

УДК 574.583

ВЕРТИКАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ЗООПЛАНКТОНА В СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ОЗЕРАХ БЕЛАРУСИ С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ ТРОФИИ

© 2022 г. В. В. Вежновец^а, *, М. Д. Журавлев^а

^аГосударственное научно-практическое объединение “Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам”, Минск, Республика Беларусь

*e-mail: vezhn47@mail.ru

Поступила в редакцию 20.05.2022 г.

После доработки 01.06.2022 г.

Принята к публикации 15.06.2022 г.

Изучалось вертикальное распределение зоопланктона в разных по основным экологическим условиям и степени трофии стратифицированных озерах Беларуси в летнее время. Установлены особенности формирования вертикальной структуры озер для пелагического зоопланктона в термически стратифицированных водоемах при разном сочетании прозрачности, температуры и содержания кислорода. Выделено три группы озер, различающихся по вертикальному распределению численности зоопланктона. С увеличением трофности растет степень агрегированности зоопланктона и его приуроченность к верхним, хорошо прогреваемым и богатым кислородом слоям воды.

Ключевые слова: зоопланктон, озера, вертикальная структура, численность, условия обитания

DOI: 10.31857/S0320965222060195

ВВЕДЕНИЕ

Вертикальная структура водных организмов планктона больше известна для морских экосистем. Считается, что организмы в пресноводных водоемах при относительно малых глубинах, по сравнению с глубоководными участками морей и океанов, мало подвержены разделению в пространстве (Рудяков, 1986). Исследования на глубоких озерах мира (Сярки, Фомина, 2019; Сиделева, 2020) и собственные данные по зоопланктону средне глубоких мезотрофных озер Беларуси показали неоднородность в распределении и приуроченность многих организмов планктона к определенным глубинам (Вежновец, 2012). Кроме того, несмотря на многочисленные публикации по распределению зоопланктона в пресных водах, до сих пор нет обобщающих, в большинстве работ приводятся только факты неравномерности зоопланктона без анализа причин и сопоставления в водоемах разной трофности, для одного водоема или даже одного вида (Речкалов, Голубок, 2009; Вежновец, Литвинова, 2021; Подшивалина, 2021).

Актуальность подобного рода исследований обусловлена несколькими аспектами. Как правило, продукционные и энергетические расчеты для озер проводят без учета взаимного распределения

в пространстве всех составляющих, входящих в сообщество планктона. На основании этих расчетов строятся не только пищевые цепи и сети, но и вероятностные модели взаимодействий. Обычно в таких моделях предполагается равномерное или вероятностное распределение особей в пространстве. Однако, такого рода построения не могут адекватно отражать все взаимосвязи, если в них отсутствуют особенности пространственного взаимного распределения. В мониторинговых исследованиях системы Гидрометеослужбы для индикаторной цели в таких озерах рекомендуют сбор зоопланктона у поверхности и дна, что может неадекватно отражать экологическое состояние водоема из-за недоучета некоторых видов. Игнорируется вертикальная структура и при рыбохозяйственных мероприятиях. Интерес к неоднородности распределения зоопланктона во внутренних водоемах не ослабевает в течение многих лет, география проводимых исследований пространственной структуры зоопланктона очень обширна от водоемов Европы (Battes, Momeu, 2014), Сибири (Рогозин, 2000) и Северной Америки (Comp, 1979) до Индии (Shah et al., 2013).

Цель работы – выявить особенности вертикальной структуры зоопланктона в стратифицированных озерах разной трофности.

Таблица 1. Озера Беларуси с имеющимися данными по вертикальному распределению зоопланктона

Озеро*	Район расположения	Область	Максимальная глубина, м	Координаты
Долгое (Гл)	Глубокский	Витебская	53.6	55.227102, 28.174840
Ричи	Браславский	То же	51.9	55.701535, 26.715046
Гиньково	Глубокский	»	43.3	55.299865, 28.138589
Южный Волос	Браславский	»	40.4	55.731373, 27.137375
Болдук	Мядельский	Минская	39.7	54.977094, 26.412799
Вечелье	Ушачский	Витебская	35.9	55.146503, 28.626590
Дрисвяты	Браславский	То же	33.3	55.590694, 26.682771
Волчин	Мядельский	Минская	32.9	55.000916, 26.875027
Бобыно	Полоцкий	Витебская	32.3	55.292338, 28.403492
Круглик	Шумилинский	То же	31.5	55.253428, 29.606584
Северный Волос	Браславский	»	29.2	55.756066, 27.123986
Сита	То же	»	28.5	55.672466, 26.795650
Долгое (Бр)	»	»	28.4	54.964886, 28.521426
Барковщина	Ушачский	»	21.8	55.100680, 28.601053

* В скобках сокращенно обозначен район расположения озера.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для вертикальной пространственной структуры был рассмотрен зоопланктон только пелагиали стратифицированных озер. Исследования проведены на 14 озерах Беларуси в разные годы, летом, при термическом расслоении водной толщи, на станциях, близких к максимальной глубине. Перечень озер и их местоположение представлены в табл. 1. Чтобы, по возможности, исключить влияние сезонных и суточных перемещений (Вежновец, 2012), исследования проводили в последней декаде июля или начале августа в полуденное время. При послойных (каждые 5 м) ловах зоопланктона от поверхности до дна применяли замыкающуюся планктонную сеть с входным отверстием 25 см и диаметром ячеи фильтрующего конуса 100 мкм.

Одновременно со сбором проб измеряли прозрачность по белому диску Секки, температуру воды и содержание кислорода термооксиметром Hanna HI 9143.

Все исследованные водоемы имели максимальную глубину от 21.8 до 53.6 м и разную прозрачность в летнюю межень — от 8 м в оз. Юж. Волос до 1.8 м в оз. Круглик (табл. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные материалы по вертикальному распределению в летнее время для сравнительных целей сведены в три основные группы озер, отличающихся по уровню трофии, показателем которого была прозрачность.

В I группу включены самые глубокие мезотрофные озера с чертами олиготрофии, которую (олиготрофию) им придают обитающие здесь реликтовые ракообразные, отличающиеся высокой прозрачностью воды (4–8 м) (Долгое (Гл), Ричи, Гиньково, Болдук и Юж. Волос). Сведения по вертикальному распределению температуры и кислорода для четырех из них даны в табл. 2.

В качестве графической иллюстрации для этой группы озер приведены данные по оз. Юж. Волос в июле 2021 г. Пробы в этом водоеме отобраны на глубине 41 м. Прозрачность воды по белому диску была 7 м.

Распределение температуры по глубине в этом озере не отличалось от многолетних данных. Приповерхностная температура достигала 25.2°C, что немного выше обычно наблюдаемой в это время года. В гипolimнионе ниже 15 м сохранялась низкая температура от 5 до 6°C (рис. 1а). Концентрация кислорода была сходна с многолетними данными для этого водоема, но в отличие от других озер этой группы, характеризовалась значительным ростом в металимнионе (рис. 1б). В целом, оба наблюдаемые параметры находились в зоне толерантных значений для зоопланктона.

Распределение численности зоопланктона по вертикали в оз. Юж. Волос характерно для этого трофического типа — максимум приурочен к металимниону, достигая 28.6% общей численности, придонный рост численности хорошо выражен (рис. 2а).

Температура в эпилимнионе варьировала от 22.5 до 24.5°C. Металимнион хорошо выражен и

Таблица 2. Распределение температуры (t , °C) и кислорода (O_2 , мг/л) в озерах I группы

Глубина, м	оз. Долгое (Гл) 01.08.2021 г.		оз. Ричи 31.07.2021 г.		оз. Гиньково 24.07.2016 г.		оз. Болдук 24.07.1992 г.	
	t , °C	O_2 , мг/л	t , °C	O_2 , мг/л	t , °C	O_2 , мг/л	t , °C	O_2 , мг/л
0	24.5	7.4	24.0	7.4	22.5	7.4	23.6	10.1
1	24.4	7.4	24.0	7.4	22.3	7.4	23.6	10
2	24.4	7.4	24.0	7.5	21.7	7.5	22.6	9.8
3	24.4	7.4	24.0	7.3	21.0	7.3	22.0	9.7
4	24.4	7.4	24.0	7.0	20.2	7.0	21	9.6
5	23.8	6.7	24.0	7.0	19.9	7.0	17.5	9.3
6	19.3	4.8	21.7	6.4	17.1	6.4	13.4	9.0
7	13.8	7.1	17.1	5.0	11.7	5.0	10.0	9.6
8	11.3	7.5	14.4	6.3	9.6	6.3	7.8	9.9
9	9.3	7.2	13.6	6.8	8.5	6.8	7.4	8.2
10	8.4	6.5	12.4	6.2	7.7	6.2	7.0	7.2
11	8.0	5.7	11.0	6.0	6.8	6.0	6.7	6.5
12	7.5	6.8	10.2	6.0	6.3	6.0	6.4	6.0
13	7.2	7.2	9.8	6.1	5.5	6.1	6.2	6.0
14	7.2	7.3	9.2	6.3	5.3	6.3	6.0	6.0
15	7.2	7.3	8.6	6.5	5.2	6.5	5.8	6.0
16	7.0	7.5	8.4	6.7	5.1	6.7	5.9	5.5
17	6.8	7.5	8.4	6.5	5.0	6.5	5.8	5.5
18	6.8	7.4	8.4	6.5	4.8	6.5	5.7	5.5
19	6.5	7.4	8	6.4	4.8	6.4	5.6	5.5
20	6.2	7.3	8	6.4	4.7	6.4	5.6	5.5
25	5.8	5.6	7.8	6.4	4.6	6.4	5.5	5.5
30	5.6	5.1	7.8	5.8	4.5	5.8	5.4	5.5
35	5.6	5.0	7.6	4.5	4.4	4.5	5.4	5.5
40	5.6	4.9	7.6	4.2	4.4	4.2	5.4	5.4
45	5.6	4.7	7.6	4.1	—	—	—	—
49	5.6	3.5	7.6	3.7	—	—	—	—

простирается от 5 до 10 м глубины. В гипolimнионе сохраняется низкая температура (4.4–7.6°C).

Вертикальное изменение концентрации кислорода в наблюдаемых озерах различалось. На фоне постепенного снижения с глубиной в зоне металимниона может наблюдаться его рост (озера Юж. Волос, Болдук) или небольшое снижение (озера Долгое (Гл), Гиньково), в слоях воды гипolimниона идет плавное падение концентрации кислорода ко дну. Придонные слои озер содержат кислород от 3.5 до 5.4 мг/л, т.е. здесь создаются благоприятные условия для жизнедеятельности глубоководных пелагических и донных животных, включая рыб.

В большинстве озер I группы (табл. 3) наблюдается максимум плотности в зоне металимниона (5–10 м), при этом концентрация зоопланктона

на этих глубинах невысокая (до 40%). Только в оз. Долгое (Гл) распределение общей численности зоопланктона идет по нисходящей от эпилимниона к гипolimниону без роста численности в зоне термоклина.

На максимальных глубинах наблюдается также небольшой рост численности. В некоторых озерах (Ричи, Долгое (Гл), Юж. Волос) он создается популяцией холодолюбивого реликтового веслоного рачка *Limnocalanus macrurus* Sars, 1863.

Таким образом, в мезотрофных с чертами олиготрофии озерах во время летней температурной стратификации вся толща воды четко разделяется на эпи-, мета- и гипolimнион. Содержание кислорода относительно плавно снижается от поверхностным к придонным слоям воды, без резкого дефицита кислорода в гипolimнионе. По

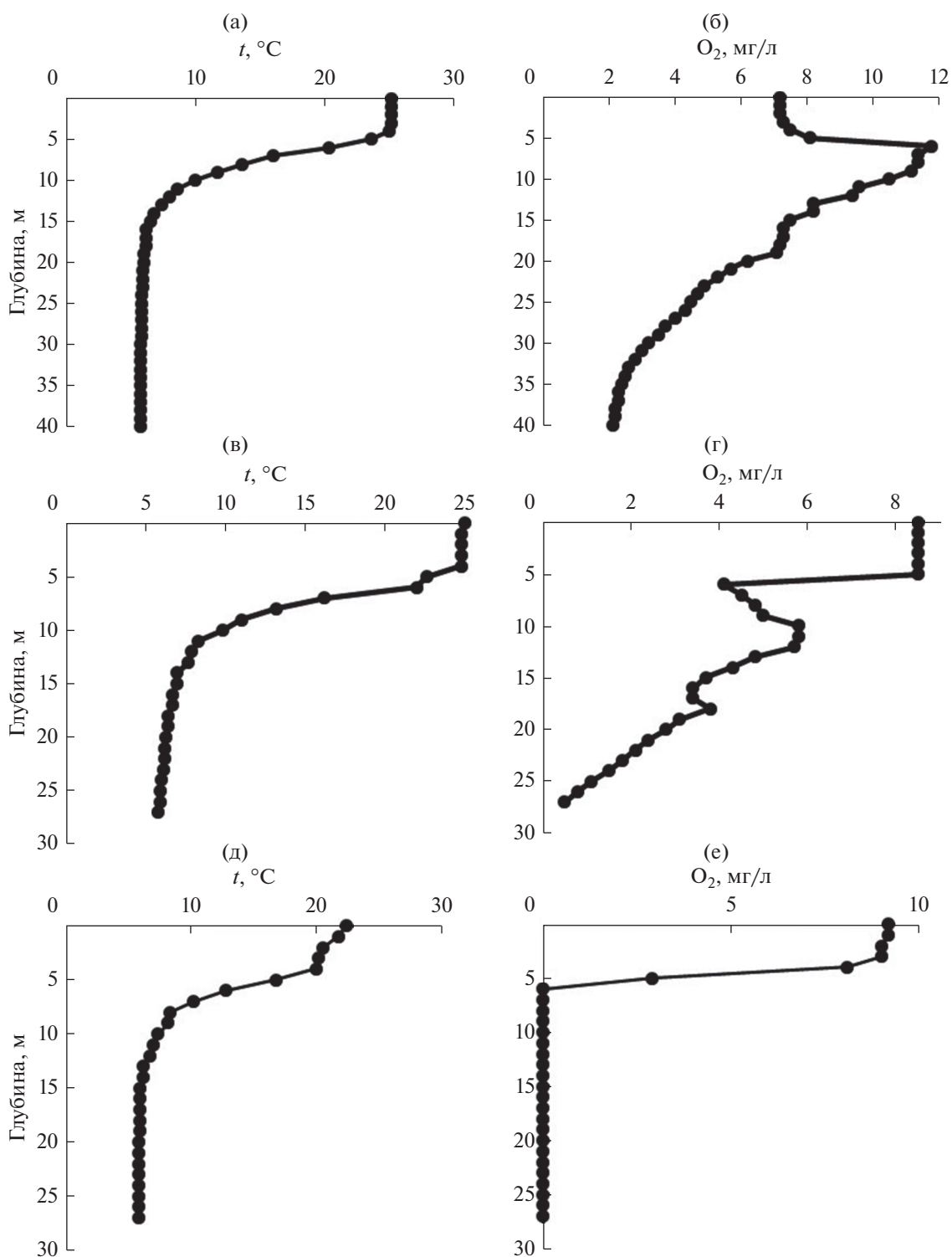


Рис. 1. Вертикальное изменение температуры и содержания кислорода в озерах Юж. Волос (а, б), Сита (в, г), Круглик (д, е): а, в, д – температура, $^\circ\text{C}$; б, г, е – концентрация кислорода, мг/л.

сочетанию этих факторов в озерах создаются благоприятные условия для обитания водных животных во всей толще воды. В большинстве озер этого трофического уровня максимальные значения

численности создаются в металимнионе. Во всех озерах этой группы наблюдается также небольшой придонный пик плотности, образуемый холодноводной фауной.

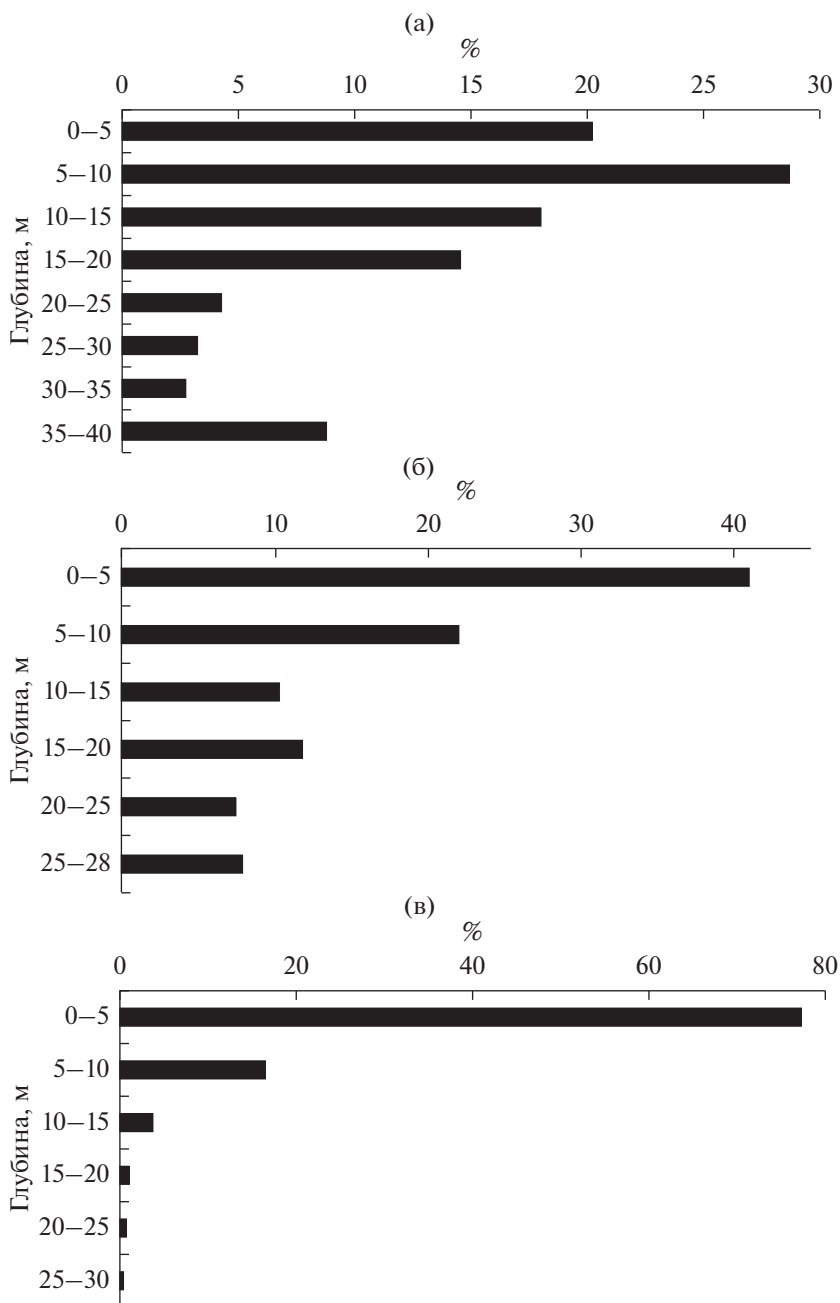


Рис. 2. Вертикальное распределение зоопланктона (% общей численности в столбе воды) в озерах Юж. Волос (а), Сита (б), Круглик (в).

Ко II группе отнесены типичные мезотрофные озера с прозрачностью 3–5.5 м и небольшим дефицитом кислорода в гипolimнионе, затрагивающим чаще придонные слои воды и выраженным не каждый год. В табл. 4 приведены данные по температуре и кислороду в озерах Вечелье, Волчин, Сев. Волос, Дрисвяты, а оз. Сита рассмотрено в качестве модельного и представлено графически (рис. 1в, 1г).

Озеро Сита обследовали на максимальных глубине и прозрачности воды 4.6 м 30.07.2021 г.

Распределение температуры по глубине в этом озере не отличалось от многолетних данных, эпилимнион прогревался до 25.0°C, в гипolimнионе температура оставалась низкой – 5.8°C. Термоклин хорошо выражен и занимал глубины 4–11 м (рис. 1в).

Концентрация кислорода изменялась с глубиной по варианту близкому к среднегодовым. В озере присутствовал металимниальный минимум, слабо выраженный в этот год. По сравнению с предыдущими годами концентрация кислорода

Таблица 3. Вертикальное распределение зоопланктона (% общей численности в столбе воды) в озерах I группы

Глубина, м	Озеро			
	Долгое (Гл) (4.5 м)	Ричи (6.0 м)	Гиньково (4.5 м)	Болдук (4.0 м)
0–5	44.5	33.0	12.4	23.6
5–10	37.1	38.4	46.0	31.3
10–15	5.0	7.4	14.4	19.1
15–20	1.1	1.9	8.0	10.5
20–25	1.9	1.0	5.3	5.3
25–30	1.5	1.5	4.0	3.8
30–35	1.6	1.9	2.3	1.8
35–40	0.8	3.3	7.6	4.6
40–45	5.2	5.8	–	–
45–49	1.3	6.0	–	–

Примечание. Здесь в табл. 5, 7 в скобках указана прозрачность.

в гипolimнионе озера была незначительно выше, что способствовало выживанию холодолюбивого реликта лимнокалянуса, обитающего в этом водоеме и ранее подверженному негативному влиянию высокой температуры и дефицита кислорода (Вежновец, 2018).

Озеро Сита, исходя из собственных многолетних наблюдений по колебанию растворенного кислорода в воде в разные годы можно отнести и к III группе. В 2021 г. (рис. 2б) зарегистрирован хорошо выраженный приповерхностный максимум плотности зоопланктона и небольшое повышение плотности в гипolimнионе, обусловленное расположением холодолюбивого лимнокалянуса. Придонного скопления планктона не обнаружено.

Температурные условия в этой группе озер мало отличались между собой и от I группы. В эпимлинионе вода прогревалась от 22.4 до 25.0°C в металимнионе температура резко снижалась до величин 5.2–6.5°C в гипolimнионе. По температурным условиям в этой группе озер отличалось

Таблица 4. Вертикальное распределение температуры (t , °C) и кислорода (O_2 , мг/л) в озерах II группы

Глубина, м	оз. Вечелье 02.08.2021 г.		оз. Волчин 28.07.2015 г.		оз. Дрисвяты 12.07.2012 г.		оз. Сев. Волос 28.07.2021 г.	
	t , °C	O_2 , мг/л	t , °C	O_2 , мг/л	t , °C	O_2 , мг/л	t , °C	O_2 , мг/л
0	24.6	7.16	22.4	10.9	24.0	9.24	25.0	7.4
1	24.2	7.16	22.4	10.6	24.0	8.51	24.8	7.4
2	24.2	6.9	22.2	10.6	23.9	8.14	24.8	7.7
3	24.2	6.6	22.0	10.9	23.9	8.9	24.6	7.2
4	22.0	2.5	21.8	10.0	22.3	9.3	24.6	7.3
5	15.1	1.0	20.4	10.6	17.9	7.2	24.6	7.8
6	11.8	2.2	15.8	12.1	17.3	6.8	23.0	8.3
7	9.2	4.2	11.5	11.1	16.7	6.5	18.2	8.3
8	8.8	5.3	8.9	8.0	16.5	6.5	16.0	7.0
9	7.1	5.5	7.9	6.6	16	6.3	14.6	4.7
10	6.4	6.4	6.9	6.0	15.8	6.3	13.4	4.0
11	6.0	6.9	6.7	5.5	15.4	6.0	12.6	3.3
12	6.0	6.6	6.6	4.9	14.9	5.8	11.4	2.0
13	5.8	6.6	6.4	4.8	14.3	5.7	10.6	1.5
14	5.8	6.2	6.3	4.3	12.2	5.6	10.2	1.3
15	5.4	6.2	6.3	4.3	11.5	5.6	9.7	1.1
16	5.4	6.2	6.3	4.3	8.6	5.6	9.3	0.8
17	5.4	6.4	6.2	4.0	6.9	5.6	9.2	0.6
18	5.4	6.4	6.2	3.6	6.8	3.7	9.0	0.4
19	5.4	6.7	6.2	3.2	6.7	3.3	8.6	0.0
20	5.4	6.8	6.2	3.0	6.7	3.2	8.2	0.0
25	5.2	4.6	6.2	2.2	6.6	2.9	8.2	0.0
27	5.2	4.6	6.2	2.0	6.6	2.9	8.2	0.0
28	5.2	4.6	6.2	2.0	6.6	2.7	–	–
29	5.2	4.6	6.2	1.9	6.6	2.5	–	–
30	5.2	4.6	6.1	1.8	6.5	2.5	–	–
33	5.2	3.6	–	–	–	–	–	–

Примечание. Здесь и в табл. 6 и 8 жирным шрифтом выделены значения, указывающие на дефицит или отсутствие кислорода.

Таблица 5. Вертикальное распределение общей численности зоопланктона (%) в толще воды озер II группы

Глубина, м	оз. Вечелье (2.0 м)	оз. Волчин (4.5 м)	оз. Дрисвяты (3.6 м)	оз. Сев. Волос (5.0 м)
0–5	44.8	26.8	57.3	9.5
5–10	23.5	31.4	19.5	34.5
10–15	12.3	15.8	8.0	24.5
15–20	4.0	5.0	3.6	13.3
20–25	2.2	8.3	5.6	12.2
25–30	3.5	12.8	6.0	6.1
30–33	9.7	–	–	–

оз. Сев. Волос, имеющее менее выраженный металимнион и высокую придонную температуру (8.2°C). Относительно высокая температура в гиполимнионе в этом водоеме может оказывать отрицательное влияние на развитие популяций холодолюбивых реликтовых видов лимнокалянуса и палласиопсиса, которые здесь встречаются.

В этой группе озер вертикальное распределение кислорода имело разный характер: в некоторых из них наблюдали металимниальный рост (озера Сев. Волос, Волчин), металимниальный минимум (озера Вечелье, Сита) или постепенное снижение ко дну (оз. Дрисвяты). Отмечен дефицит кислорода в гиполимнионе озер (Волчин, Сита) или его полное отсутствие у дна (Сев. Волос).

Характер вертикального распределения численности зоопланктона также менялся (табл. 5). В менее прозрачных озерах (Вечелье, Дрисвяты) максимальные значения численности зарегистрированы в эпилимнионе, в слое 0–5 м, при больших величинах прозрачности воды (озера Волчин, Сев. Волос) – перемещаются в металимнион. При этом, в оз. Сита при прозрачности воды 4.6 м был сформирован приповерхностный максимум численности (рис. 26).

Таким образом, в озерах этой группы наблюдается большее разнообразие вертикального распределения в связи со значительной разницей в профилях содержания кислорода и его недостатком и в гиполимнионе, и в металимнионе. Это же относится и к распределению зоопланктона по глубинам, концентрация которого может наблюдаться и в эпилимнионе, и в металимнионе.

Третья группа среднеглубоких озер уже потеряла черты мезотрофии и по прозрачности (<3 м) относится к эвтрофным водоемам. В эту группу вошли озера Долгое (Бр), Бобыно, Барковщина и Круглик.

Модельным для этой группы было взято оз. Круглик. Работы на водоеме проведены при прозрачности воды только 1.8 м, что позволяет отнести его к эвтрофным водоемам. По собственным многолетним наблюдениям его нынешнее трофическое состояние – результат поступления загрязнения ранее при работе местного льнопе-

рерабатывающего завода. В настоящее время завод остановлен, и озеро медленно возвращается в исходное мезотрофное состояние.

Озеро стратифицировано с хорошо выраженными термическими зонами (рис. 1д). Термоклин узкий, начинается на четырех и заканчивается на восьми метрах, придонная температура 5.9°C.

Содержание кислорода в этом озере с глубиной резко снижается с глубины от 4 до 6 м с 8 мг/л до полного отсутствия (рис. 1е). Только в верхних пяти метрах этого водоема могут идти процессы продуцирования. Вся толща воды ниже – бескислородная зона, даже без каких-нибудь следов глубже зоны оксиклина. Это свидетельствует о сильном загрязнении озера и высокой степени трофности, что подтверждается и малой величиной прозрачности.

Характер распределения зоопланктона в оз. Круглик представлен на рис. 2в. Наибольшая концентрация зоопланктона зарегистрирована в эпилимнионе (77%). В нижележащих слоях воды наблюдается резкое снижение численности ко дну и только 2% животных находятся в придонном слое 25–30 м.

Таким образом, в этой группе озер сохраняется характерная для лета термическая стратификация водной толщи. Однако, гиполимнион исследованных озер почти полностью лишен кислорода, а в придонных слоях воды может быть сероводородная зона. Для этой группы озер характерна самая высокая концентрация зоопланктона в верхних слоях воды, что, по-видимому, вызвано с низкой концентрацией кислорода в более низких слоях воды.

Температурные условия в этой группе озер не отличаются от предыдущих, как и распределение по глубинам (табл. 6). Богатым кислородом остается только эпилимнион, в металимнионе происходит его резкое снижение до полного отсутствия в более глубоких слоях воды. В отличие от озер других групп толща воды, начиная с пяти метров глубины, фактически лишена кислорода, что должно негативно отразиться на жизнедеятельности водных животных и прежде всего функционировании зоопланктонного сообщества и его расположения в пространстве.

Таблица 6. Распределение температуры (t , °C) и кислорода (O_2 , мг/л) в озерах III группы

Глубина, м	оз. Долгое (Бр) 26.07.2020 г.		оз. Бобыно 24.07.2016 г.		оз. Барковщина 06.08.2019 г.	
	t , °C	O_2 , мг/л	t , °C	O_2 , мг/л	t , °C	O_2 , мг/л
0	21.2	8.7	22.4	8.5	21.4	8.85
1	20.3	8.7	22	8.4	19.9	8.59
2	20.2	7.9	21.6	8.3	19.2	8.74
3	20.2	7.8	21.6	8.3	19.0	8.03
4	20.0	4.5	20.5	7.8	18.2	3.2
5	16.4	0.0	19.8	6.7	12.8	0.0
6	14.9	0.0	19.0	7.9	7.6	0.0
7	13.2	0.3	16.0	7.4	5.4	0.0
8	11.4	0.3	11.2	3.0	4.6	0.0
9	10.2	0.5	10.4	1.2	4.2	0.0
10	8.9	0.0	8.6	0.0	4.1	0.0
11	7.8	0.0	7.6	0.0	4.1	0.0
12	7.6	0.0	7.4	0.0	4.1	0.0
13	7.4	0.0	6.6	0.0	4.1	0.0
14	7.2	0.0	6.2	0.0	4.1	0.0
15	6.9	0.0	6	0.0	4.1	0.0
16	6.8	0.0	5.9	0.0	4.1	0.0
17	6.8	0.0	5.8	0.0	4.3	0.0
18	6.8	0.0	5.7	0.0	4.4	0.0
19	6.7	0.0	5.6	0.0	4.4	0.0
20	6.7	0.0	5.4	0.0	4.4	0.0
25	6.7	0.0	5.4	0.0	—	—
30	6.7	0.0	5.4	0.0	—	—
34	—	—	5.4	0.0	—	—

Таблица 7. Вертикальное распределение общей численности зоопланктона (%) в толще воды озер III группы

Глубина, м	оз. Долгое (Бр) (2.1 м)	оз. Бобыно (2.7 м)	оз. Барковщина (3.5 м)
0–5	66.0	44.1	54.4
5–10	15.4	19.9	26.5
10–15	4.8	18.8	11.0
15–20	3.0	12.3	8.0
20–25	4.5	1.3	—
25–30	6.4	1.6	—
30–33	—	2.0	—

Вертикальная структура зоопланктона характеризуется ростом концентрации в верхних слоях воды (табл. 7). Величины относительной численности в столбе воды, как правило, в слое эпилимниона превышают 50%.

Таблица 8. Степень агрегированности (%) зоопланктона в вертикальном столбе воды в разных по трофности озерах

Озеро	max	min	Разница max–min
Мезотрофные с чертами олиготрофии (I группа)			
Долгое (Гл)	38.0	1.4	36.6
Ричи	35.1	1.5	33.6
Юж. Волос	30.5	3.2	27.4
Гиньково	28.6	5.8	22.8
Болдук	31.3	1.8	29.5
Среднее	32.7	2.7	30.0
Мезотрофные (II группа)			
Сев. Волос	34.5	6.1	28.4
Сита	50.2	3.2	47.0
Дрисвяты	57.3	3.6	53.7
Вечелье	31.4	1.7	29.7
Волчин	31.2	4.8	26.4
Среднее	40.9	3.9	37.0
Эвтрофные (III группа)			
Бобыно	44.1	1.3	42.8
Круглик	63.0	2.0	61.0
Барковщина	54.4	8.0	46.4
Долгое (Бр)	65.9	3.0	62.9
Среднее	56.9	3.6	53.3

Для сравнения степени агрегированности зоопланктона в трех группах исследованных озер рассчитаны средние величины для максимальных и минимальных значений относительной численности в столбе воды (табл. 8). Несмотря на совпадение некоторых сравниваемых величин в разных по степени трофии озерах, особенно между двумя первыми группами, средние величины по максимальной концентрации зоопланктона имеют различия, более отчетливо выраженные между мезотрофными и эвтрофными озерами — в 1.4 раза. По-видимому, это связано с уменьшением жизненного пространства для размещения популяций при низкой концентрации кислорода в гипolimнионе этих озер. Низкая температура также не всегда благоприятна для большинства популяций, поэтому они концентрируются в верхних хорошо прогреваемых и аэрируемых слоях воды. Учитывая, что профили распределения температуры приблизительно одинаковы, вероятно, что продуктивным способом анализа может быть сравнение уровня агрегированности с дефицитом кислорода в отдельных озерах или с прозрачностью воды при многолетних наблюдениях.

Выводы. Зоопланктон в озерах всех трофических групп размещается в столбе воды неравномерно, с разной степенью концентрации на тех или иных горизонтах, что подтверждают и лите-

ратурные данные (Речкалов, Голубок, 2013; Собко, Климов, 2016). Максимальные концентрации зоопланктона зарегистрированы только в верхних слоях воды: в эпилимнионе или металимнионе, где интенсивно идут первичные продукционные процессы. Максимум зоопланктона в металимнионе чаще наблюдается в группе мезотрофных с чертами олиготрофии озерах, здесь же отмечен и небольшой рост численности в придонных слоях воды за счет холодолюбивой и оксифильной фауны.

Основные факторы, влияющие на распределение зоопланктона – концентрация растворенного кислорода и, в меньшей степени, температурные условия. Изменение пространственной структуры беспозвоночных более четко выражено в эвтрофных озерах, где идет сокращение вертикального жизненного пространства из-за дефицита кислорода в гипolimнионе и придонных слоях воды. Степень агрегации зависит от вертикального хода температуры и содержания кислорода, чем меньше концентрация кислорода в гипolimнионе, тем больше значения численности зоопланктона в зоне эпи- и металимниона. Агрегированность возрастает от мезотрофных водоемов к эвтрофным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вежновец В.В.* 2012. Особенности вертикального распределения зоопланктона в димиктических озерах // Актуальные проблемы изучения ракообразных континентальных вод: Сб. лекций и докл. Межд. шк.-конф. Ин-та биологии внутр. вод РАН, Борок, 5–9 ноября 2012 г. С. 153.
- Вежновец В.В.* 2018. Изменение состояния популяции *Limnocalanus macrurus* Sars (Copepoda, Calanoida) под влиянием высокой летней температуры // Гидробиол. журн. № 1(319). Т. 54. С. 27.
- Вежновец В.В., Литвинова А.Г.* 2021. Биология представителей рода *Eurytemora* (Copepoda, Calanoida) в водоемах Беларуси. Минск: Белорусская наука.
- Подшивалина В.Н.* 2021. Особенности распределения зоопланктона в зоне влияния притоков водохранилищ Средней Волги // Биология внутр. вод. № 5. С. 472.
<https://doi.org/10.31857/S0320965221050156>
- Речкалов В.В., Голубок О.В.* 2009. Особенности распределения зоопланктона озера Увильды (Южный Урал) в период летней стратификации // Вестн. Оренбург. ун-та. № 10. С. 482–485.
- Речкалов В.В., Голубок О.В.* 2013. Соотношение численности зоопланктонов основных таксономических групп в водной толще термически стратифицированных озер различной трофности // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. № 10(159). С. 79.
- Рогозин А.Г.* 2000. Особенности структурной организации зоопланктонного сообщества в озерах разного трофического статуса. Видовые популяции // Экология. № 6. С. 438.
- Рудяков Ю.А.* 1986. Динамика вертикального распределения пелагических животных. Москва: Наука.
- Сиделева В.Г.* 2020. Вертикальное распределение, сезонная дифференциация и траектория перемещения зоопланктона и пелагических рыб озера Байкал // Тр Зоол. ин-та РАН. 324(4), С. 449.
<https://doi.org/10.31610/trudyzin/2020.324.4.449>
- Собко Е.И., Климов С.И.* 2016. Исследование вертикального распределения зоопланктона в озере Масьельское в период летней стратификации // Мат. V Межд. науч. конф. “Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды” (Минск–Нарочь, 12–17 сентября 2016 г.). С. 256.
- Сярки М.Т., Фомина Ю.Ю.* 2019. Зоопланктон Онежского озера, его центрального плеса и залива Большое Онего в разные по температурному режиму годы // Тр. Карел. науч. центра РАН. № 9. С. 104.
<https://doi.org/10.17076/lim982>
- Battes K.P., Momeu L.* 2014. Diel vertical distribution of planktonic microcrustaceans (Crustacea: Cladocera, Copepoda) in a natural shallow lake from Transylvania, Romania // J. Limnol. № 73(2). P. 236.
- Comp G.S.* 1979. Diel and seasonal patterns in the vertical distribution of zooplankton in Lake Conway, Florida. M.S. Thesis, University of Florida, Gainesville – Florida, U.S.A.
- Shah J.A., Pandit A.K., Shah G.M.* 2013. Distribution, diversity and abundance of copepod zooplankton of Wular Lake, Kashmir Himalaya // J. Ecol. Nat. Environ. P. 24.

Vertical Structure of Zooplankton in Stratified Lakes of Belarus with Varying Degrees of Trophy

V. Vezhnavevs^{1, *} and M. Zhurauliou¹

¹Scientific and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus on Bioresources, Minsk, Republic of Belarus

*e-mail: vezhn47@mail.ru

The vertical distribution of zooplankton in stratified lakes of Belarus, which differ in basic ecological conditions and degree of trophy in the summer, has been studied. The features of the formation of the vertical structure of lakes for pelagic zooplankton in thermally stratified reservoirs with a different combination of transparency, temperature and oxygen content have been established. There have been identified 3 groups of lakes that differ in the vertical abundance distribution. With an increase in trophic capacity, the degree of aggregation of zooplankton and its confinement to the upper well-warmed and oxygen-rich layers of water increases.

Keywords: zooplankton, lakes, vertical structure, abundance, habitat conditions