

Е.Ю. Абидуева, Л.П. Козырева, Д.Д. Цыренова, Б.Б. Намсараев, Б.Б. Батоболотова,
* Е.Б. Матюгина

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СОДОВО-СОЛЕННЫХ ОЗЕР ЗАБАЙКАЛЬЯ

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН (Улан-Удэ)
Бурятский государственный университет (Улан-Удэ)
* Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН (Чита)

По микробиологическим и санитарно-бактериологическим показателям исследованные озера Забайкалья относятся к чистым, слабозагрязненным и умеренно-загрязненным водоемам. Однако в летнее время антропогенная нагрузка на водную экосистему некоторых озер увеличивается, что приводит к ухудшению качества воды.

Ключевые слова: содово-соленые озера, микробиологический анализ воды и илов

MICROBIOLOGICAL EVALUATION OF WATER QUALITY AND SEDIMENTS OF SODA-SALINE LAKES OF THE ZABAIKALYE

E.Yu. Abiduyeva, L.P. Kozyreva, D.D. Tsyrenova, B.B. Namsarayev, B.B. Batobolotova,
* E.B. Matyugina

Institute of General and Experimental Biology, Ulan-Ude
Buryat State University, Ulan-Ude
*Institute of Natural Resources, Environment and Cryology Academy of Sciences, Chita

On microbiological and sanitary-bacteriological parameters investigated include the Zabaikal region lakes to clean, mildly and moderately polluted waters. However, in the summer antropogenic pressures on the aquatic ecosystem of some lakes increases, which leads to deterioration of water quality.

Key words: soda-saline lakes, microbiological analysis of water and silt

Отличительной чертой современного этапа эволюции биосферы является все возрастающее воздействие человека на водные объекты, в том числе и на озера. Преобразование водосборной территории (сведение лесов, пожары, распашка земель, внесение удобрений, осушительно-оросительная мелиорация и др.) вызывает изменение стока воды и наносов водотоков, выноса биогенных и загрязняющих веществ, а это в свою очередь влияет на водный режим озер, содержание химических веществ и увеличение биологической продуктивности.

Для степной зоны Забайкалья, где сосредоточена большая часть солоноватых и соленых озер, любые виды хозяйственной деятельности усугубляются аридными природными климатическими условиями и способствуют процессу антропогенного эвтрофирования водоемов [5].

Содовые и соленые озера Забайкалья активно используются населением для отдыха и лечения. Поэтому особое значение приобретает долговременный мониторинг химических и микробиологических показателей вод и донных отложений для их бальнеологической характеристики.

При оценке антропогенного воздействия на озера и для их рационального использования необходимо владеть информацией о водном режиме, гидрохимии, микроорганизмах, механизмах первичного и вторичного загрязнения, в целом определяющих как функционирование всех звеньев трофической цепи, так и экологическое состояние водного объекта [1, 2].

В данной статье представлены результаты микробиологического анализа донных отложений содово-соленых озер Забайкалья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основными показателями оценки качества воды и донных отложений озер являются значения минерализации и pH, концентрация химических веществ, видовой состав, численность и активность микроорганизмов, как водной толщи, так и донных отложений (табл. 1).

Непосредственно на месте отбора проб измеряли температуру воды сенсорным электротермометром Prima (Португалия), pH среды — потенциометрическим портативным pH-метром (pHep2, Португалия), общую минерализацию — портативным рефрактометром MASTER-PM (Atago, Япония). Общая численность микроорганизмов определена при помощи микроскопического метода. Численность физиологических групп микроорганизмов определена методом десятикратных разведений на элективных средах [4].

Препарат ДНК для секвенирования выделяли с помощью комплекта реагентов «РИБО-сорб» и «ДНК-сорб» (AmpliSens biotechnologies) в соответствии с протоколом производителя. Амплификацию фрагментов проводили с использованием групп-специфичных праймеров в термоциклере БИС (Россия). Синтез праймеров осуществлен в ИХБФМ СО РАН (г. Новосибирск). Скорости общего и аноксигенного фотосинтеза, темновой

Таблица 1

Микробиологическая оценка качества воды и донных отложений

Показатели	Размерность	Методы
Концентрация химических веществ	мг/дм ³ , г/дм ³	аналитической химии, ВЭЖХ
Видовой состав микроорганизмов		микробиологический молекулярно-биологический
Численность микроорганизмов	клеток в мл	микробиологический, микроскопический
Содержание хлорофилла <i>a</i>	мг/мл	спектрофотометрический
Скорость процессов: фотосинтеза, темновой фиксации CO ₂ , сульфатредукции	мг С/дм ³ сутки – // – мг S/дм ³ сутки	радиоизотопный – // – – // –

фиксации CO₂ определяли радиоизотопным методом [3, 4]. Для определения хлорофилла *a* в пробы добавляли глицерин или 96 % спирт.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследованные нами озера Забайкалья имеют рН в интервале 8,5–10,6. По классификации Валяшко, по минерализации вод относятся к соленоватым (сумма солей 1,0–25,0 г/л), соленым (26–50 г/л) и рассолам (свыше 50 г/л) (табл. 2). По химическому составу большинство озер принадлежит к карбонатному типу. Водно-солевое питание содовые озера Забайкалья получают за счет грунтовых вод и временных дождевых потоков.

Климат Забайкалья резко континентальный, отличается значительными суточными и годовыми колебаниями температуры, малым количеством осадков и неравномерным распределением их по сезонам (более 70 % выпадает летом), большой сухостью воздуха. Необходимо учитывать, что значительные сезонные и межгодовые колебания температуры воздуха и количества осадков в со-

четании с небольшой глубиной озер приводят к резким изменениям состояния озер в течение года. Значения химического состава, а, следовательно, и численности бактерий и интенсивностей биогеохимических процессов могут колебаться в одном и том же озере в широких пределах. Поэтому любые наблюдения, производимые на содовых озерах Забайкалья, должны учитывать особенности озера и привязываться к определенному времени и состоянию озера.

Озера являются местами активной деятельности различных физиологических групп микроорганизмов. Видовое разнообразие микроорганизмов в озерах было изучено с использованием классических микробиологических и молекулярно-биологических методов. Ранее было показано, что микробные сообщества содовых озер содержат все основные группы микроорганизмов, осуществляющих продукцию и деструкцию органического вещества вплоть до его полного разложения [5]. Микроскопическим методом выявлено и описано 28 видов цианобактерий, наибольшее их количе-

Таблица 2

Физико-химические параметры содовых озер Забайкалья и Монголии

Озеро	Местоположение	М, г/л	рН	Дата, месяц/год
Барун Торей	Читинская область	1,8	9,0	07.1995
Зун Холво	Агинский округ	45	9,4	07.2010
Илим Тором	Читинская область	2,5	9,5	07.1995
Нижнее Белое	Бурятия	3,8	9,1	06.2002
Ножий	Агинский округ	4,7	8,8	08.2009
– // –	– // –	8,7	9,0	08.2010
– // –	– // –	10,0	9,1	08.2011
Сульфатное	Бурятия	5,6	9,2	07.2001
Горбунка	Агинский округ	8,3	9,1	07.1995
– // –	– // –	41,3	8,7	07.2004
Верхнее Белое	Бурятия	9,4	9,8	– // –
Соленое	Бурятия	8	9,5	06.2002
– // –	– // –	11,4	9,3	09.2003
Хилганта	Агинский округ	46	9,5	07.1995
– // –	– // –	230	8,9	08.2004

ство зарегистрировано в озерах с минерализацией от 5 до 7 г/л, наименьшее — в рассолах [6]. Наиболее распространен род *Leptolyngbya* (7 видов). Другие роды были немногочисленны. Дополнительно к ранее обнаруженным видам цианобактерий соленоватых и соленых озер Южного Забайкалья нами выявлено еще 10 видов: *Leptolyngbya valderiana*, *L. voronichiniana*, *Phormidium breve*, *Ph. retzii*, *Anabaena bergii*, *Arthrospira jenneri*, *Chroococcus minutus*, *Jaaginema voronichinii*, *Pseudanabaena frigida* и *Trichodesmium lacustre*.

Методом пиросеквенирования по гену 16S рДНК определена филогенетическая структура и таксономический состав домена «bacteria» поверхностного слоя донных иловых отложений из центральной части озера Соленое. Всего выявлено 2821 нуклеотидных последовательностей, объединяемых в 552 ОТЕ. Доминирует в сообществе фил Proteobacteria. Субдоминантами являются филы Chloroflexi, Firmicutes и Bacteroidetes (рис. 1).

Среди протеобактерий преобладают гамма-протеобактерии (22 % в сообществе). Среди таксонов бактерий из класса дельта-протеобактерии (9,85 % нуклеотидных последовательностей) выявлены представители р. *Desulfosarcina*, *Desulfonatronum*, *Desulfobacterium*, *Desulfobacca*, *Desulfuromusa*, *Desulfurivibrio* и *Desulfobulbus*, принадлежащие к физиологической группе сульфатредуцирующих бактерий, отвечающих за бактериальное восстановление сульфатов с образованием сероводорода, являющегося важным агентом лечебного воздействия на организм человека.

Анализ показал отсутствие бактерий, влияющих на санитарно-эпидемиологическое состояние грязи, таких, как *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas spp.*, *Shigella*, *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter coli*.

Вода озер, используемая для питьевых и рекреационных целей, должна соответствовать определенным стандартам [7]. Важнейшим показателем качества воды является численность

микроорганизмов и особенно содержание бактерий кишечной палочки как индикатора фекальных загрязнений (табл. 3). Представленные данные показывают, что коли-индекс возрастает в озерах, используемых для поения скота и отдыха населения. При интенсивном использовании водоемов населением для отдыха и животноводства возрастает поступление лабильного органического вещества. Так, максимальные значения численности этих бактерий (1000 кл/мл) выявлены в озере Ножий, в районе базы отдыха и поения скота.

Численность сапрофитных бактерий в различных обследованных минеральных озерах значительно колебалась и зависит, в первую очередь, от водного режима и антропогенного воздействия. При снижении уровня воды в озерах наблюдается увеличение численности сапрофитных бактерий. Содержание их, как и бактерий группы кишечной палочки, было выше в озере Ножий в засушливый период, когда водная акватория озера существенно уменьшилась.

О качестве воды в водоемах можно также судить по показателю соотношения количества сапрофитов к общему числу бактерий. Он тем меньше, чем чище вода. Поступление же в водоем легко окисляемых органических веществ вызывает развитие гетеротрофов, а затем — других групп бактерий, что и приводит к повышению этого показателя. В наших исследованиях в летний период это соотношение составляло 0,001 — 0,002 %, что соответствует чистой или слабозагрязненной воде.

Активность микроорганизмов является одним из основных показателей при оценке качества воды и донных отложений. В поверхностных слоях илов общая продукция органического вещества, измеренная с применением ^{14}C -бикарбоната, составляет 31 — 77,3 мг С/дм³ сут⁻¹ (табл. 4). Большая часть органического вещества синтезируется окислительными цианобактериями. Доля аноксигенного фотосинтеза, осуществляемая пурпурными фототрофными

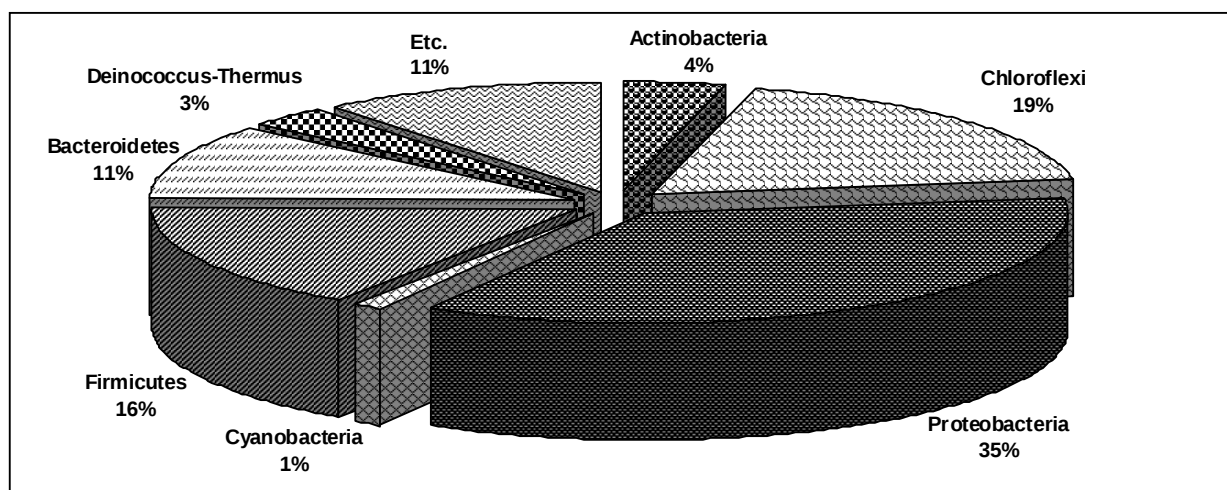


Рис. 1. Филогенетическое разнообразие поверхностного слоя донных отложений (иловых грязей) оз. Соленое (Кяхтинский район, Бурятия).

Таблица 3

Численность микроорганизмов в воде содово-соленых озер Забайкалья

Озеро	Дата анализа, месяц, год	Общее количество бактерий, млн.кл/мл	Количество сапрофитов, кл/мл	$N_{\text{бакт}}/N_{\text{сапр}}$, %	Коли-индекс	Классы загрязненности воды
Зун Холво	08.2009	1,233	1720	0,002	>100	II
Судунтуй Тором	07.2006	2,342	1350	0,001	>100	I–II
Хилганта	08.2005	2,871	2350	0,001	< 100	II
Хилганта	07.2008	2,912	1712	0,001	1000	III
Ножий	08.2009	2,771	2250	0,001	< 100	II
Ножий	08.2010	3,376	2416	0,001	< 1000	III–IV
Ножий	08.2011	3,676	2586	0,001	< 1000	III–IV
Горбунка	06.2010	3,012	2512	0,001	1000	III

Таблица 4

Скорость фотосинтеза и темновой фиксации в донных осадках содовых озер

Озера	Дата, месяц/год	Хлорофилл а, мг/л	Фотосинтез, мг С/дм ³ сут		Темновая фиксация, мг С/дм ³ сут
			общий	аноксигенный	
Хилганта	08.2007	0,67	68,8	–	0,42
Хилганта	04.2004	0,87	76,0	–	1,36
Горбунка	07.2008	0,81	24,5	12,5	8,7
Соленое	06.2002	0,74	23,5	11,6	8,5
Верхнее Белое	07.2005	0,94	68,0	18,3	7,74

Таблица 5

Скорости сульфатредукции и расход углерода в донных осадках содовых озер

Озеро	Дата, месяц/год	Минерализация, г/л	Скорость сульфатредукции, мг S/кг сут
Хилганта	07.1995	46	1,05–8,9
Хилганта	04.2004	30	1,45–38,33
Горбунка	– // –	20	0,08
Соленое	06.2002	11,4	0,35–0,64
Верхнее Белое	06.2002	9,0	51,0–69,04
Горбунка	07.1995	8,3	0,15–1,26
Сульфатное	06.2002	8	2,4–35,43
Нижнее Белое	– // –	3,8	30,97
Илим Тором	07.1995	2,5	0,39–29,0

бактериями, достигает 0,01 – 68,9 % органического вещества. Концентрация хлорофилла *a* в поверхностных слоях ила достигает 0,02 – 0,94 мг/л и, в целом, коррелирует со скоростью общего фотосинтеза.

Скорость темновой фиксации является характеристикой микробной активности донных отложений. Значения этого показателя варьирует от 0,42 до 8,7 мг С/кг сут [2]. Высокие скорости темновой фиксации выявлены в донных осадках озер Горбунка, Соленое и Верхнее Белое.

Содовые и соленые озера являются местами отдыха и лечения населения. Так, илы и воды озер Соленое, Верхнее Белое, Горбунка и Хилганта используются для лечения болезней опорно-

двигательного аппарата, кожи и т.д. Лечебными факторами являются уголекислота, сероводород и другие физиологически активные вещества – продукты микробного метаболизма. Уголекислота образуется при аэробном и анаэробном разложении органического вещества. Сероводород является продуктом микробного восстановления сульфатов.

Доминирующим процессом терминальной деструкции ОВ в содовых озерах является сульфатредукция. Скорость сульфатредукции в донных осадках изучена в разных типах озер (табл. 5). Наиболее интенсивно процесс восстановления сульфатов (до 69,04 мг S/кг сут) протекал в иловых отложениях при минерализации 3 – 30 г/л.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый комплексный подход оценки микробной деятельности в озерах позволяет всесторонне оценить деятельность микроорганизмов, участвующих в процессах продукции и деструкции органического вещества, трансформации веществ и круговороте химических элементов, формировании лечебных факторов вод и донных отложений.

При помощи микробиологического, микроскопического и молекулярно-биологического методов выявлены и описаны представители различных групп прокариот.

Исследуемые озера Забайкалья характеризуются высокой продукцией. Основными продуцентами органического вещества являются цианобактерии, которые синтезируют значительное количество кислорода. Однако бурное увеличение их численности в водоеме может приводить к неблагоприятным последствиям, таким как «цветение» воды, накопление токсических продуктов, образование многослойных структур — «матов» [5]. Вредоносность массового развития цианобактерий заключается в продуцировании большого числа опасных для здоровья людей и животных сильнодействующих токсинов, снижении качества воды, нарушении эстетического вида водоема, потере полезных для человека свойств водной экосистемы. Некоторые виды цианобактерий (*Microcystis*, *Anabaena*, *Nodularia*, *Nostoc*, *Artrospira*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria*, *Phormidium* и др.) образуют токсины, губительные для животных и опасны для человека.

Сульфатредукция является основным микробным процессом на конечных этапах деструкции. Они образуют химически и биологически активный сероводород. Часть этого токсичного вещества используется для вторичной продукции органического вещества.

Количественная оценка микробной активности показывает, что аэробные и анаэробные микроорганизмы активно участвуют в продукции метаболитов, имеющих лечебное значение. К ним относятся микробный синтез углекислоты, органических кислот, витаминов, сероводорода и т.д.

Проведенные исследования показали, что по гидрохимическим, микробиологическим и сани-

тарно-бактериологическим показателям исследованные озера в настоящее время можно отнести к чистым, слабозагрязненным и умеренно-загрязненным водоемам. Однако в летнее время антропогенная нагрузка на водную экосистему озер может увеличиваться, что приведет к ухудшению качества воды.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 10-04-01185а, 12-04-10048к, 12-05-00871а, интеграционных грантов Президиума СО РАН 56 и 94 и БГУ «Научная школа».

ЛИТЕРАТУРА

1. Водный режим и изменения гидрохимических показателей щелочного соленого озера Хилганта (Юго-Восточное Забайкалье) / З.Б. Намсараев [и др.] // Водные ресурсы. — 2010. — № 4. — С. 477 — 483.
2. Намсараев Б.Б., Намсараев З.Б. Микробные процессы круговорота углерода и условия среды обитания в щелочных озерах Забайкалья и Монголии // Алкалофильные микробные сообщества: Труды Института микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН. М., 2007. — Вып. 14. — С. 218 — 237.
3. Подавление процессов фотосинтеза цианобактерий и планктонных водорослей метаболитами бактерий *Brevibacillus laterosporus* / Н.И. Кузнецова [и др.] // Доклады Академии Наук. — 2008. — Т. 421, № 2. — С. 262 — 266.
4. Практикум по микробиологии. Учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / А.И. Нетрусов [и др.]; под ред. А.И. Нетрусова. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 607 с.
5. Солоноватые и соленые озера Забайкалья / Б.Б. Намсараев [и др.]. — Улан-Удэ : Изд. БГУ, 2009. — 340 с.
6. Таксономическая и экологическая характеристика цианобактерий некоторых солоноватых и соленых озер Южного Забайкалья / Д.Д. Цыренова [и др.] // Микробиология. — 2011. — Т. 80, № 2. — С. 230 — 240.
7. Требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников / Санитарные правила (Сан.ПиН 2.1.4.544-96). — М.: Информ.-изд. центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996. — 26 с.

Сведения об авторах

Намсараев Баир Бадмабазарович — доктор биологических наук, профессор, зав. лабораторией микробиологии Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6; тел. (3012)434902; e-mail: bair_n@mail.ru)

Абидуева Елена Юрьевна — доктор биологических наук, профессор, старший научный сотрудник лаборатории микробиологии Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6; e-mail: abidueva_l@mail.ru)

Козырева Людмила Павловна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории микробиологии, ученый секретарь Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6)

Цыренова Дулма Доржиевна — кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории микробиологии Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6)

Батоболотова Бадарма Баировна — аспирант 3-го года обучения лаборатории микробиологии Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6)

Матюгина Евгения Борисовна — кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории водных экосистем, ученый секретарь Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН