

ISSN 1029-8940 (Print)
ISSN 2524-230X (Online)
УДК 574.587
<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2021-66-4-462-474>

Поступила в редакцию 02.04.2021
Received 02.04.2021

И. И. Лапука, В. В. Вежновец

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

ВЛИЯНИЕ ПОДОГРЕВА ВОДЫ НА КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗООБЕНТОСА ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЛУКОМЛЬСКОЙ ГРЭС

Аннотация. Изучено изменение численности зообентоса на разных глубинах подогретой и неподогретой акваторий в летний и осенний периоды. Установлено, что независимо от сезона в зоне подогрева средняя численность зообентоса приблизительно в 1,5–2 раза ниже, чем в условиях естественной температуры. Основу численности в обеих зонах составлял олигохетно-хинономидный комплекс. Численность сообщества в целом, его отдельных таксономических групп и видов изменялась с глубиной. Распределение общей численности по глубине носило схожий характер в подогреваемой и неподогреваемой областях в оба сезона года: от мелководья с увеличением глубины отмечался ее рост до максимальных величин, а затем постепенное понижение при приближении ко дну.

Ключевые слова: зообентос, численность, пространственная структура, подогреваемая зона, неподогреваемая зона

Для цитирования: Лапука, И. И. Влияние подогрева воды на количественные показатели зообентоса водоема-охладителя Лукомльской ГРЭС / И. И. Лапука, В. В. Вежновец // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. біял. навук. – 2021. – Т. 66, № 4. – С. 462–474. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2021-66-4-462-474>

Ilya I. Lapuka, Vasili V. Vezhnavevts

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

THE EFFECT OF HEATING WATER ON THE QUANTITATIVE PARAMETERS OF THE ZOOBENTHOS OF THE LUKOMLSKAYA GRES COOLING RESERVOIR

Abstract. The changes abundance zoobenthos at the heated zone and non-heated zone on the different depths in summer and autumn was studying in this article. In the heated zone, the abundance was 1.5–2 times higher than in the non-heated zone in summer and autumn. The basis of the number zoobenthos was oligochaete-chironomid complex. Number distributions zoobenthos was similar to the heated zone and non-heated zone in the summer and autumn.

Keywords: zoobenthos, abundance, spatial structure, heated zone, non-heated zone

For citation: Lapuka I. I., Vezhnavevts V. V. The effect of heating water on the quantitative parameters of the zoobenthos of the Lukomlskaya GRES cooling reservoir. *Vesti Natsyonal'noi akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2021, vol. 66, no. 4, pp. 462–474 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2021-66-4-462-474>

Введение. Зообентос оз. Лукомльское исследован достаточно детально и фактические данные по численности и биомассе есть начиная с 1968 г. [1], т. е. почти с начала его эксплуатации в качестве водоема-охладителя ГРЭС по настоящее время. Согласно приведенному источнику, рост численности отмечался до конца 1980-х годов, а в последние годы наблюдалась ее стабилизация на новом уровне (отметим, что все изменения в водоеме в цитируемой выше монографии приведены по средним показателям для обширной сети станций, без разделения на подогреваемые и неподогреваемые участки). Авторы [1] указывают три основные причины изменений в зообентосе: сброс подогретых вод, повышение фосфорной нагрузки во время функционирования садкового комплекса для выращивания рыбы и вселение чужеродного моллюска дрейссены.

Влияние подогрева воды на зообентос этого водоема впервые было рассмотрено А. Ю. Каратаевым [2–4], но только на примере литоральных станций. Влияние подогрева на фаунистическую структуру зообентоса при раздельном анализе участков с разной степенью влияния теплового сброса и разной глубиной проанализировано нами ранее [5]. В настоящей работе нами

применен такой же подход для установления различий и возможного влияния теплых вод на количественные показатели развития зообентоса на станциях с разной глубиной.

Целью работы было установить показатели численности и биомассы зообентоса в подогреваемой и неподогреваемой зонах водоема в различные сезоны года и оценить влияние подогрева на их распределение.

Материалы и методы исследования. Оз. Лукомльское находится в Чашницком районе в бассейне р. Улла, у западной окраины г. Новолукомль. Площадь озера 36,7 км², длина 10,4 км, максимальная ширина 6,5 км, наибольшая глубина 11,5 м. Дно до глубины 5–6 м выстлано песчаными отложениями, глубже – сапропелем [5].

Пробы зообентоса были отобраны на 5 станциях разной глубины (0,5; 1,5; 3,0; 6,0 и 8,0 м) у сброса подогретых вод и на этих же глубинах вне подогреваемой зоны 11 июня и 25 сентября 2019 г. В литоральной зоне отбор проб производили протягиванием гидробиологического сачка, на остальных глубинах – дночерпателем Боруцкого (площадь захвата 0,0225 м²) в трехкратной повторности. Отделение животных от грунта осуществляли с помощью сачка-промывалки из мельничного сита с диаметром ячеек 300 мкм.

Учет и измерение животных проводили под бинокулярным микроскопом МБС-10 при 56-кратном увеличении. Детали морфологии уточняли с помощью микроскопа Jenaval при 250-кратном увеличении. Для определения животных использовали источники [6–11], входящие в пособия «Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР: (Планктон и бентос)», «Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Том 4» и «Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Том 2».

Для измерения температуры воды и содержания кислорода использовали термооксиметр Hanna HI 9143.

Летом у выпуска подогретых вод температура поднималась до 31,3 °С, при этом у ненарушенной подогревом контрольной акватории она составляла около 24° (табл. 1). Поверхностная температура по мере удаления от места выпуска снижалась с 7,3 до 4,4 °С на глубоководных станциях. Влияние подогретых вод на терморегим водоема прослеживался до глубины 2 м. На самых глубоких станциях разница между придонной и поверхностной температурой в зоне подогрева составила 11 °С, вне зоны – около 7 °С.

Т а б л и ц а 1. Изменение температуры воды на станциях в подогреваемой (ПЗ) и неподогреваемой (НПЗ) зонах летом (11.06.2019 г.)

Table 1. Change in water temperature at the stations of the heated and non-heated zones in summer (11.06.2019)

Глубина, м	Станция 1		Станция 2		Станция 3		Станция 4		Станция 5	
	ПЗ	НПЗ								
0	31,3	24,0	31,3	23,8	31,3	23,7	28,9	23,8	28,2	23,8
1			31,3	23,8	27,4	23,7	26,8	23,9	27,4	23,8
2			31,3	23,8	25,2	23,7	24,9	23,9	25,7	23,8
3					23,9	23,7	23,8	23,6	24,7	23,4
4							23,5	23,4	23,2	23,2
5							22,4	22,3	22,1	22,2
6							20,4	20	20,1	19,6
7									18,1	17,5
8									17,2	17,0
9										16,4

Летом поверхностные слои воды обеих зон были достаточно насыщены кислородом, при этом в более прогретых водах отмечалось некоторое снижение его содержания (табл. 2). Дефицит наблюдался в придонных слоях, начиная с глубины 8 м. Понижение его концентрации (менее 1 мг/л), возможно, оказывало лимитирующее влияние на развитие зообентоса.

Т а б л и ц а 2. Изменение концентрации кислорода на станциях в подогреваемой (ПЗ) и непогрееваемой (НПЗ) зонах летом (11.06.2019 г.)

T a b l e 2. Change in oxygen concentration at the stations of the heated and non-heated zones in summer (11.06.2019)

Глубина, м	Станция 1		Станция 2		Станция 3		Станция 4		Станция 5	
	ПЗ	НПЗ								
0	6,5	7,6	6,7	7,8	6,5	7,9	7,1	7,5	7,2	8,0
1			6,7	7,4	6,8	7,8	6,9	7,5	7,1	7,6
2			6,7	6,9	7,5	7,2	7,2	7,0	7,1	7,4
3					7,5	6,5	7,4	7,0	7,3	7,2
4							6,6	7,0	6,7	6,2
5					ë		5,7	6,6	6,4	4,4
6							1,8	3,9	5,5	3,1
7									3,5	1,8
8									0,6	0,9
9										0,0

Осенью температурные условия у поверхности даже в непосредственной близости от выпуска были близки к летней температуре – 22,4 °С, а по мере удаления от него постепенно снижались до 18,7 °С. Изменения с глубиной наблюдались только на станциях с подогревом, остальная акватория во время отбора проб при достаточно ветреной погоде подвергалась полному перемешиванию (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Изменение температуры воды на станциях в подогреваемой (ПЗ) и непогрееваемой (НПЗ) зонах осенью (25.09.2019 г.)

T a b l e 3. Change in water temperature at the stations of the heated and non-heated zones in autumn (25.09.2019)

Глубина, м	Станция 1		Станция 2		Станция 3		Станция 4		Станция 5	
	ПЗ	НПЗ								
0	22,4	14,7	22,4	14,7	22,4	14,7	21,9	14,7	18,7	14,7
1			22,4	14,7	22,4	14,7	20,3	14,7	18,7	14,8
2			22,4	14,7	22,4	14,7	18,7	14,7	18,6	14,8
3					22,4	14,7	18,7	14,7	18,6	14,8
4							18,5	14,7	18,6	14,8
5							18,3	14,7	18,5	14,8
6							18,0	14,7	18,2	14,8
7									18,0	14,8
8									17,9	14,8
9									17,8	14,8

Погодные условия и полное перемешивание воды выравнивали показатели концентрации кислорода на всех станциях и глубинах. Некоторое понижение отмечалось только в подогретых водах на станциях 4 и 5, при этом данные величины не могли быть лимитирующими (табл. 4).

Прозрачность воды определяли по белому диску Секки. Летом эта величина в зоне подогрева составила 4,8 м, на остальной акватории озера – 4,3 м, к осени, несмотря на понижение температуры, прозрачность снизилась на 2 м, составив 2,8–2,9 м. Зарегистрированные значения прозрачности в июне были близки к максимальным для этого водоема, осенние же величины – к среднегодовым для летней межени [1, с. 77].

Для количественной характеристики вертикального размещения производили расчет средней «глубины нахождения», используя заимствованную из работы по вертикальной структуре планктона формулу

$$H = \Sigma(hn) / \Sigma n,$$

где H – средняя «глубина нахождения»; h – глубина отбора; n – численность особей на глубине h .

Для статистической обработки всех полученных фаунистических результатов и построения графиков использовали пакеты программ Excel 2010, IBM SPSS Statistica, BioDiversity Pro.

Таблица 4. Изменение концентрации кислорода на станциях в подогреваемой (ПЗ) и непогретаемой (НПЗ) зонах осенью (25.09.2019 г.)

Table 4. Change in oxygen concentration at the stations of the heated and non-heated zones in autumn (25.09.2019)

Глубина, м	Станция 1		Станция 2		Станция 3		Станция 4		Станция 5	
	ПЗ	НПЗ								
0	8,3	8,0	8,1	8,0	8,0	7,9	8,2	8,1	8,1	7,8
1			8,1	8,0	8,0	7,9	7,9	8,1	8,1	7,8
2			8,1	8,0	8,0	7,9	7,9	8,1	8,1	7,8
3					8,0	7,9	7,9	8,1	8,1	7,8
4							7,7	8,1	8,1	7,8
5							7,3	8,1	8,0	7,8
6							6,2	8,1	7,3	7,8
7									7,3	7,8
8									7,3	7,8
9									7,3	7,8

Результаты и их обсуждение. Изменение численности зообентоса. Летом основу численности в обеих зонах составляли двукрылые – чуть более 40 %. В подогретой зоне на втором месте по относительной численности были олигохеты, в непогретой – моллюски. Доля двукрылых оставалась практически постоянной (около 40 %), доля моллюсков вне подогретой акватории выросла от 17 до 36 %, а олигохет снизилась с 29 до 14 % (рис. 1).

Численность в подогреваемой зоне изменялась по станциям в широких пределах – от 34,7 до 5481,5 экз/м² (средняя величина для данной части озера – 2161,1 экз/м²) (рис. 1). Численность зообентоса в непогретаемой зоне была в пределах 242,3–7377,8 экз/м² (средняя величина – 3447 экз/м²). Указанные величины не выходят за пределы приводимых в литературе многолетних значений для всего озера [1]. Вместе с тем средняя величина численности в непогретой зоне оказалась в 1,6 раза выше.

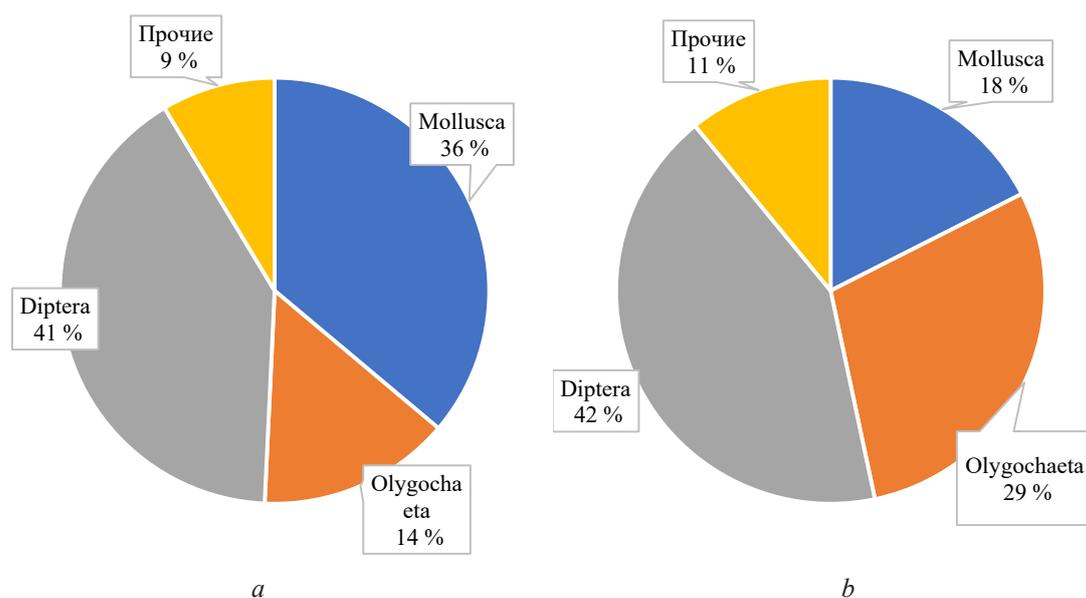


Рис. 1. Соотношение численности основных групп зообентоса в непогретаемой (a) и подогреваемой (b) зонах летом
 Fig. 1. The ratio of the number of the main groups of zoobenthos in non-heated (a) and heated (b) zones in summer

Сравнение численности массовых видов и форм показало (табл. 5), что летом численность олигохетов и личинок *Chironomus gr. plumosus* в подогреваемой зоне была больше, чем других массовых форм, на обилие которых прогрев оказывал отрицательное влияние. При этом в подогреваемой зоне показатели плотности дрейссены были в 3,5 раза меньше. Наибольшая разница (в 27 раз) наблюдалась у другой личинки хирономид – *Polypedilum nubeculosum*. Возможно, это связано с тем, что период отбора проб совпал с вылетом имаго у данного вида, а также со смещением его жизненного цикла вследствие повышения температуры воды. Видимо, по этой же причине генерация *Chironomus gr. plumosus* в подогреваемой зоне была больше, чем в непогрееваемой [12, 13].

Таблица 5. Сравнение численности (экз/м²) массовых видов и форм в непогрееваемой (НПЗ) и подогреваемой (ПЗ) зонах летом

Table 5. Comparison of the number (exp/m²) of mass species and forms in the non-heated and heated zones in summer

Вид	НПЗ	ПЗ	ПНЗ-ПЗ	ПНЗ/ПЗ
<i>Olygochaeta sp.</i>	501,9 ± 54,0	628,5 ± 12,4	-(126,6) ± 41,6	0,8
<i>Chironomus gr. plumosus</i>	224,3 ± 77,2	515,8 ± 65,3	-(291,5) ± 11,9	0,4
<i>Procladius sp.</i>	260,8 ± 40,1	160 ± 37,3	100,8 ± 2,8	1,6
<i>Dreissena polymorpha</i>	1146,7 ± 396,4	328,9 ± 161,6	817,8 ± 234,8	3,5
<i>Polypedilum nubeculosum</i>	403,0 ± 103,3	14,8 ± 20,7	388,2 ± 82,6	27,2

Большая численность в зоне подогрева этого водоема олигохет *Limnodrilus hoffmeister* и *Bothrioneurum vejvodskyatum* зафиксирована была и ранее при анализе влияния подогрева на зообентос литоральных станций [3]. На увеличение численности *L. hoffmeister* под воздействием подогрева указывается и другими авторами [14, 15]. Считается, что оптимальная температура жизнедеятельности для этих животных выше, чем у остальных, что позволяет им развиваться даже при повышенных температурах.

Распределение общей численности по глубинам в обеих зонах имело сходные черты: в обоих случаях наблюдался рост от литорали до глубины 3 м, а при дальнейшем увеличении глубины шло ее снижение (рис. 2). Различия в распределении бентоса в подогреваемой и непогрееваемой акваториях заключаются только в малом его количестве в литорали (0,5 м) и на глубине 1,5 м вблизи выпуска подогретых вод. Летом поверхностные слои воды здесь прогревались выше температуры 30 °С. По мнению некоторых исследователей, предельной температурой для нормальной жизнедеятельности зообентоса считается 25 °С [16, 17], поэтому недостаточное его развитие здесь могло быть лимитировано высокой температурой. В прибрежье и на глубине 1,5 м на состояние зообентоса может оказывать влияние и создаваемое теплыми водами достаточно сильное течение, которое приводит к размыву грунта, смыву питательных частиц органики и, как следствие, к нарушению местообитаний [16]. Уменьшение численности после глубины 3 м в подогреваемой зоне при благоприятном температурном режиме можно объяснить понижением содержания кислорода к глубине. Такое же снижение численности при постоянстве температуры и дефиците кислорода наблюдается и в непогрееваемой зоне.

Чтобы получить формализованную оценку различий в распределении, нами рассчитана средневзвешенная величина «глубины нахождения» для всего зообентоса. Несмотря на пространственное совпадение максимумов, в подогретой зоне этот показатель составил 4,29, а вне подогретой – 3,65 м (разница – 0,64 м).

Проведенный корреляционный анализ показал, что изменение общей численности по глубинам имеет слабо выраженную отрицательную зависимость от изменения температуры ($r = -0,41$; $p \leq 0,05$), а корреляция между распределением численности и содержанием кислорода статистически незначима.

Картина изменения общей численности с глубиной обуславливается распределением основных групп и доминирующих видов, таких как моллюски (рис. 3), личинки двукрылых и олигохеты.

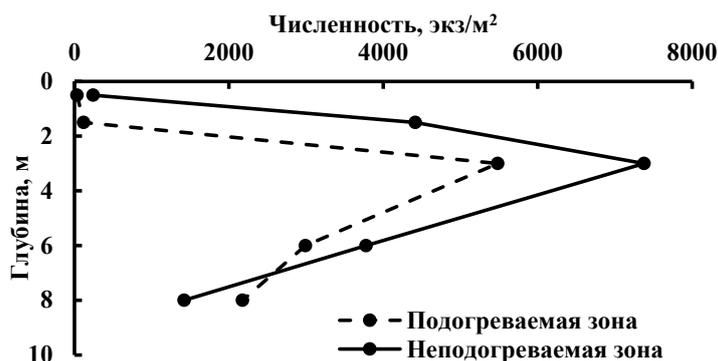


Рис. 2. Изменение численности зообентоса по глубинам в подогреваемой и неподогреваемой зонах летом

Fig. 2. Changes in the number of zoobenthos by depth in the heated and non-heated zones in summer

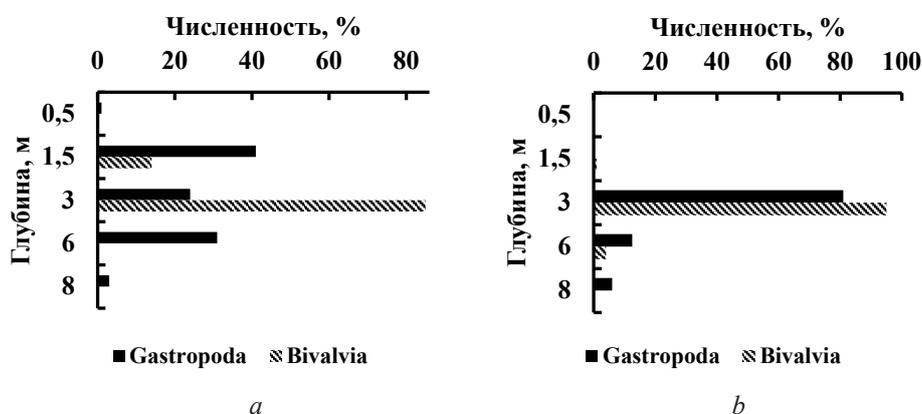


Рис. 3. Распределение численности *Mollusca* по глубинам в неподогреваемой (a) и подогреваемой (b) зонах летом

Fig. 3. Distribution of *Mollusca* abundance by depth in non-heated (a) and heated (b) zones in summer

Из рис. 3 видно, что в летний период численность моллюсков, как и всего зообентоса, увеличивалась от литорали и до глубины 3 м как в подогреваемой, так и в неподогреваемой зоне. Вне подогрева численность моллюсков была выше более чем в 2 раза, чем при подогреве. Возможно, это обусловлено тепловым воздействием, но не исключается влияние степени агрегированности, особенно у дрейссены, на разных участках.

Распределение брюхоногих (*Gastropoda*) моллюсков летом по глубинам на рис. 3 различается визуально: в подогретой зоне максимальная его численность отмечается на глубине 3 м, а далее идет ее снижение. В неподогретой части максимальная его численность отмечается на глубине 1,5 м. Несмотря на наглядные различия на рис. 3, рассчитанные величины близки между собой: в контрольной зоне – 3,4 м, а в подогретой – 3,6 м. Для двухстворчатых (*Bivalvia*), основу которых составляла дрейссена, расположение максимумов совпадало, а средние величины расположения также были незначительными – 0,3 м (2,8 м без подогрева и 3,1 м при подогреве). Таким образом, обе группы моллюсков летом располагаются немного глубже в подогреваемой зоне.

Для подогреваемой зоны была отмечена слабая корреляционная зависимость численности моллюсков от содержания кислорода ($r = 0,48; p \leq 0,05$). Без подогрева их плотность была еще меньше и зависела от содержания растворенного кислорода ($r = 0,35; p \leq 0,05$). В зоне подогрева корреляции распределения численности с температурным фактором не установлено, но в контрольной, неподогретой части, корреляционная зависимость от температуры была достаточно выраженной ($r = 0,51; p \leq 0,05$).

В «мягком» бентосе доминировали представители *Chironomidae* и *Oligochaeta*. Распределение этих групп имело свои особенности: личинки хирономид размещались на всех глубинах, олигохеты избегали подогретого побережья (0,5 м) и на глубине 1,5 м имели малую относительную

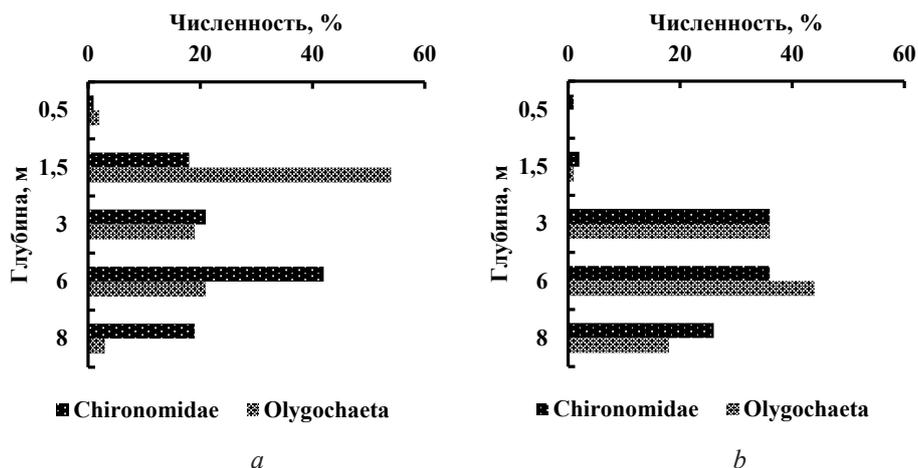


Рис. 4. Распределение численности Chironomidae и Oligochaeta в неподогреваемой (a) и подогреваемой (b) зонах летом

Fig. 4. Population distribution of Chironomidae and Oligochaeta in non-heated (a) and heated (b) zones in summer

численность (рис. 4). Однако взаимное расположение этих групп по глубинам отличалось в подогретой и неподогретой акваториях: наибольшая численность хирономид отмечалась в обеих зонах на глубине 6 м, максимальная численность олигохет в неподогретых водах наблюдалась на глубине 1,5 м, а в подогретых – еще глубже.

При расчете средней величины «глубины нахождения» выяснилось, что личинки хирономид в подогретой зоне размещались глубже: 5,3 м против 4,9 м в контроле. Олигохеты занимали «средние» величины глубины: 5,2 м в подогреваемой зоне и 2,9 м вне зоны подогрева. Таким образом, обе группы располагались, как и моллюски, глубже в подогреваемой зоне, при этом у олигохет разница в средней «глубине нахождения» была значительно больше, чем у хирономид.

Распределение численности хирономид никак не коррелировало с распределением кислорода, а с показателями температуры имело среднюю по силе, отрицательную, статистически незначимую корреляцию ($r = -0,616$; $p \leq 0,05$). Олигохеты, так же как и хирономиды, имели отрицательную корреляцию с температурным показателем ($r = -0,71$; $p \leq 0,05$), а с кислородным – слабую отрицательную корреляцию ($r = -0,36$; $p \leq 0,05$).

Таким образом, летом наблюдались различия между подогреваемой и неподогреваемой акваториями в показателях общей и относительной численности основных групп, а также в их расположении по глубинам. Общая численность в контрольной зоне была больше, чем в подогретой, в 1,6 раза. Из массовых форм в подогретой зоне наблюдалась бóльшая в сравнении с контролем плотность только олигохет и *Chironomus gr. plumosus*. Зообентос располагался неравномерно, максимум плотности в обеих зонах был приурочен к глубине 3 м. Однако в подогретой зоне средняя «глубина расположения» была глубже, чем в контрольной, на 0,64 м, что может свидетельствовать об избегании высокой температуры или отрицательном ее влиянии при подогреве.

Осенью соотношения основных групп по численности в подогреваемой и неподогреваемой зонах различаются между собой больше, чем летом (рис. 5). В сравнении с летом в подогретой зоне выросла доля олигохет и снизилась доля двукрылых и моллюсков. В зообентосе подогретой акватории осенью преобладали олигохеты (55 %) и двукрылые (34 %). В ненарушенных условиях наблюдалось более равномерное соотношение этих групп: 14 и 21 % соответственно, а на первое место вышли моллюски (34 %). Наблюдаемое в контрольной акватории снижение относительной численности двукрылых осенью, возможно, связано с вылетом имаго у хирономид.

Общая численность зообентоса в подогреваемой зоне изменялась в очень широких пределах – от 5,8 до 1947,4 экз/м² (средняя численность по всем глубинам для данной части озера – 1018,8 экз/м²), в контрольной акватории она была в диапазоне 312–6103,7 экз/м² (средняя численность более чем в 2 раза превышала аналогичный показатель подогреваемой зоны, равный

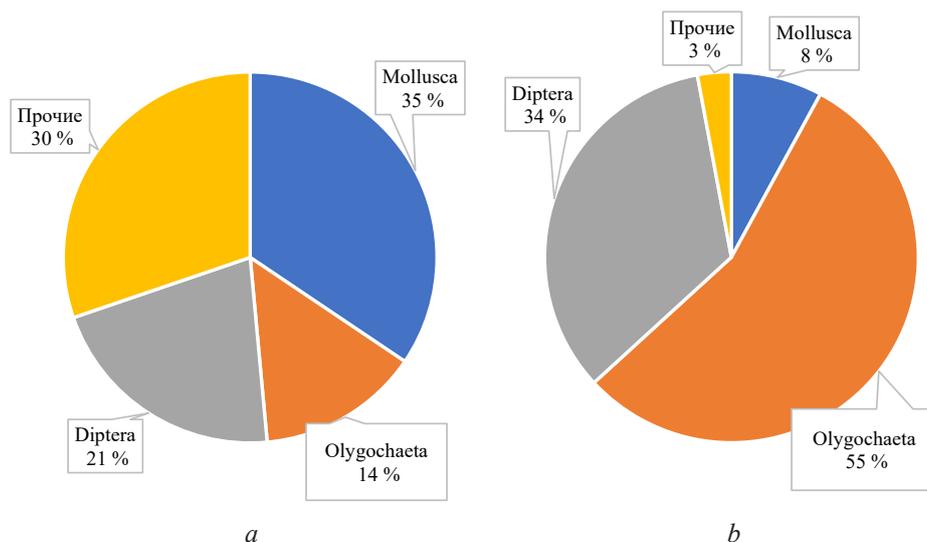


Рис. 5. Соотношение численности основных групп в непогреваемой (а) и погреваемой (б) зонах осенью

Fig. 5. The ratio of the number of the main groups in non-heated (a) and heated (b) zones in autumn

2340,9 экз/м²). Таким образом, в сравнении с летом разница в средних показателях численности зообентоса в погреваемой и контрольной зонах выросла в 2,3 раза.

При этом в сравнении с летом общая численность зообентоса осенью снизилась: в погреваемой зоне – более чем в 2 раза, в непогреваемой – в 1,5. Осенью все массовые виды – дрейссена и личинки хирономид – в погреваемой зоне имели меньшую численность, чем в контроле (табл. 6). Температурный режим в это время года не был лимитирующим фактором, как и содержание кислорода. Поэтому на соотношение численности личинок хирономид в это время могла повлиять разница в сроках вылета имаго при разном погреве. Наблюдаемые же осенью максимальные значения различий у *Dreissena polymorpha* на одинаковых глубинах отбора трудно объяснить, учитывая приуроченность этого моллюска к определенным глубинам [18]. На полученные величины могла повлиять неравномерность распределения моллюска по глубинам и различная степень его агрегированности в разных зонах. Как и летом, большую численность при погреве имели только олигохеты.

Таблица 6. Сравнение численности (экз/м²) массовых видов и форм в непогреваемой (НПЗ) и погреваемой (ПЗ) зонах осенью

Table 6. Comparison of the number (exp/m²) of mass species and forms in the non-heated and heated zones in autumn

Вид	НПЗ	ПЗ	ПНЗ-ПЗ	ПНЗ/ПЗ
<i>Olygochaeta sp.</i>	329,4 ± 50,4	560,5 ± 101,7	-(231,1 ± 51,3)	0,6
<i>Chironomus gr. plumosus</i>	162,9 ± 37,8	68,1 ± 19,9	94,8 ± 17,9	2,4
<i>Procladius sp.</i>	154,1 ± 36,1	56,3 ± 11,2	97,8 ± 24,9	2,7
<i>Dreissena polymorpha</i>	745,6 ± 205,8	14,8 ± 20,7	730,8 ± 185,1	50,4
<i>Polypedilum nubeculosum</i>	70,1 ± 18,9	38,5 ± 13,0	31,6 ± 15,9	1,8

Общий характер распределения по глубине сохранился и осенью, при этом кривые отличались по абсолютным значениям и расположению максимумов численности (рис. 6). Изменение численности в погреваемой зоне отличалось от летнего: осенью рост шел от литоральной зоны до глубины 6 м, что обеспечивалось достаточно благоприятными кислородным (от 6,2 до 8,2 мг/л) и температурным (от 18,0 до 24,6 °C) режимами. Несмотря на подходящие кислородные и температурные условия, после глубины 6 м продолжался спад численности. По нашему мнению, схожее с летним распределение зообентоса осенью сохранилось за счет инертности и малой подвижности бентоса.

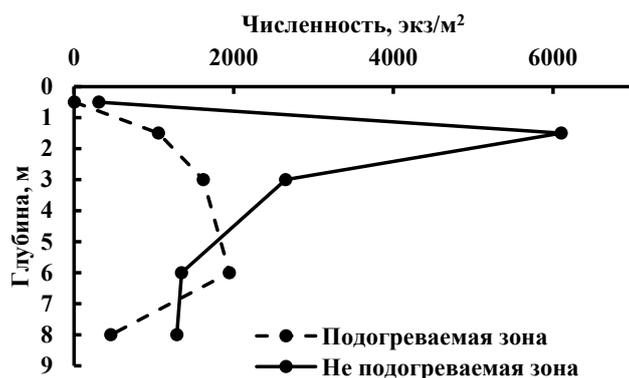


Рис. 6. Изменение общей численности зообентоса в зависимости от глубины в подогреваемой и непогрееваемой зонах осенью

Fig. 6. Changes in the total number of zoobenthos with depth in the heated and non-heated zones in autumn

Рассчитана общая численность «глубины расположения» осенью: в подогретой зоне – 4,29 м, в непогретой – 3,05 м (разница – 1,24 м). В сравнении с летом в подогреваемой части эта величина не изменилась, а вне подогрева стала меньше на 0,60 м. Зависимости распределения численности по глубине от температуры воды и концентрации растворенного кислорода осенью не обнаружено в связи с незначительностью изменений в эту пору года (см. табл. 3, 4).

У брюхоногих и двустворчатых моллюсков отмечались различия в распределении по глубинам (рис. 7). В целом для Gastropoda по значениям «глубины нахождения» наблюдалось «продвижение» численности к литорали в контрольной зоне, где значения были 2,9 м против 3,8 м при подогреве. У двустворчатых моллюсков, основу которых составляет дрейссена, при отсутствии подогрева также отмечалось «смещение» средней глубины в прибрежье (с 6 до 2 м). Если летом двустворчатые размещались в обеих зонах преимущественно на глубине 3 м, то вопрос осеннего их распределения при фактическом отсутствии влияния температуры требует дальнейшего детального изучения.

В осенний период в мягком бентосе превосходство имели олигохеты. В прибрежье подогретой зоны эти животные отсутствовали. Как и летом, максимальная их плотность была на глубине 6 м (рис. 8). Несмотря на разный характер распределения олигохет осенью, средние величины оказались близкими: при подогреве – 4,2 м, без подогрева – 4,3 м. По сравнению с летом «глубина нахождения» в подогретой зоне стала ровно на 1 м меньше, а в непогретой, наоборот, на 1,4 м глубже.

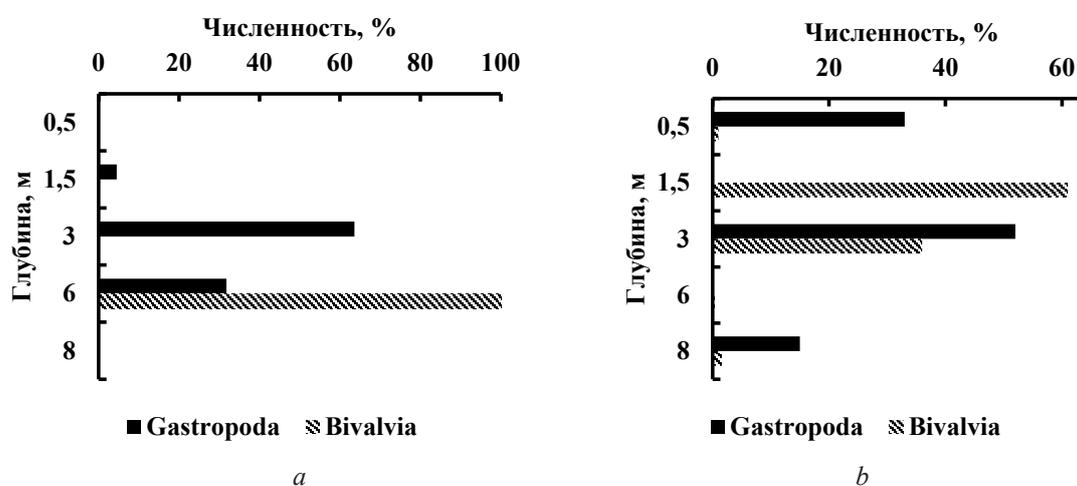


Рис. 7. Распределение численности *Mollusca* по глубинам в непогрееваемой (a) и подогреваемой (b) зонах осенью

Fig. 7. Distribution of *Mollusca* abundance by depth in non-heated (a) and heated (b) zones in autumn

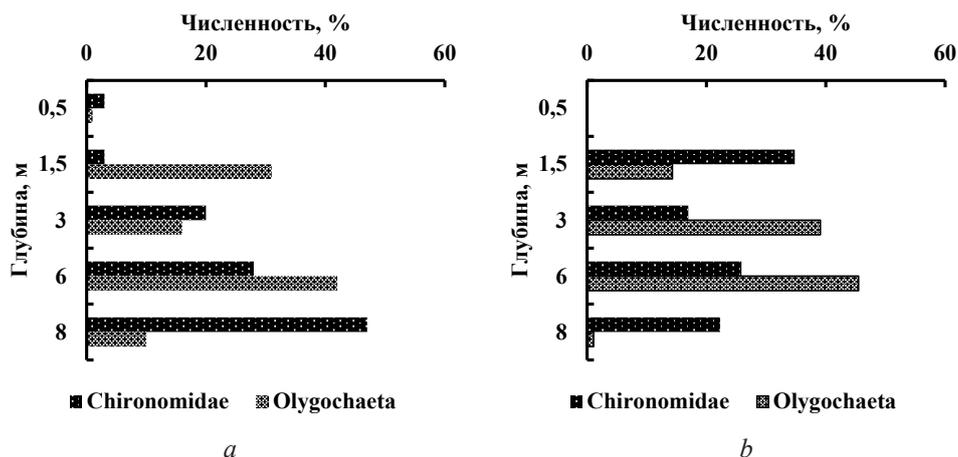


Рис. 8. Распределение численности Chironomidae и Olygochaeta в неподогреваемой зоне (слева) и подогреваемой (справа) зонах осенью

Fig. 8. Population distribution of Chironomidae and Olygochaeta in the non-heated zone (left) and the heated zone (right) in autumn

У личинок хирономид максимум относительной численности осенью в контрольной зоне переместился с глубины 3 м на глубину 1,5 м (рис. 4, 8). Однако расчет средневзвешенной абсолютной численности в неподогреваемой акватории, наоборот, показал увеличение глубины нахождения этой группы на 1,2 м по сравнению с летом. При таком же расчете данного показателя в подогреваемой зоне, наоборот, отмечалось «перемещение» средней численности в прибрежье на 1 м.

Анализ средней «величины нахождения» хирономид показал, что осенью в подогретой зоне его величина составила 4,3 м, в контрольной – 6,1 м (разница 1,8 м). Летом разница была незначительной – только 0,4 м, а в подогретой зоне личинки располагались глубже. Перемещение в этой зоне на меньшие глубины осенью логично объяснить снятием лимитирования из-за высокой температуры. Наблюдаемое «перемещение» осенью личинок хирономид на большие глубины в контрольной зоне при полной гомотермии и высокой насыщенности кислородом всех слоев воды, возможно, происходило не только за счет миграции [19], но и за счет заселения глубоководных станций, на которых у животных новой осенней генерации летом наблюдался дефицит кислорода [20].

Осенью статистически значимой корреляции между изменением численности хирономид и олигохет, температурой и содержанием кислорода не обнаружено из-за незначительного изменения этих параметров. Характер изменений в зависимости от глубины у этих групп отличался в сравнении с летом. В подогреваемой акватории в осеннее время при отсутствии лимитирования температурой они располагались на меньших глубинах, но не в бедной органикой литорали. При одинаковых значениях температуры и растворенного кислорода по глубинам осенью в контрольной зоне у хирономид отмечался рост плотности к максимальной глубине, то же наблюдалось и у олигохет, но до глубины 6 м.

Таким образом, в подогреваемой зоне в оба сезона наблюдались пониженные значения численности зообентоса, что частично можно объяснить влиянием высокой температуры. Подогрев оказывал отрицательное влияние на численность основных групп зообентоса и его массовые виды, за исключением олигохет. Соотношения численности основных групп зообентоса между подогреваемой и контрольной зонами, а также в сезоне, отличались, что обусловлено, вероятно, вылетом амфибионтных насекомых. В целом в характере распределения численности по глубинам в озере в разные сезоны года и при разной тепловой нагрузке не имелось отличий: с мелководья шел рост до определенной глубины, а затем снижение ко дну. Снижение численности наблюдалось в подогреваемой прибрежной зоне за счет смыва донных отложений подогретыми водами, под влиянием высокой температуры летом, а в придонных слоях воды – из-за малого количества кислорода.

Заключение. Средняя численность зообентоса как в летний, так и в осенний период была пониженной в подогреваемой части водоема (снижение летом в 1,6 раза, осенью – в 2,3 раза). Понижение численности в зоне подогрева происходило за счет основных групп зообентоса и массовых видов, кроме олигохет, у которых наблюдалась обратная тенденция – их плотность в оба сезона года была выше в подогреваемой зоне.

В характере распределения общей численности по глубине в разные сезоны года и при разной тепловой нагрузке не имелось отличий: с мелководья шел рост до определенной глубины, а затем снижение ко дну. Высокая температура и наличие течения ограничивали развитие зообентоса в подогреваемой прибрежной зоне, особенно летом. Низкие значения численности у дна на самых глубоких станциях летом были обусловлены недостатком растворенного кислорода, а осенью, в конце сентября, еще частично сохранялся летний характер распределения.

Зависимость распределения у всех основных групп зообентоса, кроме моллюсков, от температуры и кислорода в летний период исследования статистически не подтверждается. Достоверным было летнее распределение моллюсков в зависимости от температуры и только в непогреваемой зоне.

Благодарности. Авторы выражают благодарность члену-корреспонденту НАН Беларуси, заведующему лабораторией гидробиологии В. П. Семенченко и ведущему научному сотруднику сектора мониторинга и кадастра животного мира Ю. Г. Гигиняку за ценные советы и замечания при написании статьи.

Acknowledgements. The authors are grateful to the Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Head of the Hydrobiology Laboratory V. P. Semenchenko and the Leading Researcher of the Sector of monitoring and cadaster of the animal world Yu. G. Giginyak for valuable advice and comments when writing the article.

Список использованных источников

1. Экосистема водоема-охладителя Лукомльской ГРЭС / П. А. Митрахович и [др.]. – Минск : Право и экономика, 2008. – 143 с.
2. Каратаев, А. Ю. Влияние подогрева на комплекс беспозвоночных литорали водоема-охладителя ТЭС оз. Лукомского / А. Ю. Каратаев // Биология внутренних вод. Информ. бюл. № 80. – 1988. – С. 32–35.
3. Каратаев, А. Ю. Влияние сброса теплых вод на макрозообентос литорали водоема-охладителя / А. Ю. Каратаев, И. В. Каратаева // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. Химия, биология, география. – 1987. – № 1. – С. 46–49.
4. Karataev, A. Yu. Some patterns of the vertical distribution of macrozoobenthos in the littoral zone of thermal power plant's cooling reservoirs / A. Yu. Karataev, I. V. Karataeva // Hydrobiol. J. – Vol. 27, N 2. – P. 19–26.
5. Лапука, И. И. Таксономическая структура зообентоса подогреваемой и непогреваемой зон водоема-охладителя Лукомльской ГРЭС / И. И. Лапука, В. В. Вежновец, А. А. Шкуте // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2021. – Т. 66, № 1. – С. 53–63.
6. Качалова, О. Л. Отряд ручейники Trichoptera / О. Л. Качалова // Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Планктон и бентос / отв. ред. : Л. А. Кутикова, Я. И. Старобогатов. – Л., 1977. – С. 477–510.
7. Лукин, Е. И. Класс пиявки Hirudinea / Е. И. Лукин // Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Планктон и бентос / отв. ред. : Л. А. Кутикова, Я. И. Старобогатов. – Л., 1977. – С. 201–212.
8. Попова, А. Н. Отряд стрекозы Odonata / А. Н. Попова // Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Планктон и бентос / отв. ред. : Л. А. Кутикова, Я. И. Старобогатов. – Л., 1977. – С. 266–287.
9. Макаренченко, Е. А. Семейство комары звонцы Chironomidae / Е. А. Макаренченко // Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий / под ред. С. Я. Цалохина. – СПб., 1999. – Т. 4 : Высшие насекомые. Двукрылые. – С. 210–296.
10. Богатов, В. В. Класс Двустворчатые моллюски / В. В. Богатов, П. В. Кияшко // Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России / под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалохина. – М. ; СПб., 2016. – Т. 2 : Зообентос. – С. 285–335.
11. Кияшко, П. В. Класс Брюхоногие моллюски / П. В. Кияшко, Е. В. Солдатенко, М. В. Винарский // Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России / под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалохина. – М. ; СПб., 2016. – Т. 2 : Зообентос. – С. 335–439.
12. Шаронов, И. В. Личинки тендипедид озера Севан (биология и биомасса) / И. В. Шаронов // Тр. Севан. гидробиол. ст. – 1951. – Т. 12. – С. 35–92.
13. Линевиц, А. А. К биологии комаров семейства Tendipedidae / А. А. Линевиц // Биология беспозвоночных Байкала / отв. ред. Г. И. Галазий. – М. ; Л., 1963. – Т. 1 (21), ч. 2. – С. 1–48.

14. Пидгайко, М. Л. Продуктивность донной фауны водоемов-охладителей тепловых электростанций на юге Украины / М. Л. Пидгайко, Л. А. Кितिцына // Вопросы рыбохозяйственного освоения и санитарно-биологического режима водоемов Украины : материалы докл. II Респ. конф. Укр. филиала Всесоюз. гидробиол. о-ва (май 1970 г.) : в 2 ч. / отв. ред. Я. Я. Цееб. – Киев, 1970. – Ч. 1. – С. 93–94.
15. Howells, G. D. The effects of power station cooling water discharges on aquatic ecology / G. D. Howells // *Water Pollut. Control.* – 1983. – Vol. 82, N 1. – P. 10–16.
16. Мордухай-Болтовской, Ф. Д. Проблема влияния тепловых и атомных электростанций на гидробиологический режим водоемов / Ф. Д. Мордухай-Болтовской // *Тр. Ин-та биол. внутр. вод АН СССР.* – 1975. – Вып. 27 (30). – С. 7–69.
17. Протасов, А. А. Контурные группировки гидробионтов в техно-экосистемах ТЭС и АЭС / А. А. Протасов, А. А. Силаева. – Киев : Ин-т гидробиологии НАН Украины, 2012. – 274 с.
18. Каратаев, А. Ю. Воздействие подогрева на пресноводные экосистемы / А. Ю. Каратаев. – Минск, 1990. – 132 с. Деп. в ВИНТИ 07.05.1990. – № 2440-90.
19. Садырин, В. М. Суточные изменения видовой, размерной и трофической структуры в сообществе фитофильных хирономид / В. М. Садырин // *Бюл. Моск. о-ва испытателей природы, отд. биол.* – 2012. – Т. 117, № 4. – С. 77–80.
20. Состав, распределение и сезонная динамика численности и биомассы бентоса / Н. Ю. Соколова [и др.] // *Бентос Учинского водохранилища : сб. ст. / отв. ред. Г. Г. Винберг.* – М., 1980. – С. 7–23.

References

1. Mitrakhovich P. A., Samoilenko V. M., Kartashevich Z. K., Svirid A. A., Kozlov E. A., Korolev G. N., Papko N. A. *The ecosystem of the cooling pond of Lukoml.* Minsk, Pravo i ekonomika Publ., 2008. 143 p. (in Russian).
2. Karataev A. Yu. Effect of heating on the invertebrates of the littoral of the thermal power plant's cooling reservoir of Lake Lukomskoe. *Biologiya vnutrennikh vod* [Biology of inland waters], 1988, no. 80, pp. 32–35 (in Russian).
3. Karataev A. Yu., Karataeva I. V. Effect of heating waters on macrozoobenthos of the littoral of the cooling water reservoir. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 2. Khimiya, biologiya, geografiya* [Bulletin of the Belarusian State University. Series 2. Chemistry, biology, geography], 1987, no. 2, pp. 46–49 (in Russian).
4. Karataev A. Yu., Karataeva I. V. Some patterns of the vertical distribution of macrozoobenthos in the littoral zone of thermal power plant's cooling reservoirs. *Hydrobiological Journal*, vol. 27, no. 2, pp. 19–26.
5. Lapuka I. I., Vezhnovets V. V., Shkuta A. A. Effect of heating on the taxonomic structure of the zoobenthos of the Lukomlskaya GRES cooling reservoir. *Vesti Natsyonal'noi akademii nauk Belarusi. Seriya biyalagichnykh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2021, vol. 66, no. 1, pp. 53–63 (in Russian).
6. Kachalova O. L. Trichoptera. *Determinant of freshwater invertebrates of the European part of the USSR. Plankton and benthos.* Leningrad, 1977, pp. 477–510 (in Russian).
7. Lukin E. I. Hirudinea. *Determinant of freshwater invertebrates of the European part of the USSR. Plankton and benthos.* Leningrad, 1977, pp. 201–212 (in Russian).
8. Popova A. N. Odonata. *Determinant of freshwater invertebrates of the European part of the USSR. Plankton and benthos.* Leningrad, 1977, pp. 266–287 (in Russian).
9. Makarchenko E. A. Chironomidae. *Determinant of freshwater invertebrates in Russia and neighboring territories. Vol. 4. Higher insects.* Saint Petersburg, 1999, pp. 210–296 (in Russian).
10. Bogatov V. V., Kiyashko P. V. Bivalve molluscs. *Determinant of zooplankton and zoobenthos in fresh waters of European Russia. Vol. 2. Zoobenthos.* Moscow, Saint Petersburg, 2016, pp. 285–335 (in Russian).
11. Kiyashko P. V., Soldatenko E. V., Vinarskii M. V. Gastropods. *Determinant of zooplankton and zoobenthos in fresh waters of European Russia. Vol. 2. Zoobenthos.* Moscow, Saint Petersburg, 2016, pp. 335–439 (in Russian).
12. Sharonov I. V. Tendipedid larvae of Lake Sevan (biology and biomass). *Trudy Sevanskoj gidrobiologicheskoi stantsii* [Proceedings of the Sevan hydrobiological station], 1951, vol. 12, pp. 35–92 (in Russian).
13. Linevich A. A. On the biology of mosquitoes of the Tendipedidae family. *Biology of Invertebrates of Baikal.* Moscow, Leningrad, 1963, vol. 1 (21), pt. 2, pp. 1–48 (in Russian).
14. Pidgaiko M. L., Kititsyna L. A. Productivity of the bottom fauna of cooling ponds of thermal power plants in the south of Ukraine. *Voprosy rybokhozyaistvennogo osvoeniya i sanitarno-biologicheskogo rezhima vodoemov Ukrainy: materialy dokladov II Respublikanskoj konferentsii Ukrainського filiala Vsesoyuznogo gidrobiologicheskogo obshchestva (mai 1970 goda). Chast' I* [Issues of fishery development and sanitary-biological regime of water bodies of Ukraine: materials of reports of the II Republican conference of the Ukrainian branch of the All-Union hydrobiological society (May 1970). Pt. 1]. Kiev, 1970, pp. 93–94 (in Russian).
15. Howells G. D. The effects of power station cooling water discharges on aquatic ecology. *Water Pollution Control*, 1983, vol. 82, no. 1, p. 10–16.
16. Mordukhai-Boltovskoi F. D. The problem of influence of thermal and nuclear power plants on the hydrobiological regime of reservoirs. *Trudy Instituta biologii vnutrennikh vod Akademii nauk SSSR* [Proceedings of the Institute for Biology of Inland Waters of the USSR Academy of Sciences], 1975, iss. 27 (30), pp. 7–69 (in Russian).
17. Protasov A. A., Silaeva A. A. *Contour groupings of hydrobionts in techno-ecosystems of TPP and NPP.* Kiev, Institute of Hydrobiology of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2012. 274 p. (in Russian).

18. Karataev A. Yu. *Impact of heating on freshwater ecosystems*. Minsk, 1990. 132 p. (in Russian).
19. Sadyrin V. M. Diurnal changes in the species, size, and trophic structure in the community of phytophilic chironomids. *Bulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otdel biologicheskii* [Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Biological department], 2012, vol. 117, no. 4, pp. 77–80 (in Russian).
20. Sokolova N. Yu., Izvekova E. I., L'vova A. A., Sakharova M. I. Composition, distribution and seasonal dynamics of abundance and biomass of benthos. *Bentos Uchinskogo vodokhranilishcha: sbornik statei* [Benthos of the Uchinsky reservoir: a collection of articles]. Moscow, 1980, pp. 7–23 (in Russian).

Информация об авторах

Лапука Илья Игоревич – мл. науч. сотрудник. Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: ilya.lapua@yandex.ru

Вежновец Василий Васильевич – канд. биол. наук, доцент, вед. науч. сотрудник. Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: vezhn47@mail.ru

Information about the authors

Ilya I. Lapuka – Junior Researcher. Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ilya.lapua@yandex.ru

Vasili V. Vezhnavets – Ph. D. (Biol.), Associate Professor, Leading Researcher. Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vezhn47@mail.ru