

## ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИТОРАЛЬНОГО ЗООБЕНТОСА В ОЗЕРЕ АРАХЛЕЙ В МАЛОВОДНЫЙ ПЕРИОД

Матафонов П.В.

*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита,  
e-mail: benthos@yandex.ru*

Использование теории альтернативных стабильных состояний применительно к экосистемам глубоких озер требует учета большей пространственной неоднородности таких озер и несинхронности реакции литоральных и пелагических сообществ на изменение климата и антропогенных факторов. В 2017 г. выполнены исследования закономерностей пространственного распределения таксономического состава и количественного развития литорального зообентоса озера Арахлей в период экстремально низкой водности. В составе зообентоса обнаружено 50 видов, среднее за сезон число видов в пробах из зоны глубин до 4,5 м  $7,7 \pm 3,7$ . Константными представителями зообентоса здесь были *Gmelinoides fasciatus* и *Tubifex tubifex*. Пространственное распределение состава, количественного развития и структуры зообентоса показывает распространение литоральных сообществ в озере до изобаты 4,5 метра. Средняя за сезон биомасса литорального зообентоса составила 48,9 г/м<sup>2</sup>, из которых 55 % приходилось на амфиподу *Gmelinoides fasciatus* (Stebb.), еще 14 % – на *Gammarus lacustris* (Sars.). В многолетней динамике литорального зообентоса произошло сокращение зоны его распространения. Выявление факторов изменений в литоральных сообществах затруднено в связи с отсутствием системного экологического мониторинга. Учитывая высокую социальную значимость озера Арахлей, для предотвращения негативных изменений в экосистеме озера необходим регулярный экологический мониторинг литоральной зоны, а также экологическая экспертиза и оценка воздействия на экосистему озера всех, включая рыбохозяйственные и природоохранные, проектов и мероприятий.

**Ключевые слова:** литоральная зона, зообентос, многолетние изменения, колебания уровня, озеро Арахлей

## THE SPATIAL DISTRIBUTION OF LITHORIAL ZOOBENTOS IN THE LAKE ARAKHLEY IN THE LOW-WATER PERIOD

Matafonov P.V.

*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, e-mail: benthos@yandex.ru*

Applying the theory of alternative stable states to deep lake ecosystems requires taking into account the greater spatial heterogeneity of such lakes and the asynchronous response of littoral and pelagic communities to climate change and anthropogenic factors. In 2017, studies were carried out on the regularities of the spatial distribution of the taxonomic composition and the quantitative development of the littoral zoobenthos of the Arakhley Lake in the period of extremely low water level. 50 species were found in the zoobenthos, the average number of species in the samples from the depth zone 0 – 4.5 m was  $7.7 \pm 3.7$ . Constant representatives of zoobenthos here were *Gmelinoides fasciatus* and *Tubifex tubifex*. Based on the results of studies of the spatial distribution of the composition, the quantitative development and structure of zoobenthos, the distribution of littoral communities in the lake is limited to an isobath of 4.5 meters. The average biomass of the littoral zoobenthos in the season was 48.9 g/m<sup>2</sup>, 55 % of which was amphipod *Gmelinoides fasciatus* (Stebb.), and 14 % – *Gammarus lacustris* (Sars.). In the long-term dynamics, a decrease in the zone of distribution of the littoral zoobenthos was revealed. The identification of the factors of the changes that have occurred is difficult. Taking into account the high social importance of the Arakhley Lake to prevent negative changes in the lake ecosystem, regular ecological monitoring of the littoral zone is necessary, as well as environmental assessment and assessment of the impact on the lake ecosystem of all projects, including fisheries and environmental projects and activities.

**Keywords:** littoral zone, zoobenthos, perennial changes, level fluctuations, Arakhley lake

Озерные экосистемы находятся под влиянием климатических изменений, периодических колебаний уровня воды, эвтрофикации, рыбоводных мероприятий и т.д. [1–3]. Выявить вклад конкретного фактора в изменение экосистемы бывает непросто даже в отношении мелководных озер. Экосистемы глубоких озер отличаются большей пространственной неоднородностью и несинхронностью реакции основных сообществ на воздействие факторов, поэтому изменения в них могут начинаться внезапно в литоральной зоне даже при сравнительно низких концентрациях растворенного фосфора и завершаться переходом пелагических сообществ в новое устойчивое состояние [4].

Мониторинг литоральной зоны необходим, чтобы выявить предупреждающие сигналы смены альтернативных стабильных состояний и предотвратить развитие экосистем глубоких озер в нежелательном и необратимом направлении.

Озеро Арахлей является модельным водоемом, на котором проводятся комплексные гидробиологические исследования закономерностей динамики структурно-функциональной организации водных экосистем Забайкалья в условиях резко континентального климата [5, с. 7–8]. Несмотря на ряд исследований [5, с. 176–211], сведения о видовом составе, количественном развитии и пространственном распределении

в озере литорального зообентоса единичны, что затрудняет выявление фоновых закономерностей динамики зообентоса в различные климатические фазы и использование зообентоса в целях прогноза изменения экосистемы озера под влиянием антропогенных и иных факторов.

**Цель исследования** – выявить закономерности пространственного распределения литорального зообентоса в озере Арахлей в маловодный период.

#### Материалы и методы исследования

Озеро Арахлей (52.203050°N, 112.871838°E) – одно из крупнейших озер лесостепной зоны Забайкальского края. Длина озера 10,8 км, ширина – 6,8 км. Озеро пресное, прозрачность его вод в летний период 2017 г. составила 5,8 м, глубина в декабре 2017 г. достигала 14,2 м. Температура поверхности илстых осадков в центральной части озера 2 августа 2017 г. составила 9,4 °C.

Исследования распределения и сезонной динамики зообентоса выполнены 1–2 июня, 1–6 августа и 3–5 октября 2017 г. В июне пробы отобраны в западной части озера у села Преображенка от уреза воды до глубины 6,0 м (52.21653°N, 112.83886°E) с интервалом по глубине 0,5 м. В августе пробы отобраны с интервалом по глубине один метр у села Преображенка в диапазоне глубин от нуля до шести метров и в южной части озера, у села Арахлей, в диапазоне глубин от 0,50 до 5,42 м (52.17088°N, 112.84456°E). В октябре отбор проб выполнен по схеме, как в августе, в западной и в северной, до глубины 5,53 м (52.24669°N, 112.91381°E), частях озера. На каждой станции отобрано по одной пробе модифицированной моделью дночерпателя Петерсена ( $S = 0,025 \text{ м}^2$ ). Пробы промывали через мельничное сито с размером ячеек 0,30 мм. Всего собрана 41 проба зообентоса.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В материалах исследования зообентос представлен 50 видами, из которых 44% – хирономиды, 20% – моллюски, 12% – пиявки, 10% – олигохеты, 12% – прочие таксоны (жуки, поденки, мокрецы, амфиподы, губки). 34% от общего разнообразия зообентоса составляют хирономиды подсемейства Chironominae.

Таксономическое обилие зообентоса в пробах изменялось от 1 до 15 видов. Максимальное число таксонов зообентоса отмечено на глубине 4,0 м. Зообентос у уреза воды в августе был представлен только амфиподой *Gmelinoides fasciatus* (Stebb.). В среднем за сезон зообентос озера Арахлей в зоне глубин до 4,5 метров, до нижней границы распространения зарослей макрофитов, представлен  $7,7 \pm 3,7$  видами на площади  $0,025 \text{ м}^2$ . По осредненным за период исследования данным прослеживается закономерное изменение таксономического обилия зообентоса с наиболее высокими

значениями в диапазоне глубин 3–4,0 м (рис. 1). Из общей закономерности повышенным разнообразием зообентоса выделяются станции на глубинах полтора и четыре метра.

В диапазоне глубин 0–4,5 м таксономическое обилие на каждом из изученных профилей изменялось от 19 до 24 видов (в пяти пробах), составив в среднем  $22,3 \pm 2,0$  вида. Во всех десяти пробах в этом диапазоне глубин оно изменялось от 27 (в июне и октябре) до 34 (в августе) видов.

Константными представителями зообентоса зоны глубин до шести метров в озере Арахлей были амфипода *Gm. fasciatus*, обнаруженная в 100% проб и олигохета *Tubifex tubifex* (Mull.) – в 56%. Сравнительно высокая встречаемость отмечена у амфиподы *Gammarus lacustris* (Sars.) – в 46% проб, моллюсков *Sphaerium levinodis* West. и хирономид *Procladius gr. choreus* – в 34% проб. Распределение ряда видов имеет биотопическую приуроченность. Так, личинки хирономид *Tanytarsus pseudolestagei* Shil., *Microtendipes gr. pedellus*, *Corynocera ambigua* Zett. и *Pr. gr. choreus* характерны для илстых биотопов на глубинах более 4,5 метров, личинки хирономид рр. *Stictochironomus* населяли песчаные грунты в зоне глубин менее 2,5 м, а личинки *Cladotanytarsus* №1 Zvereva – до глубины 1,0 м. Ряд видов характерны для зарослей макрофитов: губки, пиявки (*Hemiclepsis*, *Alboglossiphonia heteroclite* (L.)), моллюски (*Acroloxus arachleicus* Krug. et Star., *Physa aracheica* Krug. et Star.), амфипода *G. lacustris*, хирономиды (*Chironomus gr. plumosus*, *Endochironomus albipennis* (Meig.) и рр. *Glyptotendipes*).

Количественные показатели зообентоса зоны глубин до шести метров в среднем за период исследований составили  $5859 \text{ экз/м}^2$  и  $38,75 \text{ г/м}^2$ . Прослеживается в целом закономерное увеличение биомассы зообентоса до глубины 4,5 м (рис. 2). На глубинах более 4,5 м биомасса зообентоса снижалась в 5,7 раз до значений менее  $13,2 \text{ г/м}^2$ , что обусловлено значительным снижением обилия амфипод и прочих представителей литоральной фауны.

Средняя за сезон численность зообентоса изменялась в зависимости от глубины согласно уравнению

$$y = -935,12x^2 + 5061,7x + 4066,5 \quad (R^2 = 0,65, n = 13),$$

где  $x$  – глубина в метрах,  $y$  – численность зообентоса (экз/м<sup>2</sup>).

Таким образом, по результатам исследований в 2017 г. выявлено распространение литоральных сообществ в озере Арахлей

до изобаты 4,5 м. В зоне больших глубин происходит значительное снижение обилия массовых в литоральной зоне амфипод (рис. 2). Кроме того, здесь становятся обычными виды хирономид, которые согласно предыдущим исследованиям [6, с. 128–130; 7, с. 140] можно отнести к индикаторам сублиторальных и профундальных сообществ: *C. ambigua*, *M. gr. pedellus*, виды рр. *Tanytarsus*, *Pr. gr. choreus*, *P. scalaenum* (Schränk). Количественные показатели литорального зообентоса озера Арахлей в 2017 г. довольно высокие – в структуре его биомассы доминировал *Gm. fasciatus* (55%), содоминантами были *G. lacustris* (14%) и *Sph. levinoides* (12%) (табл. 1). Из гастропод основной вклад в биомассу зообентоса вносили *Boreoelona sibirica* (West.) (4,0%) и *Ph. arachleica* (3,7%).

Сравнение данных многолетнего мониторинга на озерах нередко затруднено в связи с различиями используемых методов исследований [1]. На различия многолетних данных о динамике зообентоса литоральной зоны озера Арахлей (табл. 2) наряду с объективными изменениями в зообентосе в разные годы оказало влияние изменение задач исследований и схем отбора проб, различная степень исследования отдельных биотопов и таксономических групп, недостаточное внимание реальным границам литоральной зоны и т.д. [5, с. 176–211]. Можно отметить, что количество таксонов зообентоса, обнаруженных в 2017 г. в озере Арахлей в зоне глубин от нуля до шести метров, в два раза ниже указанного в материалах исследований за 1960–1970-е гг. [6, с. 125–128], но в целом соответствует данным за 1995 г. [7].

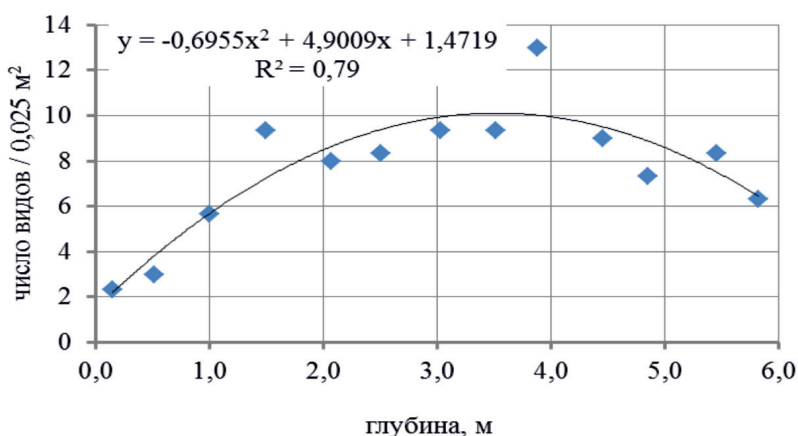


Рис. 1. Зависимость таксономического обилия зообентоса от глубины в озере Арахлей

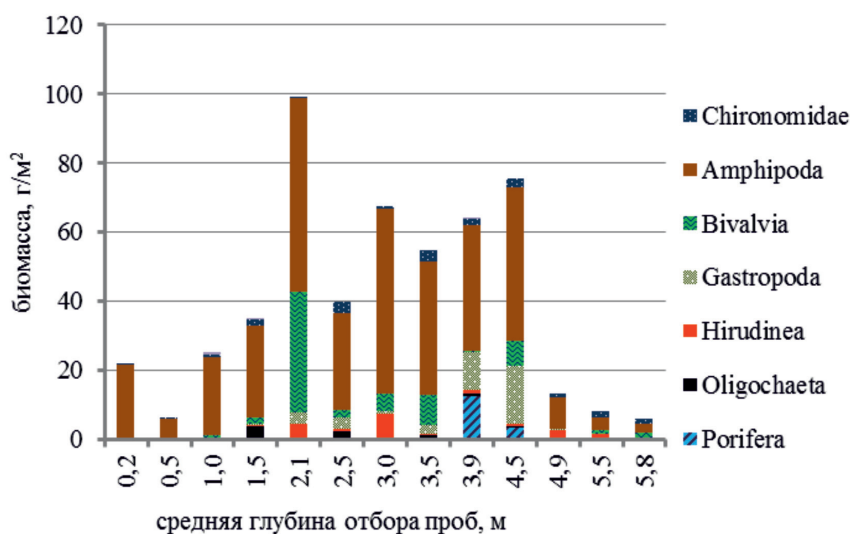


Рис. 2. Распределение зообентоса в прибрежной зоне озера Арахлей в период открытой воды 2017 г.

Таблица 1

Численность (N) и биомасса (B) зообентоса озера Арахлей в зоне глубин 0–4,5 м в период открытой воды 2017 г.

| Таксон          | N, (экз./м <sup>2</sup> ) | N, %        | B, г/м <sup>2</sup> | B, %        |
|-----------------|---------------------------|-------------|---------------------|-------------|
| Porifera        | 25                        | 0,3         | 1,77                | 3,6         |
| Oligochaeta     | 209                       | 2,3         | 0,78                | 1,6         |
| Hirudinea       | 83                        | 0,9         | 1,41                | 2,9         |
| Gastropoda      | 199                       | 2,2         | 3,82                | 7,8         |
| Bivalvia        | 129                       | 1,4         | 6,11                | 12,5        |
| Amphipoda       | <b>8027</b>               | <b>88,0</b> | <b>33,4</b>         | <b>68,4</b> |
| Ephemeroptera   | 1                         | 0,0         | 0,01                | 0,0         |
| Ceratopogonidae | 4                         | 0,0         | 0                   | 0,0         |
| Chironomidae    | 436                       | 4,8         | 1,43                | 2,9         |
| Coleoptera      | 5                         | 0,1         | 0,1                 | 0,2         |
| Всего           | 9119                      | 100         | 48,9                | 100         |

Таблица 2

Динамика количественного развития и структуры зообентоса литоральной зоны озера Арахлей с 1936 г.\*

| годы                | место отбора проб в озере         | B <sub>макс.</sub> , г/м <sup>2</sup> | B <sub>ср.</sub> , г/м <sup>2</sup> | доминант                                                | содоминанты                                               |
|---------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| июль 1936 г.        | не указано                        | не указана                            | 12,9–26,3                           | моллюски                                                |                                                           |
| 1961–1962 гг.       | не указано                        | 34,3                                  | 2,07–34,32                          | моллюски                                                |                                                           |
| 1964–1965 гг.       | все озеро                         | не указана                            | ≈15,7                               | моллюски                                                | амфиподы                                                  |
| Весна 1967–1970 гг. | западная часть                    | не указана                            | 43–68                               | моллюски (49–86%)                                       | амфиподы (до 28%) и прочие (до 24%)                       |
| июнь 1982 г.        | западная, южная и восточная части | 60                                    | 34,7                                | моллюски (61%)                                          | олигохеты (14%) и хирономиды (12%)                        |
| сезон 1995 г.       | не указано                        | 70                                    | 53                                  | моллюски (32% гастроподы и 8% бивалвий), амфиподы (31%) |                                                           |
| сезон 2000 г.       | западная часть                    | 93                                    | 30                                  | амфиподы (67%)                                          | моллюски (18% гастроподы, 5% бивалвий)                    |
| сезон 2008 г.       | западная часть                    | 42,5                                  | 29,1                                | амфиподы (39%)                                          | моллюски (21% гастроподы, 6% бивалвий) и хирономиды (20%) |
| сезон 2017 г.       | северная, западная и южная части  | 139                                   | 48,9                                | амфиподы (68%)                                          | моллюски (13% бивалвий, 9% гастроподы)                    |

Примечание. \* – по данным различных исследователей [5, с. 176–211]; B<sub>макс.</sub> – максимальная (абсолютная, либо средняя) биомасса; B<sub>ср.</sub> – средняя биомасса за дату либо за сезон.

Относительно распространения в озере отдельных видов следует отметить отсутствие в 2017 г. моллюсков pp. *Lymnaea* и *Anisus stroemi* (West.) – в 1960-е гг. характерных представителей литорального

зообентоса с частотой встречаемости соответственно 52% и 45% [6, с. 129]. На этом фоне следует отметить увеличение встречаемости моллюсков pp. *Physa*, *Acroloxus* и *Cincinna* в 2017 г. до 29, 10 и 2% соответ-



ственно. Причиной могут быть изменения в распространении и структуре растительных сообществ [5, с. 143–151]. В целом выполненные в 2017 г. исследования зообентоса показывают продолжение выявленного ранее [5, с. 235–238] сокращения в озере мест обитания ряда видов гастропод.

Изменения в растительных сообществах привели и к смене мест обитания амфиподы *G. lacustris*. Высокой плотности в 2017 г. гаммарус достигал в зоне глубин от двух до четырех метров, при этом в отсутствие рясковых сообществ его обилие определялось фитомассой *C. demersum* в соответствии с уравнением  $y = 1,6151x - 1,216$  ( $R^2 = 0,98$ ,  $n = 8$ ), где  $y$  – фитомасса *C. demersum* (г·всв/м<sup>2</sup>),  $x$  – численность *G. lacustris* (экз/м<sup>2</sup>).

Высокая биомасса зообентоса и основной вклад в нее амфипод и моллюсков являются общими чертами зообентоса литоральной зоны озера Арахлей в 2017 г. и зообентоса литоральной зоны западной части озера в 2000 г. [5, с. 200] (табл. 2). В сравнении с 1995 г. структура зообентоса 2017 г. отличается отсутствием моллюсков рр. *Lymnaea*, а также меньшим вкладом в общую биомассу поденок рр. *Ephemera* и гастропод рр. *Boreoelona*.

В целом анализ многолетних данных показывает связь литорального зообентоса с распространением донных макрофитов и сокращение зоны его распространения до глубины 4,5 м. Из других наиболее существенных изменений литорального зообентоса в сравнении с серединой прошлого века [6, с. 122–138], как и ранее [5, с. 195], следует отметить возросший вклад амфипод, обусловленный инвазией *Gm. fasciatus*.

Выявление факторов сокращения зоны распространения литоральных сообществ, векторов инвазии *Gm. fasciatus* и воздействия амфиподы на экосистему озера Арахлей осложнено отсутствием комплексных мониторинговых исследований экосистемы озера в 1980-х – начале 1990-х гг., а также оценки возможного негативного влияния на экосистему озера рыбохозяйственных мероприятий [5, с. 236; 5, с. 244–245].

### Заключение

Выполненные исследования показывают развитие экосистемы озера Арахлей в направлении альтернативного устойчи-

вого состояния «мутной воды». Среди причин могут быть снижение уровня воды, возросшая антропогенная нагрузка, а также инвазии чужеродных видов или рыбохозяйственные мероприятия. Озеро Арахлей – водоем, имеющий важное социальное значение, поэтому в целях сохранения его рекреационного и рыбохозяйственного потенциала, а также недопущения дальнейшего развития экосистемы в нежелательном и необратимом направлении, необходим ряд действий: снижение негативного воздействия на экосистему, осуществление регулярного экологического мониторинга литоральной зоны; экологическая экспертиза и оценка воздействия на экосистему всех хозяйственных, включая рыбохозяйственных, проектов и мероприятий, как это было рекомендовано ранее [5, с. 237; 5, с. 245].

*Работа выполнена в рамках Проекта IX.137.1.3. «Биоразнообразие природных и природно-техногенных экосистем Забайкалья (Центральной Азии) как индикатор динамики региональных изменений климата». № госрегистрации АААА-А17-117011210078-9.*

### Список литературы

1. Leira M., Cantonati M. Effects of water-level fluctuations on lakes: an annotated bibliography // *Hydrobiologia*. – 2008. – v. 613. – P. 171–184.
2. Meerhoff M., Mello T.-de F., Kruk C., Alonso C., Gonzalez-Bergonzoni I., Pablo Pacheco J., Lacerot G., Arim M., Beklioglu M., Brucet S., Goyenola G., Iglesias C., Mazzeo N., Kosten S., Jeppesen E. Environmental warming in shallow lakes: a review of potential changes in community structure as evidenced from space-for-time substitution approaches // *Advances in ecological research*. – 2012. – v. 46. – P. 259–249.
3. Tatnai I., Boros G., Gyorgy A.I., Mátyás K., Korponai J., Pomogyi P., Havasi M., Kucserka T. Abrupt shift from clear to turbid state in shallow eutrophic, biomanipulated lake // *Hydrobiologia*. – 2009. – v. 620. – P. 149–161.
4. Bruell R., Marchetto A., Bernard A., Lami A., Sabatier P., Frossard V., Perga M.-E. Seeking alternative stable states in a deep lake // *Freshwater Biology*. – 2018. – v. 63, I. 6. – P. 553–568.
5. Арахлейские озера на рубеже веков (состояние и динамика) / М.Ц. Итигилова, Н.М. Пронин, Г.А. Юргенсон и др.; отв. ред. Н.М. Пронин. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. – 337 с.
6. Биологическая продуктивность озера Арахлей (Забайкалье) / ред. М.Ю. Бекман, В.П. Горлачев. – Новосибирск: Наука, 1981. – 148 с.
7. Клишко О.К. Зообентос озер Забайкалья. Часть I. Видовое разнообразие, распространение и структурная организация / О.К. Клишко. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского научного центра СО РАН, 2001. – 208 с.