

ISSN 0002–354X (print)  
УДК 595.341.1:591.543.1

Поступило в редакцию 26.09.2016  
Received 26.09.2016

**В. В. Вежновец**

*Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам, Минск, Республика Беларусь*

**ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СОСТОЯНИЕ ПОПУЛЯЦИИ  
РЕЛИКТОВОГО РАЧКА *LIMNOCALANUS MACRURUS* SARS В МЕЗОТРОФНОМ ОЗЕРЕ**

*(Представлено членом-корреспондентом В. П. Семенченко)*

Впервые приведены данные о влиянии высокой летней температуры на состояние популяции редкого и охраняемого вида – реликтовой каланоидной копеподы *Limnocalanus macrurus*. Показано, что повышение поверхностной температуры ведет к падению концентрации кислорода в гипolimнионе в средне-глубоких озерах Беларуси и катастрофически снижает численность реликта, что может привести к его полному вымиранию.

*Ключевые слова:* температура, реликт, озеро, концентрация кислорода, плотность.

**V. V. Vezhnavecs**

*Scientific and Practical Center for Bioresources of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

**INFLUENCE OF A TEMPERATURE INCREASE ON THE CONDITION OF THE RELIC CRUSTACEAN  
*LIMNOCALANUS MACRURUS* SARS POPULATION IN A MESOTROPHIC LAKE**

*(Communicated by Corresponding Member V. P. Semenchenko)*

The data on the influence of a high summer temperature on the condition of the population of a rare and protected species – a relic calanoid copepod *Limnocalanus macrurus* are presented for the first time. It is shown that an increase in surface temperature leads to a decrease in oxygen concentration in the hypolimnion in medium-deep lakes of Belarus and catastrophically reduces the density of the relict, which can lead to its complete extinction.

*Keywords:* temperature, relict, lake, oxygen concentration, density.

**Введение.** Лимнокалянус длиннохвостый (*Limnocalanus macrurus*) – один из реликтовых видов копепод, сохранившихся в озерах Беларуси со времен последнего оледенения [1; 2]. Вид подвержен риску вымирания за счет высокой требовательности к качеству воды. Так из 10 озер, где он ранее отмечался, сейчас сохранился только в пяти, занесен в Красную Книгу Беларуси и соседних Прибалтийских стран. Стабильные популяции до сих пор сохранились только в четырех озерах (Ричи, Долгое, Южный Волос и Сита), расположенных в Витебской области [3].

Вид стенотермный, холодолюбивый, основная часть популяции располагается в глубоких слоях воды при низкой температуре и достаточно высоком содержании растворенного кислорода. В связи с естественными процессами эвтрофирования и загрязнения в населенных им озерах наблюдается снижение качества воды, падение концентрации кислорода, что приводит к исчезновению его из ряда водоемов. К названным выше традиционным угрозам популяциям этого реликта добавляется аномально высокая температура, наблюдающаяся сейчас в отдельные годы, влияние которой приводит к перестройкам в пространственной структуре и функционировании экосистем [4; 5]. Влияние теплового загрязнения техногенного происхождения на популяцию лимнокалянуса ранее нами прослежено на водоеме-охладителе АЭС [6], естественное повышение температуры на популяцию этого вида не изучено.

Цель работы – установить влияние повышения температуры на многолетние количественные показатели популяции.

**Материалы и методы исследования.** Исследования были проведены с разной периодичностью с 1988 по 2015 г. в последней декаде июля на озере Сита (Браславский р-н, Витебская обл.). Сита – средне-глубокий водоем. Его площадь составляет 1,88 км<sup>2</sup>; максимальная глубина – 28,5 м;

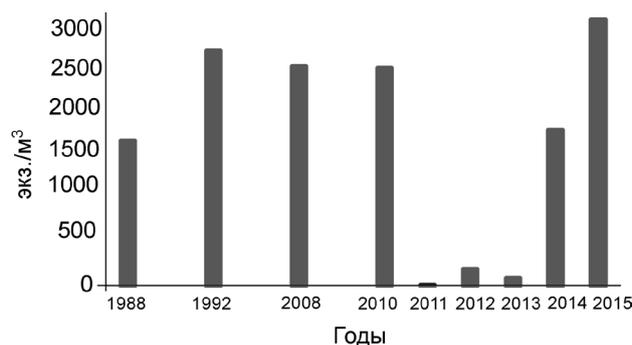


Рис. 1. Многолетние изменения плотности лимнокалянуса в оз. Сита

Fig. 1. Long-term changes of *Limnocalanus* density in the lake Sita

средняя – 7,6 м при объеме воды – 14,37 млн м<sup>3</sup>. Озеро по генетическому типу относят к водоемам мезотрофного типа с чертами олиготрофии [7].

Пробы зоопланктона отобраны в пелагиали на станции с максимальной глубиной количественной планктонной сетью с диаметром ячеей фильтрующего конуса 100 мкм, от поверхности до дна через 5 м глубины. Лабораторная обработка проб проводилась в счетной камере Богорова под бинокулярным микроскопом МБС-10 при увеличении 4 × 8, учитывались все возрастные стадии рачка.

#### Результаты и их обсуждение.

В процессе многолетних наблюдений в оз. Сита установлено катастрофическое снижение численности *L. macrurus* после аномально теплого лета 2010 года (рис. 1).

Численность лимнокалянуса в этом озере оставалась стабильной в течение продолжительного периода наблюдений (с 1988 г.) и ее значения составляли около 2 тыс. экз./м<sup>3</sup>. После «теплой европейской волны» 2010 г. плотность резко снизилась до предельных величин и составила в 2011 г. только единицы в кубометре. Восстановление популяции продолжалось три последующих года и только в последние два года численность достигла величин, наблюдавшихся ранее, а в 2015 г. даже превзошла прежние.

Ранее нами была показана реакция этого вида на дефицит кислорода зимой в оз. Волос, которая выражалась в замедлении развития и нарушении жизненного цикла и, соответственно, в изменении возрастного состава [3]. При этом в середине лета в составе популяции еще были младшие стадии развития, а к осени, к началу размножения, животные успевали стать половозрелыми. Падение плотности на следующий год после зимнего недостатка кислорода было постепенным и не критическим. Механизм снижения численности в этом водоеме объяснялся разбалансировкой между пиками развития лимнокалянуса и кормовых водорослей.

В отличие от оз. Волос, в оз. Сита в этот же период лета животные были представлены, как и ранее, взрослыми особями шестой копепоидитной стадии с незначительным количеством пятого копепоидита, т. е. возрастной состав при снижении численности не изменился. При этом падение плотности было резким – с 2,5 тыс. экз./м<sup>3</sup> до единиц в кубометре воды. Такое явление для этого вида отмечено впервые и требует дальнейшего изучения.

Для оз. Сита характерна температурная стратификация и разделение водной толщи на прогреваемый эпилимнион до 5–6 м, переходную зону металимнион и низкотемпературный гипolimнион, где температура в летнее время фактически не изменяется, оставаясь в узких пределах от 4,1 до 6,4 °С. Лимнокалянус как стенотермно холодолюбивый вид населяет в этом водоеме гипolimнион, при вертикальных миграциях регистрируется в металимнионе, но не встречается в эпилимниальной зоне [3; 8]. По литературным данным, оптимальная температура обитания этого вида в озерах Беларуси 1–8 °С, максимальная – может достигать 17–18, но обычно во время суточных миграций животные не пересекают изотерму 13 °С [3].

Температурные условия для поверхностных и придонных слоев воды в этом водоеме за все годы наблюдений представлены в таблице. В зоне обитания рачка она остается в пределах оптимальной зоны. Поверхностная температура закономерно изменялась от 19,9 до 26,2 °С, но за все годы исследований только в 2010 г. была выше 25 °С.

Содержание кислорода в разные годы изменялось значительно в гипolimнионе и достигало критических значений для этого вида четырежды из 6 последних лет наблюдений, начиная с 2010 года. Корреляции между поверхностной температурой и содержанием кислорода в гипolimнионе не обнаружено (коэффициент корреляции –0,18), что связано, вероятно, с разными условиями формирования температурного расслоения водной толщи (ход весенней температуры, ветровое воздействие и т. п.) и последующим весенним развитием водорослей.

## Изменение температуры и содержания кислорода в оз. Сита по многолетним данным

## Changes of temperature and oxygen concentration in lake Sita on long-term data

Показатель Index		Год Year							
		1988	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Температура, °С Temperature, °C	поверхность surface	23,7	21,6	26,2	24,2	22	19,9	24,4	21,2
	дно bottom	4,7	6,0	5,8	4,6	4,1	4,2	5,8	6,4
Содержание O <sub>2</sub> , г/л Content O <sub>2</sub> , g/l	поверхность surface	9,9	10,5	9,5	7,3	8,9	8,7	8,7	9,4
	дно bottom	2,7	2,4	0,0	0,0	1,2	0,0	2,0	0,0

Влияние неблагоприятных условий обитания, наблюдавшихся в 2010 г., повлияло на численность популяции не сразу, минимальные значения плотности последовали на следующий год (лаг-эффект). Это связано с моноцикличностью вида и приуроченностью размножения к холодному времени года (декабрь–март), т. е. в создавшихся неблагоприятных условиях вероятно произошло резкое увеличение смертности и к периоду размножения половозрелые животные сохранились в незначительном количестве. Угнетенное состояние популяции сохранялось в течение трех последующих лет наблюдений. При этом за эти годы благоприятные кислородные условия были в 2014 г., когда популяция возродилась. В последний год наблюдений содержание кислорода опять снизилось до критических значений, что позволяет прогнозировать следующий спад численности в 2016 г.

Расположение животных в вертикальном столбе воды в годы с разным содержанием кислорода отличалось значительно (рис. 2). При достаточном для жизнедеятельности уровне насыщения кислородом гипolimниона, популяция держится в придонных слоях воды (1988 г.), а при недостатке кислорода лимнокалянус перемещается в более высокие горизонты (2010 г.), но не встречается в зоне эпилимниона с высокой температурой.

Расчитанная глубина расположения «ядра» популяции (средневзвешенное значение в столбе воды) в течение периода наблюдений изменялась от 14 до 25 м (рис. 3). Предельной величиной для этого вида была принята концентрация кислорода менее 2 мг/л. Это значение считается нижней границей оптимума для данного вида, при которой начинается смертность животных уже при температуре 4 °С [1; 3]. В годы с достаточным количеством кислорода основная часть популяции лимнокалянуса оставалась на обычных для него глубинах, ниже 20 м, а в годы с недостатком кислорода в дневное время перемещалась в более высокие слои воды, т. е. активно избегала зоны с низким содержанием кислорода. Вертикальное дневное расположение животных в столбе воды четко следовало за глубиной начала недостатка кислорода для этого вида, коэффициент корреляции при этом составил 0,93.

Проведены расчеты зоны выживания лимнокалянуса (пространственной ниши по Гриннеллу), в которой температура была ниже 13 °С и содержание кислорода более 2 мг/л в вертикальном столбе воды для этого вида в разные годы наблюдений (рис. 4). Область выживания

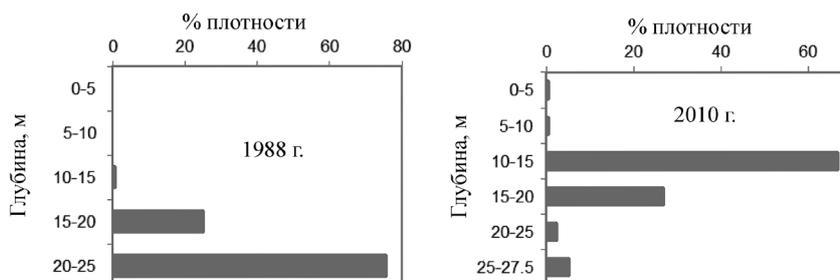


Рис. 2. Дневное вертикальное расположение лимнокалянуса при разном содержании кислорода в гипolimнионе

Fig. 2. Daytime vertical location of *Limnocalanus* at different oxygen concentrations in the hypolimnion



Рис. 3. Изменение дневного вертикального расположения ядра популяции при разной концентрации кислорода в гиполимнионе

Fig. 3. Vertical daytime location change of «population nucleus» at different oxygen concentrations in the hypolimnion

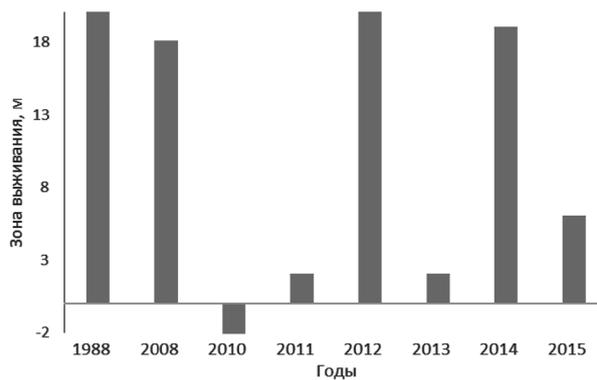


Рис. 4. Изменение размера зоны нормальной жизнедеятельности (выживания) лимнокалянуса в разные годы наблюдений

Fig. 4. Changes of the size of normal life (survival) zone *Limnocalanus* in different years of observations

значительно изменялась по годам – от 20 до –2 м. Вертикальное пространство, занимаемое популяцией, расширялось в годы, богатые кислородом, и было крайне узким в годы с дефицитом. При этом отрицательные значения наблюдались только в 2010 г., что свидетельствует об отсутствии зоны благоприятных условий для жизнедеятельности популяции в этот год, что не регистрировалось в другие годы наблюдений. По данным последних лет, несмотря на невысокие значения температуры, наблюдался дефицит кислорода, но зона приемлемых условий (низкая температура и достаточное количество кислорода) остается еще достаточной для выживания популяции или переживания неблагоприятных условий до осеннего полного перемешивания водных масс, когда происходит обогащение воды кислородом и последующее размножение животных. Корреляционный анализ численности вида с шириной пространственной ниши (зоны выживания) со смещением в один год показал слабую зависимость (0,56) этих показателей, вероятно, из-за малого числа наблюдений.

Процесс снижения содержания кислорода в столбе воды глубже эпилимниона рассмотрен нами ранее, при этом было предположено [4], что резкое повышение температуры в эуфотном слое вызывает бурное развитие водорослей, которые не успевают потребить консументы. Эти водоросли отмирают, опускаются в нижележащие слои воды, где идут процессы их разложения и интенсивное потребление кислорода.

Резкое падение численности лимнокалянуса происходит за счет отмирания особей в условиях отсутствия кислорода. Не исключается и выедание этого вида планктоядными рыбами во время подъема и концентрации рачка в более высоких слоях воды в дневное время, где доступность его как корма возрастает.

**Заключение.** Впервые получены данные о влиянии повышения температуры на состояние популяции реликтовой каланоидной копеподы *Limnocalanus macrurus*. Показано, что повышение поверхностной температуры ведет к падению концентрации кислорода в гиполимнионе в среднеглубоких озерах Беларуси и катастрофически снижает численность реликта, что может привести к его полному вымиранию.

**Благодарности.** Работа выполнена при частичной поддержке БРФФИ (договор № Б16МС-016).

**Acknowledgement.** The work is partially supported by the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research (Agreement no. Б16МС-016).

#### Список использованных источников

1. Сушеня, Л. М. Биология и продукция ледниковых реликтовых ракообразных / Л. М. Сушеня, В. П. Семенченко, В. В. Вежновец. – Минск: Наука и техника, 1986. – 160 с.
2. Вежновец, В. В. Ракообразные (Cladocera, Soropoda) в водных экосистемах Беларуси. Каталог. Определительные таблицы / В. В. Вежновец. – Минск: Бел. наука, 2005. – 150 с.
3. Вежновец, В. В. Биология реликтового рачка *Limnocalanus grimaldii* var. *macrurus* и его продукционно-энергетическая характеристика: автореф. дисс. ... канд. биол. наук / В. В. Вежновец. – Минск, 1984. – 24 с.

4. Вежновец, В. В. Влияние повышения температуры на вертикальное распределение зоопланктона в мезотрофном стратифицированном озере / В. В. Вежновец, В. П. Семенченко // Докл. НАН Беларуси. – 2011. – Т. 55, № 5. – С. 72–75.

5. Vezhnavecs, V. V. Zooplankton community / V. V. Vezhnavecs, D. V. Malatkou, K. Arbačiauskas // Zoology and Ecology. – 2017. – Vol. 24, iss. 2. – P. 108–127. doi.org/10.1080/21658005.2014.925241.

6. Vezhnavecs, V. The vertical distribution of zooplankton in the mesotrophic stratified lakes Rica and Sita in relation to temperature / V. Vezhnavecs, A. Skute, D. Molotkov // 6th International conference “Research and Conservation of biological Diversity in Baltic Region”, Daugavpils, 28–29 April, 2011. – Daugavpils, 2011. – P. 139.

7. Якушко, О. Ф. Белорусское Поозерье. История развития и современное состояние озер Северной Белоруссии / О. Ф. Якушко. – Минск: Вышэйш. шк., 1971. – 336 с.

8. Вежновец, В. В. Пространственное распределение *Limnocalanus grimaldii* var. *macrurus* Sars. в оз. Ю. Волос / В. В. Вежновец // Итоги и перспективы гидробиологических исследований в Белоруссии. – Минск, 1983. – С. 83–88.

## References

1. Sushchenya L. M., Semenchenko V. P., Vezhnovets V. V. *Biology and products of glacial relic crustaceans*. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1986. 160 p. (in Russian)

2. Vezhnovets V. V. *Crustacean (Cladocera, Copepoda) in the aquatic ecosystems of Belarus. Catalog. Identification tables*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2005. 150 p. (in Russian)

3. Vezhnovets V. V. *Biology of the relic small crustacean Limnocalanus grimaldii var. macrurus and its production-energy characteristic*. Minsk, 1984. 24 p. (in Russian)

4. Vezhnovets V. V., Semenchenko V. P. Impact of warming on a vertical distribution of zooplankton in a mesotrophic stratified lake. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi* [Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus], 2011, vol. 55, no. 5, pp. 72–75. (in Russian)

5. Vezhnavecs V. V., Malatkou D. V., Arbačiauskas K. Zooplankton community. *Zoology and Ecology*, 2014, vol. 24, no. 2, pp. 108–127. doi.org/10.1080/21658005.2014.925241.

6. Vezhnavecs V., Skute A., Molotkov D. The vertical distribution of zooplankton in the mesotrophic stratified lakes Rica and Sita in relation to temperature. *6th International conference “Research and Conservation of biological Diversity in Baltic Region”*, Daugavpils, 28–29 April, 2011. Daugavpils, 2011, p. 139.

7. Yakushko O. F. *Belarusian Lake District. The history of development and the modern state of the lakes of the Northern Belarus*. Minsk, Vysheishaja shkola Publ., 1971. 336 p. (in Russian)

8. Vezhnovets V. V. Space distribution of *Limnocalanus grimaldii* var. *macrurus* Sars. in Lake South Volos. *Outcomes and perspectives of hydrobiological investigations in Belarus*. Minsk, 1983, pp. 83–88. (in Russian)

## Сведения об авторе

Вежновец Василий Васильевич – канд. биол. наук, доцент, вед. науч. сотрудник, НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам (ул. Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: vvv@biobel.bas-net.by.

## Information about the author

Vezhnavecs Vasili Vasilievich – Ph. D. (Biology), Assistant Professor, Leading researcher, Scientific and Practical Center for Bioresources of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vvv@biobel.bas-net.by.

## Для цитирования

Вежновец, В. В. Влияние повышения температуры на состояние популяции реликтового рачка *Limnocalanus macrurus* Sars в мезотрофном озере / В. В. Вежновец // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2017. – Т. 61, № 1. – С. 73–77.

## For citation

Vezhnavecs V. V. Influence of a temperature increase on the condition of the relic crustacean *Limnocalanus macrurus* Sars population in a mesotrophic lake. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi* [Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus], 2017, vol. 61, no. 1, pp. 73–77. (in Russian)