

Присклоновые процессы и распределение микроорганизмов в озере Байкал

В. В. ПАРФЕНОВА, М. Н. ШИМАРАЕВ, Т. Я. КОСТОРНОВА, А. А. ЛЕВИН*, В. В. ДРЮККЕР,
А. А. ЖДАНОВ, Р. Ю. ГНАТОВСКИЙ, В. В. ЦЕХАНОВСКИЙ

*Лимнологический институт СО РАН
664033 Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3
*Институт биофизики СО РАН
660036 Красноярск, Академгородок*

АННОТАЦИЯ

В статье представлены данные о неизвестных ранее закономерностях распределения микроорганизмов в оз. Байкал, связанных с механизмами обновления глубинных вод. Для изучения численности и распределения выбраны группы микроорганизмов, связанные с процессами круговорота органического вещества и биогенных элементов (общая численность, олиготрофы, гетеротрофы, аммонифицирующие, фосформобилизующие, актиномицеты, грибы и дрожжи). Кроме того, измеряли температуру и флуоресценцию хлорофилла. Сведения о распределении отдельных групп микроорганизмов обнаруживают, что в области развития присклоновых циркуляций происходит интенсификация процессов круговорота органического вещества. Это подтверждается более высокой численностью, нежели в пелагиали, всех исследованных микроорганизмов.

Исследования последних лет на Байкале показали, что одним из ведущих механизмов обновления его глубинных вод являются крупномасштабные присклоновые циркуляции в области весенних термических баров [1].

Термобар возникает весной из-за различий в скорости прогревания мелководных прибрежных и глубоководных озерных вод. Из-за уплотнения при смешении вод с температурой выше и ниже температуры максимальной плотности формируется фронт термобара, на котором происходит опускание наиболее плотных вод. В большинстве пресных озер умеренных широт фронт достигает дна и делит озеро на "теплоактивную" прибрежную и "теплоинертную" зоны открытого озера, которые резко различаются по физико-химическим свойствам [2]. На Байкале фронт термобара при выходе его на глубины свыше 200–300 м не достигает дна. Опускание в зоне конвергенции термобара

холодных озерных вод генерирует глубинную вынужденную конвекцию, в процессе которой вода из верхних слоев достигает дна и распространяется вниз по склону. В опускании участвуют и теплые прибрежные воды, если плотность их повышена за счет более высокого содержания растворенных солей. Оба типа конвекции формируют присклоновую циркуляцию со скоростью до 0,2–0,3 см/с, обеспечивающую обмен озерных и прибрежных вод ниже границы фронта термобара. Следствием этих процессов является усиление аэрации глубинных вод кислородом, перенос на большие глубины вблизи термобара фитопланктона из верхних слоев воды [3].

Целью работы было изучение распределения микроорганизмов в оз. Байкал в области развития присклоновых циркуляций на весеннем термобаре. Предполагалось, что материалы позволят выявить неизвестные ранее законо-

мерности распределения микроорганизмов в Байкале, связанные с механизмами обновления глубинных вод. В свою очередь, большие различия в составе и численности микроорганизмов в холодной озерной и теплой прибрежных зонах с разной активностью развития гидробионтов и накопления органического вещества и биогенных элементов [4] позволяли рассматривать микроорганизмы как дополнительный индикатор движения вод.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Комплексные исследования процессов на термобаре были проведены на научно-исследовательском судне "Верещагин" в 1992, 1993 и 1997 гг. Выбор групп микроорганизмов (общая численность, гетеро- и олиготрофные, аммонифицирующие и фосформобилизующие микроорганизмы, актиномицеты и грибы) определялся возможностью использования их в качестве косвенных показателей – трассеров движения вод, так и в целях изучения условий трансформации органического вещества и биогенных элементов в этой важной для озерных процессов зоне. Все эти микроорганизмы являются показателями процессов круговорота органического вещества и биогенных элементов – азота и фосфора. Типичная картина их распределения рассмотрена по данным, полученным 5 июня 1993 г. на разрезе на северо-запад от восточного берега Среднего Байкала. Разрез пересекал термобар и заканчивался в 9 км от берега над подножием подводного склона на глубине около 1200 м. Фронт термобара в момент съемки располагался в 2 км от берега над глубиной 500 м. Отбор проб воды на станциях разреза сопровождался измерением температуры (рис. 1), а также флуоресценции хлорофилла (рис. 2).

Прогревание воды в термоактивной зоне термобара, несомненно, способствует развитию фитопланктона. Изменение общей численности бактерий (ОЧБ) и количества гетеротрофов обычно связывают с динамикой развития фитопланктона, который является источником органического вещества для микроорганизмов. При определении ОЧБ (рис. 3) использовался метод люминесцентной микроскопии, с окрашиванием воды перед фильтрацией разбавленным раствором акридиноранжа (5).

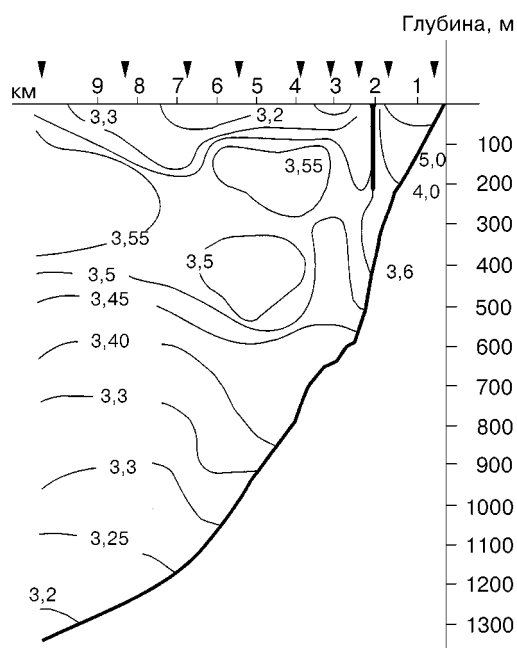


Рис. 1. Распределение температуры воды (прямая линия указывает положение фронта термобара) оз. Байкал.

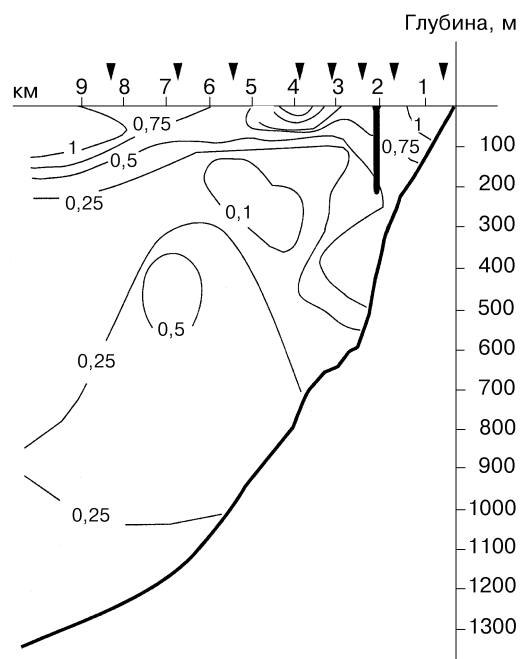


Рис. 2. Распределение флуоресценции хлорофилла, мкг/л, на разрезе через термобар.

Показателем поступления широкого спектра органических веществ в озеро являются и гетеротрофные микроорганизмы, которые учитывались на двух средах: концентрированном (рис. 4) (РПА) Дагестанского завода питательных сред и разбавленном в 10 раз (рис. 5) рыбопептонном агаре (РПА₁₀). Для выявления

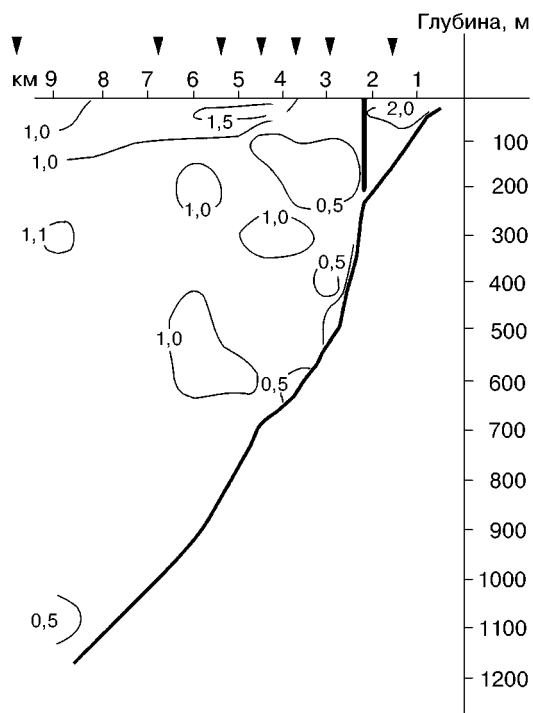


Рис. 3. Общая численность микроорганизмов, млн. кл./мл.

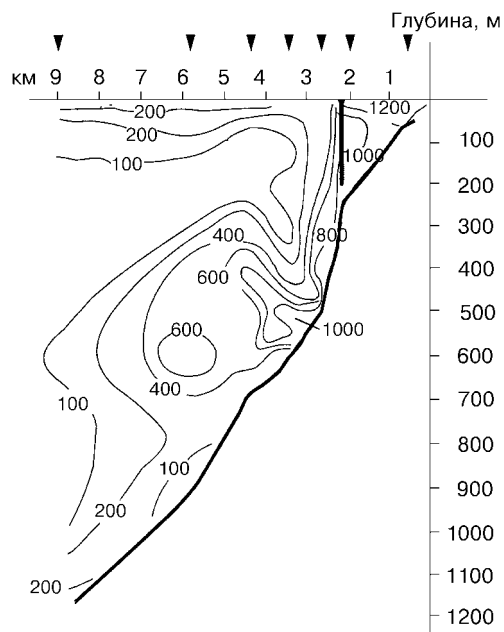


Рис. 5. Распределение гетеротрофных микроорганизмов, выделенных на разбавленном РПА:10, к/мл.

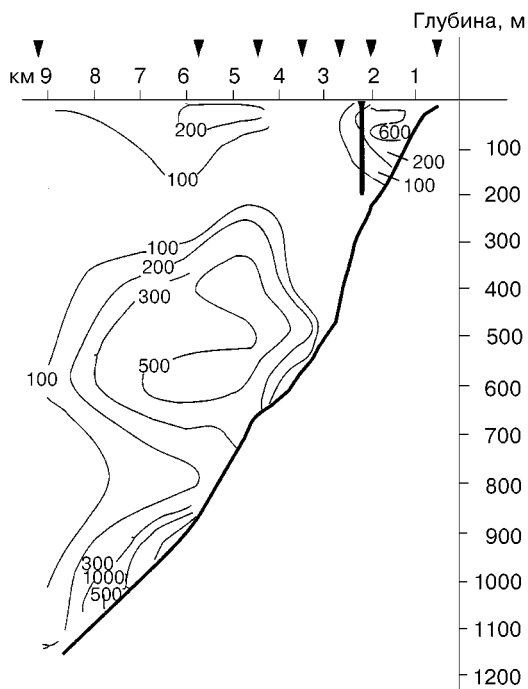


Рис. 4. Распределение гетеротрофных микроорганизмов, выросших на концентрированном РПА, к/мл.

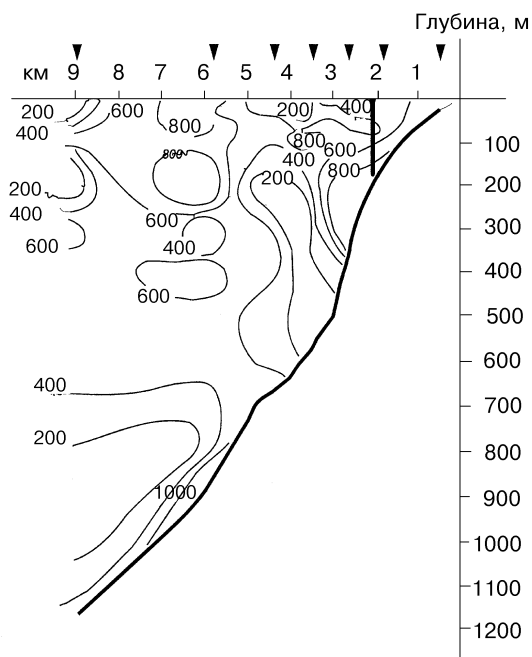


Рис. 6. Численность и распределение олиготрофных микроорганизмов, к/мл.

олиготрофных бактерий (рис. 6) применялась среда с минимальными добавками органических и минеральных веществ (6), а для выявления сапрофитной микрофлоры, которую можно отождествлять с физиологической груп-

пой аммонификаторов, мясопептонный агар Иркутского завода бакпрепаратов (рис. 7).

К микроорганизмам, минерализующим белок, принадлежат актиномицеты и грибы (рис. 8), выявляющиеся на средах Чапека [7].

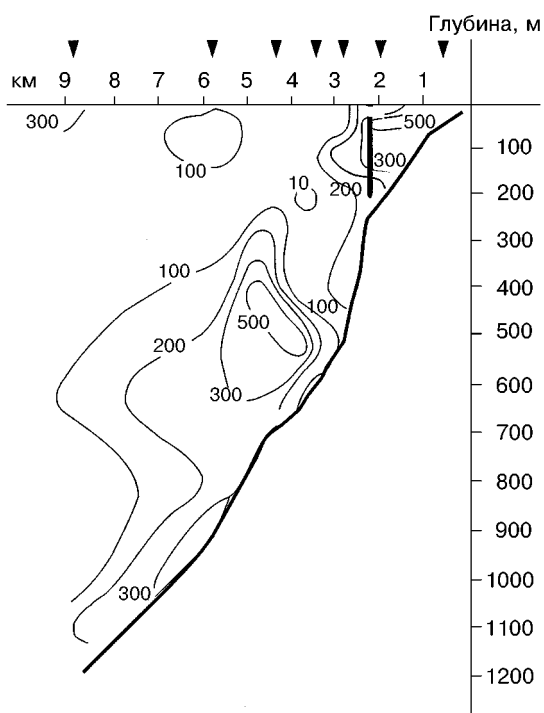


Рис. 7. Аммонифицирующие микроорганизмы, кл/мл.

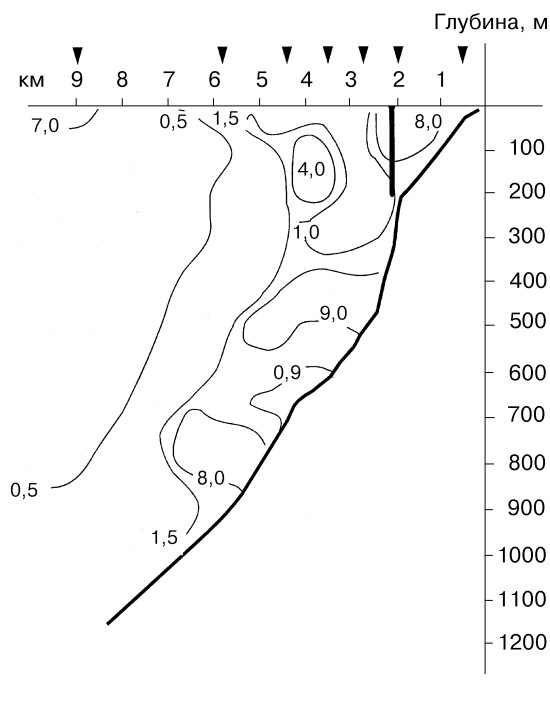


Рис. 9. Фосформобилизующие микроорганизмы, кл/мл.

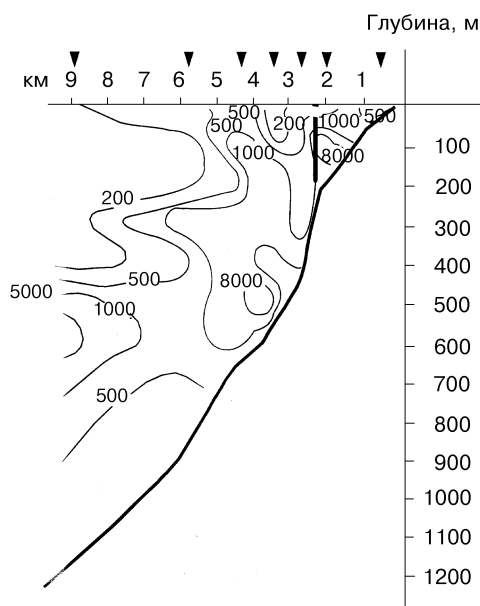


Рис. 8. Актиномицеты, грибы, дрожжи, кл/мл.

Для выделения микроорганизмов, участвующих в круговороте фосфора (рис. 9), пробы воды высевали на среды с источником органического фосфора (нуклеиновая кислота), приготовленные по рекомендации Д. З. Гак [8].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Общая численность бактерий в самой глубокой части разреза постепенно понижается от

$1 \cdot 10^6$ кл/мл в верхних (0–300 м) до $0,3–0,5 \cdot 10^6$ кл/мл в наиболее глубоких слоях (см. рис. 3). Такое распределение с глубиной ОЧБ типично для глубоких олиготрофных озер и отмечено многолетними наблюдениями и на Байкале [9]. Полученные нами материалы указывают на существенное нарушение этого характера распределения по мере приближения к берегу и подводному склону. В самых верхних слоях (0–50 м) с переходом через фронт термобара ОЧБ резко возрастает (до $2 \cdot 10^6$ кл/мл). В этом проявляется роль фронта термобара как плотностного и динамического барьера, препятствующего обмену прибрежных и озерных вод. Вместе с тем возрастание сохраняется с приближением к подводному склону и значительно глубже фронта термобара. На глубинах 100–600 м обнаруживаются пятна с численностью бактерий до $1 \cdot 10^6$ кл/мл, что намного превышает ее значения на тех же глубинах в открытом озере. Очевидно, что причиной этого может быть только перенос на большие глубины вод из верхних слоев, осуществляемый присклоновой циркуляцией. Такой вывод подтверждается и данными о распределении отдельных групп микроорганизмов.

Данные о сапрофитных микроорганизмах (см. рис. 4 и 5), особенно выращенных на

среде РПА₁₀, наиболее четко согласуются с особенностями динамики вод. Распределение изолиний содержания бактерий в слое до 400 м показывает, что в опускании у фронта термобара наиболее активно участвуют озерные воды. Участие в опускании вод из теплой прибрежной зоны с высоким содержанием микроорганизмов заметно по локальным пятнам с их высокой численностью, близким к расположению пятен вод с повышенной температурой и содержанием хлорофилла (см. ст. 6, горизонт 600 м). Повышенные значения численности дают представление о распространении присклоновой циркуляции до подножия склона на глубине 1100–1200 м, с наличием интрузий опускающихся вод в сторону озера на промежуточных глубинах. Область с численностью бактерий менее 100 кл/мл хорошо выделяет компенсирующий опускание подъем вод, направленный из глубинных слоев со стороны озера к фронту термобара. Аналогичные особенности обнаруживаются и в распределении аммонифицирующих, фосфатмобилизирующих микроорганизмов, актиномицетов и грибов (см. рис. 7–9).

Несколько отличным было распределение численности олиготрофных микроорганизмов, не имевшей максимума в прибрежной зоне и менявшейся неравномерно по глубине от 200 до 800 кл/мл.

В заключение отметим, что исследованные физиологические группы микроорганизмов являются показателями поступления органического вещества различной природы. Весной отмирание фитопланктона и повышение температуры поверхностных вод положительно влияют на их развитие. Система циркуляции вод в области весеннего термобара приводит к быстрому поступлению обогащенных органическим веществом вод из верхних слоев на большие глубины. Следствием этого является высокая численность аммонифицирующих бактерий, актиномицетов и грибов на глубинах 500–600 м, а также гетеротрофных и фосфатмобилизирующих – глубинах 800–1200 м на удалении от берега 6–9 км. Такая численность микроорганизмов не характерна для вод открытого Байкала, особенно для больших глубин, и свидетельствует о резком нарушении у подводных склонов присущего водам олиготрофных озер вертикального распределения микроорганизмов, отличающегося понижением их численности

с глубиной. Характерно, что из-за участия в опускании прибрежных вод с повышенной температурой ниже фронта термобара на глубинах от 300 до 600 м проявляются интрузии в открытое озеро линз воды с повышенной на фоне окружающих вод концентрацией хлорофилла (рис. 2) и микроорганизмов. Такое явление наблюдается обычно лишь в шельфовых участках морей.

Исследования показали, что под влиянием циркуляции вод в области весеннего термобара численность микроорганизмов, минерализующих органическое вещество и участвующих в круговороте биогенных элементов, резко повышается вдоль всего подводного склона до больших глубин, что свидетельствует об интенсификации процессов круговорота органического вещества в этой зоне Байкала. Процессы обмена приводят к аномальному характеру вертикального распределения микроорганизмов в Байкале с появлением второго, придонного максимума их численности. В свою очередь, сами микроорганизмы являются хорошим биологическим трассером, позволяющим выявить масштаб присклоновых циркуляций и сложный характер опускания вод, выражающийся в наличии их интрузии на промежуточных горизонтах в сторону открытого озера.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты 94-05-17344а, 97-05-96521, 97-05-64657, а также экспедиционного гранта СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Н. Симараев, Н. Г. Гранин, А. А. Зhdанов, *Limnol. Oceanogr*, 1993, **38**:5, 1068–1072.
2. А. И. Тихомиров, Термика крупных озер, Л., 1982, 232.
3. Н. А. Петрова, Состав и динамика фитопланктона Якимварского залива Ладожского озера: Автореф. дис. ... канд. биол. наук., Л., 16.
4. М. Н. Шимараев, М. А. Грачев, Д. М. Имбоден и др., *Докл. РАН*, 1995, **343**:6, 824–827.
5. В. И. Харламенко, *Микробиология*, 1984, **53**:2, 165–166.
6. Б. В. Громов, Е. А. Княгинина, М. И. Рахман, *Вестн. Ленингр. ун-та*, 1986, сер. 3, вып. 2, 17.
7. Д. З. Гак, Бактериопланктон и его роль в биологической продуктивности водохранилищ, М., 1975, 241.
8. А. Г. Родина, Методы водной микробиологии, М., 1968, 362.
9. Э. А. Максимова, В. Н. Максимов, *Микробиология вод Байкала*, Иркутск, Изд-во Иркут. ун-та, 1989, 168.

Slope-related Processes and Distribution of Microorganisms in Lake Baikal

V. V. PARFENOVA, M. N. SHIMARAEV, T. Ya. KOSTORNOVA, A. A. LEVIN, V. V. DRÜCKER,
A. A. ZHDANOV, R. Yu. GNATOVSKY, V. V. TSEKHANOVSKY

Data on earlier unknown patterns of microorganisms distribution in Lake Baikal associated with the mechanisms of renewal of deep waters are presented. For the study of the numbers and distribution, groups of microorganisms associated with the processes of circulation of organic matter and biogenic elements (the total amount, oligotrophs, heterotrophs, ammonifiers, phosphorus mobilizers, actinomycetes, fungi and yeasts) are chosen. Besides, the temperature and fluorescence of chlorophyll were measured. Data on distribution of separate microorganism groups show that in the region of development of slope-related circulations, an intensification of organic matter circulation processes takes place. This is confirmed by higher numbers of all the microorganism studied as compared to the pelagic zone.