

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Верещагин Г. Ю.** Основные черты вертикального распределения динамики водных масс на Байкале // Академику В. И. Вернадскому к 50-летию научной и педагогической деятельности. — 1936. — Ч. 2.
2. **Толмачев В. А.** Некоторые гидрохимические показатели внутреннего водообмена в Байкале // Докл. АН СССР. — 1957. — Т. 113, № 3.
3. **Верболов В. И., Гранин Н. Г., Шерстянкин П. П., Шимараев М. П.** Развитие представлений Г. Ю. Верещагина о вертикальной структуре байкальских вод по гидрофизическим данным // Первая Верещагинская международная конференция. — Иркутск, 1989.
4. **Штокман В. Б.** Основы теории *TS*-кривых как методы изучения перемешивания и трансформации водных масс моря // Проблемы Арктики. — 1943. — № 1.
5. **Булгаков Н. П.** Конвекция в Океане. — М.: Наука, 1975.
6. **Мамаев О. И.** Термохалинный анализ вод Мирового океана. — Л.: Гидрометеиздат, 1987.
7. **Штокман В. Б.** Избранные труды по физике моря. — Л.: Гидрометеиздат, 1970.
8. **Добровольский А. Д.** Об определении водных масс // Океанология. — 1961. — Т. 1, вып. 1.
9. **Буторин В. Н.** О водных массах континентальных водоемов // Труды Ин-та биологии внутренних вод АН СССР. — 1965. — Вып. 7 (10).
10. **Chen C. T., Millero F. J.** Precise thermodynamic properties for natural waters covering only limnological range // Limnol. and Oceanogr. — 1986. — Vol. 31 (3).
11. **Farmer D. M.** Potential temperatures in deep freshwater lakes // Limnol. and Oceanogr. — 1975. — Vol. 20.
12. **Peeters F., Piepke G., Kipfer R. et al.** Description of stability and neutrally buoyant transport in freshwater lakes // Limnol. and Oceanogr. — 1996. — Vol. 41 (8).
13. **Hohmann R., Kipfer R., Peeters F. et al.** Processes of deep-water renewal in Lake Baikal // Limnol. and Oceanogr. — 1997. — Vol. 42, № 5.
14. **Гранин Н. Г.** Устойчивость стратификации и некоторые механизмы генерации конвекции в Байкале: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Иркутск, 1999.
15. **Шимараев М. Н., Гранин Н. Г., Домышева В. М. и др.** О межкотловинном водообмене в Байкале // Водн. ресурсы. — 2003. — Т. 30, № 5.
16. **Верболов В. И.** Течения и водообмен в Байкале // Водн. ресурсы. — 1996. — Т. 23, № 4.
17. **Weiss R. F., Carmack E. C., Koropalov V. M.** Deep-water renewal and biological production in Lake Baikal // Nature. — 1991. — Vol. 349.
18. **Шимараев М. Н., Гранин Н. Г.** К вопросу о стратификации и механизме конвекции в Байкале // Докл. РАН. — 1991. — Т. 321, № 2.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск
Швейцарский технологический институт, Цюрих

Поступила в редакцию
4 мая 2005 г.

УДК 579:68:579:84(282.341)

В. В. ДРЮККЕР, А. С. КОВАДЛО

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ БАКТЕРИЙ РОДА CAULOBACTER В ЭКОСИСТЕМЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Исследованы особенности распространения олиготрофных бактерий рода Caulobacter в оз. Байкал. Установлено, что наибольшее количество этих микроорганизмов выделяется из воды, взятой в устье р. Баргузин, а также из поверхностного слоя осадков в Южном Байкале. Численность микроорганизмов в зоне влияния крупных притоков — Селенги и Баргузина — закономерно снижается по мере удаления от устья в озеро. Дается оценка трофического статуса бактерий Caulobacter, исходя из экологических условий обитания их в оз. Байкал.

The distribution patterns of oligotrophic bacteria of the genus Caulobacter in Lake Baikal have been investigated. It is found that most of these microorganisms are recorded in the water sampled in the estuary of the Barguzin river, as well as from the benthic layer of sediments in Southern Baikal. The population of microorganisms in the area of influence of the major tributaries, the Selenga and Barguzin rivers, consistently decreases with the distance from the estuary into the lake. An assessment is made of the trophic status of Caulobacter bacteria, based on their ecological habitat conditions in Lake Baikal.

© 2006 Дрюккер В. В., Ковадло А. С.

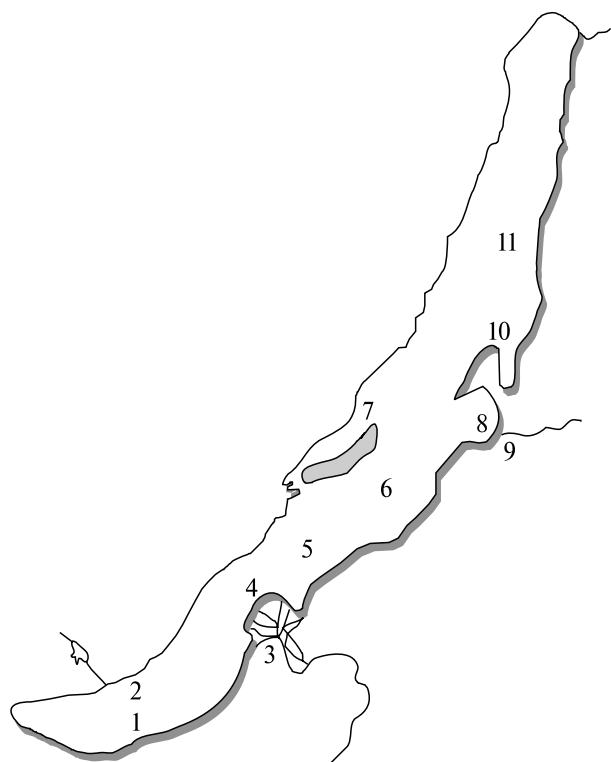


Рис. 1. Схема отбора проб воды и грунтов в Байкале.

Станции отбора: 1 — Листвянка–Танхой, 2 — мыс Березовый, 3 — устье Селенги, 4 — Харауз–Красный Яр, 5 — Анга–Сухая, 6 — Ухан–Турка, 7 — Малое Море, 8 — Баргузинский залив, 9 — р. Баргузин, 10 — Чивыркуйский залив, 11 — Елохин–Давша.

Олиготрофные бактерии — это группа микроорганизмов, населяющих различные экологические ниши биосферы, где концентрация органических соединений не превышает 1 гС/л [1]. Их разнообразие и биомасса являются доминантными в биосфере, и, таким образом, они играют важную роль в биогеохимических циклах [2]. Бактерия рода *Caulobacter* описывается в литературе в качестве модельной олиготрофной. Для каулобактерий характерен ряд приспособлений, с помощью которых они существуют в среде с низким содержанием питательных субстратов. К ним, в частности, относятся особенности метаболизма: минимальный уровень катаболитной репрессии, конститутивность большинства ферментов-переносчиков питательных веществ в клетки и их низкая субстратная специфичность. Определенную роль также

играет морфология клеток: наличие простеки, которая содержит ферменты систем поглощения, дыхания и диморфный клеточный цикл [3].

Каулобактерии обнаружены в различных типах водных и почвенных источников. Озеро Байкал относится к олиготрофному типу, поэтому было интересно изучить распространение бактерий рода *Caulobacter* в экосистеме озера в целом, а также в различных экологических нишах крупных заливов и притоков. Исследование каулобактерий связано и с определением их роли в микробном сообществе культивируемых микроорганизмов экосистемы озера. В Байкале бактерии рода *Caulobacter* изучались Н. А. Лаптевой, определившей восемь их видов [4].

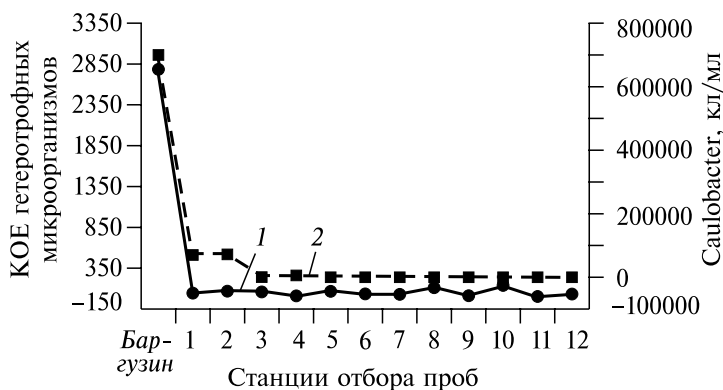
Нами исследования были проведены в мае–августе и в октябре 2004 г., в феврале, марте, мае, июле, августе, сентябре 2005 г. Пробы воды отбирались стерильным батометром по всей акватории озера (рис. 1). На полигоне у мыса Березового пробы придонной воды и поверхностного слоя грунта отбирали аквалангисты стерильными 150-миллилитровыми шприцами.

Идентификация простековых клеток *Caulobacter* осуществлялась с использованием световой и трансмиссионной электронной микроскопии (LEO-906 E, Германия). Анализ численности клеток каулобактерий проведен методом десятикратных разведений в стерильной байкальской воде с 0,01 %-ным содержанием пептона. О количестве клеток бактерий в образце судили по степени крайнего разведения, где наблюдали стебельковые клетки каулобактерий. Каждая проба анализировалась в 2–3-х повторностях. Данные по численности клеток бактерий получены с помощью таблицы МакКреда, разработанной на основе вариационной статистики [5].

Через 1, 3, 4, 7 месяцев проводилось электронномикроскопическое исследование разведений проб воды, где была обнаружена *Caulobacter*. Изучалось изменение длин простек с увеличением времени культивирования.

Рис. 2. Корреляция численности культивируемых гетеротрофных бактерий и бактерий рода *Caulobacter* в р. Баргузин и Баргузинском заливе.

1 — КОЕ гетеротрофных микроорганизмов;
2 — *Caulobacter*.



Цель работы заключалась в изучении распространения бактерий рода *Caulobacter* в оз. Байкал, их приуроченности к определенными экологическим нишам и способности выживать в различных условиях обеспеченности органическим веществом.

Для учета численности *Caulobacter* обследовано 133 пробы из глубоководной части оз. Байкал, литоральной зоны и мест впадения крупных притоков. В результате проведенных исследований максимальное количество клеток зарегистрировано в июне в воде р. Баргузин — 700 000 кл/мл.

В олиготрофных водоемах наиболее продуктивной зоной является литоральная часть. Высокие значения числа клеток каулобактерий отмечены в пробах воды, отобранных шприцем из придонной части и верхней части осадка у мыса Березового в Южном Байкале. В мае у дна, в 50 м от берега зарегистрировано 60 000 кл/мл, а в октябре на поверхности дна в 300 м от берега — 130 000 кл/мл. Интересно отметить, что в осадках Селенгинского мелководья, отобранных дночерпателем, бактерий исследуемой группы не обнаружено, но они имелись в придонной воде.

Анализ воды из глубоководной части в Южной котловине озера на наличие каулобактерий показал, что плотность их популяции во всей толще до глубины 1400 м незначительна. Лишь в марте на глубине 50 м каулобактерии составляли 1200 кл/мл. Из 55 проб, отобранных в феврале, марте, мае, июле, лишь в 30 % проб обнаружены стебельковые бактерии рода *Caulobacter* в количестве 6–600 кл/мл.

Обращает на себя внимание факт распределения *Caulobacter* в зоне влияния крупных притоков — Селенги и Баргузина. Концентрация их популяции падает по мере удаления от рек — основных поставщиков органического вещества и биогенных элементов озера. Так, в приустьевом участке Баргузина в 1 мл воды обнаружено до 70 000 клеток, а в воде самого Баргузинского залива — 0–25 кл/мл.

Представляет интерес содержание бактерий *Caulobacter* в микробном сообществе оз. Байкал. Нами обнаружена положительная корреляция между числом клеток каулобактерий и числом колоний образующих единиц (КОЕ) гетеротрофных микроорганизмов, культивирующихся на РПА:10 и на РУЕ (0,2 % пептона, 0,1 % дрожжевого экстракта, 0,01 % $MgSO_4 \times 7H_2O$, 1 % агара). Гетеротрофные бактерии могут служить косвенным показателем наличия растворимого органического вещества, так как их места обитания приурочены к участкам с повышенным содержанием питательных веществ (рис. 2).

Согласно данным, полученным Н. А. Лаптевой [4], каулобактерии наиболее распространены в мезотрофных пресных водоемах, наименее — в олиготрофных и дистрофных. С. С. Беляев [6] констатировал такой факт: наибольшее содержание клеток соответствует местам, где прозрачность воды максимальна, что является следствием незначительного содержания в воде взвешенных органических и минеральных частиц. В оз. Байкал, согласно нашим исследованиям, *Caulobacter* приурочен к зоне влияния рек и верхнему слою осадков в литорали, где, напротив, содержание взвешенных частиц повышенное.

В модельных экспериментах нами было также показано, что каулобактерии способны выжить в течение полугода в стерильной байкальской воде с добавлением 0,01 % пептона. При этом клетки имели простеки размером до 33 мкм. Как известно, элонгация простек провоцируется низкой концентрацией питательных субстратов. Клетки, культивированные на агаризованной среде РУЕ, имели укороченные простеки, гипертрофированные клетки, а также гранулы полифосфатов и поли-β-гидроксиполитрифосфатов (см. таблицу и рис. 3).

Таким образом, байкальские *Caulobacter* способны как к выживанию в условиях крайнего «голодания», так и к выживанию и делению на среде с 0,3 %-ным содержанием органического материала.

Экспериментальные данные, полученные в ходе исследований каулобактерий при различных концентрациях органических субстратов

Условия обитания <i>Caulobacter</i>	Длины простек, мкм	Средняя арифметическая длина простек, мкм
На среде РУЕ	0,9; 4; 2; 4; 7,5; 2,2; 7,5; 1,8; 2,2; 0,7; 0,9; 0,6; 0,4; 0,4; 1; 0,8; 0,8; 0,7; 1,4; 0,9; 2; 2,9; 0,7; 0,2; 1,6; 3; 2; 0,7; 1; 1,4; 1; 2; 1,5; 1,9; 2; 1; 2,2; 1	1,8
В байкальской воде с 0,01 % пептона	Один месяц культивации 2,1; 1,8; 4; 12; 0,3; 2; 2; 3; 6	3,3
	Три месяца культивации 6; 2,5; 0,5; 2,2; 2,6; 5; 5; 18,5; 2,5; 1,25	4,6
	Четыре месяца культивации 5; 5; 0,5; 3; 6; 14; 22; 1; 13; 1,25; 1,2; 1; 1; 2,1; 4	5,3
	Семь месяцев культивации 1; 7,5; 8; 4,8; 4; 33; 4; 2; 5; 4; 5	7,1
In situ	2; 2	2

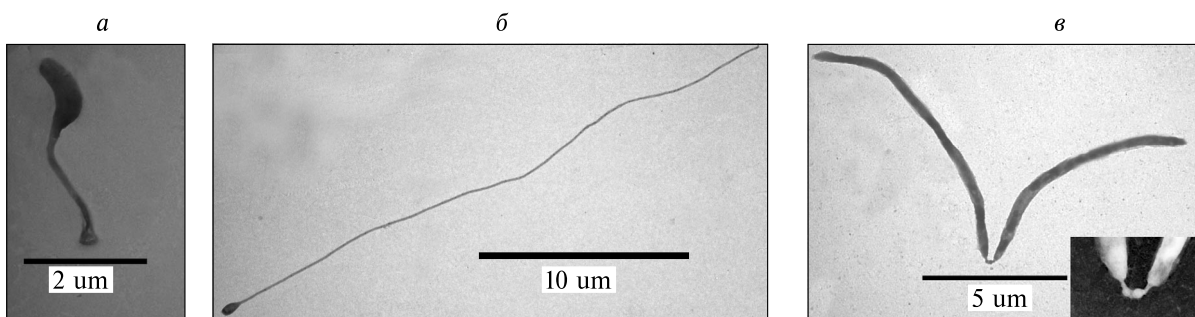


Рис. 3. Морфология каулобактерий при различных условиях обитания.

a — in situ; *б* — в байкальской воде с 0,01 % пептона, семь месяцев культивации; *в* — на среде PYE.

Исходя из полученных данных по распределению каулобактерий в различных экологических нишах Байкала, а также учитывая экспериментальные данные по выживаемости при различном содержании органических веществ, необходимо отметить, что *Caulobacter* можно отнести к группе факультативных олиготрофов и что виды реальных олиготрофных микроорганизмов озера, которые не культивируются на твердых питательных средах, в значительной степени остаются неизвестными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Никитин Д. И.** Современные представления о бактериальной олиготрофии // Тезисы докладов конференции «Перспективы развития почвенной биологии». — М., 2001.
2. **Sheng Y. Y., Bao T. X.** Oligotrophic bacteria and their applications in environmental science // Chinese. — 2005. — Vol. 16.
3. **Poindexter J. S.** The Caulobacters: ubiquitous unusual bacteria // Microbiol. reviews. — 1981. — Vol. 45.
4. **Лаптева Н. А.** Экологические особенности распределения бактерий рода *Caulobacter* в пресных водоемах // Микробиология. — 1987. — Вып. 56.
5. **Беляев С. С.** О методах учета и выделения *Caulobacter* // Микробиология. — 1986. — Вып. 5.
6. **Беляев С. С.** Биология бактерий рода *Caulobacter*: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970.

*Лимнологический институт СО РАН,
Иркутск*

*Поступила в редакцию
6 декабря 2005 г.*