УДК 543.3+579(571.5)
doi 10.18101/2306-2363-2016-4-11-16

**© Д. Д. Цыренова, В. П. Гаранкина,
О. П. Дагурова, В. Б. Дамбаев**

УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ОЗЕРАХ ПРИБРЕЖНОЙ ПОЛОСЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Было проведено исследование условий развития цианобактерий озер Котокельское и Дикое, до недавнего времени являющихся одними из продуктивных водоемов Забайкалья. Однако, в настоящее время в результате естественных природных и антропогенных процессов данные озера потеряли рыбохозяйственное и рекреационное значение. Близкое расположение и связь исследуемых озер с озером Байкал оказывает прямое влияние на его состояние и функционирование как экосистемы. В летнее время в озерах создаются благоприятные условия для активного развития цианобактерий. Было выявлено 9 разновидностей цианобактерий. Доминирующим видом как в пробах оз. Дикое, так и в оз. Котокельское являлась M. aeruginosa, потенциально токсичный вид. По содержанию хлорофилла а исследованные озера соответствовали олиготрофным и мезотрофным водоемам, микробные обрастания в озерах характеризовались высокой продуктивностью.

Ключевые слова: *озера Котокельское и Дикое, физико-химические параметры воды, цианобактерии, хлорофилл а, трофический статус водоема, олиготрофные и мезотрофные водоемы*

**D. D. Tsyrenova, V. P. Garankina,
O. P. Dagurova, V. B. Dambaev**

CONDITIONS FOR THE CYANOBACTERIA DEVELOPMENT IN THE LAKES OF LAKE BAIKAL COASTAL ZONE

Conditions of the cyanobacterial development in lakes Kotokelskoe and Dikoe were investigated. Previously these lakes were productive reservoirs of Zabaikalia. Currently as a result of natural and anthropogenic processes the lakes lost fisheries and recreational value. The close location of investigated lakes to Lake Baikal has a direct effect on its function. In the summer time favorable conditions for active development of cyanobacteria are created in the lakes. 9 species of cyanobacteria were identified. The dominating species both in the samples of lake Dikoe and lake Kotokelskoe was M. aeruginosa, a potentially toxic species. According to the content of chlorophyll a the investigated lakes were oligotrophic and mesotrophic water bodies.

Keywords: *lakes Kotokelskoe and Dikoe, physico-chemical parameters of water, cyanobacteria, chlorophyll a, trophic status of water body, oligotrophic and mesotrophic water bodies.*

Объектами исследования являлись озеро Котокельское, связанное с Байкалом через речную систему Исток-Коточик-Турка и озеро Дикое, расположенное в 1.5 км от Байкала. Оз. Котокельское до недавнего времени было одним из самых продуктивных водоемов Забайкалья и приоритетным местом летнего отдыха жителей Бурятии и Иркутской области. В результате естественных природных и антропогенных процессов в озере усилились процессы

эвтрофикации, в итоге начались деструктивные процессы и водоем потерял рыбохозяйственное значение. На этом фоне с начала апреля 2008 г. на оз. Котокельское началась массовая гибель рыб, а затем случаи заболевания населения, диагностируемого как гаффская болезнь [1].

Озеро Дикое ранее также являлось живописным озером с песчаным дном, небольшой глубины. В летнее время озеро было местом массового отдыха жителей Прибайкальского района. Начиная с 2014 г. на озере наблюдается замор рыб, изменение консистенции воды, образование мощных пластов микробных матов на берегу и обрастаний на поверхности воды и дна озера.

«Шаговое» расположение исследуемых озер оказывает прямое влияние на состояние и функционирование Байкала как экосистемы. В летнее время в прибрежной зоне оз. Байкал создаются благоприятные условия для активного развития фитопланктона и появления в озере токсичных видов цианобактерий оказывающих негативное влияние на водоем. В результате вышесказанного, целью работы являлось изучение влияния физико-химических параметров озер прибрежной полосы озера Байкал на разнообразие цианобактерий.

Во время отбора проб, в 2015 г. в оз. Котокельское микробные маты отсутствовали, обнаружен тонкий налет на дне озера (наилок), представляющий собой микробное сообщество, и плавающие на берегу волоски водорослей. В оз. Дикое был обнаружен активный рост микробных матов, как в воде в виде плотных масс, так и на берегу в виде мощных пластов. Вода представляла собой киселеобразную жидкость с взвесью светло-зеленого цвета, микробные маты представляли собой наросты коричневого цвета.

Был проведен посезонный отбор проб: весной (11 мая), летом (25 июня) и осенью (11 сентября) 2015 г. Непосредственно на месте отбора проб были определены температура, pH, общая минерализация, окислительно-восстановительный потенциал, кислород, карбонаты и гидрокарбонаты. Из озера Котокельское пробы были отобраны с двух станций: станция 1 — недалеко от базы отдыха «Гэсэр» (52°46.462' с.ш., 108°04.694' в.д., l = 520 м н.у.), станция 2 — около села Котокель (52°45.785' с.ш., 108°04.938' в.д,, l = 496 м н.у.). В сентябре, после жаркого и сухого лета, озеро обмелело примерно на 6-8 м. В оз. Дикое пробы были отобраны на одной станции (N 52°47.361' с.ш., E 107°59.700' в.д., l = 467 м н.у.).

Физико-химическая характеристика исследованных озер

Вода озера Дикое, отобранная в мае 2015 г., в период ледостава, характеризовалась невысокой минерализацией (150 мг/дм^3) и слабощелочной реакцией pH (7,55) (табл. 1). В воде преобладали окислительные процессы (+61 mV).

В июне показатели общей минерализации и pH были высокими, за счет активного развития микрофлоры озера. Так, значения минерализации были равны 164 мг/дм^3, pH 8,82, окислительно-восстановительный потенциал составлял +115 mV. Содержание карбонатов составило 24 мг/дм^3, гидрокарбонатов — 36,6 мг/дм^3.

В сентябре pH воды озера увеличилась до сильнощелочных значений (10,27). Общая минерализация уменьшилась до 97 мг/дм^3. Окислительно-

восстановительный потенциал был характерен для окисленных условий среды (+122 mV). Содержание карбонат ионов было в два раза меньше, чем в июне. Напротив, содержание гидрокарбонат ионов было в два раза больше, чем в июне.

Таблица 1

Физико-химическая характеристика воды озера Дикое

Дата отбора	Т, ^{0}С	pH	М, мг/дм^3	Eh, mV	CO_3^{2-} мг/дм^3	HCO_3^-, мг/дм^3
май	15,2	7,55	150	+61	н.о.	н.о.
июнь	21,8	8,82	164	+115	24	36,6
сентябрь	15,5	10,27	97	+122	12	73,2

н.о. — не определено, М — минерализация

Вода озера Котокельское, отобранная в мае 2015 г., являлась слабоминерализованной (90 мг/дм^3) со слабощелочной реакцией среды (8,45) (табл. 2). В воде озера преобладали окислительные процессы (+216 mV).

Таблица 2

Физико-химическая характеристика озера Котокельское

№	Дата отбора	Т, ^{0}С	pH	М, мг/дм^3	Eh, mV	Продукция, мгС/дм^3 в сут	Деструкция, мгС/дм^3 в сут	CO_3^{2-}, мг/дм^3	HCO_3^-, мг/дм^3
1	июнь	23,1	8,58	44	+121	0,013	0,013	24	24,4
	сентябрь	15,0	10,29	45	+112	0,04	0,04	12	61
2	май	16,0	8,45	90	+216	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
	июнь	25,0	8,62	52	+120	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
	сентябрь	15,0	10,52	44	+116	0,08	0,03	12	48,8

В июне значение общей минерализации на станции 1 была равна 44 мг/дм^3, на станции 2 — 52 мг/дм^3. pH воды на обеих станциях были приблизительно равны и составляли 8,58 и 8,62, соответственно. Окислительно-восстановительный потенциал находился в пределах +121 mV. На станции 2 содержание карбонат- и гидрокарбонат ионов было в два раза больше, чем таковые на станции 1.

В сентябре общая минерализация на обеих станциях находилась в пределах 45 мг/дм^3. pH воды озера увеличилась до сильнощелочных значений (10,29-10,52). Окислительно-восстановительный потенциал был характерен для окисленных условий среды (+116 mV). Скорость процессов продукции и деструкции, определенная кислородным методом Винберга, были одного порядка — продукция колебалась от 0,04 до 0,08 мгС/дм^3 в сут, деструкция — от 0,03 до 0,04 мг С/дм^3 в сут. На станции 1 продукция и деструкция протекали с одинаковой скоростью (0,04 мгС/дм^3 в сут). Скорость продукции на станции 2 превышала деструкцию почти вдвое. Величины продукции и дест-

рукции были сопоставимы с определенными ранее значениями для глубоководного Баргузинского залива озера Байкал, мелководных заливов Провал и Посольский Сор [2-4].

В результате была получена общая картина условий развития цианобактерий, позволяющая определить влияние физико-химических параметров на их продукционные характеристики.

Разнообразие цианобактерий исследованных озер

Было проведено микроскопирование воды и микробных матов (обрастаний), отобранных из озер в разные периоды года (весна, лето, осень).

Видовое разнообразие цианобактерий в воде оз. Дикое весной было представлено единственным видом одноклеточной *Microcystis aeruginosa* (табл. 3). В воде летней пробы количество цианобактерий дополнилось еще 2 видами — *Phormidium formosa* и *Synechococcus cedrorum*. В воде, отобранной в сентябре, разнообразие цианобактерий увеличилось до 4 видов: *M. aeruginosa, Gloeocapsa minuta*, *Ph. frigidum* и *Oscillatoria formosa*. Наиболее распространенным видом цианобактерий, обнаруживаемым как в весенний, летний и осенний периоды, являлся *M. aeruginosa*. Активное развитие данного вида свидетельствует о его широких адаптационных свойствах.

В воде оз. Котокельское видовой состав цианобактерий был менее разнообразным по сравнению с таковым оз. Дикое и был представлен всего

Таблица 3

Таксономический состав микроорганизмов исследованных озер

Озеро	Проба	Цианобактерии
Дикое	вода, май	*Microcystis aeruginosa*
	вода, июнь,	*M. aeruginosa*^{дом}, *Phormidium formosa*^{р}, *Synechococcus cedrorum*^{р}
	вода, сентябрь	*M. aeruginosa*^{оч} *Gloeocapsa minuta*^{р}, *Ph. frigidum*^{р}, *Os. formosa*^{р}
Котокельское	вода, май	*Microcystis aeruginosa*
	вода, июнь	*Microcystis aeruginosa*^{дом}, *Nostoc* sp.^{р}
	вода, сентябрь	*Microcystis aeruginosa*^{дом}

Частота встречаемости: «дом» — доминирует, «оч» — очень часто, «ч» — часто, «р» — редко. Двумя видами — *M. aeruginosa* и *Nostoc* sp. В весенний и осенний периоды в воде озера присутствовал один вид — *M. aeruginosa*. В летней пробе воды список цианобактерий дополнил *Nostoc* sp.

Таким образом, гидрохимические условия воды оз. Дикое являются наиболее благоприятным для активного роста и развития цианобактерий, чем таковые оз. Котокельское. Интенсивный рост цианобактерий наблюдается в летне-осенний период.

Содержание хлорофилла *а*

Для исследованных озер с помощью метода регрессионного анализа была оценена зависимость биомассы хлорофиллсодержащих организмов от трофического статуса озер. Критерием трофического статуса было выбрано содержание хлорофилла *а*. Содержание хлорофилла *а* было определено в воде, микробном мате и обрастаниях исследуемых озер.

Наибольшие значения хлорофилла *а* были зафиксированы в летних пробах воды. Так максимальная концентрация хлорофилла *а* была определена в воде оз. Дикое (2,736 мг/дм^3), отобранном в летний период (табл. 4). Наименьшее — в воде оз. Котокельское (0,108 мг/дм^3), отобранном в осенний период. По содержанию хлорофилла *а* вода озер соответствовала олиготрофному и мезотрофному типам [5].

Таблица 4.

Содержание хлорофилла *а* в озерах Дикое и Котокельское, мг/дм^3

Дата отбора	Озеро	Вода	Мат
июнь	Дикое	2,736	н.о.
	Котокель 1	0,212	н.о.
	Котокель 2	н.о.	н.о.
сентябрь	Дикое	0,181	9,108
	Котокель 1	0,108	13,109
	Котокель 2	0,159	42,048

Содержание хлорофилла *а* в микробном мате озера Дикое составляло 9,108 мг/дм^3, что характерно для мезотрофных водоемов. В микробных обрастаниях оз. Котокельское содержание хлорофилла *а* находилось в пределах 13,109-42,048 мг/дм^3, что характерно для высокопродуктивных систем и в свою очередь отрицательно сказывается на качестве воды. Согласно трофической градации [5], озеро по этому показателю является эвтотрофным. Полученные данные могут быть использованы для проведения мониторинга водоемов.

В результате проведенной работы были сделаны следующие выводы. Условия развития цианобактерий в озерах прибрежной полосы озера Байкал являются благоприятными для их роста. Всего выявлено 9 видов и разновидностей цианобактерий. Доминирующим видом как в пробах оз. Дикое, так и в оз. Котокельское являлась *M. aeruginosa*. По содержанию хлорофилла *а* исследованные озера соответствовали олиготрофным и мезотрофным водоемам, микробные обрастания в озерах характеризовались высокой продуктивностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-44-04302

Литература

1. Озеро Котокельское: природные условия, биота, экология / отв. ред. Н. М. Пронин, Л. Л. Убугунов. — Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. — 2013. — 340 с.
2. Дагурова О. П., Козырева Л. П., Намсараев Б. Б. Влияние микроорганизмов мелководных осадков озера Байкал на качество воды // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже 3-го тысячелетия. — Томск, 2000. — С. 504-507.
3. Гаранкина В. П., Дагурова О. П. Деструкция органического вещества в прибрежной зоне залива Посольский сор оз. Байкал // Изв. Иркутского госуниверситета. Серия «Наука о Земле». — 2009. — Т. 2, № 2. — С. 65-71.
4. Гаранкина В. П., Дагурова О. П., Дамбаев В. Б., Бурюхаев С. П. Распространение и активность микроорганизмов в заливе Провал озера Байкал // Вестник Бурятского госуниверситета. Серия «Биология. География». — 2009. — С. 84-88.
5. Общие основы изучения водных экосистем / Под ред. Г. Г. Винберга. Л.: Наука. — 1979. — 272 с.

Цыренова Д.Д., кандидат биологических наук, лаборатория микробиологии, Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, e-mail: baldanovad@rambler.ru

Гаранкина В.П., кандидат биологических наук, лаборатория биохимии и физиологии почв, Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, e-mail: G_val_82@mail.ru

Дагурова О.П., кандидат биологических наук, лаборатория микробиологии, Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, e-mail: dagur-ol@mail.ru

Дамбаев В.Б., кандидат биологических наук, лаборатория микробиологии, Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, e-mail: slavadmb@rambler.ru

Tsyrenova D.D., Candidate of Biological Sciences, Laboratory of Microbiology, Institute of General and Experimental Biology SB RAS, E-mail: baldanovad@rambler.ru

Garankina V.P., Candidate of Biological Sciences, Laboratory of Soil Biochemistry, Institute of General and Experimental Biology SB RAS, E-mail: G_val_82@mail.ru

Dagurova O.P., Candidate of Biological Sciences, Laboratory of Microbiology, Institute of General and Experimental Biology SB RAS, E-mail: dagur-ol@mail.ru

Dambaev V.B., Candidate of Biological Sciences, Laboratory of Microbiology, Institute of General and Experimental Biology SB RAS, E-mail: slavadmb@rambler.ru