

УДК 574.58(282.256.341)

**ЧИСЛЕННОСТЬ БАКТЕРИОНЕЙСТОНА
И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ПОВЕРХНОСТНОГО МИКРОСЛОЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ**

**А. Д. Галачянц, И. В. Томберг, Ю. Р. Штыкова, Е. В. Суханова,
М. Ю. Сулова, Е. А. Зименс, В. В. Блинов, М. В. Сакирко,
В. М. Домышева, О. И. Белых**

*Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, Иркутск, Улан-Баторская, 3
E-mail: agniagal@lin.irk.ru*

Поступила в редакцию 16.05.2018 г., после доработки 17.09.2018 г., принята 25.10.2018 г.

Галачянц А. Д., Томберг И. В., Штыкова Ю. Р., Суханова Е. В., Сулова М. Ю., Зименс Е. А., Блинов В. В., Сакирко М. В., Домышева В. М., Белых О. И. Численность бактерионейстона и физико-химические особенности поверхностного микрослоя озера Байкал // Поволжский экологический журнал. 2018. № 4. С. 379 – 390. DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-4-379-390>

Водный поверхностный микрослой располагается на границе атмосферы и гидросферы, занимает 70% земной поверхности, покрывая все без исключения водоёмы. Толщина поверхностного микрослоя составляет около 50 мкм. Здесь формируется особое сообщество микроорганизмов, называемое нейстоном. Нами изучена общая численность бактерий в поверхностном микрослое и подповерхностном слое воды озера Байкал методом эпифлюоресцентной микроскопии, а также впервые определены физико-химические особенности поверхностного микрослоя озера. Отбор проб воды проводили по всей акватории озера Байкал в мае – июне 2013 – 2016 гг. и в августе 2013, 2015 и 2016 гг. Пробы поверхностного микрослоя отбирали из лодки металлической сеткой Гарретта (диаметр 26.5 см) преимущественно в условиях штиля. Средние значения общей численности бактерий в поверхностном микрослое колебались в разные года в пределах $0.93 - 1.49 \times 10^6$ кл/мл весной и $1.73 - 2.24 \times 10^6$ кл/мл летом; в подповерхностном слое воды – $0.79 - 0.89 \times 10^6$ кл/мл в мае – июне и $1.15 - 1.4 \times 10^6$ кл/мл в августе. Показано, что существуют достоверные различия и прямая зависимость между общей численностью бактерий нейстона и планктона в летний период. Выявлены различия между химическим составом поверхностного микрослоя и подповерхностного слоя воды во все исследованные сезоны. В поверхностном микрослое наблюдали повышенные концентрации минерального фосфора, органического углерода, кроме того, он характеризовался более высокой мутностью по сравнению с нижележащими слоями воды. Выявлена прямая зависимость между численностью бактерий в поверхностном микрослое и мутностью воды.

Ключевые слова: поверхностный микрослой, нейстон, общая численность бактерий, озеро Байкал.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-4-379-390>

ВВЕДЕНИЕ

Водный поверхностный микрослой (ПМС) является физической границей между гидросферой и атмосферой. ПМС характеризуется незначительной толщиной, не превышающей нескольких десятков микрометров, тем не менее, он резко отличается от водной толщи по физико-химическим характеристикам и содержит большое количество органических соединений, таких как липиды, белки и полисахариды (Zhang et al., 1998, 2003). ПМС занимает около 70% земной поверхности, покрывая все без исключения водоёмы, как морские, так и пресные, образуя особую среду для обитания гидробионтов, в которой формируется специфическое сообщество микроорганизмов, называемое нейстоном. Бактерии, обитающие в ПМС, или бактерионеuston, являются важным компонентом водных экосистем. Они играют существенную роль в поддержании физико-химических свойств ПМС, активно участвуют в обмене веществ и газов между атмосферой и гидросферой (Cunliffe et al., 2011). Также показано важное значение бактерионеустонных сообществ в глобальном цикле углерода (Kuznetsova, Lee, 2001; Cunliffe et al., 2009).

Определение общей численности бактерий (ОЧБ) в естественных водоёмах остается актуальным и на современном этапе исследований; этот показатель является неотъемлемой характеристикой микробного сообщества. Для подсчета ОЧБ используется широко распространенный метод эпифлюоресцентной микроскопии (Porter, Feig, 1980). ОЧБ в ПМС исследовали в морских (Kuznetsova et al., 2004; Santos et al., 2011, 2014) и пресных водоёмах (Hörtnagl et al., 2010; Sarmiento et al., 2015). Во многих работах показано, что численность бактерий в ПМС зачастую выше, чем в подповерхностном слое воды (Obernosterer et al., 2005; Santos et al., 2014; Sarmiento et al., 2015).

Озеро Байкал является самым глубоким и одним из древнейших озёр в мире. Химический состав воды озера характеризуется незначительным содержанием солей (около 96 мг/л) и низкими концентрациями биогенных элементов. Содержание фосфатов и нитратов в слое воды 0 – 50 м не превышает 0.030 и 0.30 мг/л соответственно (Атлас Байкала, 1993; Khodzher et al., 2017). Эти особенности делают оз. Байкал непохожим на другие водоёмы, где проводили исследования ПМС (Hörtnagl et al., 2010; Sarmiento et al., 2015). В 70-е гг. XX в. изучением бактерионеюста оз. Байкал занимался В. М. Никитин (Никитин, 1983). В частности, он проводил подсчет ОЧБ, используя метод Разумова (Романенко, Кузнецов, 1974), и численности культивируемых гетеротрофных бактерий на нескольких станциях южной котловины озера (Никитин, 1983). С тех пор исследование бактерионеюста на оз. Байкал не проводили.

Цель данного исследования – выявить закономерности распределения общей численности бактерий нейстона по всей акватории оз. Байкал в разные сезоны и годы, сравнить с численностью бактерий в подповерхностном слое воды, а также изучить физико-химические свойства поверхностного микрослоя воды озера.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Отбор проб ПМС и подповерхностного слоя (ПС) воды проводили по всей акватории оз. Байкал в мае – июне 2013 – 2016 гг. (НИС «Г. Ю. Верещагин», НИС

«В. А. Коптюг»), в августе 2013, 2015 и 2016 гг. (НИС «Г. Ю. Верещагин», НИС «Г. Титов») (рис. 1).

Пробы ПМС отбирали из лодки металлической сеткой (диаметр 26.5 см) преимущественно в условиях штиля, как было описано ранее (Галачьянц и др., 2017). Толщину забираемого слоя воды определяли как отношение объема собранного образца к площади сетки (Agogue et al., 2004). Толщина водного слоя, забираемого сеткой в оз. Байкал, составила 362 – 420 мкм. Единовременный забор составил 20 – 23 мл.

Отбор проб ПС воды проводили шприцем с глубины 15 – 20 см.

Общую численность бактерий учитывали методом эпифлюоресцентной микроскопии (краситель ДАФИ) (Porter, Feig, 1980).

Исследования **химического состава** ПМС и подлежащего слоя воды на глубине 15 – 20 см проводили летом 2013 г., весной и летом 2015 г. и весной 2016 г. Для определения фосфатов, нитратов, нитритов и ионов аммония пробы фильтровали через мембранные фильтры (Advantec, Япония, диаметр пор 0.45 мкм). Величину рН, мутность и содержание общего органического углерода (ТОС) определяли в нефилтрованной воде. Для измерения величины рН использовали рН-метр с комбинированным электродом и термокомпенсатором (Expert-pH, Россия). Определение мутности (по каолину), концентраций растворенных биогенных элементов проводили на фотоколориметре КФК-3-01-«ЗОМЗ» (ОАО «ЗОМЗ», Россия) (Wetzel, Likens, 2000). Количество нитратов и нитритов измеряли при помощи высокоэффективной жидкостной

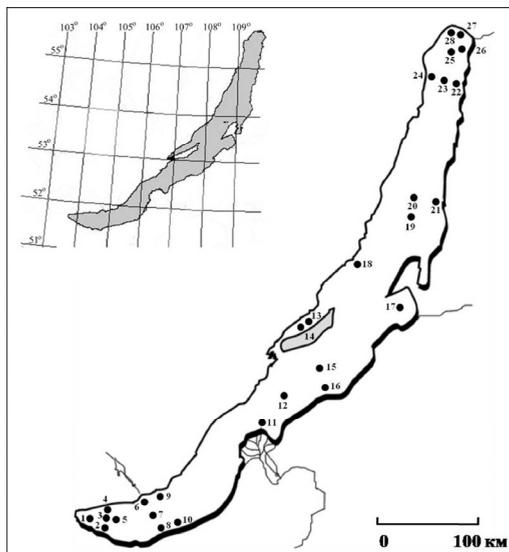


Рис. 1. Схема станций отбора проб ПМС на оз. Байкал в 2013 – 2015 гг.: 1 – 12 км от пос. Култук; 2 – 3 км от пос. Солзан; 3 – центральная станция разреза пос. Маритуй – пос. Солзан; 4 – 3 км от пос. Маритуй; 5 – центральная станция разреза мыс Ивановский – пос. Мурино; 6 – залив Лиственничный; 7 – центральная станция разреза пос. Лиственянка – пос. Танхой; 8 – 3 км от пос. Танхой; 9 – напротив пос. Большие Коты; 10 – напротив пос. Бабушкин; 11 – 3 км от протоки Харауз (р. Селенга); 12 – центральная станция разреза р. Анга – р. Сухая; 13 – пролив Малое Море; 14 – напротив пос. Хужир; 15 – центральная станция разреза мыс Ухан – мыс Тонкий; 16 – 3 км от мыса Тонкий; 17 – залив Баргузинский; 18 – мыс Солнечный; 19 – центральная станция разреза мыс Заворотный – р. Сосновка; 20 – центральная станция разреза мыс Елохин – пос. Давша; 21 – 3 км от пос. Давша; 22 – 3 км от мыса Турали; 23 – центральная станция разреза пос. Байкальское – мыс Турали; 24 – 3 км от пос. Байкальское; 25 – центральная станция разреза р. Тья – мыс Немнянка; 26 – мыс Биракан; 27 – Ангаро-Кичерское мелководье (остров Миллионный); 28 – 3 км от г. Нижнеангарск

хроматографии (EcoNova, Россия) с УФ-детектированием на колонке с обращенной фазой, модифицированной октадецилтриметиламмония бромидом (Khodzher et al., 2016). Общий органический углерод исследовали на анализаторе общего углерода/азота (Vario TOC cube, Германия).

Статистический анализ данных проводили в программе R-Studio 3.3.1 (<https://cran.r-project.org/bin/windows/base/old/3.1.1/>). Для выявления зависимости между признаками применяли коэффициент корреляции Пирсона. Для определения достоверных различий между выборками использовали тест Манна – Уитни-Вилкоксона. Уровень значимости – 0.05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Распределение общей численности бактерий в поверхностном микрослое и подповерхностном слое воды оз. Байкал. Средние значения ОЧБ в ПМС колебались в разные года в пределах $0.93 - 1.49 \times 10^6$ кл/мл весной и $1.73 - 2.24 \times 10^6$ кл/мл летом; в ПС – $0.79 - 0.89 \times 10^6$ кл/мл весной и $1.15 - 1.4 \times 10^6$ кл/мл летом (рис. 2).

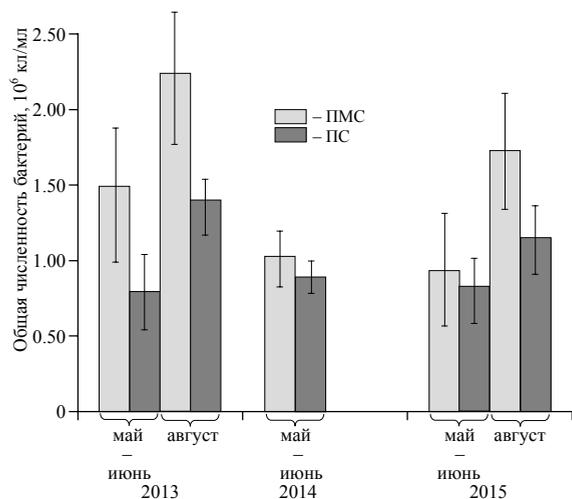


Рис. 2. Общая численность бактерий (10^6 кл/мл) в ПМС и ПС оз. Байкал в весенние и летние сезоны 2013 – 2015 гг.; в качестве доверительного интервала приведены значения стандартной ошибки среднего при уровне значимости 0.05

Физико-химические особенности поверхностного микрослоя воды оз. Байкал. Выявлены различия между химическим составом ПМС и ПС воды во все исследованные сезоны. Так, летом 2013 г. мутность и концентрации фосфатов и нитритов в ПМС в 2 – 4 раза превышали содержание этих компонентов в ПС (таблица). Величины pH в ПМС были в среднем на 0.2 – 0.3 единицы ниже, чем в подлежащем слое воды.

Весной 2015 г. регистрировали значительные отличия между содержанием фосфатов в исследуемых слоях; концентрации в ПМС были в среднем в 2 – 3 раза

Установлено, что не существует достоверных различий в ОЧБ нейстона между различными котловинами оз. Байкал, а также в межгодовой динамике. То же самое оказалось справедливым и для бактериопланктона, населяющего водную толщу.

Достоверные различия в ОЧБ между ПМС и ПС воды обнаружены только в летние сезоны (в 1.5 – 1.6 раз).

Выявлена прямая зависимость между ОЧБ нейстона и планктона; коэффициент корреляции Пирсона составил 0.74 весной 2013 г., 0.67 летом 2013 г., 0.87 весной 2014 г. и 0.9 летом 2015 г. ($p < 0.05$).

Физико-химические особенности поверхностного микрослоя воды оз. Байкал.

ЧИСЛЕННОСТЬ БАКТЕРИОНЕЙСТОНА

выше, чем в нижележащем слое воды. Кроме того, в мае наблюдали повышенные концентрации аммонийного азота и высокое содержание органического углерода в ПМС (см. таблицу). К августу количество органического углерода снизилось до типичных для Байкала значений, однако концентрации в ПМС в 2 - 3 раза превышали показатели в ПС (см. таблицу). Кроме того, сохранились значимые отличия между ПМС и ПС в содержании фосфатов.

Мутность и химический состав ПМС и ПС оз. Байкал, август 2013 г.

Слой воды	Август 2013			Май – июнь 2015		Август 2015		Май – июнь 2016	
	М, мг/л	PO ₄ ³⁻ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	PO ₄ ³⁻ , мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л	PO ₄ ³⁻ , мг/л	ТОС, мг С/л	PO ₄ ³⁻ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л
ПМС	13.5±4.5	0.026±0.006	0.010±0.003	0.024±0.004	0.021±0.003	0.020±0.005	3.5±2.2	0.009±0.004	0.38±0.04
ПС	3.6±1.5	0.012±0.006	0.005±0.001	0.010±0.002	0.007±0.001	0.014±0.003	1.4±0.3	0.006±0.004	0.36±0.04

Примечание. М – мутность, ТОС – общий органический углерод. В качестве доверительного интервала приведены значения стандартной ошибки среднего при уровне значимости 0.05.

Весной 2016 г. в ПМС сохранялись более высокие концентрации фосфатов, нитритов, аммонийного азота, однако градиенты были ниже, чем в предыдущие годы (см. таблицу).

Таким образом, удалось детектировать различия в химическом составе между ПМС и ПС оз. Байкал, максимальные градиенты наблюдали в летний период.

Статистические расчеты показали значимую прямую корреляционную связь между ОЧБ в ПМС и мутностью воды (коэффициент корреляции Пирсона составил 0.69 для культивируемых бактерий и 0.87 для ОЧБ, $p < 0.05$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Распределение общей численности бактерий в поверхностном микрослое и подповерхностном слое воды оз. Байкал. Общая численность бактерий в поверхностном микрослое воды оз. Байкал согласно данным В. М. Никитина (1983) колебалась в пределах $570 - 2238 \times 10^6$ кл/мл, что на 3 порядка превышает показатели, полученные нами. По данным литературы, столь высокие значения ОЧБ не фиксировали в ПМС ни пресных, ни морских водоёмов. В. В. Максимов и Е. В. Щетинина (2009), занимавшиеся исследованием бактериопланктонных сообществ оз. Байкал, показали, что используемый В. М. Никитиным метод Разумова (Романенко, Кузнецов, 1974) сопоставим с методом окраски пробы ДАФИ при оценке ОЧБ, поэтому различия в полученных значениях не могут быть объяснены ошибкой метода. В то же время В. М. Никитин (1983) несколько модифицировал классическую методику, используя вместо мембранного фильтра полиэтиленовую пленку. Возможно, вследствие этого был произведен ошибочный расчет ОЧБ. В подповерхностном слое воды (0 – 2 см) ОЧБ колебалась в пределах $0.7 - 2.8 \times 10^6$ кл/мл (Никитин, 1983), что сопоставимо с нашими результатами. По данным за последние годы, ОЧБ в поверхностном слое (0 – 50 м) оз. Байкал составляет $0.2 - 2.2 \times 10^6$ кл/мл (Парфенова и др., 2000; Михайлов и др., 2015), что также согласуется с нашими результатами.

Полученные нами значения соответствуют приведенным для других пресных водоёмов. В высокогорных озерах центральных Пиреней, по данным разных авторов, ОЧБ в ПМС варьировала в пределах $0.2 - 12.2 \times 10^6$ кл/мл, в высокогорных озерах Альп – $0.2 - 3.2 \times 10^6$ кл/мл (Hörtnagl et al., 2010; Sarmiento et al., 2015). В ПС воды эти же авторы указывают интервалы $0.1 - 1.8 \times 10^6$ кл/мл, $0.2 - 0.7 \times 10^6$ кл/мл соответственно.

Наличие прямой зависимости между численностью бактерий в поверхностном микрослое и в подповерхностном слое воды подтверждается результатами других исследователей (Joux et al., 2006; Santos et al., 2011). Присутствие такой зависимости служит одним из доказательств происхождения бактериоценоза из бактериальных сообществ водной толщи. Бактерии попадают в поверхностный микрослой воды путем пассивного транспорта либо вместе с частицами, обладающими положительной плавучестью, либо с пузырьками газов (Joux et al., 2006). Отсутствие различий в ОЧБ между ПМС и ПС весной можно объяснить интенсивным перемешиванием поверхностных вод в период перехода от обратной температурной стратификации к прямой (Шимараев, Гранин, 1991).

Физико-химические особенности поверхностного микрослоя воды озера Байкал. Известно, что водный поверхностный микрослой морских экосистем отличается по химическому составу от водной толщи (Северо-западная часть Чёрного моря: биология и экология, 2006; Zhang et al., 1998, 2003; Hörtnagl et al., 2010). Так, в открытых водах северо-западной части Чёрного моря содержание фосфатов в ПМС в среднем в 2 – 4 раза выше, чем в воде на глубине около 0.5 м (Северо-западная часть Чёрного моря: биология и экология, 2006). В северной Атлантике перманганатная окисляемость в верхнем слое воды толщиной 0.15 мм в среднем на порядок выше, чем на глубине 0.5 м (Балашов и др., 1974). Измерение содержания химических компонентов в ПМС оз. Байкал проводили впервые, при этом удалось найти различия в химическом составе воды между ПМС и ПС воды, что согласуется с данными мировой литературы.

Наличие корреляции между численностью бактерий в поверхностном микрослое и мутностью воды можно объяснить, располагая уже имеющимися в современной литературе данными. Известно, что мутность воды – показатель, характеризующий уменьшение ее прозрачности в связи с наличием неорганических и органических тонкодисперсных взвесей, т.е. частиц, а также развитием планктонных организмов. Многими исследователями показано, что в ПМС доля бактерий, прикрепленных к частицам, в 3 – 10 раз выше, чем в подповерхностном слое воды (Obernosterer et al., 2005; Santos et al., 2011). Поскольку прикрепленные к частицам бактерии составляют значительную часть всех микроорганизмов, находящихся в поверхностном микрослое ($42 - 29\%$ по данным Santos et al., 2011), то наличие корреляции между мутностью и численностью бактерий нейстона представляется закономерным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, средние значения общей численности бактерий в поверхностном микрослое колебались в разные года в пределах $0.93 - 1.49 \times 10^6$ кл/мл весной и

ЧИСЛЕННОСТЬ БАКТЕРИОНЕЙСТОНА

1.73 – 2.24×10⁶ кл/мл летом; в подповерхностном слое воды – 0.79 – 0.89×10⁶ кл/мл в мае – июне и 1.15 – 1.4×10⁶ кл/мл в августе. Полученные значения согласуются с данными литературы. Выявлены достоверные различия и прямая зависимость между общей численностью бактерий в поверхностном микрослое и подповерхностном слое воды в летний период. Наличие такой зависимости служит одним из доказательств происхождения бактерионейстона из бактериальных сообществ водной толщи. Отсутствие различий в ОЧБ между ПМС и ПС весной можно объяснить интенсивным перемешиванием поверхностных вод в период перехода от обратной температурной стратификации к прямой.

Детектированы различия в химическом составе между поверхностным микрослоем и подповерхностным слоем воды оз. Байкал. В поверхностном микрослое наблюдаются повышенные концентрации фосфатов, органического углерода, а также повышена мутность по сравнению с нижележащими слоями воды. При этом максимальные градиенты наблюдали в летний период. Выявлена прямая зависимость между численностью бактерий в поверхностном микрослое и мутностью воды, что можно связать с высокой численностью бактерий, прикрепленных к частицам как органического, так и неорганического происхождения.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0345-2016-0003 (АААА-А16-116122110061-6) «Микробные и вирусные сообщества в биопленках пресноводных экосистем...» (отбор проб, учет численности культивируемых гетеротрофных бактерий), № 0345-2016-0008 (АААА-А16-116122110065-4) «Оценка и прогноз экологического состояния озера Байкал...» (исследование химического состава воды) и при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-34-00309) (учет общей численности бактерий).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас Байкала. Омск : Роскартография, 1993. 160 с.
- Балашов А. И., Зайцев Ю. П., Коган Г. М., Михайлов В. И. К изучению некоторых компонентов химического состава воды на границе океан – атмосфера // *Океанология*. 1974. Т. 14, № 5. С. 817 – 822.
- Галачьянц А. Д., Белькова Н. Л., Суханова Е. В., Галачьянц Ю. П., Морозов А. А., Парфенова В. В. Особенности таксономического состава бактерионейстонных сообществ озера Байкал // *Микробиология*. 2017. Т. 86, № 2. С. 229 – 238.
- Максимов В. В., Щетинина Е. В. Микробиологическая характеристика открытых вод Байкала по данным общей численности микроорганизмов // *Журн. Сиб. федер. ун-та. Сер. биология*. 2009. Т. 2, № 3. С. 263 – 270.
- Михайлов И. С., Захарова Ю. Р., Галачьянц Ю. П., Усольцева М. В., Петрова Д. П., Саккирко М. В., Лихошвай Е. В., Грачев М. А. Об однородности таксономического состава бактериальных сообществ фотического слоя трех котловин озера Байкал, различающихся по составу и обилию весеннего фитопланктона // *Докл. РАН*. 2015. Т. 465, № 5. С. 620 – 626.
- Никитин В. М. Бактерионейстон // *Экология Южного Байкала*. Иркутск : Изд-во Сиб. отд-ния АН СССР, 1983. С. 68 – 77.
- Парфенова В. В., Шимараев М. Н., Косторнова Т. Я., Домышева В. М., Левин Л. А., Дрюккер В. В., Жданов А. А., Гнатовский Р. Ю., Цехановский В. В., Логачева Н. Ф. О верти-

кальном распределении микроорганизмов в озере Байкал в период весеннего обновления глубинных вод // Микробиология. 2000. Т. 69, № 3. С. 433 – 440.

Романенко В. И., Кузнецов С. И. Экология микроорганизмов пресных водоемов. Лабораторное руководство. Л. : Наука : Ленингр. отд-ние, 1974. 194 с.

Северо-западная часть Черного моря : биология и экология. Киев : Наук. думка, 2006. 701 с.

Шимараев М. Н., Гранин Н. Г. К вопросу о стратификации и механизме конвекции на Байкале // Докл. Академии наук СССР. 1991. Т. 321, № 2. С. 381 – 385.

Agogue H., Casamayor E. O., Joux F., Obernosterer I., Dupuy C., Lantoine F., Catala P., Weinbauer M. G., Reinthaler T., Herndl G. J., Lebaron P. Comparison of samplers for the biological characterization of the sea surface microlayer // *Limnology and Oceanography : Methods*. 2004. № 2. P. 213 – 225.

Cunliffe M., Whiteley A. S., Newbold L., Oliver A., Schäfer H., Murrell J. C. Comparison of bacterioneuston and bacterioplankton dynamics during a phytoplankton bloom in a fjord mesocosm // *Applied and Environmental Microbiology*. 2009. Vol. 75, № 22. P. 7173 – 7181.

Cunliffe M., Upstill-Goddard R., Murrell C. Microbiology of aquatic surface microlayers // *FEMS Microbiology Reviews*. 2011. Vol. 35, № 2. P. 233 – 246.

Hörtnagl P., Perez M. T., Zeder M., Sommaruga R. The bacterial community composition of the surface microlayer in a high mountain lake // *FEMS Microbiology Ecology*. 2010. Vol. 73, № 3. P. 458 – 467.

Joux F., Agogue H., Obernosterer I., Dupuy C., Reinthaler T., Herndl G. J., Lebaron P. Microbial community structure in the sea surface microlayer at two contrasting coastal sites in the northwestern Mediterranean Sea // *Aquatic Microbial Ecology*. 2006. Vol. 42, № 1. P. 91 – 104.

Khodzher T. V., Domysheva V. M., Sorokovikova L. M., Golobokova L. P. Methods for monitoring the chemical composition of Lake Baikal water // *Novel methods for monitoring and managing land and water resources in Siberia*. Cham : Springer, 2016. P. 113 – 132.

Khodzher T. V., Domysheva V. M., Sorokovikova L. M., Sakirko M. V., Tomberg I. V. Current chemical composition of Lake Baikal water // *Inland Waters*. 2017. Vol. 7, № 3. P. 250 – 258.

Kuznetsova M., Lee C. Enhanced extracellular enzymatic peptide hydrolysis in the seasurface microlayer // *Marine Chemistry*. 2001. Vol. 73, № 1–2. P. 319 – 332.

Kuznetsova M., Lee C., Aller J., Frew N. M. Enrichment of amino acids in the sea-surface microlayers at coastal and open ocean sites in the north Atlantic ocean // *Limnology and Oceanography*. 2004. Vol. 49, № 5. P. 1605 – 1619.

Obernosterer I., Catala P., Reinthaler T., Herndl G. J., Lebaron P. Enhanced heterotrophic activity in the surface microlayer of the Mediterranean Sea // *Aquatic Microbial Ecology*. 2005. Vol. 39, № 3. P. 293 – 302.

Porter K. G., Feig Y. S. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora // *Limnology and Oceanography*. 1980. № 25. P. 943 – 948.

Santos L., Santos A. L., Coelho F. J. R. C., Gomes N. C. M., Dias J. M., Cunha A., Almeida A. Relation between bacterial activity in the surface microlayer and estuarine hydrodynamics // *FEMS Microbiology Ecology*. 2011. Vol. 77, № 3. P. 636 – 646.

Santos A. L., Baptista I., Gomes N. C. M., Henriques I., Almeida A., Correia A., Cunha A. Contribution of chemical water properties to the differential responses of bacterioneuston and bacterioplankton to ultraviolet-B radiation // *FEMS Microbiology Ecology*. 2014. Vol. 87, № 2. P. 517 – 535.

Sarmento H., Casamayor E. O., Auguet J.-C., Vila-Costa M., Felip M., Camarero L., Gasol J. M. Microbial food web components, bulk metabolism, and single-cell physiology of piconeuston in surface microlayers of high-altitude lakes // *Frontiers in Microbiology*. 2015. Vol. 6, Article 361. P. 1 – 12.

ЧИСЛЕННОСТЬ БАКТЕРИОНЕЙСТОНА

Wetzel R. G., Likens G. E. Limnological analyses. New York : Springer, 2000. 429 p.

Zhang Z., Liu L., Wu Z., Li J., Ding H. Physicochemical studies of the sea surface microlayer. I. Thickness of the sea surface microlayer and its experimental determination // *J. Colloid Interface Science*. 1998. Vol. 204, № 2. P. 294 – 299.

Zhang Z., Liu L., Liu C., Cai W. Studies on the sea surface microlayer. II. The layer of sudden change of physical and chemical properties // *J. Colloid Interface Science*. 2003. Vol. 264, № 1. P. 148 – 159.

А. Д. Галачянц, И. В. Томберг, Ю. Р. Штыкова и др.

**BACTERIONEUSTON ABUNDANCE
AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES
OF THE SURFACE MICROLAYER OF LAKE BAIKAL**

**Agnia D. Galachyants, Irina V. Tomberg, Yulia R. Shtykova,
Elena V. Sukhanova, Maria Yu. Suslova, Ekaterina A. Zimens, Vadim V. Blinov,
Maria V. Sakirko, Valentina M. Domysheva, and Olga I. Belykh**

*Limnological Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
3 Ulan-Batorskaya Str., Irkutsk 664033, Russia
E-mail: agniagal@lin.irk.ru*

Received 16 May 2018, revised 17 September 2018, accepted 25 October 2018

Galachyants A. D., Tomberg I. V., Shtykova Yu. R., Sukhanova E. V., Suslova M. Yu., Zimens E. A., Blinov V. V., Sakirko M. V., Domysheva V. M., Belykh O. I. Bacterioneuston Abundance and Physicochemical Properties of the Surface Microlayer of Lake Baikal. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2018, no. 4, pp. 379 – 390 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-4-379-390>

The aquatic surface microlayer is located at the atmosphere–hydrosphere boundary and occupies 70% of Earth's surface, covering all water bodies. The depth of the surface microlayer is about 50 μm . A special microbial community called neuston is formed there. The total bacterial abundance in the surface microlayer (SML) and underlying waters (UW) of Lake Baikal was studied using epifluorescence microscopy. Physicochemical features of the surface microlayer of Lake Baikal were revealed for the first time. The SML was sampled throughout Lake Baikal in May–June of 2013 to 2016 and in August of 2013, 2015 and 2016. SML samples were taken from a boat, mainly during calm weather, using Garrett's metal mesh screen (a diameter of 26.5 cm). The average values of total bacterial abundance in the SML varied through years within a range of $(0.93\text{--}1.49)\times 10^6$ cells/mL in May–June and $(1.73\text{--}2.24)\times 10^6$ cells/mL in August; in the UW, at a depth about 15–20 cm, there were $(0.79\text{--}0.89)\times 10^6$ cells/mL in May–June and $(1.15\text{--}1.4)\times 10^6$ cells/mL in August. Significant differences and a direct relationship between the total bacterial abundance in the surface microlayer and underlying waters of Lake Baikal in the summer period have been shown. Differences between the chemical composition of the surface microlayer and the subsurface water layer in all studied seasons were revealed. The surface microlayer was enriched with PO_4^{3-} , total organic carbon and suspended particulate matter as compared with the underlying waters. A direct relationship was found between the numbers of bacteria in the surface microlayer and the suspended particulate matter concentration.

Key words: surface microlayer, neuston, total bacterial abundance, Lake Baikal.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-4-379-390>

Acknowledgments: The study was carried out within the framework of State Tasks nos. 0345-2016-0003 (AAAA-A16-116122110061-6) “Microbial and viral communities in biofilms of freshwater ecosystems...” (sampling, counting the number of cultured heterotrophic bacteria), 0345-2016-0008 (AAAA-A16-116122110065-4) “Assessment and prognosis of the ecological state of Lake Baikal...” (analysis of the chemical composition of water), and the Russian Foundation for Basic Research (project no. 18-34-00309) (total bacterial abundance).

REFERENCES

- Atlas Baykala* [Lake Baikal: Atlas]. Omsk, Roskartografiya Publ., 1993. 160 p. (in Russian).
- Balashov A. I., Zaitsev Yu. P., Kogan G. M., Mikhailov V. I. K izucheniyu nekotorykh komponentov khimicheskogo sostava vody na granitse okean-atmosfera [A study of some chemical components of sea water at the sea-air interface]. *Okeanologiya*, 1974, vol. 14, no. 5, pp. 817–822 (in Russian).
- Galach'yants A. D., Bel'kova N. L., Sukhanova E. V., Galach'yants Yu. P., Morozov A. A., Parfenova V. V. Taxonomic composition of Lake Baikal bacterioneuston communities. *Microbiology*, 2017, vol. 86, no. 2, pp. 241–249.
- Maksimov V. V., Schetinina E. V. Microbiological Characteristic of Pelagic Waters of Lake Baikal According to Data of Total Number of Microorganisms. *J. of Siberian Federal University. Biology*, 2009, vol. 2, no. 3, pp. 263–270 (in Russian).
- Mikhailov I. S., Zakhharova Yu. R., Galachyants Yu. P., Usoltseva M. V., Petrova D. P., Sakirko M. V., Likhoshway Ye. V., Grachev M. A. Similarity of structure of taxonomic bacterial communities in the photic layer of Lake Baikal's three basins differing in spring phytoplankton composition and abundance. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, 2015, vol. 465, pp. 413–419.
- Nikitin V. M. Bakterioneyston [Bacterioneuston]. In: *Ekologiya Yuzhnogo Baikala* [Ecology of Southern Baikal]. Irkutsk, Sibirskoye otdeleniye AN SSSR Publ., 1983, pp. 68–77 (in Russian).
- Parfenova V. V., Shimaraev M. N., Kostornova T. Ya., Domyшева V. M., Levin L. A., Dryukker V. V., Zhdanov A. A., Gnatovskii R. Yu., Tsekhanovskii V. V., Logacheva N. F. On the vertical distribution of microorganisms in Lake Baikal during spring deep-water renewal. *Microbiology*, 2000, vol. 69, no. 3, pp. 357–363.
- Romanenko V. I., Kuznetsov S. I. *Ekologiya mikroorganizmov presnykh vodoemov* [Microorganisms Ecology in Freshwater Bodies]. Leningrad, Nauka Publ., 1974. 194 p. (in Russian).
- Severo-zapadnaya chast' Chernogo morya: biologiya i ekologiya* [North-western part of the Black Sea: biology and ecology]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 2006. 703 p. (in Russian).
- Shimaraev M. N., Granin N. G. On the stratification and the mechanisms of convection in Lake Baikal. *Doklady Akademii nauk SSSR*, 1991, vol. 321, no. 2, pp. 381–385 (in Russian).
- Agogue H., Casamayor E. O., Joux F., Obernosterer I., Dupuy C., Lantoin F., Catala P., Weinbauer M. G., Reinthaler T., Herndl G. J., Lebaron P. Comparison of samplers for the biological characterization of the sea surface microlayer. *Limnology and Oceanography: Methods*, 2004, no. 2, pp. 213–225.
- Cunliffe M., Whiteley A. S., Newbold L., Oliver A., Schäfer H., Murrell J. C. Comparison of bacterioneuston and bacterioplankton dynamics during a phytoplankton bloom in a fjord mesocosm. *Applied and Environmental Microbiology*, 2009, vol. 75, no. 22, pp. 7173–7181.
- Cunliffe M., Upstill-Goddard R., Murrell C. Microbiology of aquatic surface microlayers. *FEMS Microbiology Reviews*, 2011, vol. 35, no. 2, pp. 233–246.
- Hörtnagl P., Perez M. T., Zeder M., Sommaruga R. The bacterial community composition of the surface microlayer in a high mountain lake. *FEMS Microbiology Ecology*, 2010, vol. 73, no. 3, pp. 458–467.
- Joux F., Agogue H., Obernosterer I., Dupuy C., Reinthaler T., Herndl G. J., Lebaron P. Microbial community structure in the sea surface microlayer at two contrasting coastal sites in the northwestern Mediterranean Sea. *Aquatic Microbial Ecology*, 2006, vol. 42, no. 1, pp. 91–104.
- Khodzher T. V., Domyшева V. M., Sorokovikova L. M., Golobokova L. P. Methods for monitoring the chemical composition of Lake Baikal water. In: *Novel methods for monitoring and managing land and water resources in Siberia*. Cham, Springer Publ., 2016, pp. 113–132.
- Khodzher T. V., Domyшева V. M., Sorokovikova L. M., Sakirko M. V., Tomberg I. V. Current chemical composition of Lake Baikal water. *Inland Waters*, 2017, vol. 7, no. 3, pp. 250–258.

Kuznetsova M., Lee C. Enhanced extracellular enzymatic peptide hydrolysis in the seasurface microlayer. *Marine Chemistry*, 2001, vol. 73, no. 1–2, pp. 319–332.

Kuznetsova M., Lee C., Aller J., Frew N. M. Enrichment of amino acids in the sea-surface microlayers at coastal and open ocean sites in the north Atlantic ocean. *Limnology and Oceanography*, 2004, vol. 49, no. 5, pp. 1605–1619.

Obermosterer I., Catala P., Reinthaler T., Herndl G. J., Lebaron P. Enhanced heterotrophic activity in the surface microlayer of the Mediterranean Sea. *Aquatic Microbial Ecology*, 2005, vol. 39, no. 3, pp. 293–302.

Porter K. G., Feig Y. S. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnology and Oceanography*, 1980, no. 25, pp. 943–948.

Santos L., Santos A. L., Coelho F. J. R. C., Gomes N. C. M., Dias J. M., Cunha A., Almeida A. Relation between bacterial activity in the surface microlayer and estuarine hydrodynamics. *FEMS Microbiology Ecology*, 2011, vol. 77, no. 3, pp. 636–646.

Santos A. L., Baptista I., Gomes N. C. M., Henriques I., Almeida A., Correia A., Cunha A. Contribution of chemical water properties to the differential responses of bacterioneuston and bacterioplankton to ultraviolet-B radiation. *FEMS Microbiology Ecology*, 2014, vol. 87, no. 2, pp. 517–535.

Sarmiento H., Casamayor E. O., Auguet J.-C., Vila-Costa M., Felip M., Camarero L., Gasol J. M. Microbial food web components, bulk metabolism, and single-cell physiology of piconeuston in surface microlayers of high-altitude lakes. *Frontiers in Microbiology*, 2015, vol. 6, Article 361, pp. 1–12.

Wetzel R. G., Likens G. E. *Limnological analyses*. New York, Springer, 2000. 429 p.

Zhang Z., Liu L., Wu Z., Li J., Ding H. Physicochemical studies of the sea surface microlayer: I. Thickness of the sea surface microlayer and its experimental determination. *J. Colloid Interface Science*, 1998, vol. 204, no. 2, pp. 294–299.

Zhang Z., Liu L., Liu C., Cai W. Studies on the sea surface microlayer. II. The layer of sudden change of physical and chemical properties. *J. Colloid Interface Science*, 2003, vol. 264, no. 1, pp. 148–159.