

**САНИТАРНО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЙ
МОНИТОРИНГ ОЗЕРА БАЙКАЛ.**

ЧАСТЬ 1: АКВАТОРИЯ МАЛОГО МОРЯ В 2016 Г.

**Ю.Р. Штыкова, В.В. Дрюккер, Е.Г. Сороковикова,
Н.А. Жученко, Е.А. Зименс, О.И. Белых**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Лимнологический институт
Сибирского отделения Российской академии наук,
РФ, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3
E-mail: tulupova@lin.irk.ru, drucker@lin.irk.ru

Проведена оценка санитарно-микробиологического состояния и определены концентрации микроцистинов в поверхностных водах заливов с интенсивной рекреационной нагрузкой в акватории Малого моря оз. Байкал в августе 2016 г. Установлено, что качество вод бух. Базарная не соответствовало требованиям нормативных документов РФ, а в зал. Мухор и Куркут выявлены высокие значения энтерококков, что свидетельствовало о неблагоприятной санитарной обстановке на данных участках исследуемого объекта. Концентрация микроцистинов в планктоне варьировала от 0,11 до 6,2 мкг/г сухого веса, в среднем составляя 1,32 мкг/г сухого веса. Максимальная концентрация микроцистинов определена в акватории зал. Мухор, минимальная – в бух. Базарная.

Ключевые слова: оз. Байкал, санитарно-показательные микроорганизмы, энтерококки, колиформные бактерии, цианобактерии, микроцистины.

Введение. Малое море представляет собой обширное водное пространство, отделенное от основной акватории оз. Байкал островом Ольхон. В юго-западной части оно узко и мелководно, имеет изрезанную береговую черту [1]. Благодаря малому количеству осадков, большой величине инсоляции и тёплой воде в заливах Малое море является наиболее популярным местом отдыха в летнее время. В последние годы на озере, особенно в летнее время, складывается неблагоприятная санитарная обстановка. Из-за интенсивного туризма, увеличения числа судов и сбросов некачественно очищенных сточных вод из прибрежных населенных пунктов и туристических объектов на водоем возросла антропогенная нагрузка. Результаты проведенных исследований [2–5] свидетельствуют о превышении нормативов санитарно-микробиологических показателей [6] в водах озера, что может представлять эпидемиологическую опасность для туристов и населения. Также, известно, что на оз. Байкал с 2011 г. наблюдаются крупномасштабные изме-

нения в литоральной зоне [4, 5], среди которых особое место занимает интенсивное развитие нитчатых цианобактерий [7]. Цианобактерии являются постоянными обитателями водных экосистем. В условиях сезонного повышения температуры и освещенности, при избытке биогенов, в отсутствие интенсивного перемешивания цианобактерии в водоемах начинают быстро развиваться, вызывая цветение воды [8, 9]. Массовое развитие цианобактерий создает не только технические и эстетические проблемы, но и представляет значительную опасность для жизни и здоровья человека и животных, т.к. большинство видов – возбудителей цветений – способны синтезировать токсины. Наиболее распространенными цианотоксинами в пресных водах являются микроцистины (МС), они ингибируют активность серин/треонин фосфатазы гепатоцитов, вызывая обширные кровоизлияния в печени [9].

Регулярный мониторинг содержания цианотоксинов и микробиологических показателей в участках озера с наиболее

интенсивной рекреационной нагрузкой позволит оценить их санитарное состояние и безопасность для использования в рекреационных целях. Цель данного исследования – оценка качества вод акватории Малого моря по санитарно-микробиологическим показателям и концентрациям МС в фитопланктоне.

Материалы и методы. Пробы поверхностного слоя воды отбирали в августе 2016 г. в пик туристического сезона в южной части Малого моря (зал. Мухор и Хужир-Нугайский) и юго-западной части в проливе Ольхонские Ворота (зал. Куркут и бух. Базарная). Все перечисленные станции находятся в непосредственной близости от туристических объектов. Для сравнительной оценки воздействия мест со слабой рекреационной нагрузкой на литораль пробы отбирали в закрытых для посещения бух. Бабушка и Песчаная, а также в пелагиали южной и средней котловины озера (фоновые станции) (рис. 1).

Отбор проб для микробиологического исследования проводили в соответствии с ГОСТ 31942-2012 [10]. Для выполнения анализа и интерпретации результатов руководствовались СанПиН 2.1.5.980-00 и МУК 4.2.1884-04 [6, 11]. Так как воды оз. Байкал используются для питьевых, хозяйственно-бытовых нужд и рекреации, оценку качества вод проводили по нормативным значениям санитарно-микробиологических показателей для объектов II категории водопользования. В пробах поверхностного слоя воды определяли показатели ОКБ (общие колиформные бактерии) и ТКБ (термотолерантные колиформные бактерии), количество которых не должно превышать 500 и 100 КОЕ (колониобразующих единиц) в 100 мл [6]. Для получения дополнительной информации о санитарном состоянии вод оценивали численность энтерококков и коэффициент самоочищения (КС). Согласно МУК 4.2.1884-04, обнаружение энтерококков свыше 50 КОЕ/100 мл предполагает поступление свежего фекального загрязнения и потенциальную эпидемическую опасность. КС позволяет судить об ин-

тенсивности процессов самоочищения водоема, так как отражает соотношение численности автохтонной и аллохтонной микрофлоры. Эта разница более выражена при завершении процесса самоочищения (КС равен 4 и выше) [11].

Отбор проб, качественную оценку фитопланктона и подготовку проб для определения МС проводили, как описано ранее [12]. Концентрацию МС в фитопланктоне определяли с помощью иммуноферментного анализа, используя набор Microcystins-ADDA ELISA kit (Abbraxis LLC, USA) согласно протоколу производителя. Результаты обрабатывали с использованием программы RIDA@SOFT Win. В настоящее время известно около 90 вариантов МС [13]. Согласно рекомендации ВОЗ концентрация МС-LR в питьевой воде не должна превышать 1 мкг/л, а в воде для купания и рекреационного использования – 2–4 мкг/л [9].

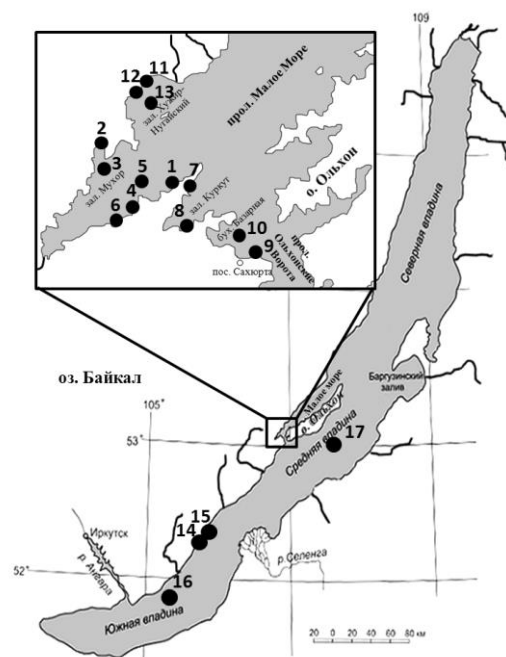


Рис. 1. Станции отбора проб. 1–6 – зал. Мухор; 7–8 – зал. Куркут; 9–10 – бух. Базарная; 11–13 – зал. Хужир-Нугайский; 14 – бух. Песчаная; 15 – бух. Бабушка; 16, 17 – фоновые станции

Результаты и обсуждение. В результате проведенных исследований обнаружили, что санитарно-микробиологические показатели, нормируемые Сан-

ПиН 2.1.5.980-00, превышены в пробах одной из станций бух. Базарная (ТКБ 112 КОЕ/100 мл) (табл. 1). В пробах остальных исследованных станций превышений нормативов ОКБ и ТКБ не обнаружили. Но следует отметить высокие значения численности энтерококков в поверхностных водах всех исследованных заливов Малого моря, кроме зал. Хужир-

Нугайский. Так, в акватории зал. Мухор выявили увеличение количества энтерококков до 400 КОЕ/100 мл, что в 8 раз выше установленных в МУК 4.2.1884-04 значений. В бух. Базарная количество энтерококков достигало 272 КОЕ/100 мл (превышение в 5,4 раза), а в водах зал. Куркут – до 224 КОЕ/100мл (в 4,5 раза).

Таблица 1 – Значения санитарно-микробиологических показателей в августе 2016 г.

Объект	Номер станции	Температура, °С	КС	ОКБ, КОЕ/100 мл	ТКБ, КОЕ/100 мл	Энтерококки КОЕ/100 мл
зал. Мухор	1	17.6	1.7	8	0	400
	2	20.1	8.2	70	0	86
	3	20.4	10.6	5	0	2
	4	20.5	29.9	28	0	14
	5	20.7	45.1	11	0	2
	6	20.3	15.2	188	10	82
зал. Куркут	7	18.3	2.9	260	0	224
	8	18.9	1.9	240	42	184
бух. Базарная	9	18.5	3.2	264	112	272
	10	18.5	3.3	93	25	61
зал. Хужир-Нугайский	11	19.4	13.1	140	16	12
	12	20.3	49.2	130	0	16
	13	19.5	74.0	64	11	15
бух. Бабушка	14	11.4	3.7	45	2	12
бух. Песчаная	15	11.4	0.8	106	7	10
Фоновая станция	16	19.3	22.3	0	0	0

Можно отметить, что почти во всех нестандартных по микробиологическим показателям пробах выявили низкий КС (от 1,7 до 3,3), что указывает на незавершенность процессов самоочищения (табл. 1). Санитарно-микробиологическое качество вод фоновых станций соответствовало СанПиН 2.1.5.980-00. В пробах бух. Песчаная и бух. Бабушка найдены колиформные бактерии и энтерококки, но в количествах, не превышающих допустимые значения. Следует отметить низкий уровень КС в данных бухтах (до 0,8), что связано, возможно, со значительным ветровым волнением, что привело к увеличению поступления аллохтонных микроорганизмов с береговой зоны.

В летний период на побережье Малого Моря наблюдается наиболее интенсивная рекреационная активность. Также можно отметить, что температура поверхностных вод в заливах в период исследований достигала 20,7°С и в среднем составила 19,5°С (табл. 1). Совокупность данных факторов создает благоприятные условия для сохранения и развития кишечных бактерий в озере. Обнаруженные в акваториях зал. Мухор, зал. Куркут и бух. Базарная высокие значения энтерококков, указывают на свежее фекальное загрязнение вод [11]. Поэтому, несмотря на отсутствие превышений ОКБ и ТКБ (за исключением бух. Базарная), использование таких вод в качестве источника питьевого, хозяй-

ственно-бытового водопользования и, тем более, в рекреационных целях небезопасно в эпидемиологическом отношении. Тем более предыдущие исследования в прибрежных водах пролива также показали присутствие колиформных бактерий и энтерококков в количестве, превышающем нормативы [2].

Во всех пробах планктона, отобранных в акватории Малого моря, доминировали цианобактерии порядка *Nostocales*: *Anabaena* spp. и *Gloeotrichia echinulata*, в пелагиали озера преобладали пикопланктонные цианобактерии родов *Synechococcus* и *Cyanobium*. Микроцистины выявлены в пробах планктона всех исследованных заливов Малого моря, в пелагиали озера МС не обнаружены. Концентрация МС изменялась от 0,11 до 6,2 мкг/г сухого веса, в среднем составляя 1,32 мкг/г сухого веса. Максимальная концентрация микроцистинов определена в акватории зал. Мухор, минимальная – в бух. Базарная.

В данной работе сложно оценить реальную опасность развития токсичных цианобактерий в оз. Байкал согласно нормативам ВОЗ, которые регламентированы для питьевой воды и воды, используемой для рекреации. При сравнении полученных показателей и литературных данных, можно отметить, что в оз. Байкал содержание МС в цианобактериях низкое. В случае планктонных цветений в эвтрофных водоемах, когда численность цианобактерий превышает 20 млн кл/л, максимальная концентрация МС достигает 7300 мкг/г сухого веса [9]. Ранее мы показали, что концентрация МС в воде литоральной зоны в районе пос. Турка (восточное побережье, Средний Байкал) в августе 2010 г. составила $0,17 \pm 0,01$ мкг/л, что значительно ниже порога, установленного ВОЗ для питьевой воды и значений, определенных в других холодноводных озерах [9, 12].

Выводы. Таким образом, результаты выполненных исследований свидетельствовали, что в акватории Малого моря

оз. Байкал качество вод бух. Базарная не соответствует СанПиН 2.1.5.980-00 по количеству ТКБ. Также, в бух. Базарная, и в зал. Мухор и Куркут обнаружены высокие значения энтерококков, что свидетельствует о неблагоприятной санитарной обстановке в данных водных объектах. В планктоне всех исследованных заливов Малого моря обнаружены микроцистины, концентрация которых была невысокой по сравнению с продуктивными водоемами [9]. Вместе с тем, несмотря на низкое содержание МС в фитопланктоне оз. Байкал, потенциальная опасность отравления при употреблении питьевой воды существует.

В условиях изменения климата и повышения антропогенного воздействия на экосистему озера, с учетом полученных нами результатов, свидетельствующих о неблагоприятной санитарно-микробиологической и токсикологической ситуации, считаем целесообразным и актуальным проводить регулярный мониторинг санитарных показателей и содержания микроцистинов в озере Байкал, особенно в рекреационных зонах.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0345-2016-0003 (АААА-А16-116122110061-6) и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-54-44035).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Исследования Малого моря.* Труды Байкальской Лимнологической станции XVII / отв. ред. Г.И. Галазий. М.; Л.: Изд-во Академии наук СССР. 1959. 530 с.
2. *Тимошкин О.А.* Биология прибрежной зоны озера Байкал. Сообщение 3. Сезонная динамика инфауны береговых скоплений; гидрохимическая, микробиологическая характеристика интерстициальных вод зоны заплеска / О.А. Тимошкин, И.В. Томберг, Н.Н. Куликова

[и др.] // Известия ИГУ. Серия «Биология. Экология». 2012. Т. 5. № 1. С. 92–110.

3. *Штыкова Ю.Р.* Мониторинг санитарно-микробиологического состояния пелагиали озера Байкал и устьев впадающих в него крупных рек с 2010 по 2015 г. / Ю.Р. Штыкова, М.Ю. Сулова, Т.Я. Косторнова [и др.] // Известия ИГУ. Серия «Биология. Экология». 2016. Т. 17. С. 50–61.

4. *Kravtsova L.S.* Nearshore benthic blooms of filamentous green algae in Lake Baikal / L.S. Kravtsova, L.A. Izhboldina, I.V. Khanaev [et al.] // Great Lakes Research. 2014. Т. 40. Р. 441–448.

5. *Timoshkin O.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? / O.A. Timoshkin, D.P. Samsonov, M. Yamamuro [et al.] // Journal of Great Lakes Research. 2016. V. 42. Р. 487–497.

6. *СанПиН 2.1.5.980-00* с изм. от 04.02.2011, с изм. от 25.09.2014. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы.

7. *Белых О.И.* Обнаружение микроцистинов в цианобактериальных обра-

таниях различных субстратов прибрежной зоны озера Байкал / О.И. Белых, Г.А. Федорова, А.В. Кузьмин [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. 2017. Т. 72. № 4. С. 262–269.

8. *Paerl H.W.* Harmful cyanobacterial blooms: causes, consequences, and controls / H.W. Paerl, T.G. Otten // Microb. Ecol. 2013. Vol. 65, N 4. P. 995–1010.

9. *Toxic cyanobacteria in water: a guide to public health significance, monitoring and management* / Eds. I. Chorus and J. Bartram. WHO. London: Chapman & Hall, 1999. 416 p.

10. *ГОСТ 31942-2012.* Вода. Отбор проб для микробиологического анализа.

11. *МУК 4.2.1884-04.* Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов. Методические указания.

12. *Белых О.И.* Идентификация токсичных цианобактерий в озере Байкал / О.И. Белых, А.С. Гладких, Е.Г. Сороковикова [и др.] // ДАН. 2015. Т. 463, № 3. С. 349–353.

13. *Welker M.* Cyanobacterial peptide – nature's own combinatorial biosynthesis / M. Welker, H.V. Döhren // FEMS Microbiol. Rev. 2006. V. 30. P. 530–563.

SANITARY-MICROBIOLOGICAL AND TOXICOLOGICAL MONITORING OF LAKE BAIKAL. PART 1: WATER AREA OF THE MALOE MORE IN 2016

Y.R. Shtykova, V.V. Drucker, E.G. Sorokovikova, N.A. Zhuchenko, E.A. Zimens, O.I. Belykh

Limnological Institute SB RAS, 3, Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, Russian Federation

Sanitary-microbiological conditions and concentrations of microcystins were assessed in surface waters of bays with intensive recreational loads in the water area of the Maloe More of Lake Baikal in August 2016. It was established that the water quality in Bazarnaya Bay did not meet the requirements of the RF regulations. High values of enterococci were detected in Mukhor and Kurkut bays, which attested to unfavorable sanitary-microbiological conditions in these areas. The concentration of microcystins in plankton was from 0.11 to 6.2 µg/g dry weight, averaging 1.32 µg/g dry weight. The maximum concentration of microcystins was recorded in the water area of Mukhor Bay and the minimum in Bazarnaya Bay.

Keywords: Lake Baikal, sanitary-indicative microorganisms, enterococci, coliform bacteria, cyanobacteria, microcystins.