].

Содержание PO_4^{3-} и NH_4^+ в речных водах зал. Лиственничного во многих случаях превышало установленные нормативы для вод рыбохозяйственного назначения. Отсутствие значительного влияния речных вод на концентрации всех исследованных биогенных элементов в озерной воде объясняется значительным разбавлением малых объемов речного стока огромными водными массами озера.

Таким образом, на данный момент в пос. Листвянка назрела необходимость строительства эффективных очистных сооружений сточных бытовых вод. Сложившаяся неблагоприятная санитарно-бактериологическая ситуация усугубляется тем, что поток туристов с каждым годом увеличивается [17] и, следовательно, растет антропогенная нагрузка на прибрежную зону оз. Байкал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барам Г.И., Верещагин А.Л., Голобокова Л.П. Применение микроколоночной высокоэффективной жидкостной хроматографии с УФ-детектированием для определения анионов в объектах окружающей среды // Аналитич. химия. 1999. Т. 54. № 9. С. 962–965.
2. Вотинцев К.К., Глазунов И.В., Толмачева А.П. Гидрохимия рек озера Байкал. М.: Наука, 1965. 494 с.
3. ГОСТ 31942-2012. Вода. Отбор проб для микробиологического анализа.
4. ГОСТ 24849-2014. Межгосударственный стандарт. Вода. Методы санитарно-бактериологического анализа для полевых условий. М.: Стандартинформ, 2015.
5. Загорулько Н.А., Гребенищикова В.И., СклярOVA О.А. Многолетняя динамика химического состава вод реки Крестовки (приток озера Байкал) // География и природ. ресурсы. 2014. № 3. С. 76–82.
6. Ижболдина Л.А. Атлас и определитель водорослей бентоса и перифитона озера Байкал (мейо- и макрочеты) с краткими очерками по их экологии. Новосибирск: Наука-Центр, 2007. 248 с.
7. Кравцова Л.С., Ижболдина Л.А., Ханаев И.В., Помазкина Г.В., Домышева В.М., Кравченко О.С., Грачев М.А. Нарушение вертикальной зональности зеленых водорослей в прибрежной части залива Лиственничного озера Байкал // ДАН. 2012. Т. 447. № 2. С. 227–229.
8. Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 г. № 20 “Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения”.
9. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Ч. 1 / Под ред. Боевой Л.В. Ростов-на-Дону: НОК, 2009. 1150 с.

10. Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов: Метод. Указания. МУК 4.2.1884-04. 2004.
11. СанПиН 2.1.5. 980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Контроль качества: Санитарные правила и нормы. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000.
12. Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. М.: Протектор, 2000. 840 с.
13. Ambient aquatic life water quality criteria for bacteria United States Environmental Protection Agency. Office of Water Regulations and Standards. Washington DC, USA: Criteria and Standards Division, 1986.
14. Bell R.F., Elmetri I., Lapointe B.E. Evidence of large-scale chronic eutrophication in the Great Barrier Reef: quantification of chlorophyll a thresholds for sustaining coral reef communities // *AMBIO*. 2014. V. 43. P. 361–376.
15. DIRECTIVE 2006/7/EC of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC // *OJ Eur. Union*. 2006.
16. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Листвянка_\(Иркутский_район\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Листвянка_(Иркутский_район))
17. Kobanova G.I., Takhteev V.V., Rusanovskaya O.O., Timofeyev M.A. Lake Baikal ecosystem faces the threat of eutrophication // *Int. J. Ecol.* 2016. V. 2016. P. 1–7.
18. Kravtsova L.S., Izboldina L.A., Khanaev I.V., Pomazkina G.V., Rodionova E.V., Domysheva V.M., Sakirko M.V., Tomberg I.V., Kostornova T.Ya., Kravchenko O.S., Kupchinsky A.B. Nearshore benthic blooms of filamentous green algae in Lake Baikal // *J. Great Lakes Res.* 2014. V. 40. P. 441–448.
19. Recreational water quality criteria. Washington DC, USA: US Environ. Protection Agency, Office of Water 820F-12-058, 2012.
20. 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., Pasynkova E.M., Poberezhnaya A.E., Potapskaya N.V., Rozhkova N.A., Sheveleva N.G., Tikhonova I.V., Timoshkina E.M., Tomberg I.V., Volkova E.A., Zaitseva E.P., Zvereva Yu.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? // *J. Great Lakes Res.* 2016. V. 42. P. 487–497.

ANTHROPOGENIC CHANGES OF HYDROCHEMICAL AND SANITARY-MICROBIOLOGICAL INDEXES OF WATER QUALITY IN TRIBUTARIES OF SOUTH BAIKAL (LISTVENNICHNIY BAY)

© 2019 V. V. Malnik^{1,*}, O. A. Timoshkin¹, A. N. Suturin¹, N. V. Onischuk¹,
M. V. Sakirko¹, I. V. Tomberg¹, A. S. Gorshkova¹, N. S. Zabanova²

¹Federal government budgetary agency of science Limnological institute SB of RAS
664033, Irkutsk city, Ulan-Batorskaya str., 3

²Federal government budgetary agency of science Siberian institute of plant physiology SB of RAS
664033, Irkutsk city, Lermontova str., 132
e-mail: malnik80@mail.ru

Received: 11.04.2017

Revised version received: 03.04.2018

Accepted: 09.04.2018

Sanitary-microbiological and hydrochemical research of rivers flowing into Baikal in the area of Lystvyanka settlement was carried out from 2014 to 2015. It was found out that water quality in the mouths of such rivers as Bolshaya Cheremshanka, Malaya Cheremshanka and Kamenushka fell out of the standards of normative technological document in Russia, as well as abroad (US and Europe) based on such indicators as thermo-tolerant coliform bacteria (TCB), thermotolerant *E. coli*, enterococci. The quality of water in the mouths of B. Cheremshanka, M. Cheremshanka, Kamenushka rivers was far from standards of the above mentioned (Russia) by hydrochemical indices such as phosphates (PO_4^{3-}). In June 2015, the standard by TCB group was exceeded more than 10 times in coastal water of Lake Baikal near B. Cheremshanka River mouth. Thus, the water quality sampled from the river mouths in comparison to river waters sampled above settlement was significantly poor. Moreover, in July 2015 when the number of tourists was maximal, high gradient between amount of fecal bacteria in river mouths compared to the water samples from the upstreams on background stations was found. To stop local damage of the ecosystem in Lystvyanka area the construction of wastewater treatment station here is urgent and reasonable.

Keywords: South Baikal, tributaries, fecal indicator bacteria (FIB), hydrochemical indices, nutrients.

DOI: 10.31857/S0321-0596465533-543