

УДК 574.587

## ВЛИЯНИЕ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ВОДЫ НА ЗООБЕНТОС МЕЛКОВОДНОГО СОЛЕНОГО ОЗЕРА ЗУН-ТОРЕЙ В МАЛОВОДНЫЙ ПЕРИОД

**Матафонов П.В.***ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии» СО РАН, Чита,  
e-mail: benthos@yandex.ru*

В исследованиях экосистем мелководных соленых озер уделяется недостаточное внимание влиянию высоких температур воды на зообентос. В июле 2014 г. выполнены исследования пространственного распределения зообентоса и температуры воды в крупном мелководном соленом озере Зун-Торей. Зообентос озера представлен 13 видами, его плотность составила  $1493 \pm 1327$  экз/м<sup>2</sup>, биомасса –  $1,99 \pm 1,77$  г/м<sup>2</sup>. Наибольшее разнообразие зообентоса отмечено в литоральной зоне до глубины 0,2 м. Зона глубин более 0,8 м населена только *Procladius gr. ferrugineus* и *Palpomyia (Gluhovia) sp.* Литоральная зона отличалась наиболее широким диапазоном температур воды – от 18 до 29,1 °С. В глубинной части озера температура воды изменялась в узком диапазоне от 20,4 до 24,6 °С. Максимальные температуры воды в литоральной зоне озера Зун-Торей достигали верхних летальных температурных лимитов, известных для водных и наземных беспозвоночных, а также водных растений. Невысокое разнообразие и количественные показатели зообентоса литоральной зоны, а также снижение биомассы зообентоса глубинной зоны с увеличением температуры воды могли быть реакцией зообентоса на высокие температуры воды в озере. Хотя температура воды в озере Зун-Торей в июле 2014 г. находилась на довольно высоком для гидробионтов уровне и превышала оптимальные уровни отдельных видов хирономид, в целом ее значения не превышали верхние термические уровни, характерные для водных и наземных беспозвоночных.

**Ключевые слова:** мелководные озера, соленые озера, зообентос, термическая толерантность

## INFLUENCE OF WATER HIGH TEMPERATURES ON ZOOBENTHOS OF THE SHALLOW SALT LAKE ZUN-TOREY IN THE SMALL-WATER PERIOD

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

In studies of the ecosystems of shallow saline lakes, insufficient attention is paid to the effect of high water temperatures on zoobenthos. In July 2014, studies were performed on the spatial distribution of zoobenthos and water temperature in the large shallow salt lake Zun-Torey. Zoobenthos of the lake is represented by 13 species, its density was  $1,493 \pm 1,327$  ind./m<sup>2</sup>, biomass –  $1.99 \pm 1.77$  g/m<sup>2</sup>. The greatest diversity of zoobenthos is observed in the littoral zone to a depth of 0.2 m. Only *Procladius gr. Is* inhabited by a depth of more than 0.8 m. *ferrugineus* and *Palpomyia (Gluhovia) sp.* The littoral zone differed the widest range of water temperatures – from 18 to 29.1 °C. In the deep part of the lake, the water temperature varied in a narrow range from 20.4 to 24.6 °C. Maximum water temperatures in the littoral zone of Lake Zun-Torey reached the upper lethal temperature limits known for aquatic and terrestrial invertebrates, as well as aquatic plants. The low diversity and quantitative indices of the zoobenthos of the littoral zone, as well as a decrease in the biomass of the zoobenthos of the deep zone with an increase in water temperature could be the response of the zoobenthos to high water temperatures in the lake. Although the water temperature in Zun-Torey Lake in July 2014 was at a rather high level for aquatic organisms and exceeded the optimal levels of certain chironomid species, in general, its values did not exceed the upper thermal levels characteristic of aquatic and terrestrial invertebrates.

**Keywords:** shallow lakes, salt lakes, zoobenthos, thermal tolerance

Изменения климата обуславливают значительную динамику уровненного режима озер и, как следствие, других параметров водных экосистем, при которых происходит развитие организмов. В глубоких озерах снижение уровня и повышение температур воды приводит к изменению глубины термоклима и периода термической стратификации [1, с. 176]. При изучении влияния динамики уровня воды на экосистемы мелководных степных озер основное внимание уделяется реакции зообентоса на изменение химического состава вод [2, с. 9] и недостаточное внимание – реакции зообентоса на повышение температуры

воды до верхних для его представителей критических уровней при снижении уровня воды. В то же время известно, что все организмы имеют предпочитаемый диапазон температур с верхними и нижними температурными пределами [3, с. 712] при этом организмы одного вида могут выживать по обе стороны от оптимального диапазона температур, но по мере приближения пределов толерантности нарастают признаки стресса. В этой связи цель исследования: выявить, оказывают ли высокие температуры воды критическое влияние на зообентос мелководного соленого озера Зун-Торей в фазу низкого уровня воды.

**Материалы и методы исследования**

Озеро Зун-Торей (50.076063°N, 115.800986°E) – одно из крупнейших озер Забайкальского края. В многоводные годы его площадь достигает 300 км<sup>2</sup>, длина – 22 км, ширина – 18 км. В засушливые годы озеро практически полностью высыхает. В июле 2014 г. поверхностный приток вод в озеро отсутствовал, максимальная глубина не превышала 1,48 м, а средняя глубина составила  $0,86 \pm 0,54$  м. Минерализация вод озера в этот период находилась на уровне 14500 мг/л.

Для оценки возможного критического влияния высоких температур воды выполнен отбор проб зообентоса озера Зун-Торей с 23 по 24 июля 2014 г. согласно предложенной схеме равномерно распределенных по всему озеру станций [4, с. 53]. На каждой станции отобрано по одной пробе зообентоса модифицированным дночерпателем Петерсена с площадью захвата 0,025 м<sup>2</sup>. Отобранные пробы промывали через сито с размером ячеек 0,300 мм и консервировали 4% формалином. Идентификация организмов выполнена до вида либо группы видов. В местах отбора проб зообентоса выполнены измерения температуры воды с использованием многопараметрического прибора исследования воды Aquarprobe.

**Результаты исследования и их обсуждение**

Температура воды в озере Зун-Торей достигала высоких значений и находилась в диапазоне от 18 до 29,1°C (рис. 1). В литоральной зоне, зона глубин  $0,20 \pm 0,08$  м в озере Зун-Торей, она изменялась во всем диапазоне, тогда как в глубинной зоне – от 20,4 до 24,6°C. В сравнении с 1986 г., когда температура воды в озере достигала 22–23°C [5, с. 152], в 2014 г. температура воды в литоральной зоне озера Зун-Торей оказалась выше на 6–7°C, в глубинной зоне – на 1,5–2,5°C.

В отношении гидробионтов температура воды в озере Зун-Торей находилась на сравнительно высоком уровне. Ранее на примере зоопланктона было показано, что температура воды выше 26°C наименее благоприятна для гидробионтов и при длительной гомотермии, когда у организмов отсутствует возможность миграции в слой с холодной водой, вызывает резкое снижение их численности [6, с. 58].

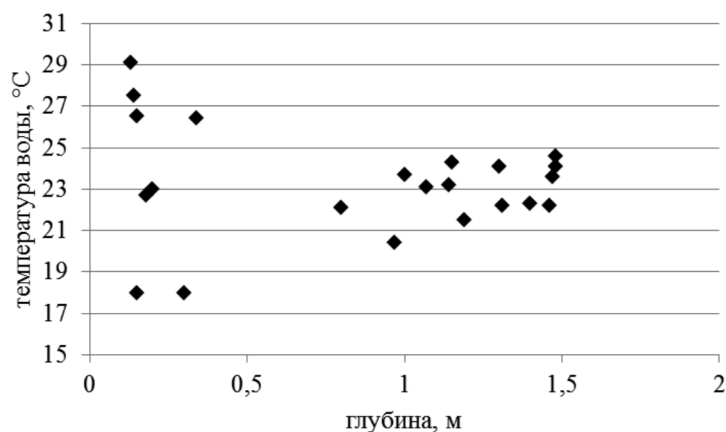


Рис. 1. Распределение температуры воды в озере Зун-Торей в июле 2014 г.

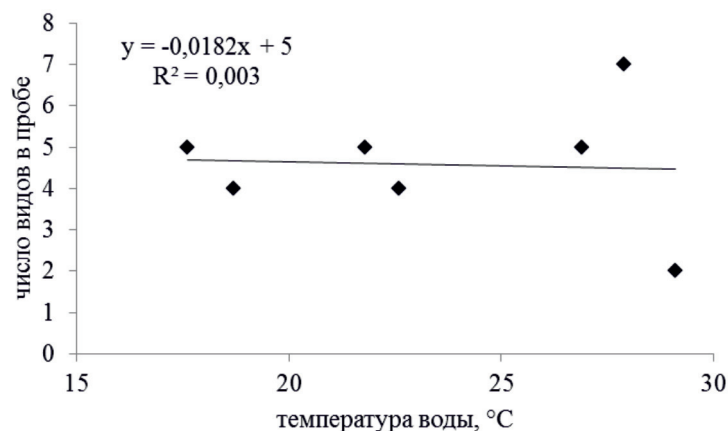


Рис. 2. Распределение видового обилия зообентоса относительно температуры воды в литоральной зоне озера Зун-Торей в июле 2014 г.

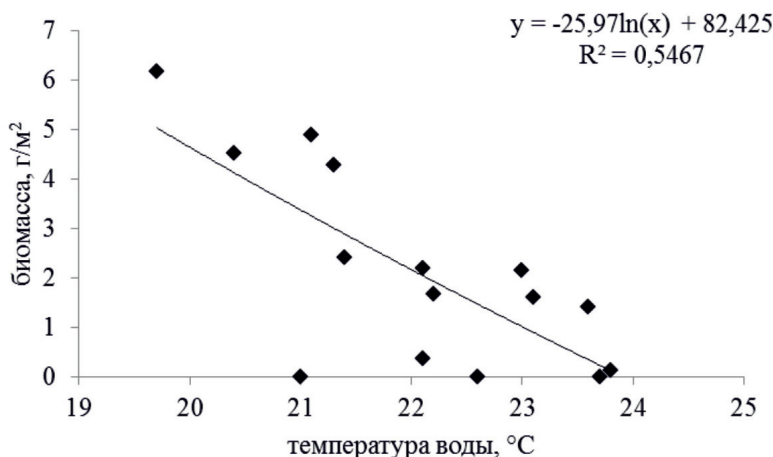


Рис. 3. Распределение биомассы зообентоса относительно температуры воды в афотической зоне озера Зун-Торей в июле 2014 г.

Биологические реакции на изменения температуры воды могут включать изменения в индивидуальных моделях истории жизни, распределении и ареале видов, био-разнообразии сообществ и водных экосистем [1, с. 712].

Таксономическое разнообразие и количественные показатели зообентоса озера Зун-Торей в 2014 г. находились на низком уровне. В его составе обнаружено 13 видов амфибиотических насекомых, из которых семь – Chironomidae. Большая часть видов зообентоса населяет только литоральную (фотическую) зону озера Зун-Торей. В зоне глубин более 0,34 м отмечены личинки хирономид *Procladius* gr. *ferrugineus* и мокрецов *Palpomyia* (*Gluhovia*) sp. (*tuvae*?). Таксономическое обилие зообентоса достигало семи видов в пробе, в среднем по озеру оно составило  $3 \pm 2,0$  вида в пробе.

Реакция зообентоса литоральной зоны озера Зун-Торей на рост температуры воды невыраженная. Число видов в пробах здесь практически не изменялось в диапазоне температур воды до 27,9 °C, и только при максимальной температуре отмечено низкое видовое обилие (рис. 2).

Численность и биомасса зообентоса в озере составили  $1493 \pm 1327$  экз/м<sup>2</sup> и  $1,99 \pm 1,77$  г/м<sup>2</sup> соответственно. Доминировали личинки *Procladius* gr. *ferrugineus* – 75% численности и 70,4% биомассы, 13,3% биомассы составили жуки *Berosus* (*E.*) *fulvus*. Вклад прочих видов в численность и биомассу зообентоса озера не превышал 6,5%. В литоральной зоне показатели обилия зообентоса составили  $845 \pm 631$  экз/м<sup>2</sup> и  $1,40 \pm 1,22$  г/м<sup>2</sup>. 52% биомассы зообентоса здесь создавали жуки *Berosus* (*E.*) *fulvus* Kuwert, 1888. В зоне глубин более 0,8 м

численность и биомасса зообентоса оказались выше –  $2338 \pm 1286$  экз/м<sup>2</sup> и  $2,88 \pm 1,80$  г/м<sup>2</sup> соответственно. 97% биомассы здесь создавал *Procladius* gr. *ferrugineus*.

Реакция зообентоса афотической зоны глубин, более 0,3 м, на рост температуры воды оказалась закономерной – выявлено снижение биомассы зообентоса с повышением температуры воды (рис. 3). Снижение численности зообентоса тоже происходило закономерно в соответствии с функцией  $y = -16599 \ln(x) + 53060$  ( $R^2 = 0,39$ ), где  $y$  – численность зообентоса (экз/м<sup>2</sup>),  $x$  – температура воды (°C). Наиболее высокие ее значения отмечены при температуре воды 19,7–21,3 °C.

В отличие от глубинной зоны в литоральной зоне озера Зун-Торей не выявлено связи показателей количественного развития зообентоса с температурой воды. Наиболее высокой биомассы, 2,7–3,2 г/м<sup>2</sup>, зообентос достигал здесь в диапазоне температур воды 21,8–26,9 °C. При более высоких температурах воды, 27,9 и 29,1 °C, она составила менее 1 г/м<sup>2</sup>.

В отношении отдельных видов температура воды могла ограничивать возможность заселения озера Зун-Торей видами с невысоким верхним уровнем термической толерантности, оказывая тем самым негативное влияние на таксономическое разнообразие зообентоса озера в целом. Для ряда видов влияние температуры могло быть критичным, так как ее значения в озере достигали известных для водных насекомых [7, с. 79] уровней верхних летальных температур или превышали их. Можно также отметить значительное превышение температуры воды в озере Зун-Торей оптимальных значений, известных для многих видов хирономид [8, с. 79]. С другой

стороны у многих видов морских и наземных животных, а также у беспозвоночных в частности пределы термической толерантности находятся на уровне 30–40 °С [9, с. 2; 10, с. 4], что оказывается выше максимальной температуры, отмеченной в озере Зун-Торей.

Литоральная зона озер отличается наибольшим разнообразием мест обитания зообентоса и его таксономическим разнообразием. В озере Зун-Торей негативное влияние высоких температур на таксономическое разнообразие зообентоса озера Зун-Торей могло быть наибольшим в этой зоне в связи с очень малым диапазоном ее глубин и отсутствием возможности миграции литоральных организмов в термические рефугии. В условиях, когда температура окружающей воды выходит за пределы предпочитаемого организмами диапазона и превышает их верхние температурные пределы, наличие таких рефугиев позволяет организмам избегать теплового стресса [1, с. 718]. Возможно, в отсутствие возможности миграции избегать теплового стресса организм, населяющим озеро Зун-Торей, позволяют физиологические адаптации к высоким температурам воды и характерное для мелководной зоны озер повышенное содержание кислорода в воде, так как известно, что толерантность к тепловому стрессу сопряжена с обеспеченностью организма кислородом [7, с. 79].

Негативное влияние высоких температур на зообентос литоральной зоны могло быть и опосредованным через снижение разнообразия сообществ донных растений, необходимых для фитофильных видов донных беспозвоночных. Так, температура воды в фотической зоне озера Зун-Торей достигала верхних термических лимитов, характерных для растений и, в частности, донных видов хлорофитовых водорослей [10, с. 4].

### Закключение

Результаты исследования показывают, что температура воды в озере Зун-Торей находилась на довольно высоком гидробионтов уровне и превышала оптимальные уровни и пределы толерантности ряда видов. В то же время ее значения не превышали верхние пределы толерантности, характерные для водных и наземных беспозвоночных. В этой связи высокая температура воды не оказывала критического влияния на зообентос озера Зун-Торей, но могла быть одним из факторов его в целом низкого таксономического разнообразия и обилия. На отдельных исследовательских станциях в литоральной зоне озера, где температура воды достигала максимальных

значений, она могла быть фактором низкого разнообразия и обилия зообентоса.

Исходя из сведений о термической толерантности животных и растений [7, с. 79; 9, с. 2; 10, с. 4], можно предположить, что температуры воды более 30 °С будут оказывать критическое влияние на зообентос озера Зун-Торей или других озер Торейской котловины.

С учетом нынешнего изменения климата и его прогнозируемых будущих масштабов для улучшения понимания и прогноза изменений климата в отношении гидробионтов озера Зун-Торей и других водоемов Забайкалья, как и в отношении водных насекомых [7, с. 82], актуальным является рост объема наблюдательных и экспериментальных экологических исследований, направленных на выявление уровней их верхней термической толерантности.

*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. vol. 613. P. 171–184.
2. Bazarova B., Tashlykova N., Afonina E., Kuklin A., Matafonov P., Tsybekmitova G., Gorlacheva E., Itigilova M., Afonin A., Butenko M. Long-term fluctuations of the aquatic ecosystems in the Onon-Torey plain (Russia). *Acta Ecologica Sinica*. DOI: 10.1016/j.chnaes.2018.08.003.
3. Dallas H., Ross-Gillespie V. Sublethal effects of temperature on freshwater organisms, with special reference to aquatic insects. *Water SA*. 2015. vol. 41. I. 5. P. 712–726.
4. Матафонов П.В. Состояние исследований и рекомендации по организации мониторинга зообентоса на озере Зун-Торей в Даурском экорегионе // *Успехи современного естествознания*. 2014. № 9. С. 50–54.
5. Локоть Л.И., Стрижова Т.А., Горлачева Е.П., Шамсутдинов В.Х., Чечель А.П., Тополов А.А., Итигилова М.Ц., Клишко О.К., Оглы З.П., Балушкина Е.В., Серебрякова М.С., Орлик Л.А., Афонин А.В. Содовые озера Забайкалья: экология и продуктивность. Новосибирск: Наука, 1991. 216 с.
6. Горобий А.Н. О зоопланктоне Иваньковского водохранилища и влиянии на него сброса подогретых вод Коноватовской ГРЭС. *Труды Всесоюзного гидробиологического общества*. 1977. Т. 21. С. 43–62.
7. Chown S., Duffy G., Sørensen J. Upper thermal tolerance in aquatic insects. *Current Opinion in Insect Science*. 2015. vol. 11. P. 78–83.
8. Marziali L., Rossaro B. Response of chironomid species (Diptera, Chironomidae) to water temperature: effects on species distribution in specific habitats. *Journal of Entomological and Acarological Research*. 2013. vol. 45. № 2. P. 73–89.
9. Sunday J., Bates A., Dulvy N. Global analysis of thermal tolerance and latitude in ectotherms. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*. 2010. vol. 278. I. 1713. P. 1823–1830.
10. Bennett J., Calosi P., Clusella-Trullas S., Martinez B., Sunday J., Algar A., Araujo M., Hawkins B., Keith S., Kuhn I., Rahbek C., Rodriguez L., Singer A., Villalobos F., Olalla-Taraga M., Morales-Castilla I. GlobTherm, a global database on thermal tolerances for aquatic and terrestrial organisms. *Scientific Data*. 2018. vol. 5. URL: <https://www.nature.com/articles/sdata201822> (дата обращения: 17.10.2018).