



М.Д. Журавлёв

ГНПО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам», Минск, Республика Беларусь

ЗООПЛАНКТОН ОЗЕРА ДОЛГОЕ (БЕЛАРУСЬ) И ЕГО ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Аннотация. Изучены видовой состав, численность и особенности вертикального распределения пелагического зоопланктона в озере Долгое, установлены вертикальные профили всего планктона, основных групп и отдельных видов. Показана приуроченность максимальных значений плотности животных к поверхностным хорошо прогреваемым и аэрируемым слоям воды эпилимниона. Зоны металимниона и гипolimниона характеризуется пониженными величинами общей численности. Максимум у ракообразных располагается в приповерхностных слоях воды, коловраток — в металимнионе. Большинство популяций имеют видовые особенности вертикального распределения и приурочены к определенным слоям воды, это позволяет уточнить их биотопическую приуроченность, границы толерантности и жизнедеятельности.

Ключевые слова: зоопланктон, вертикальное распределение, коловратки, копепода, кладоцера

Mikhail D. Zhurauliou

SRPA “Scientific and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus on Bioresources”, Minsk, Republic of Belarus

ZOOPLANKTON OF LAKE DOLGOYE (BELARUS) AND ITS VERTICAL DISTRIBUTION

Abstract. The paper presents results of studies species composition, abundance and vertical distribution of pelagic zooplankton in the Dolgoye Lake. Maximum animal densities pointed out in the surface well-heated and aerated layers of epilimnion. Metalimnion and hypolimnion zones characterized by lower values of total abundance. There are different in maximum of crustaceans and rotifers abundance. Most populations have species-specific features of vertical distribution and prefer the certain layers of water.

Keywords: zooplankton, vertical distribution, rotifers, copepoda, cladocera



Введение. Неравномерность распределения зоопланктона с глубиной известна давно. В стратифицированных озерах вертикальная структура находится в зависимости от абиотических факторов среды, таких как прозрачность, температура и содержание кислорода. В зависимости от их сочетания они могут выступать в качестве лимитирующих. Трофический фактор также влияет на распределение, естественно, что по возможности животные планктона будут предпочитать зоны богатые пищевыми ресурсами. Наиболее изучено распределение морского планктона как кормового объекта пелагических рыб.

Несмотря на то, что исследований для таких водоемов много, в них ограничиваются только констатацией фактов неравномерности без анализа особенностей вертикальной структуры от формирующихся в водоемах факторов среды обитания. Важность таких работ прежде всего обусловлена необходимостью учета фактов неравномерности и концентрации животных в тех или иных горизонтах воды в продукционных расчетах и построениях. При мониторинговых исследованиях и оценке экологического состояния в озерных экосистемах также игнорируется вертикальная структура, что приводит к значительным погрешностям. Пространственное распределение видов в вертикальном столбе воды и может служить одной из характеристик популяции, размеров предпочитаемой зоны жизнедеятельности или выживания с определёнными факторами среды. Вертикальные границы обитания особенно важны для stenothermных холодолюбивых видов, которые занесены в Красную книгу Беларуси, для определения их устойчивости к изменению условий обитания при идущих процессах потепления, изменения климата, а также при загрязнении или росте трофности.

Цель работы — установить дневную вертикальную структуру пелагического зоопланктона в оз. Долгое.

Материал и методика исследований. Озеро обследовано 26 июля 2022 г., начиная с 15-ти часов на станции с глубиной 48 м. Во время проведения работ погода была перемененно облачной, ветер — восточный, слабый, волнение — 1 балл.

Сборы зоопланктона произведены фракционно через 5 м на станции с максимальной глубиной количественной замыкающейся планктонной сетью Джели с диаметром входного отверстия 25 см и ячеей фильтрующего конуса 62 мкм. Отобранные пробы гущали до 250 см³ с двукратным ополаскиванием планктонной сети. Консервировали 4 % раствором формалина [1, 2].



Измерения температуры и содержания кислорода проведены термооксиметром HANNA HI 76407/20 (Германия) с помощью глубоководного датчика, прозрачности — белым диском Секки.

Лабораторную обработку проводили под бинокулярным микроскопом МБС 9 в камере Богорова с уточнением морфологических особенностей с помощью микроскопа Leica MD 1000 (Германия). Для таксономической идентификации животных использовали определительные таблицы (Кутикова, 1970 [3]; Вежновец, 2005 [4]; Алексева).

Данные по численности представлены как количество организмов в единице объема (экз./м³). Величина средней глубины расположения (D) рассчитывалась как среднее геометрическое по формуле:

$$D = \frac{\sum(N_i \cdot d_i + N_n \cdot d_n)}{\sum N_{i-n}},$$

где N — численность на определенной глубине; d — глубина лова.

Озеро Долгое находится в Глубокском районе Витебской области. Относится к бассейну реки Шоши. Площадь озера составляет 2,6 км², длина — 6 км, наибольшая ширина — 0,7 км, максимальная глубина — 53,7 м.

Высшей водной растительностью занято около 5 % площади озера. Полоса макрофитов узкая, шириной, не превышающей 25 м, идет вдоль всей береговой линии. Полупогруженные макрофиты представлены, в основном, тростником и камышом, погруженные — преимущественно роголистником и рдестом [6].

В составе фауны есть охраняемые реликтовые виды — планктонный лимнокалянус и бентосный бокоплав Палласа. Озеро входит в сеть особо охраняемых природных территорий и является гидрологическим заказником республиканского значения.

Результаты исследований и их обсуждение. *Температура и содержание кислорода.* Прозрачность по белому диску Секки составила 4,8 м.

Вертикальное изменение температуры было классическим для такого типа озер (рис. 1) с четким разделением на эпилимнион, металимнион и гиполимнион. В приповерхностных слоях воды температура достигала 24,0 °С. Металимнион начинался на 4-х метрах глубины и заканчивался на 10-ти. Температура в гиполимнионе и придонных слоях воды составляла 5,4–5,7 °С.

Характер изменения кривой распределения кислорода достаточно сложный, снижение в зоне металимниона свидетельствует о происхо-

дящих в толще воды процессах разложения органического вещества, продуцируемого в приповерхностных слоях воды, которое в процессе осаждения и окисления снижает содержание кислорода в металимнионе (рис. 2). В начале гипolimниона концентрация восстанавливается до максимальных значений и затем идет постепенное снижение концентрации ко дну до величины в придонном слое 3,8 мг/л, что почти в два раза выше ПДК для рыбного населения (2,0 мг/л). Металимниальный минимум характерен для озер, наличие этого промежуточного минимума часто встречалось нами в мезотрофных и эвтрофных озерах Беларуси [7]. Также его отмечали и другие исследователи (Boyd, 1972) [8].

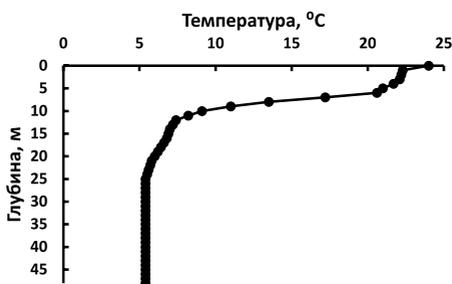


Рис. 1. Изменение температуры с глубиной в оз. Долгое
Fig. 1. Changes in temperature with depth in Dolgoye Lake

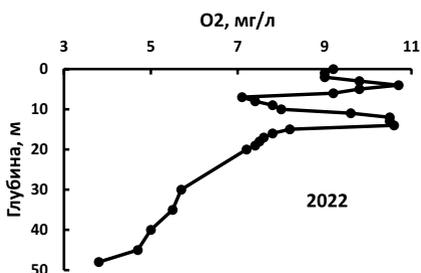


Рис. 2. Вертикальное изменение содержания (O₂, мг/л) кислорода в оз. Долгое
Fig. 2. Vertical changes in the concentration (O₂, mg/L) of oxygen in Dolgoye Lake

Видовой состав. В составе зоопланктона найдено 30 видов, из которых 12 коловраток, 8 веслоногих и 10 ветвистоусых рачков. В составе коловраток были обычные, часто встречающиеся виды: *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879), *Conochilus unicornis* (Rousselet, 1892), *Keratella cochlearis robusta* (Lauterborn, 1900). Веслоногие ракообразные были пред-



ставлены обычными видами, такими как *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg, 1888) и *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863). Необходимо отметить, что реликтовый вид *Limnocalanus macrurus* (Sars, 1863) также присутствовал в большинстве проб. Встреченные ветвистоусые ракообразные *Daphnia cucullata* Sars, 1862 *Daphnia cristata* (Sars, 1862), *Diaphanosoma brachiurum* (Lievin, 1848) и *Bosmina coregoni coregoni* (Baird, 1857) также характерные виды для пелагического планктона. В целом видовой состав пелагического планктона соответствовал мезотрофным озерам такого типа.

Численность. Общая численность для столба воды была невысокой и составила 8218 экз./м³.

Доля в общей численности Rotifera составила 17,2 %, Copepoda — 42,6 % и Cladocera — 40,2 %, таким образом более 80 % в пелагическом планктоне составили ракообразные. Доминирующие виды: *Daphnia cristata* (10,7 %), *Eudiaptomus graciloides* (10,6 %), *Diaphanosoma brachiurum* (9 %), *Kellicottia longispina* (7,6 %). Малочисленными были: *Polyarthra luminosa* (Kutikova, 1962) (0,03 %), *Cyclops lacustris* (Sars, 1863) (0,005 %), *Bythotrephes longimanus* (Leydig, 1860) (0,01 %), *Heterocope appendiculata* (Sars, 1863) (0,01 %).

Вертикальное распределение общей численности зоопланктона и основных групп. В озере Долгое максимум численности достигает 51 % в зоне эпилимниона (рис. 3). Минимальными значениями характеризуется зона гиполимниона. Минимум 1,9 % на глубине 20–25 м. Придонный рост численности небольшой (3,45 %) и представлен в основном глубоководным рачком *Limnocalanus macrurus*. Разница между максимальными и минимальными значениями составила 49 %. Средняя глубина расположения для всего зоопланктона составляет 13,2 м.

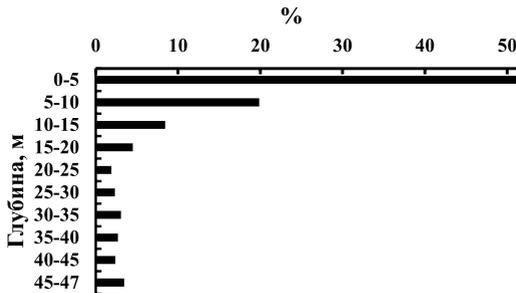


Рис. 3. Распределение общей численности (%) зоопланктона в озере Долгое
 Fig. 3. General population distribution (%) of zooplankton in Dolgoye Lake

Распределение коловраток имеет максимум (28,5 %) плотности в горизонте 10–15 м. После этого пика идет постепенный спад плотности ко дну до 0,53 % численности в столбе воды с некоторым возрастанием на глубине 35–40 м. Минимальные значения относительной численности наблюдались в придонных слоях 0,53 %.

Разница между максимумом и минимумом составила 28 %. Величина средней глубины размещения для коловраток равна 15,9 м.

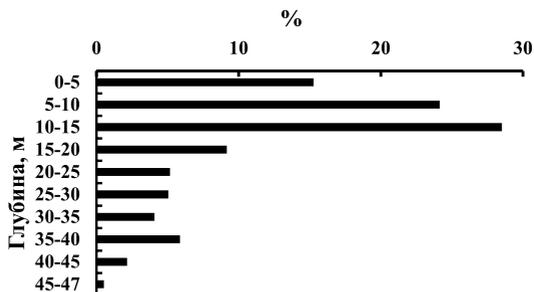


Рис. 4. Распределение численности (%) коловраток в озере Долгое
Fig. 4. Population distribution (%) of Rotifera in Dolgoye Lake

Распределение копепод немного отличается от коловраток, хорошо выраженный максимум (64 %) располагается в эпилимнионе (рис. 5). После этого пика идет постепенный спад плотности до глубины 30–35 м (1%) с последующим небольшим увеличением ко дну из-за лимнокалянуса.

Разница максимальных и минимальных значений 63 %. Средняя глубина расположения копепод 12,0 м.

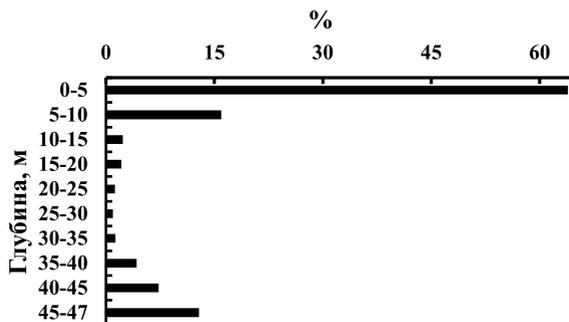


Рис. 5. Распределение численности (%) веслоногих рачков в озере Долгое
Fig. 5. Population vertical distribution (%) of Copepoda in Dolgoye Lake



Распределение кладоцер схоже с копеподами, но без придонного увеличения плотности. Максимальные плотность в эпилимнионе 53 %, минимальная в слое 40–45 м (1,1 %). Для гиполимниона в этом озере характерно нахождение на аномальной для некоторых форм босмин глубине. Средняя глубина расположения для ветвистоусых рачков составила 10,3 м.

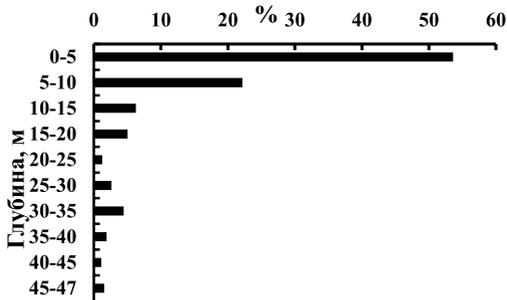


Рис. 6. Вертикальное распределение численности (%) ветвистоусых рачков в озере Долгое

Fig. 6. Population vertical distribution (%) of Cladocera in Dolgoye Lake

В целом, в наблюдаемом году распределение характеризовалось высокими величинами концентрации животных в верхнем 5-ти метровом слое.

Вертикальное распределение отдельных видовых популяций разнообразное и зависит от таких факторов как температура и содержание кислорода. Предварительно анализируя малочисленные популяции и рассеяно встречающихся по всем горизонтам животных, есть вероятность получения значительных ошибок, за счет случайного нахождения немногочисленных особей на несвойственных им глубинах. Так же это могут быть умершие особи, которые опустились на глубину. Значительный вклад в степень агрегированности могут вносить также колониальные формы некоторых коловраток, например, таких как *Conochilus unicornis* (Rousselet, 1892), которые могут образовывать скопления на разных не всегда характерных для них глубинах. Поэтому, вертикальная структура приводятся нами только для массовых видов, имеющих достаточно высокую численность в планктоне.

Ранее была выявлена приуроченность лимнокалянуса к глубоким слоям воды [9]. Его относят к холодолюбивым стенотермам, поэтому

летом основная плотность располагается в придонных слоях при низкой температуре и высоких концентрациях кислорода. Приведенные данные по распределению близки к уже имеющимся, что подтверждает его холодолюбивость (Вежновец, 2022). Однако, по средним значениям 2022 г. численность лимнокалянуса насчитывает только 320 экз/м³, что меньше, чем в предыдущие годы наблюдений почти в два раза (Вежновец, 2022) [10].

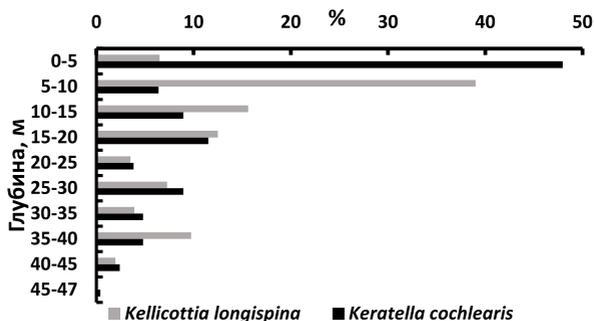


Рис. 7. Вертикальное распределение численности (%) массовых видов коловраток в озере Долгое

Fig. 7. Mass species population vertical distribution (%) of Rotifera in Dolgoye Lake

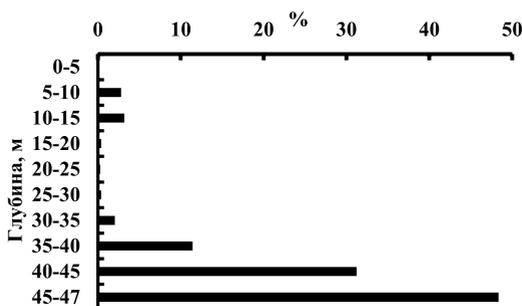


Рис. 8. Вертикальное распределение численности (%) *Limnocalanus macrurus* в озере Долгое

Fig. 8. Population vertical distribution (%) of *Limnocalanus macrurus* in Dolgoye Lake

Ветвистоусые ракообразные в основном населяют зону эпилимниона, но некоторые виды могут располагаться глубже. Примером эпилимниальной фауны могут быть *Daphnia cucullata* (Sars, 1862), *Daphnia cristata*, и *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin, 1848). Для встре-



чающейся в этом озере *Bosmina coregoni* (Baird, 1857) сложно установить приуроченность, т.к. часть животных находится в эпилимнионе, а другая — в гипolimнионе, что требует дополнительных исследований (рис. 9).

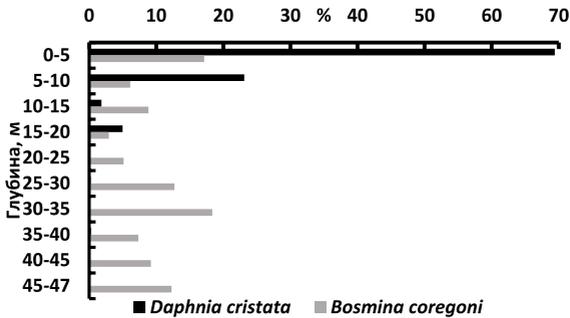


Рис. 9. Вертикальное распределение численности некоторых представителей Cladocera в озере Долгое

Fig. 9. Some species population vertical distribution (%) of Cladocera in Dolgoye Lake

Таким образом, в общем распределении зоопланктона наблюдается приуроченность к верхнему 5-ти метровому слою воды, совпадающему с глубиной прозрачности. При этом ракообразные концентрировались в верхних слоях воды эпилимниона, коловратки ниже в металимнионе. Наибольшая величина концентрации (до 64 %) наблюдалась у веслоногих ракообразных в слое 0–5 м. Большинство животных планктона относится к теплолюбивым формам.

Заключение. Зоопланктон озера Долгое имеет достаточно богатый таксономический состав, зарегистрировано 30 видов и форм. Концентрация кислорода в гипolimнионе благоприятна для жизнедеятельности глубоководных пелагических и донных животных. Из редких и охраняемых видов встречается реликтовый вид *Limnocalanus macrurus*. По количественным характеристикам развития зоопланктона озеро относится к мезотрофным водоемам. Вертикальная структура во время исследования отличалась от многолетних данных высокой степенью концентрации животных в эпилимнионе. Основные группы — коловратки, веслоногие и ветвистоусые ракообразные имели отличающиеся профили вертикального распределения: все ракообразные концентрировались в эпилимнионе, коловратки — в металимнионе и начале гипolimниона. Большинство популяций придерживается верхних про-



греваемых слоев воды, к глубоководной фауне можно отнести лимнокалянуса и некоторые формы босмин.

Благодарности. Работа выполнена при частичной поддержке грантов БРФФИ договоры Б21АРМ-006 и Б23МС-001.

Список использованных источников

1. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция / Гос. науч.-исслед. ин-т озер. и реч. рыб. хоз-ва, Акад. наук СССР, Зоол. ин-т; [сост.: А.А. Салазкин и др.]. — Л.: ГосНИОРХ, 1984. — 51 с.
2. Вежновец, В.В. Методические особенности сбора зоопланктона в стратифицированных озерах / В.В. Вежновец // Актуальные проблемы планктонологии: II междунар. конф., Светлогорск, 14–18 сент. 2015 г.: тез. докл. / Гидробиол. о-во при Рос. акад. наук, Атлант. науч.-исслед. ин-т рыб. хоз-ва и океанографии, Калинингр. гос. техн. ун-т; под ред. Е.Н. Науменко. — Калининград, 2015. — С. 11–12.
3. Кутикова, Л.А. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Подкласс Eurotatoria (отряды Ploumida, Monimotrochida, Paedotrochida) / Л.А. Кутикова; гл. ред. Б.Е. Быховский. — Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1970. — 744 с. — (Определители по фауне СССР / Зоол. ин-т Акад. наук СССР; вып. 104).
4. Вежновец, В.В. Ракообразные (Cladocera, Serepoda) в водных экосистемах Беларуси: каталог. Определительные таблицы / В.В. Вежновец. — Минск: Беларус. наука, 2005. — 150 с.
5. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России: в 2 т. / Рос. акад. наук, Зоол. ин-т; под ред. В.Р. Алексева, С.Я. Цалолыхина. — СПб.: Зоол. ин-т РАН; М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. — Т. 1: Зоопланктон / ред. В.Р. Алексева. — 495 с.
6. Блакітная кніга Беларусі: (водныя аб'екты Беларусі): энцыклапедыя / рэдкал.: Н. А. Дзісько [і інш.]. — Мінск: Беларус. Энцыкл., 1994. — 415 с.
7. Вежновец, В.В. Вертикальная структура зоопланктона в стратифицированных озерах Беларуси с разной степенью трофии / В.В. Вежновец, М.Д. Журавлев // Биология внутр. вод. — 2022. — № 6. — С. 725–733. <https://doi.org/10.31857/S0320965222060195>.
8. Boyd, J.D. Metalimnetic oxygen minima in Lake Ontario, 1972 / J. D. Boyd // J. of Great Lakes Research. — 1980. — Vol. 6, № 2. — P. 95–100. [https://doi.org/10.1016/S0380-1330\(80\)72087-7](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(80)72087-7).
9. Вежновец, В.В. Биология реликтового рачка *Limnocalanus grimaldii* var. *macrurus* (sars) и его продукционно-энергетическая характеристика: автореф. дис. ... канд. биол. наук / В.В. Вежновец; Акад. наук БССР, Ин-т зоологии. — Минск, 1984. — 24 с.
10. Вежновец, В.В. Современное состояние популяций реликтовой копеподы *Limnocalanus macrurus* G.O.SARS, 1863 в озерах Беларуси / В.В. Вежновец // Актуальные проблемы изучения ракообразных: науч.-практ. конф., пос.



Борок Яросл. обл., 23–25 мая 2022 г. : тез. докл. / Рос. акад. наук, Ин-т биологии внутр. вод, Ин-т проблем экологии и эволюции ; под общ. ред. А.А. Котова. — Севастополь, 2022. — С. 14.

11. Вежновец, В.В. Особенности вертикального распределения зоопланктона в димиктических озерах / В.В. Вежновец // Актуальные проблемы изучения ракообразных континентальных вод : материалы лекций и докл. Междунар. шк.-конф., Борок, 5–9 нояб. 2012 г. / Рос. акад. наук, Ин-т биологии внутр. вод ; редкол.: Н.М. Коровчинский, С.М. Жданова, А.В. Крылов. — Кострома, 2012. — С. 153–155.

Reference

1. Salazkin A.A. (comp.) [et al.]. Guidelines for the collection and processing of materials for hydrobiological studies in freshwater reservoirs. Zoobenthos and its products. Leningrad, State Research Institute of Lake and River Fisheries, 1984. 51 p. (in Russian).
2. Vezhnovets V.V. Methodological features of zooplankton collection in stratified lakes. Aktual'nye problemy planktonologii: II mezhdunarodnaya konferentsiya, Svetlogorsk, 14–18 sentyabrya 2015 g.: tezisy докладov [Actual problems of planktonology: II international conference, Svetlogorsk, September 14–18, 2015: abstracts]. Kaliningrad, 2015, pp. 11–12 (in Russian).
3. Kutikova L.A. The rotifers of the fauna of the USSR. Leningrad, Nauka Publ., 1970. 744 p. (in Russian).
4. Vezhnovets V.V. Crustaceans (Cladocera, Copepoda) in aquatic ecosystems of Belarus: catalog. Identification tables. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2005. 150 p. (in Russian).
5. Alekseev V.R. (ed.). Determinant of zooplankton and zoobenthos of fresh waters of European Russia. Vol. 1. Zooplankton. St. Petersburg, Zoological Institute RAS; Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2010. 495 p. (in Russian).
6. Blue book of Belarus: (water bodies of Belarus): encyclopedia. Minsk, Belaruskaya Entsiklopedyya Publ., 1994. 415 p. (in Belarusian).
7. Vezhnavets V.V., Zhuraulioui M.D. Vertical structure of zooplankton in stratified lakes of Belarus with varying degrees of trophic. *Biologiya vnutrennih vod = Inland Water Biology*, 2022, no. 6, pp. 725–733 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0320965222060195>.
8. Boyd J.D. Metalimnetic oxygen minima in Lake Ontario, 1972. *Journal of Great Lakes Research*, 1980, vol. 6, no. 2, pp. 95–100. [https://doi.org/10.1016/S0380-1330\(80\)72087-7](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(80)72087-7).
9. Vezhnovets V.V. Biology of the relict crustacean *Limnocalanus grimaldii* var. *macrurus* and its productive and energetic characteristics. Abstract of Ph.D. diss. Minsk, 1984. 24 p. (in Russian).
10. Vezhnovets V.V. Current state of populations of the relict copepod *Limnocalanus macrurus* G.O.SARS, 1863 in lakes of Belarus. Aktual'nye problemy izucheniya rakoobraznykh: nauchno-prakticheskaya konferentsiya, pos. Borok Yaroslavl'skoi



oblasti, 23–25 мая 2022 г.: tezisy докладov [Actual problems of studying crustaceans: scientific and practical conference, pos. Borok, Yaroslavl region, May 23–25, 2022: abstracts]. Sevastopol, 2022, p. 14 (in Russian).

11. Vezhnovets V.V. Specific features of vertical distribution of zooplankton in dimictic lakes. Aktual'nye problemy izucheniya rakoobraznykh kontinental'nykh vod: materialy leksii i докладov Mezhdunarodnoi shkoly-konferentsii, Borok, 5–9 noyabrya 2012 g. [Actual problems of studying crustaceans of continental waters: collection of lectures and reports proceedings of the international school-conference, Borok, November 5–9, 2012]. Kostroma, 2012, pp. 153–155 (in Russian).

Сведения об авторах

Журавлёв Михаил Дмитриевич — магистрант, младший научный сотрудник лаборатории гидробиологии научно-практического центра по биоресурсам, Национальная академия наук Беларуси (ул. Академическая 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: mishatelefon13@gmail.com

Information about the authors

Mikhail D. Zhurauliou — Master's student, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: mishatelefon13@gmail.com