



УДК 579.68:574.63(285.23)

## Внутренние закономерности функционирования микробных сообществ в экосистеме Южного Байкала

Е. В. Щетинина, В. В. Максимов, Э. А. Максимова

Иркутский государственный университет, Иркутск  
E-mail: [peterkb@mail.ru](mailto:peterkb@mail.ru)

**Аннотация.** Режимные исследования за состоянием микробиального планктона в последние пять лет (2008–2012 гг.) подтверждают закономерную цикличность развития микробных сообществ как в течение года, так и в межгодовом аспекте. Жизнедеятельность микроорганизмов в Байкале подчиняется жёсткой регуляции трофических и параметрических факторов экосистемы. По общей численности микроорганизмов проявляется вертикальная зональность, особенно в периоды температурных стагнаций водных масс. Микробный олиготрофный комплекс байкальских вод в эвфотической зоне озера (в среднем слой 0–100 м) функционирует в строгом соответствии с ритмикой развития первичных продуцентов экосистемы – планктонных водорослей.

**Ключевые слова:** Байкал, микробные сообщества, общая численность микроорганизмов, сапрофитные микроорганизмы.

### Введение

Мониторинговые исследования микробиального планктона являются неотъемлемой частью общепроцессуального мониторинга в системе наблюдений, оперативно отражающих текущее положение водной толщи с позиций чистоты и стабильности уникальных байкальских вод [1; 2]. По структурным микробиологическим параметрам можно проследить межгодовую, сезонную и вертикальную динамику развития микробных сообществ Южного Байкала. В статье обсуждаются последние результаты микробиологического мониторинга на данном участке озера.

### Материал и методы

Пробы воды на микробиологический анализ отбирали в течение 2008–2012 гг. в акватории пос. Большие Коты на стационарной точке № 1, расположенной в 3 км от берега, со стандартных горизонтов 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 200 м и в литорали бух. Большие Коты с 0, 10 и 35 м с использованием батометра Молчанова. Исследовали общую численность микроорганизмов (ОЧМ), количество и видовой состав сапрофитных микроорганизмов (СБ), а также санитарно-бактериологические показатели. Определение микробиологических параметров проводилось по классическим методикам, принятым в водной микробиологии [3]. При определении общей численности микроор-

ганизмов использовали флуоресцентный метод с применением диамидина-4',6-фенил-2-индолдихлоргидрата (DAPI) в качестве красителя [4].

Количество сапрофитов учитывали на РПА-10 глубинным посевом. Инкубировали пробы при температуре 18 °С в течение 7–10 сут. Бактерии группы кишечных палочек определяли на среде Эндо.

### Результаты и обсуждение

Режимные сезонные наблюдения за состоянием микробных сообществ подтверждают закономерную цикличность развития микробных сообществ как в течение года, так и в межгодовом аспекте. По общей численности микроорганизмов, как интегральному параметру результативности функционирования бактерий, проявляется чёткая вертикальная зональность, особенно в периоды температурных стагнаций водных масс. Полученные данные свидетельствуют о том, что экосистема водной толщи является строго автохтонным формированием с потоками веществ и энергии, направленными преобладающе сверху вниз, из эвфотических продуцирующих слоёв воды ко дну. Внутригодовая динамика величин ОЧМ сообществ характерна плавными переходами от гомотермических минимумов к стагнационным максимумам. Она была отражением динамического гомеостаза огромного водного образования, подчиняющегося закономерностям циклически из-

меняющихся факторов климата и внутриэкосистемного первичного продуцирования.

Результаты изучения динамики ОЧМ в пелагиали Байкала рассмотрим на примере 2008 г. Общая численность микроорганизмов является показателем целого комплекса процессов абиотического и биотического характера, формирующих специфику условий обитания гидробиоценозов, а также качества данной водной массы. Сезонные показатели ОЧМ в 2008–2009 гг. полностью повторяют динамику 2007 г. Первый максимум в развитии микроорганизмов проявился в марте-апреле и составил в слое 0–5 м  $834 \pm 108$  тыс. кл./мл и  $855 \pm 111$  тыс. кл./мл соответственно.

Для сезонной динамики общей численности микроорганизмов в 2008 году, как и в предыдущие годы, характерны два максимума. Высокие значения численности микроорганизмов в глубине совпадали во времени с максимумами в поверхностных слоях, что ещё раз подтверждает единство всей водной толщи в течение года, устойчивость вертикальных перемещений водных масс [1; 2] и, что очень важно, подтверждает точность применяемого метода определения удельной численности микроорганизмов.

К концу июня в водах Байкала установилась гомотермия и микроорганизмы равномерно распределились по всей исследуемой толще при численности на уровне  $450 \pm 58$  тыс. кл./мл. Второй максимум численности микроорганизмов проявился в июле (в среднем  $816 \pm 106$  тыс. кл./мл в слое 0–50 м). Высокая численность микроорганизмов сохранялась на протяжении всего лета, вплоть до ноября, по всему 200-метровому слою. Ярко выраженная осенняя гомотермия способствовала однотипному количественному рассеиванию микроорганизмов в диапазоне 205–335 тыс. кл./мл в слое 0–200 м. На протяжении декабря ОЧМ была низкой по всей толще воды ( $348 \pm 45$  тыс. кл./мл), что характерно для олиготрофных вод Байкала в этот период.

Опираясь на данные по динамике общей численности микроорганизмов за 2008 г. и сравнивая с предыдущими годами, мы не обнаруживаем тенденций количественного или временного плана, которые свидетельствовали бы о перестройках в экосистеме байкальских вод (рис. 1).

Результаты исследований количественного развития микробного планктона в летне-осенний период 2009–2010 гг. показали, что численность микроорганизмов в слое 0–10 м начинает увеличиваться в июле, достигая в среднем во все годы исследований  $607 \pm 79$  тыс. кл./мл.

В августе, в период максимального прогрева вод и развития летнего комплекса планкто-

на, максимумы численности микроорганизмов приурочены к периодам наибольшей устойчивости вертикальной структуры водных слоёв, с которыми связаны максимумы развития фитопланктона. Средняя численность микроорганизмов в августе-сентябре в слое 0–10 м в 2009 г. составила  $1\,047 \pm 136$ ; в 2010 г. –  $1\,252 \pm 162$ ; в 2011 г. –  $912 \pm 118$ ; в 2012 г. –  $950 \pm 123$  тыс. кл./мл, что в 1,7 раза больше, чем в июле. Высокая численность микроорганизмов сохраняется на протяжении всего лета, включая октябрь. Численность микроорганизмов в октябре в слое 0–10 м составила  $1\,086 \pm 140$  тыс. кл./мл и была на уровне летнего периода. Для всех лет исследований характерна высокая численность микроорганизмов по всему двухсотметровому слою.

Общая численность микроорганизмов в естественных условиях в течение года может испытывать значительные колебания. В 2008–2012 гг. количество микроорганизмов колебалось от 375 до 690 тыс. кл./мл в январе-феврале и от 918 до 1 307 тыс. кл./мл в сентябре-октябре (см. рис. 1).

Сравнение значений численности микроорганизмов в предыдущие годы показало, что полученные величины идентичны, изменений в развитии микроорганизмов в межгодовом аспекте не обнаруживается.

Микробный олиготрофный комплекс байкальских вод в эвфотической зоне озера (в среднем слой 0–100 м) функционирует в строгом соответствии с ритмикой развития первичных продуцентов экосистемы – планктонных водорослей.

Сравнение среднегодовых значений численности микроорганизмов в восьмидесятые и девяностые годы XX в. показало, что эти величины идентичны и составляли в среднем 440 тыс. кл./мл. С 2001 по 2005 г. отмечена тенденция к росту численности: среднегодовая величина в слое 0–50 м составила 852 тыс. кл./мл, что свидетельствует о повышении уровня трофии в летний период за счёт массового развития фитопланктона.

Среднегодовые значения в последнее пятилетие колебались от 624 до 792 тыс. кл./мл, составляя в среднем  $678 \pm 88$  тыс. кл./мл (рис. 2).

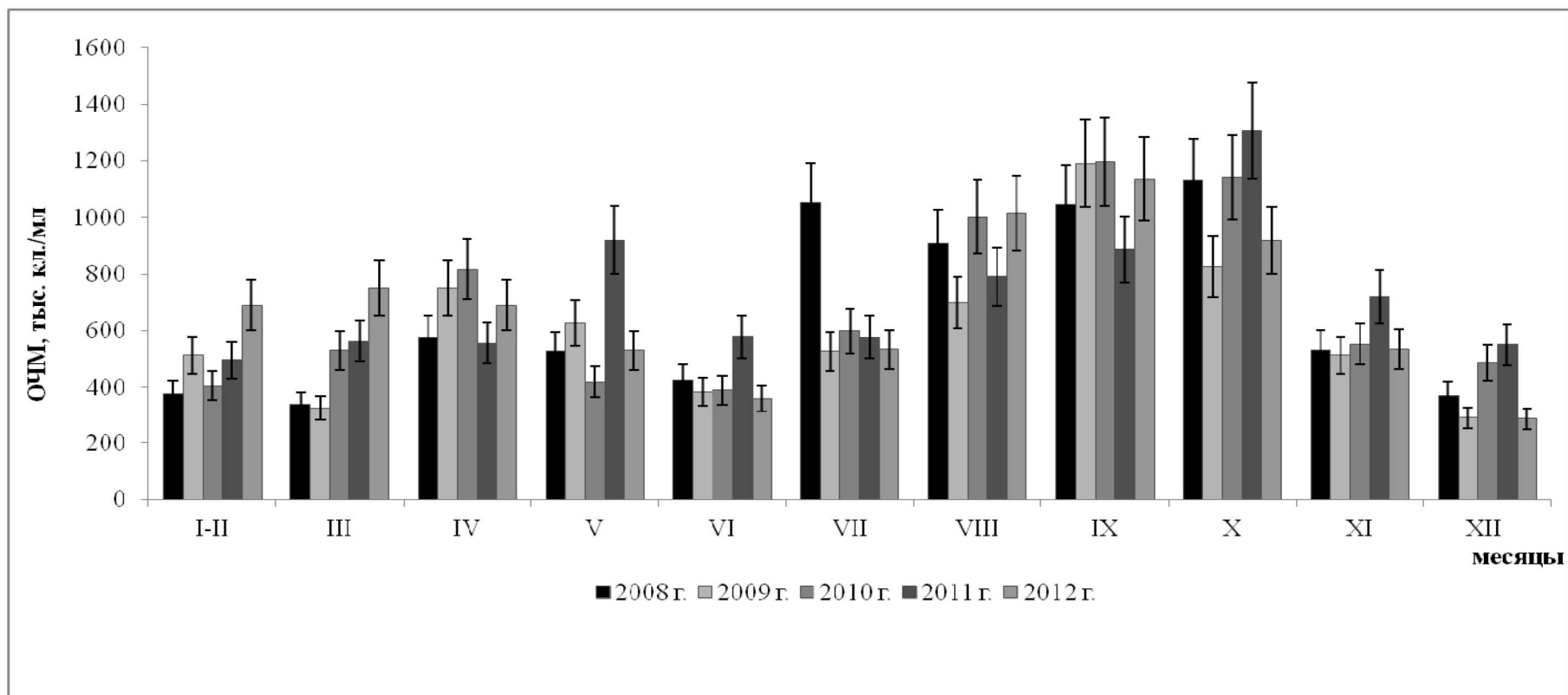


Рис. 1. Среднемесячные значения общей численности микроорганизмов в пелагиали Южного Байкала (точка № 1) в слое 0–50 м

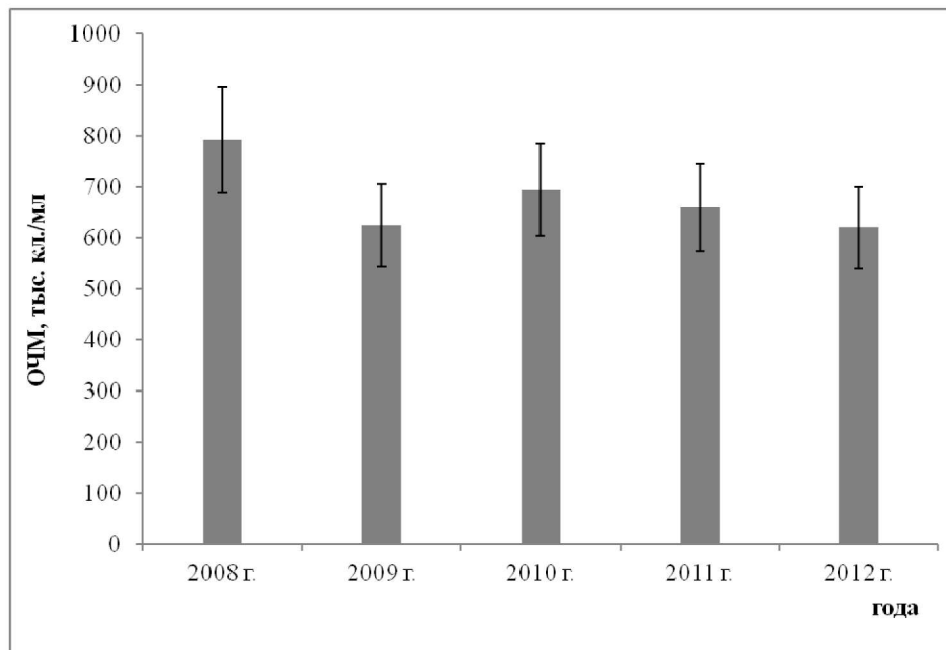


Рис. 2. Среднегодовые значения общей численности микроорганизмов в пелагиали Южного Байкала (точка № 1) в слое 0–50 м

Нормальным пределом среднегодовых величин можно считать 500–1 000 тыс. кл./мл, что будет свидетельствовать об устойчивом состоянии экосистемы. В течение исследуемых пяти лет проявляется гармоническая последовательность и наследуемость развития микробиоценозов в годовых экосистемных круговоротах.

Содержание той или иной трофической группы микроорганизмов в водной толще является индикатором наличия разнообразных органических веществ. Одним из таких показателей являются сапрофитные микроорганизмы, растущие на РПА-10. Необходимо отметить, что на протяжении более чем 10 лет среднегодовая численность сапрофитных бактерий в слое 0 численность 50 м сохранялась на одном уровне, составляя в среднем 75 КОЕ/мл. Анализируемый ряд наблюдений свидетельствует о довольно устойчивой динамике развития сапрофитных бактерий в межгодовом аспекте, зависящей в основном от содержания легкоокисляемых органических веществ.

В условиях, предельно лимитированных по органическим легкоусвояемым источникам питания и постоянных в водах Байкала в течение всего года, олиготрофные сапрофитные бактерии в стагнационные периоды показывают уровень трофии вод, а в переходные периоды – передвижение слоёв воды по вертикали. С сентября 2007 г. количество СБ резко уменьшилось и оставалось низким на протяжении

2008–2012 гг. В осенний период (ноябрь) численность сапрофитов повышалась до 14 КОЕ/мл в слое 0–200 м. Численность сапрофитных микроорганизмов в подлёдный период исследуемых годов характеризует воды Байкала как ультраолиготрофные, сапрофиты либо отсутствовали, либо их численность не превышала 3 КОЕ/мл.

Изучение санитарно-бактериологического состояния в пелагиали Байкала показало отсутствие бактерий группы кишечных палочек в течение годового цикла.

В 2008–2012 гг. наблюдалось изменение качественного состава сапрофитных микроорганизмов. В течение годовых циклов отсутствовали представители доминирующих родов, характерных для вод Байкала: *Pseudomonas*, *Bacillus*, различные виды дрожжей. Отсутствовали цветные формы; преобладающими как в летний, так и в зимний периоды явились однообразные слизистые серые колонии, представленные родами: *Mycobacterium*, *Arthrobacter*. Присутствие бактерий этих родов свидетельствует о наличии в водах Байкала трудноокисляемых органических веществ.

#### Заключение

Массив систематизированных данных о структурных параметрах микробных сообществ, накопленный ранее и пополненный материалами 2008–2012 гг., является фундаментом микробиологического мониторинга экоси-

стемы озера и позволяет установить степень устойчивости вод, а также определить вероятные нарушения как под действием естественных, так и техногенных факторов.

Результаты исследований подтвердили строгую сезонную и межгодовую динамику численности микроорганизмов пелагиали Байкала. Показано, что на текущий момент амплитуды колебаний численности микроорганизмов в конце периодов гомотермии (весенней и осенней) могут служить мерой устойчивости экосистемы Байкала. Подтверждено, что сапрофитные бактерии характеризуют воды открытого Байкала как устойчиво олиготрофные.

Качественный состав и динамика численности сапрофитных бактерий пелагиали Байкала являются зеркалом, отражающим высокую степень динамического гомеостаза всей водной экосистемы, следовательно, устойчивости чистоты и уникальных питьевых свойств байкальских вод [2].

Общий интегральный взгляд на современное состояние водной толщи Байкала с позиций анализа структуры специфических микробных сообществ озера убеждает в том, что экосистема Байкала находится в гомеостатическом положении благодаря трём ведущим факторам: холодному климату, автохтонному эндемичному сообществу первичных продуцентов и специфическому олиготрофному микробному комплексу толщи вод озера, поддер-

живающему чистоту байкальских вод во всех компонентах экосистемы Байкала.

Системный микробиологический мониторинг экосистемы водной толщи Байкала необходимо продолжать, во-первых, как неотъемлемую часть общепаразитического мониторинга, а во-вторых, как систему наблюдений, оперативно отражающих текущее положение водной толщи с позиций чистоты и стабильности уникальных байкальских вод [2].

*Публикация статьи осуществлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 13-04-06068-з.*

#### Литература

1. Максимова Э. А. Микробиология вод Байкала / Э. А. Максимова, В. Н. Максимов. – Иркутск : ИГУ, 1989. – 168 с.
2. Микробиологический мониторинг состояния экосистемы вод Байкала: концепция системности и фактора времени как фундамента достоверности и правильного прогноза / Э. А. Максимова [и др.] // Экосистемы и природные ресурсы горных стран. – Новосибирск, 2004. – С. 107–119.
3. Романенко В. И. Экология микроорганизмов пресных водосмов : лаборат. рук. / В. И. Романенко, С. И. Кузнецов. – Л. : Наука, 1974. – 189 с.
4. Porter K. G. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora / K. G. Porter, Y. S. Feig // *Limnol. Oceanogr.* – 1980. – Vol. 25. – P. 943–947.

## Internal regularities of functioning of microbial communities in South Baikal's ecosystem

E. V. Shchetinina, V. V. Maksimov, E. A. Maksimova

*Irkutsk State University, Irkutsk*

**Abstract.** Regime supervision over a condition of microbial plankton in the last five years (2008–2012) confirm the natural recurrence of development of microbial communities, both within a year, and in interannual aspect. Activity of microorganisms in Baikal submits to rigid regulation of trophic and parametrical factors of an ecosystem. On the total number of microorganisms, the vertical zonal distribution, especially during the periods of temperature stagnation of water masses is shown. The microbial oligotrophic complex of the Baikal waters in an euphotic zone of the lake (on the average a layer of 0–100 m) functions in strict accordance with rhythmicity of development of primary producers of an ecosystem – planktonic algae.

**Keywords:** Baikal, microbial communities, total number of microorganisms, saprophytic microorganisms.

*Щетинина Елена Владимировна  
кандидат биологических наук, старший  
научный сотрудник, Научно-исследовательский  
институт биологии*

*Иркутский государственный университет  
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел (3952) 24–30–77, факс (3952) 34–00–07  
E-mail: peterkb@mail.ru*

*Shchetinina Elena Vladimirovna  
Ph. D. in Biology, Senior Research Scientist,  
Research Institute for Biology  
Irkutsk State University  
1 K. Marx st., Irkutsk, 664003  
tel.: (3952) 24–30–77, fax: (3952)34–00–07  
E-mail: peterkb@mail.ru*

*Максимов Вячеслав Вячеславович*  
кандидат биологических наук, старший научный  
сотрудник, Научно-исследовательский институт  
биологии  
Иркутский государственный университет  
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел (3952) 24-30-77, факс (3952) 34-00-07  
E-mail: peterkb@mail.ru

*Maksimov Vyacheslav Vyacheslavovich*  
Ph. D. in Biology, Senior Research Scientist,  
Research Institute for Biology  
Irkutsk State University  
1 K. Marx st., Irkutsk, 664003  
tel.: (3952) 24-30-77, fax: (3952)34-00-07  
E-mail: peterkb@mail.ru

*Максимова Эльвира Александровна*  
кандидат биологических наук, зав. лабораторией,  
Научно-исследовательский институт биологии  
Иркутский государственный университет  
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел (3952) 24-30-77, факс (3952) 34-00-07  
E-mail: peterkb@mail.ru

*Maksimova Elvira Aleksandrovna*  
Ph. D. in Biology, Head of Laboratory,  
Research Institute for Biology  
Irkutsk State University  
1 K. Marx st., Irkutsk, 664003  
tel.: (3952) 24-30-77, fax: (3952)34-00-07  
E-mail: peterkb@mail.ru