

УДК 594.17(282.256.341) «327.06»

Н. В. Потапская, Л. А. Оболкина, В. В. Блинов

**ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
ПЛАНКТОННЫХ ИНФУЗОРИЙ ОЗЕРА БАЙКАЛ
ПОСЛЕ ВСКРЫТИЯ ЛЬДА¹**

Обсуждается состав, количественное развитие и распределение инфузорий по акватории оз. Байкал в продуктивные по фитопланктону 2007—2008 годы. Показана неоднородность распределения инфузорий в пелагиали озера в период установления гомотермии, определено влияние на это распределение процессов перемешивания воды и течений в прикклоновой зоне, скорость которых в весенний период возрастает в несколько раз. Отмечается полидоминантность современного сообщества инфузорий, в котором преобладают олиготрихи (п/кл. *Oligotrichia*), и его меньшее (500—7600 тыс. кл/м³) обилие, чем в высокопродуктивные 1926—1928 годы, когда по всему озеру доминировала *Marituja pelagica* (п/кл. *Hymenostomatia*).

Ключевые слова: инфузории, планктон, пространственное распределение, Байкал.

Одной из характерных особенностей сезонной динамики планктона оз. Байкал является зимне-весенний подледный пик, когда уровень развития фитопланктона определяет величину годовой первичной продукции [4]. После вскрытия льда в период перемешивания воды озера происходит оседание фитопланктона в более глубокие слои [4, 10, 13]. При этом в каждой из трех котловин Байкала развитие фито- и зоопланктона может довольно сильно различаться [1, 4, 11]. Биомасса планктонных инфузорий, сезонная динамика которых совпадает с динамикой развития фитопланктона, может составлять в продуктивные годы до 40—80% биомассы весеннего зоопланктона в слое 0—50 м. Их роль в трансформации органического вещества в экосистеме озера не менее существенна, чем роль ракообразных [8, 17, 18].

Первые сведения о пространственном распределении планктонных инфузорий в оз. Байкал приводятся в монографии Н. С. Гаевской по съемкам, проведенным в июне — июле 1926—1928 гг. [16]. Судя по ее описаниям, это были высокопродуктивные по фитопланктону годы, особенно 1927 г., когда

¹ Работы поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований, проекты № 08-04-90009 Бел_а (рук. д. б. н. О. А. Тимошкин), частично № 05-04-48624-а (рук. к. б. н. О. И. Белых), интеграционным проектом СО РАН № 49 (рук. д. б. н. О. А. Тимошкин).

© Потапская Н. В., Оболкина Л. А., Блинов В. В., 2010

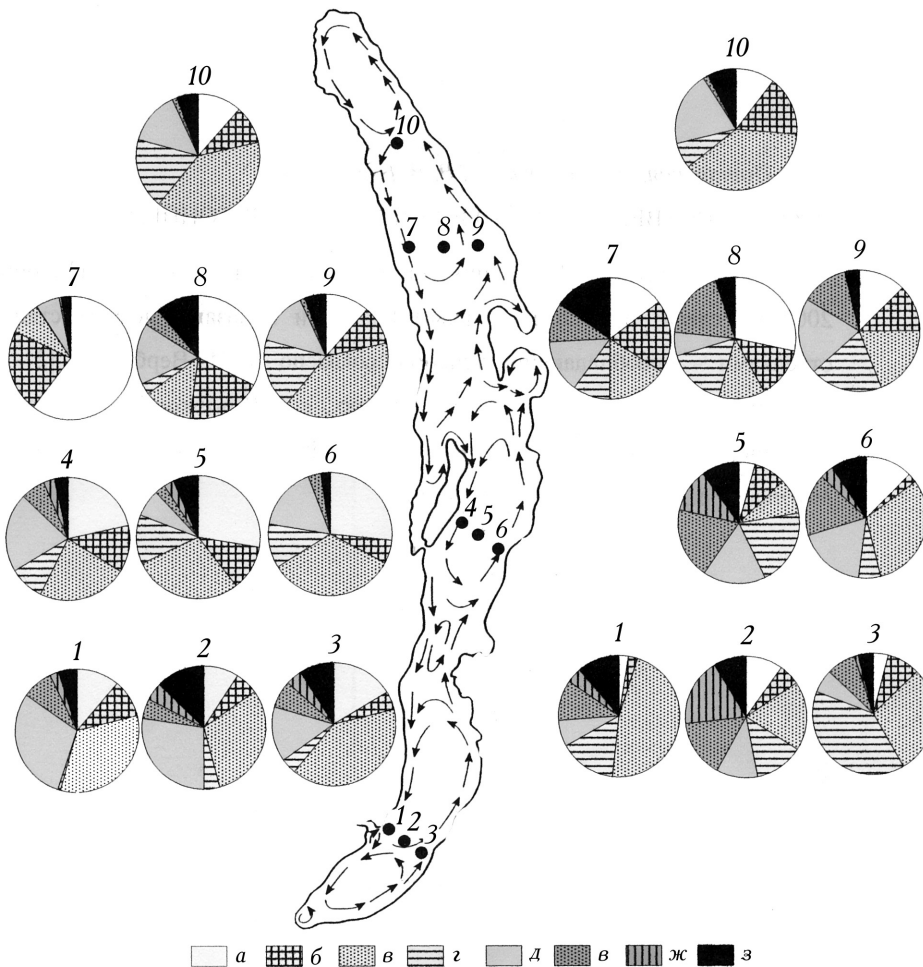
по всему Байкалу преобладали диатомовая водоросль *Aulacoseira baicalensis* (K. Meyer) Sim. (*Melosira baicalensis*) и инфузория *Marituja pelagica* Gajewskaja. Следующий цикл исследований был проведен только в конце мая — июне 1991 г. Состав, обилие и распределение инфузорий в этот низкопродуктивный по фитопланктону год [15] существенно отличались от данных Н. С. Гаевской: доминировали малоресничные инфузории, общая численность была ниже на один-два порядка [8].

Целью настоящей работы было изучение развития и распределения планктонных инфузорий по акватории Байкала в весенний период.

Материал и методика исследований. Материал протозоопланктона был собран 30.05—11.06.2007 г. и 29.05—4.06.2008 г. одновременно с фитопланктоном [11]. Температуру измеряли высокоточным гидрофизическим CTD-зондом SBE-25 (фирма Sea Bird Electronics, США). Пробы объемом 1,5 л отбирали системой батометров SBE-32 (Carousel Water Sampler) на десяти станциях четырех стандартных разрезов по акватории озера: п. Листвянка — п. Танхой в Южном Байкале (ст. 1—3), м. Ухан — м. Тонкий в Среднем Байкале (ст. 4—6), м. Елохин — бух. Давша (ст. 7—9) и м. Котельниковский — р. Амнундакан (ст. 10) в Северном Байкале (рис. 1). Пробы были отобраны с глубины 0, 5, 10, 15, 25, 50, 100 м и дополнительно на 150, 250 м (ст. 1, 3, 5, 7, 8 в 2007 г. и ст. 3, 7 в 2008 г.); на двух станциях (ст. 4 в 2007 г. и ст. 10 в 2008 г.) — до 25 м и на ст. 6 (2007 г.) — до 50 м. В 2007 г. не удалось отобрать материал на ст. 2 (только 0 м), в 2008 г. — на ст. 4. Пробы фиксировали раствором Люголя с постфиксацией формалином до 1—2%-ной конечной концентрации и обрабатывали стандартным осадочным методом. Разнообразие инфузорий оценивали по индексу Шеннона, для оценки сходства видового состава использовали индекс Серенсена [7, 9]. Названия таксонов приведены согласно последней классификации А. В. Янковского [14].

Результаты исследований

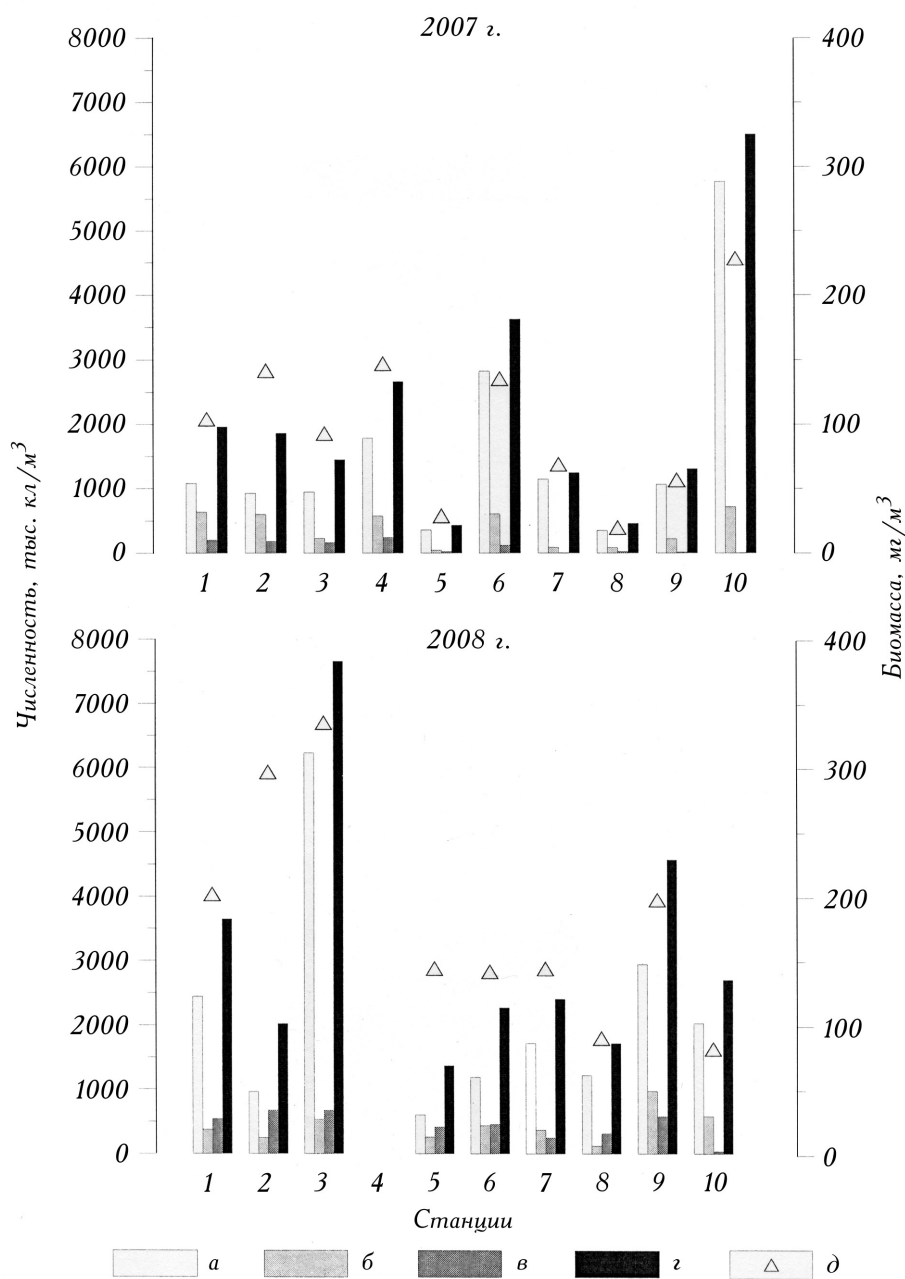
В 2007 г. зарегистрировано 43 вида инфузорий. Доминировали малоресничные инфузории (п/кл. Oligotrichia): *Limnostrombidium pelagicum* (Kahl) Krainer, *L. viride* (Stein) Krainer, *Strombidium* sp., доля которого увеличивалась в средней и северной котловинах озера, и мелкие (12—30 мкм) *Rimostrombidium* sp., *R. humile* (Penard) Petz et Foissner и *R. hyalinum* (Mirabdullaev) Petz et Foissner, которых было больше у восточного берега. Тинтинниды (отр. Tintinnida, п/кл. Oligotrichia), характерный элемент весеннего байкальского планктона в продуктивные годы, к июню в верхнем (0—100 м) слое в Южном Байкале уже не встречались, но сохранились в Среднем и Северном Байкале, хотя заметной роли не играли. Инфузории п/кл. Haptoria (*Askensia* sp., *A. volvox* (Eichw.) Kahl и два вида р. *Mesodinium*) встречались по всему Байкалу, но лишь на станциях 1, 4, 6 входили в субдоминантную группу. В Южном и Среднем Байкале в небольшом количестве присутствовали *Sulcigera comosa* Gajewskaja, *Marituja pelagica* Gajewskaja и *M. caudata* Obolkina (п/кл. Numenostomatia), но в Северном они не зарегистрированы (см. рис. 1). Видовое разнообразие инфузорий в слое 0—100 м в Южном (2,16—2,45 бит/экз., отмечено 36 видов) и Среднем (1,78—2,43 бит/экз., 36 видов) Байкале было выше, чем в Северном (1,39—2,02 бит/экз., 28 видов). Несмотря



1. Схема расположения станций и видовая структура инфузорий в 2007 г. (слева) и 2008 г. (справа). Цифрами показаны номера станций, стрелками — преобладающие течения согласно В. И. Верболову [2]. Доля в общей численности: а — *Strombidium* sp., б — *Limnostrombidium* spp., в — *Rimostrombidium* spp., г — *Tintinnida*, д — мелкие (до 50 мкм) Naptorida, е — *Sulcigera comosa*, ж — *Marituja* spp., з — остальные инфузории.

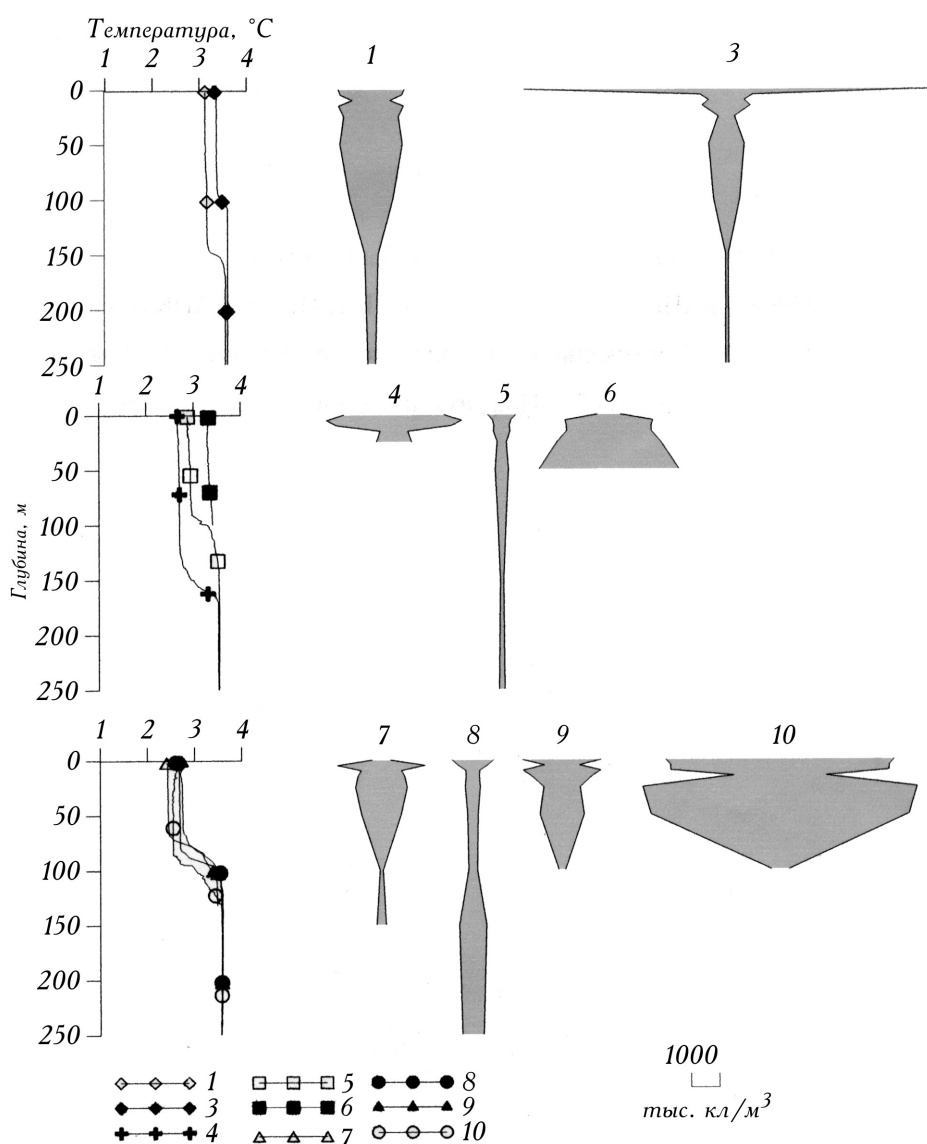
на низкое видовое разнообразие в северной котловине видовой состав был сходным по всей пелагиали Байкала (значение коэффициента Серенсена для всех пар станций превышало 56%).

Численность инфузорий на всех станциях, особенно на центральных, была невысока (460—6500, в среднем 2150 ± 1120 тыс. кл/м³ в слое 0—100 м). На ст. 4 и 6 (Средний Байкал) она была немного выше, чем на остальных. Наибольшая численность (6500 ± 2490 тыс. кл/м³ в слое 0—100 м или 8130 ± 1820 тыс. кл/м³ в слое 0—50 м) отмечена на ст. 10 за счет развития римостромбидиумов (рис. 2).



2. Средневзвешенная численность и биомасса инфузорий (0—100 м) в пелагиали оз. Байкал в 2007 (вверху) и в 2008 гг. (внизу): а — численность *Oligotrichia*; б — численность *Naptozia*; в — численность *Hymenostomatia*; г — общая численность; д — общая биомасса.

Основное количество инфузорий распределялось над зоной термоклина: 0—150 м — в Южном Байкале, 0—100 м, преимущественно в верхних 50 м в Северном Байкале. На центральных станциях всех разрезов инфузории были рассредоточены в слое 0—250 м (рис. 3). Резко отличались ст. 3, где от-



3. Вертикальное распределение инфузорий (тыс. кл./м³) и температуры воды в 2007 г. Здесь и на рис. 4 цифрами показаны номера станций.

мечено поверхностное скопление *Rimostrombidium* spp. (более 14 000 тыс. кл./м³), и ст. 10, где эти же виды в большом количестве встречались в слое 0—100 м.

Биомасса инфузорий в пелагиали Байкала в 2007 г. также была низкой (98 ± 34 мг/м³ в слое 0—100 м). В северной котловине ее основная доля приходилась на малоресничных инфузорий, хотя на ст. 9 до 40% вносила крупная (более 100 мкм) инфузория п/кл. *Nauphotia Pelagovasicola cinctum* (Voigt) Jank. В южной и средней котловинах до 50% биомассы вносили немногочис-

ленные гименостомы *Marituja* spp. и *Sulcigera comosa* (см. рис. 1, 2). У западного берега к ним добавились *Strombidium* sp. (70—80 мкм) и *Bursellopsis* spp. (до 200 мкм). В отличие от численности наибольшее значение биомассы отмечено в слое до 25 м, где чаще встречались крупные инфузории.

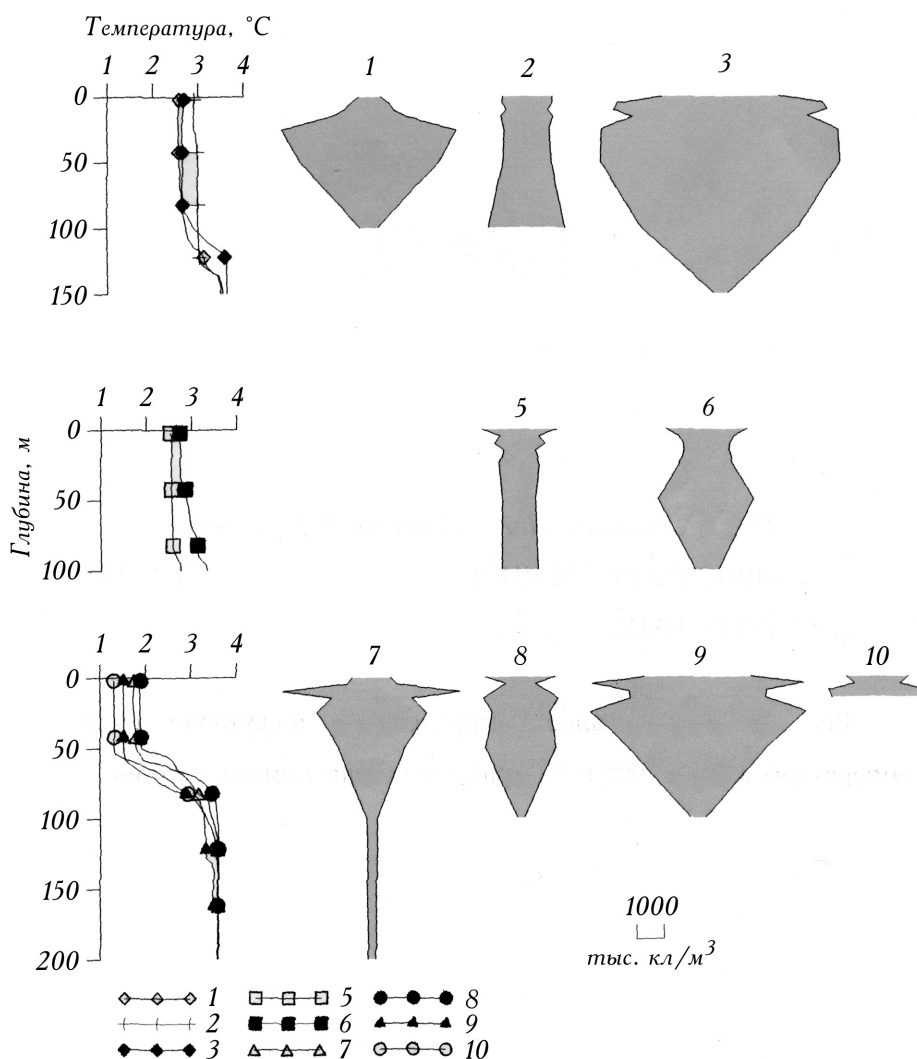
В 2008 г. видовое богатство было немного больше — найдено 48 видов. Доминирующей группой по-прежнему оставались малоресничные инфузории, включая тинтиниды: *Tintinnidium fluviatile* f. *cylindrica* Gajewska, *T. semiciliatum* Sterki и *Tintinnopsis* sp. Различие котловин по видовому разнообразию было менее заметным, чем в 2007 г. Наибольшее видовое разнообразие отмечено в Среднем Байкале, хотя видовое богатство немного выше в Южном. Так, в слое 0—100 м в Южном Байкале встречено 45 видов, индекс Шеннона — 2,20—2,49 бит/экз., в Среднем Байкале — 42 вида, индекс видового разнообразия 2,34—2,68 бит/экз., в Северном Байкале также 42 вида, но индекс ниже, 2,08—2,54 бит/экз. Степень сходства сообществ по всей пелагиали озера была высокой (значение коэффициента Серенсена для всех пар станций превышало 66%).

В связи с тем, что в субдоминантную группу входили *M. pelagica* и *S. comosa*, то средняя биомасса инфузорий на всех станциях в 2008 г. была в два раза больше (183 ± 57 мг/м³ в слое 0—100 м), чем в предыдущем году. Наибольшее ее значение отмечено в южной котловине, где субдоминантом была *Marituja* sp. В Среднем и Северном Байкале ее место заняла меньшая по размерам *Sulcigera* sp. (см. рис. 1). *P. cinctum* и *Pelagovasicola* sp. встречались в небольшом количестве в Северном Байкале. Численность инфузорий была на 1000 тыс. кл/м³ выше, чем в 2007 г. (1368—7652, в среднем 3150 ± 1280 тыс. кл/м³ в слое 0—100 м). Наибольших значений она достигала в Южном Байкале, у западного берега была ниже, чем у восточного, а на центральных станциях, как и в 2007 г., была минимальной (см. рис. 2).

Вертикальное распределение инфузорий, как и в предыдущем году, отражало разные стадии оседания весеннего комплекса, которое вместе с процессом перемешивания воды раньше начинается в Южном Байкале. К началу июня основная часть инфузорий в Среднем и Южном была рассредоточена в слое 0—100—150 м. Поскольку в северной котловине ещё находился лёд, сохранилось зимне-весеннее распределение инфузорий с максимумом численности в верхнем слое. Такое же распределение отмечено у западного берега в Среднем Байкале (рис. 4).

Обсуждение результатов исследований

В конце мая — июне в Байкале устанавливается гомотермия и начинается постепенный переход к летней стратификации. В это же время заканчивается весеннее развитие фитопланктона [12, 15]. Из-за большой меридиональной протяженности озера перемешивание и прогрев воды в разных котловинах происходят неодновременно, что четко просматривается по распределению температуры (см. рис. 3, 4). В период отбора проб температура поверхностной водной массы южной котловины была немного выше, а глубина зоны термоклина ниже, чем в средней и северной котловинах. Вдоль западного берега температура воды в оба года была ниже, чем у восточного,



4. Вертикальное распределение инфузорий и температуры воды в 2008 г.

вероятно вследствие более интенсивного перемешивания в присклоновой области последнего. Процессы перемешивания оказывали явное влияние на вертикальное распределение инфузорий. В 2007 г. на южной трансекте инфузории распределялись по всему слою перемешивания до 250 м, на северной — выше 100 м. В 2008 г. температура была ниже во всех котловинах, то есть процессы перемешивания и прогрева были в более ранней фазе. Отличалось и вертикальное распределение инфузорий: на «прибрежных» станциях во всех котловинах они держались в верхнем (0—50 м) слое. Устойчивая обратная связь распределения инфузорий и температуры воды подтверждается коэффициентом корреляции ($-0,5 \pm 0,2$ в 2007 г. и $-0,5 \pm 0,3$ в 2008 г., $p < 0,05$). На центральных станциях инфузории равномерно распре-

делялись в слое 0—250 м в оба года. Возможно, из-за отсутствия здесь горизонтальных течений скорость оседания инфузорий была выше.

Течения, которые проходят на расстоянии 3 км от берега в присклоновой зоне озера (см. рис. 1) [2], могут влиять на распределение инфузорий в пределах отдельных котловин. После разрушения льда, под влиянием преобладающих ветров северо-восточного направления, скорость этих течений увеличивается до 30 см/с и более [5]. Ст. 3 расположена в зоне течений общей циклонической циркуляции южной котловины и на периферии вторичной циркуляционной ячейки. Благодаря первой с юга на северо-восток проникают воды слабоминерализованных притоков южного побережья котловины. За счет второй поверхностные воды с северо-запада могут достигать восточного берега в районе п. Танхой [2]. Из-за сложных гидродинамических процессов фитопланктон в этом районе отличается от такового на других станциях [15]. Ст. 10 находится на границе двух циркуляционных ячеек Северного Байкала — центральной и северной. Давно отмечено, что содержание биогенных элементов и первичная продукция выше в самой северной оконечности Байкала из-за впадения крупных рек [3, 15], в то время как чуть южнее (ст. 7—9) находится типичный участок Северного Байкала с низкой температурой воды и недостатком биогенных элементов.

Состав и обилие весеннего комплекса инфузорий Байкала зависят от состава и продуктивности фитопланктона [6, 8, 16, 17]. В 2007 г. в южной и центральной котловинах преобладали диатомовые водоросли р. *Aulacoseira*, *Synedra acus* (Kütz.) Skabitsch. и *Stephanodiscus meyeri* Genkal et Popovskaya [11]. Видовое богатство инфузорий здесь было выше, отмечены виды, характерные для весеннего комплекса инфузорий в высокопродуктивные годы: *M. pelagica*, *Sulcigera comosa*, тинтинниды и др. На северном разрезе уровень развития сетного фитопланктона был низким. Среди инфузорий доминировали круглогодичные виды малоресничных инфузорий, что типично для малопродуктивных лет. Скопление *P. cinctum* напротив бух. Давша (ст. 9) зарегистрировано на фоне развития золотистой водоросли *Dinobryon cylindricum* Imhof. [11]. Впервые *P. cinctum* был найден Н. С. Гаевской в начале июля 1928 г. в планктоне Баргузинского залива. В 1991 г. он тоже встречался в этом заливе в присутствии той же водоросли. Доминирование *Rimostrombidium* spp. на самой северной станции и на юге у п. Танхой в 2007 г. может указывать на преобладание пикопланктона и мелкоклеточного фитопланктона — предпочитаемого ими корма.

Несмотря на то, что оба года были продуктивными по фитопланктону [11], численность и биомасса инфузорий в 2007 г. больше соответствовала количественным показателям низкопродуктивного 1991 года [15]. В 2008 г. развивался комплекс инфузорий, типичный для среднего по продуктивности фитопланктона года. В оба года доминировали олиготрихи, но в 2008 г. их доля была меньше, а общее количество видов инфузорий увеличилось. Сопутствующей группой в 2007 г. были инфузории п/кл. *Nartoria*, а в 2008 — п/кл. *Humenostomatia*. С увеличением продуктивности фитопланктона роль последних, а также инфузорий кл. *Prostomatia* и отр. *Tintinnida* в планктоне озера возрастает [8, 16].

Количественные и качественные показатели планктонных инфузорий в 2008 г. в целом по Байкалу были выше, чем в 2007 г., при этом сходство видового состава было высоким (индекс Серенсена 84%). Таким образом, в эти два года в весеннем планктоне пелагиали развивались варианты одного сообщества с доминированием *Oligotrichia*, но разными субдоминантами. В 2008 г. оно было хорошо развито в пелагиали всех котловин, а в 2007 г. — преимущественно в южной котловине и в меньшей степени — в средней.

Сравнение характеристик планктонных инфузорий в 1926—1928 и 2007—2008 гг. выявило не только резкие отличия состава и обилия, как отмечалось ранее [8, 17], но и черты определенного сходства в их распределении по акватории озера. В высокоурожайном 1927 году по всему озеру вместе с *Melosira* доминировала *Maritija pelagica* и ее численность (70 000 тыс. кл/м³) была на порядок выше, чем численность инфузорий в последние годы. Тем не менее скопления инфузорий напротив п. Танхой, бух. Давша, устья р. Амнундакан, более высокую численность у восточного берега и низкую в центре озера отмечала и Н. С. Гаевская [16]. Более того, после трехлетних наблюдений она пришла к выводу, что по всей пелагиали Байкала (в разных котловинах) развивается одно и то же сообщество. Судя по нашим данным, это утверждение справедливо и для сообщества инфузорий пелагиали в 2007—2008 гг.

Заключение

В пелагиали разных котловин озера весной 2007—2008 гг. развивались варианты одного сообщества, за исключением более мелководной северной части. Полидоминантная структура протозоопланктона с преобладанием малоресничных инфузорий п/кл. *Oligotrichia* отличалась от структуры в высокопродуктивные 1926—1928 годы, численность была на порядок ниже.

Пространственное распределение инфузорий в пелагиали озера в сравниваемые периоды имело сходные черты: после вскрытия льда оно было неоднородным, различалось в разных котловинах и внутри котловин. Значительное влияние на распределение инфузорий внутри котловин оказывали циклонические циркуляции, скорость течения которых в весенний период возрастает в несколько раз. Вертикальное распределение инфузорий, основная масса которых держалась выше термоклина, было связано с процессом перемешивания воды и отражало разные стадии оседания весеннего планктона.

**

*Обговорюється склад, кількісний розвиток і розподіл інфузорій по акваторії Байкалу в середні за продуктивністю фітопланктону 2007—2008 роки. У високоурожайному (мелозірному) 1927 році по всьому озеру домінувала *Maritija pelagica* (п/кл. *Hutenostomatia*). Натомість структура сучасного планктону є полідомінантною з переважанням маловійкових інфузорій (п/кл. *Oligotrichia*), а загальна чисельність — на порядок нижча (500—7600 тис. кл/м³). Як і раніше, в пелагіалі різних улоговин Байкалу, за винятком його північної частини, розвивалися варіанти одного угруповання. На розподіл інфузорій всередині улоговин значно впливали процеси перемішування поверхневих шарів води (коефіцієнт кореляції $-0,5 \pm 0,2$ в 2007 р. і $-0,5 \pm 0,3$ в 2008 р., $p <$*

0,05) і течії в присхловій зоні, швидкість яких у весняний період зростає у декілька разів.

**

*The structure, abundance and distribution of ciliates in the water area of Baikal in 2007—2008 with medium of phytoplankton development are discussed. Unlike high-productive (*Melosira*) 1927, when *Marituja pelagica* (subclass *Hymenostomatia*) dominated throughout the Lake, the structure of modern ciliate community was highly diverse with prevalence of oligotrichs (subclass *Oligotrichia*), but their abundance was less by one order of magnitude (500—7600 thou. cells/m³). As it was before, different variants of the same community developed in pelagic zones of different basins of Baikal, except its northern part. The distribution of ciliates within the basins was significantly influenced by surface water mixing (correlation coefficients $-0,5 \pm 0,2$ in 2007 and $-0,5 \pm 0,3$ in 2008, $p < 0,05$) and by currents in the coastal slope zone, in spring their velocities increases several times.*

**

1. Афанасьева Э.А. Биология байкальской эпишуры. — Новосибирск: Наука, 1977. — 144 с.
2. Верболов В.И. Течения и водообмен в Байкале // Вод. ресурсы. — 1996. — Т. 23, № 4. — С. 413—423.
3. Вотинцев К.К., Мещерякова А.И., Богданов В.Т. Биогенные элементы и первичная продукция пелагиали Северного Байкала // Гидробиол. журн. — 1969. — Т. 5, № 4. — С. 25—30.
4. Вотинцев К.К., Мещерякова А.И., Поповская Г.И. Круговорот органического вещества в озере Байкал. — Новосибирск: Наука, 1975. — 190 с.
5. Жданов А.А. Горизонтальный перенос и макротурбулентный обмен в озере Байкал: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Иркутск, 2006. — 22 с.
6. Каплин В.М. К экологии пелагических инфузорий Байкала // Изв. БГНИИ при Иркут. ун-те. — 1970. — Т. 23, вып. 1. — С. 104—117.
7. Константинов А.С. Общая гидробиология. — М.: Высш. шк., 1972. — 472 с.
8. Оболкина Л.А. Планктонные инфузории Байкала: экология, таксономия: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — СПб., 2003. — 20 с.
9. Пашкова О.В. Структурированность сообществ водных организмов как основа их существования (на примере придонного зоопланктона мелководий) // Гидробиол. журн. — 2002. — Т. 38, № 6. — С. 10—20.
10. Поповская Г.И. Годовые изменения фитопланктона // Тр. Лимнол. ин-та: Лимнология придельтовых пространств. — 1971. — Т. 12, вып. 32. — С. 158—169.
11. Поповская Г.И., Усольцева М.В., Фирсова А.Д., Лихошвай Е.В. Оценка весеннего фитопланктона озера Байкал в 2007 г. // География и природ. ресурсы. — 2008. — № 1. — С. 83—88.
12. Шимараев М.Н. Элементы теплового режима озера Байкал. — Новосибирск: Наука, 1977. — 149 с.
13. Эггерт М.Б. Планктические инфузории // Тр. Лимнол. ин-та: Лимнология придельтовых пространств. — 1971. — Т. 12, вып. 32. — С. 201—223.

14. Янковский А.В. Тип Ciliophora. Систематический обзор // Протисты. — 2007. — Ч. 2. — С. 415—993.
15. Bondarenko N.A., Guseynikova N.E., Logacheva N.F., Pomazkina G.V. Spatial distribution of phytoplankton in Lake Baikal, Spring 1991 // Freshwater Biol. — 1996. — Vol. 35, N 3. — P. 517—523.
16. Gajewska N.S. Zur Öcologie, Morphologie und Systematik der Infusorien des Baikalsees // Bibliotheca Zoologica (Stuttgart). — 1933. — Bd. 32. — S. 1—298.
17. Obolkina L.A. Planktonic ciliates of Lake Baikal // Hydrobiologia. — 2006. — Vol. 568, N 1. — P. 193—199.
18. Sekino T., Genkai-Kato M., Kawabata Z. et al. Role of phytoplankton size distribution in lake ecosystems revealed by a comparison of whole plankton community structure between Lake Baikal and Lake Biwa // Limnology. — 2007. — Vol. 8, N 3. — P. 227—232.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск

Поступила 02.04.10