

СУТОЧНАЯ ДИНАМИКА ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗООПЛАНКТОНА В ГИПЕРТРОФНОМ ОЗЕРЕ В ПЕРИОД ЛЕТНЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРАТИФИКАЦИИ

DIURNAL DYNAMICS OF VERTICAL DISTRIBUTION OF ZOOPLANKTON IN THE HYPERTROPHIC LAKE DURING SUMMER THERMAL STRATIFICATION

E. Karpeschuk

Summary. The diurnal dynamics of vertical distribution of pelagic zooplankton has been examined in hypertrophic lake during summer thermal stratification. Vertical reorganizations of the zooplankton complex in the lake Malyi Terenkul happens due to migrations of the copepods and rotifers. We have elicited differences from scientific literature data in the pattern of zooplankton migrations. The causes of these differences are features of ecological conditions: low transparency, intensive development of phytoplankton, high concentration of detritus, anoxic conditions in the thermocline and hypolimnion.

Keywords: zooplankton, vertical distribution, hypertrophic waterbody, migrations.

Карпещук Екатерина Васильевна

Аспирант, ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет»

katy23basil@gmail.com

Аннотация. Исследована суточная динамика вертикального распределения пелагического зоопланктона в гипертрофном озере в период летней термической стратификации. Вертикальные перестройки зоопланктонного комплекса озера Малый Теренкуль формируются за счёт миграций представителей веслоногих ракообразных и коловраток. Выявлены расхождения с литературными данными в характере вертикальных миграций зоопланктеров. Причинами расхождений являются особенности условий обитания: низкая прозрачность, интенсивное развитие фитопланктона, высокое содержание детрита, наличие бескислородных условий в нижних горизонтах.

Ключевые слова: зоопланктон, вертикальное распределение, гипертрофный водоём, миграции.

Введение

Вертикальное распределение и суточные вертикальные миграции зоопланктона являются важными характеристиками водных экосистем, которые формируются в результате действия комплекса экологических факторов.

Анализ суточной динамики вертикального распределения позволяет оценить вертикальное перераспределение и трансформацию вещества в гидробиоценозах, определить направленность потока вещества и энергии, что может быть использовано в рамках экологического мониторинга водоёмов. При интерпретации результатов учитывается как биология отдельных компонентов зоопланктона, наличие и характер существующих трофических связей, особенности динамики распределения в различных водоёмах, так и взаимодействие с физическими и химическими факторами окружающей среды.

Для пресных водоёмов установлена чёткая зависимость суточной динамики вертикального распределения от различных физических (свет, температура), химических (содержание O_2 и наличие токсичных веществ) и биологических факторов.

Трофический статус водоёма является интегральной характеристикой, определяемой множеством взаимосвязанных физико-химических и биологических процессов [9]. Гипертрофные водоёмы характеризуются условиями, которые отличаются от таковых в пресных водоёмах. Низкая прозрачность, связанная с интенсивным развитием сине-зелёных водорослей и наличием взвесей, большая минерализация и повышенное содержание биогенных веществ в водоёме. Продукты жизнедеятельности водорослей неблагоприятно влияют на развитие зоопланктонных организмов. В верхних слоях часто возникает избыток кислорода, а у дна — значительный недостаток. Соответственно характер суточной динамики вертикального распределения зоопланктеров также должен иметь различия.

Цель работы — проанализировать суточную динамику вертикального распределения зоопланктона в озере Малый Теренкуль (Южный Урал) и выявить причины, оказывающие влияние на вертикальное распределение зоопланктеров.

Материал и методы исследования

Озеро Малый Теренкуль — небольшой (площадь водного зеркала 0,98 км²) водоем тектонического про-

Видовой состав, численность и биомасса зоопланктона оз. Малый Теренкуль 25–26 августа 2013 г.

Таксон	Численность, экз/м ³	Биомасса, мг/м ³
Cladocera		
<i>Daphnia longispina</i> (O.F. Muller, 1785)	86	1,16
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller, 1785)	719	19,1
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke, 1844)	263	70,7
Всего по группе	1068	104,76
Copepoda		
<i>Cyclopoida: Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857), <i>Thermocyclops oithonoides</i> (Sars, 1863)	89447	1226,2
Соп	8199	152,7
Nauplii	52367	26,2
Всего по группе	150013	1405,5
Rotifera		
<i>Asplanchna priodonta</i> (Gosse, 1850)	297	5,9
<i>Brachionus diversicornis</i> (Daday, 1883)	5911	8,9
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)	3695	1,1
<i>Keratella quadrata</i> (Muller, 1786)	289	0,56
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)	3716	7,4
<i>Pompholyx sulcata</i> (Hudson, 1885)	2698	0,28
<i>Trichocerca capucina</i> (Wierzejski et Zacharias, 1893)	9447	18,9
Всего по группе	26053	43,04
Всего для зоопланктона	177134	1553,3

*Приведены среднесуточные значения.

**Помимо перечисленных видов в пробах отмечены единичные экземпляры *Chydorus sphaericus* (O.F. Muller, 1785), *Ceriodaphnia quadrangula* (O.F. Muller, 1785), *Daphnia cucullata* (Sars, 1862), *Euchlanis dilatata* (Ehrenberg, 1832), *Lecane luna* (O.F. Muller, 1785), *Polyarthra sp.* (Ehrenberg, 1832), численность и биомасса которых не определялась.

исхождения, расположенный в Чебаркульском районе Челябинской области. Максимальная глубина — 19 м, средняя — 9 м. Водоем характеризуется высоким показателем глубинности (9,09), что предопределило резкое термическое расслоение вод в теплый период [2]. Начиная с 1926 г. в озеро поступают хозяйственные стоки со стороны рекреационных объектов курортной зоны [2]. Особенности строения котловины, чрезвычайно низкий показатель открытости водоема приводили к застойному режиму вод и, как следствие, озеро имело невысокую способность к самоочищению и очень скоро перестало справляться с ролью разбавителя коммунальных стоков [1]. Начиная с глубины 5 м содержание кислорода не превышает 0,5 мг/л, появляется сероводород [5]. По современному состоянию данное озеро может быть отнесено к переходному гипер-политрофному типу [6].

Исходные материалы были собраны 25–26 августа 2013 года. Станция находилась в центральной части водоёма. Глубина на станции — 15 м. Для отбора проб зоопланктона использовали стандартную количественную

сеть Джели (диаметр верхнего кольца 18 см., нижнего — 24 см., фильтрующий материал — газ 64). Материалы отбирали с горизонтов 0–3, 3–6, 6–9, 9–12 и 12–15 м. Ход сети — 3 м. Интервал между съёмками 4 ч., начиная с 8:00 утра. Отбор в 4 ч. утра осуществить не удалось в связи с начавшейся грозой. Прозрачность воды определяли по диску Секки. Измеряли температуру от поверхности до дна. Пробы зоопланктона обрабатывали по общепринятым методикам [3]. Для определения биомассы использовали таблицы средних весов с учетом размера организмов Мордухай-Болтовского [4]. Всего отобрано и обработано 25 количественных проб.

Результаты и обсуждение

В летнее время водная толща термически стратифицирована (рис. 1). Верхние слои хороши прогреты (до 22,5°C). Термоклин чётко выражен и располагается на глубине 4–9 м. Разность температур поверхностного и придонного слоев на время измерений составила 13,5°C. Прозрачность по диску Секки на момент отбора проб была не более 50 см.

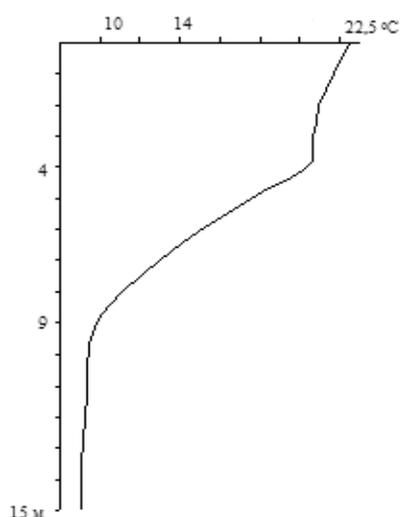


Рис. 1. Температура (°C) на разных глубинах (м) на станции 25 августа 2013

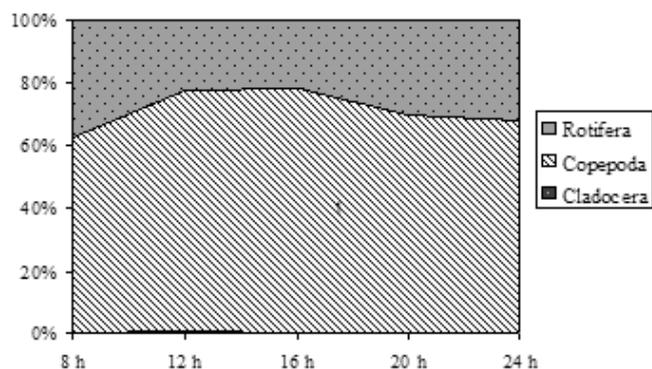


Рис. 2. Суточная динамика соотношения таксономических групп в зоопланктонном комплексе оз. Малый Теренкуль (25–26 августа 2013 г.)

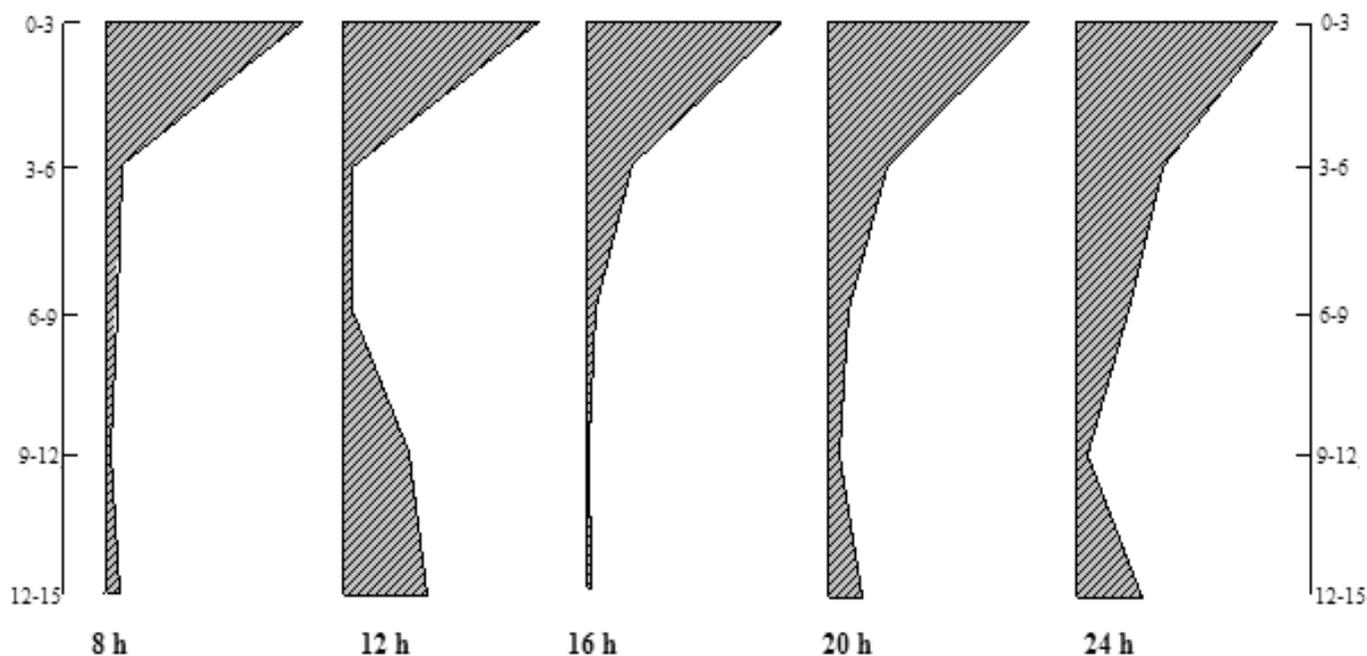


Рис. 3. Суточная динамика вертикального распределения биомассы (г/м³) зоопланктона в оз. Малый Теренкуль 25–26 августа 2013 г.: по оси ординат — глубина (м)

Видовой состав зоопланктона представлен 18 видами: 6 — Cladocera, 2 — Copepoda, 10 — Rotifera (см. таблицу).

По численности доминировали науплии, копеподы и взрослые стадии циклопид. Процент копепод в зоопланктонном комплексе в течение суток варьи-

ровал в интервале 62,4 до 77, 8%, коловраток — от 21,6 до 37,2%, кладоцер — от 0,2 до 0,8% (рис. 2).

Низкая численность наблюдалась у *Daphnia longispina*, *Leptodora kindtii*, *Asplanchna priodonta*, *Keratella quadrata*. Представлены единичными экземплярами *Chydorus sphaericus*, *Ceriodaphnia*

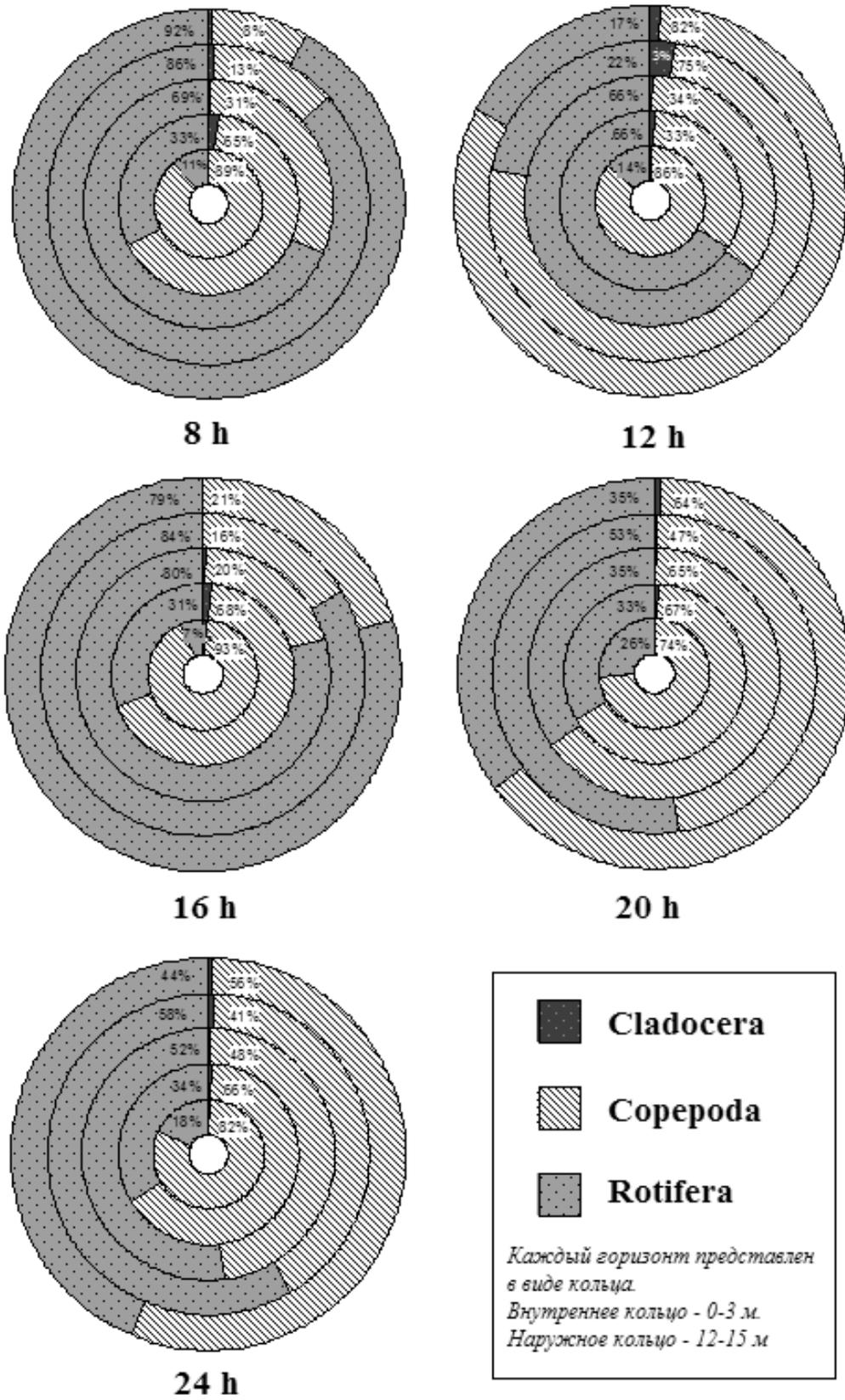


Рис. 4. Суточная динамика доли различных таксономических групп в общей численности зоопланктона на разных горизонтах

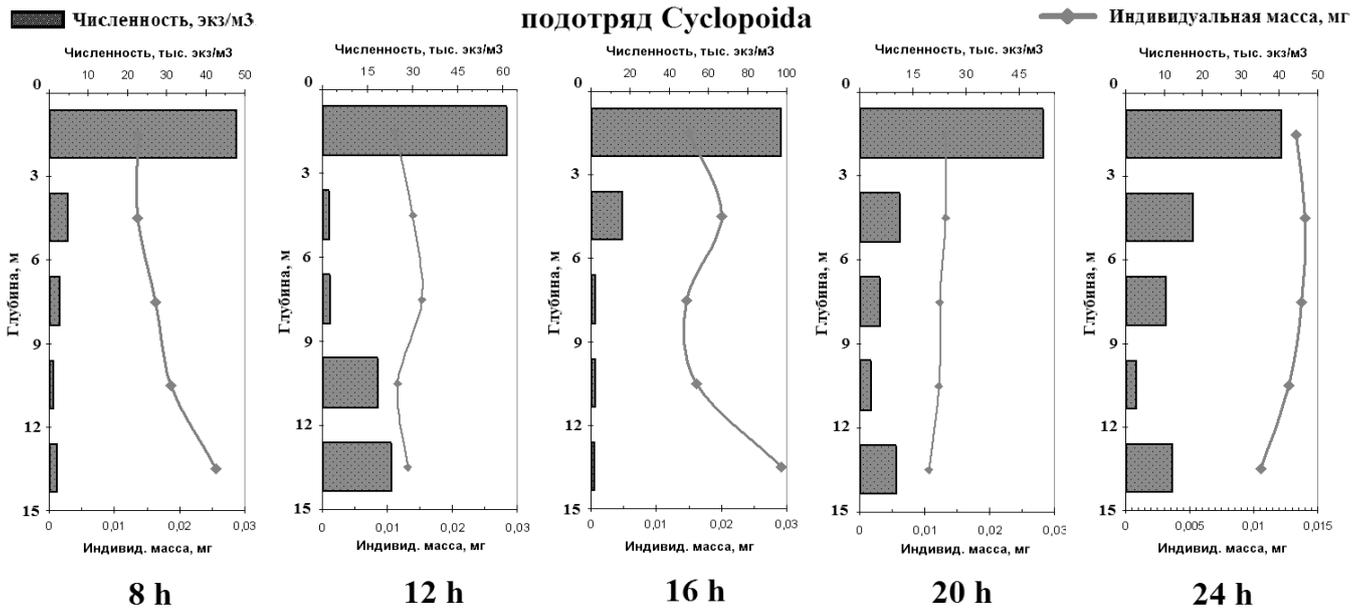


Рис. 5. Суточное вертикальное распределение взрослых особей семейства Cyclopoida: диаграммы — численность (экз/м³), графики — индивидуальная биомасса (мг)

quadrangula, Daphnia cucullata, Euchlanis dilatata, Lecane luna, Polyarthra sp.

Вертикальные перестройки зоопланктонного сообщества слабо выражены. В течение всего времени максимум биомассы отмечается в эпилимнионе на глубине 0–3 м (рис. 3). Перед полуднем начинается краткосрочное опускание зоопланктона в нижние холодноводные горизонты, которое затем сменяется его подъемом. В полдень второй максимум биомассы регистрируется в зоне гиполимниона. В дневное и вечернее время зоопланктон сосредоточен главным образом в верхних и средних слоях, что соответствует зонам эпи- и металимниона. В сумерки начинается плавное опускание, которое длится до середины ночи. Об этом свидетельствует график вертикального распределения биомассы в полночь, который характеризуется относительной выравниванностью в зонах мета- и гиполимниона.

Вертикальное распределение зоопланктона на момент начала отбора проб характеризуется закономерным снижением с глубиной доли копепод и увеличением доли коловраток (рис. 4).

К полудню наблюдается явление краткосрочного опускания копепод в нижние горизонты: регистрируется 2 максимума численности — в приповерхностном слое и зоне гиполимниона. После начинается их подъем к верхним слоям и к 16 ч. максимум фиксируется в зоне эпилимниона (93 и 68%). Сумеречное время характеризуется плавным опусканием в глубинные слои, в ре-

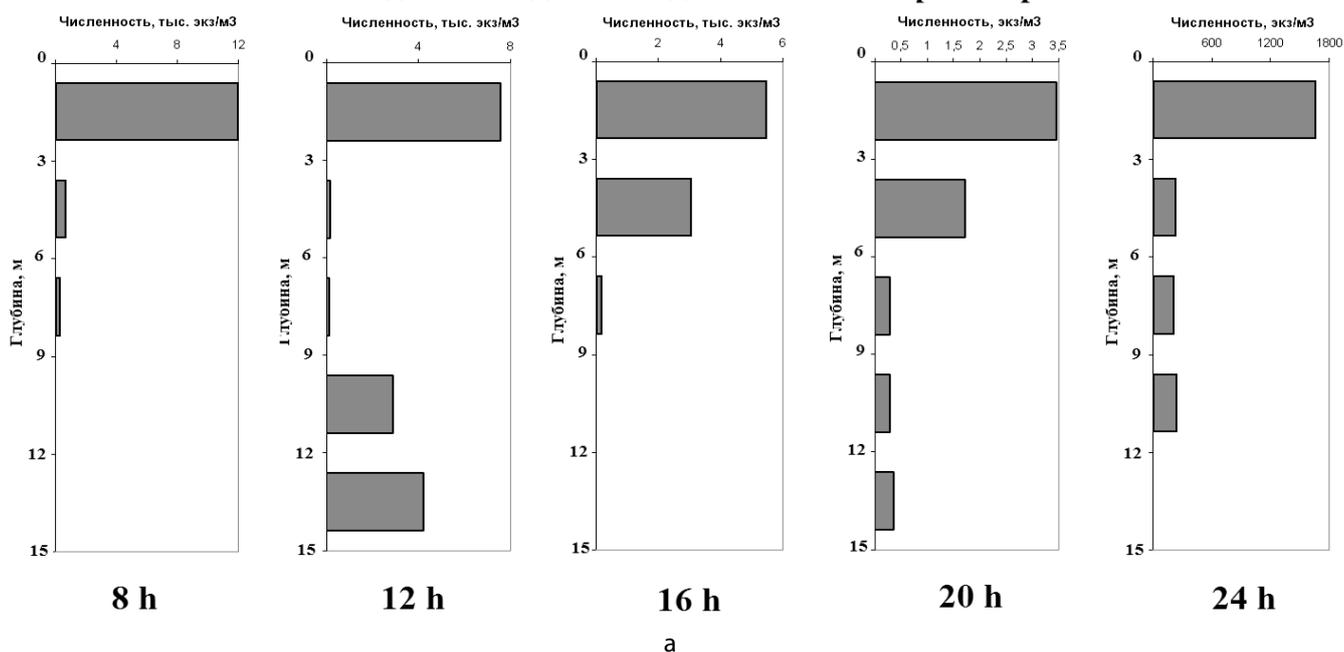
зультате чего распределение становится относительно равномерным, после происходит постепенный подъем к поверхности, который длится всю ночь. Максимум доли копепод в течение суток фиксируется в верхнем слое толщи воды.

Представители типа Rotifera к 12 ч. начинают подъем в средние горизонты, который заканчивается опусканием в нижние горизонты в вечернее время. В сумерки начинается подъем, который прекращается незадолго до полуночи, и сменяется плавным опусканием, длящимся всю ночь. Кладоцеры на протяжении суток осуществляют вертикальные миграции в зоне термоклина и холодноводных слоёв, избегая верхних горизонтов.

Анализ данных по вертикальным перестройкам отдельных групп зоопланктона показал, что в характере вертикальных миграций имеются расхождения с имеющимися литературными данными [7,8].

Представители семейства Cyclopoida отличаются отрицательным фототаксисом и являются типичными ночными мигрантами, совершают прямые миграции, уходя в глубоководные слои с проникновением в водную толщу первых лучей солнца. В озере Малый Теренкуль максимум численности взрослых циклопид постоянно регистрируется в горизонте 0–3 м (рис. 5), что противоречит характеристике прямых миграций. Крупные особи являются активными мигрантами: в утреннее и дневное время они сосредоточены в нижних горизонтах, в промежуток и в сумеречное время наблюдается их подъем

Копеподиты младших стадий веслоногих ракообразных



Nauplii

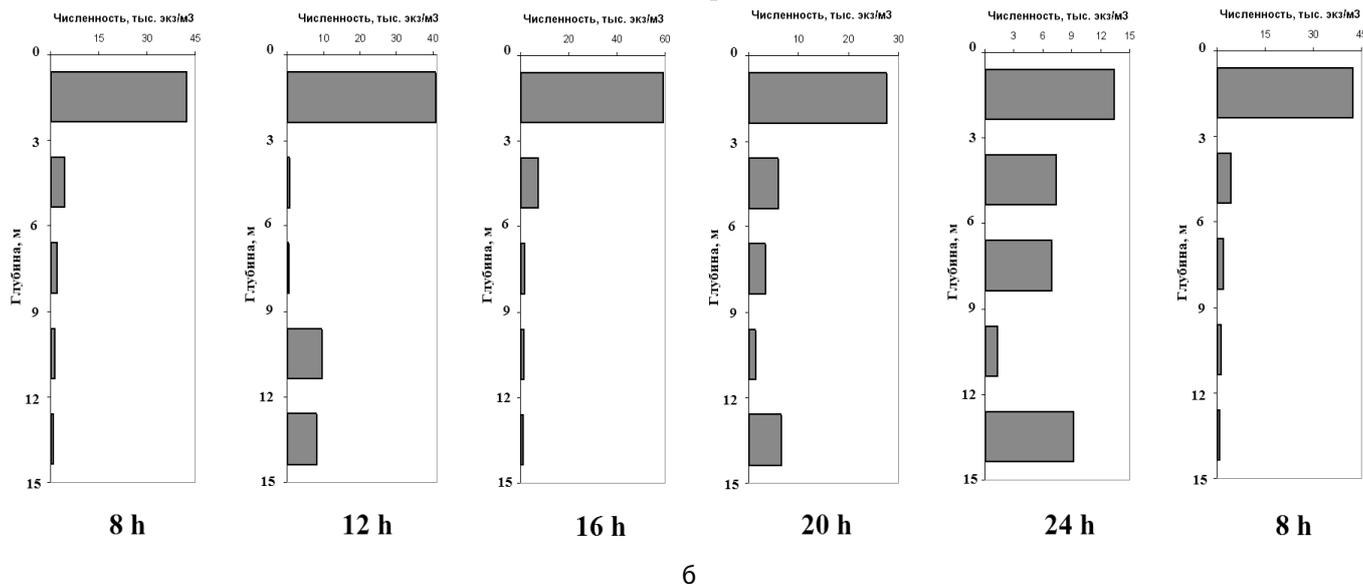


Рис. 6. Суточное вертикальное распределение младших стадий семейства Cyclopoida: а — копепоиды, б — науплии

в верхние слои. Максимальная концентрация в эпилимнионе приходится на 24 ч. Низкая прозрачность из-за большого количества взвесей и бурного развития фитопланктона способствует рассеиванию света в поверхностном слое и препятствует его проникновению в более глубокие горизонты. В результате чего миграции взрослых циклопид выражены у крупных особей, которые являются более восприимчивыми к интенсивности

света. Мелкие особи продолжают кормиться в густонаселенных верхних слоях.

Науплии ракообразных, согласно литературным данным, не мигрируют или мигрируют слабее взрослых, обладая стойкостью к УФ-лучам. Копепоиды обычно ведут себя как сумеречные мигранты, появляясь у поверхности в большом количестве вечером и на рассвете. Раз-

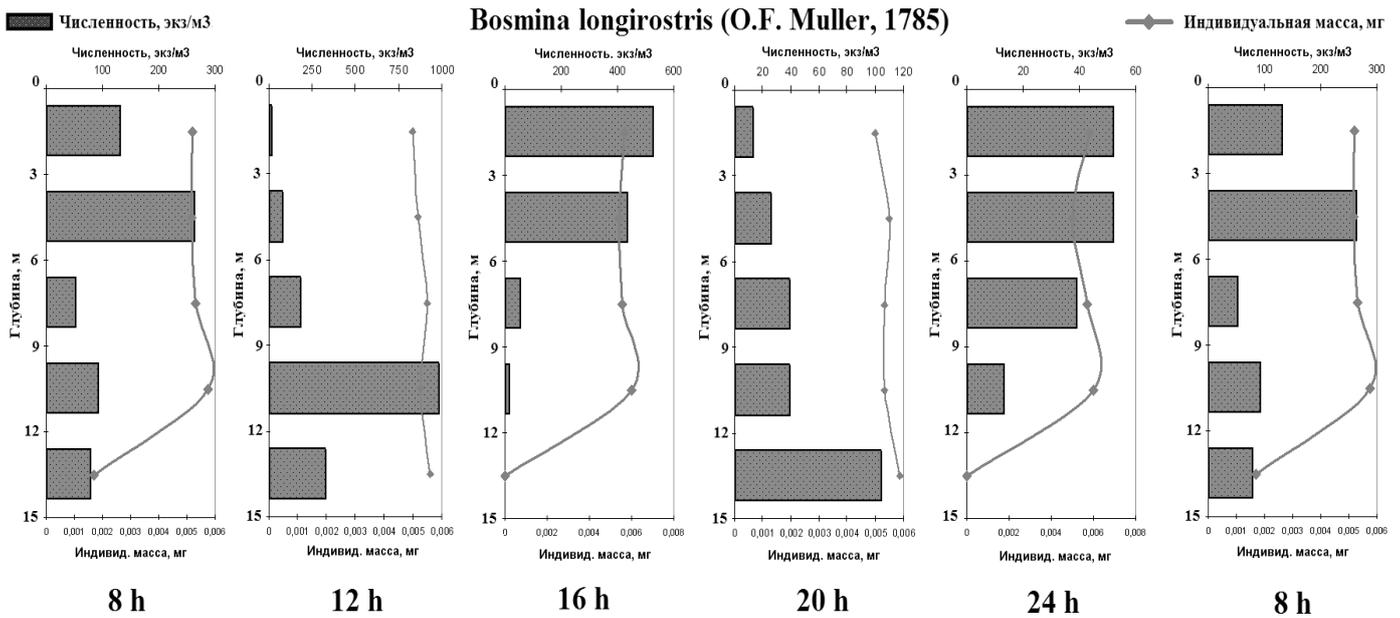


Рис. 7. Суточное вертикальное распределение *Bosmina longirostris*: диаграммы — численность (экз/м³), графики — индивидуальная биомасса (мг)

ные возрастные стадии циклопид (рис. 6) в озере Малый Теренкуль сосредоточены преимущественно в верхних горизонтах. К полудню фиксируется их смещение в нижние слои, которое сменяется подъемом. С наступлением сумерек начинается опускание, которое более выражено у науплиальных стадий (рис. 6б). При этом максимум численности регистрируется в хорошо прогретом поверхностном слое, густонаселенном организмами, входящими в спектр питания молоди копепоид *Bosmina longirostris*, *Filinia longiseta* и *Trichocerca capucina* относятся к видам, которые не мигрируют в течение суток, остаются всегда на одном уровне. В озере Малый Теренкуль вертикальное перестройки данных видов в течение суток ярко выражены.

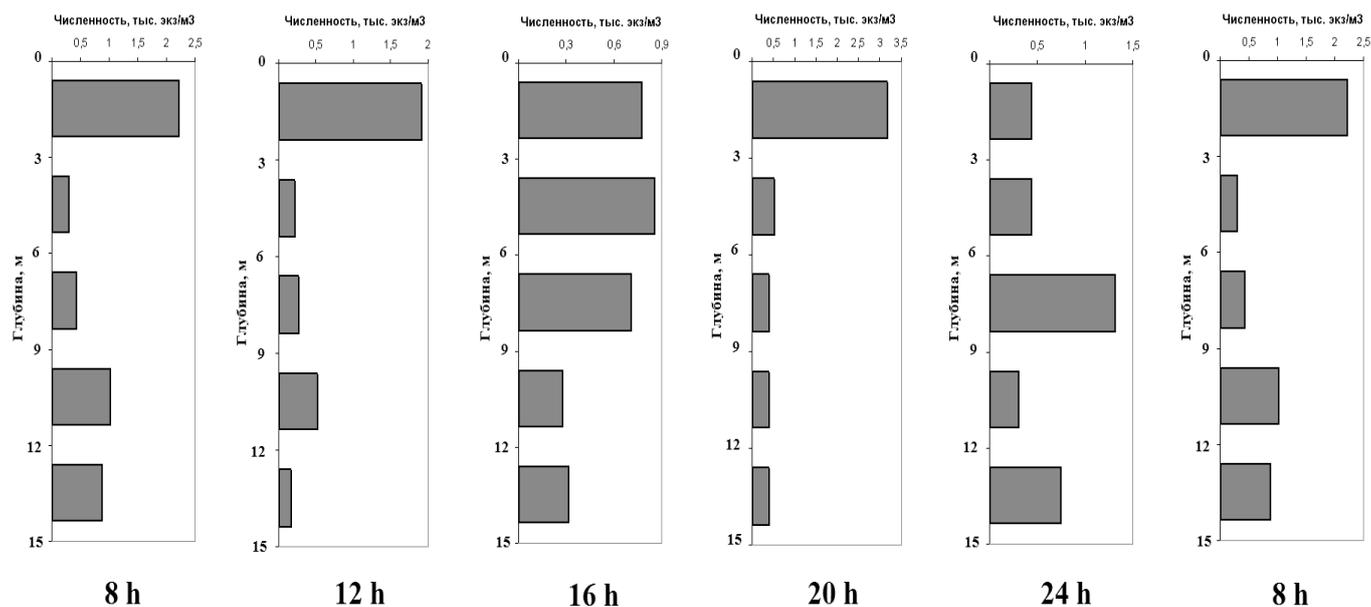
Bosmina longirostris (рис. 7) в озере Малый Теренкуль занимает промежуточное положение между сумеречными (максимум в поверхности вечером и перед рассветом) и ночными мигрантами. В суточной динамике вертикального распределения выражены 2 опускания (12 ч. и 20 ч), сменяющиеся подъемами (16 ч. и 24 ч.). Активно мигрируют мелкие особи, крупные концентрируются на нижней границе термоклина. В озере Малый Теренкуль ниже термоклина наблюдается скопление значительного количества детрита, который входит в спектр питания *Bosmina longirostris*, с чем и может быть связано подобное миграционное поведение. Также, по-видимому, величина светового оптимума *Bosmina longirostris* выше, чем интенсивность света в верхних слоях в условиях низкой прозрачности.

Вертикальное распределение *Filinia longiseta* (рис. 8a) и *Trichocerca capucina* (рис. 8б) относительно постоянно в течение суток с максимумом в слое 0–3 м. К полуночи наблюдается перемещение особей и их высокая концентрация в металимнионе и горизонте 12–15 м. Представители *Filinia longiseta* к 16 ч. равномерно распределяются в верхних слоях. Второй максимум численности *Trichocerca capucina* в утреннее время регистрируется в гипolimнионе.

Asplanchna priodonta в озере Малый Теренкуль мигрирует в верхних и нижних слоях, избегая зону металимниона. Вертикальное распределение сохраняет относительную однородность, что соответствует литературным данным. Крупная коловратка *Brachionus diversicornis* концентрируется преимущественно в эпилимнионе. Особи *Pompholyx sulcata* концентрируются преимущественно в нижних горизонтах, в сумеречное и ночное время поднимаясь и мигрируя в зоне эпилимниона.

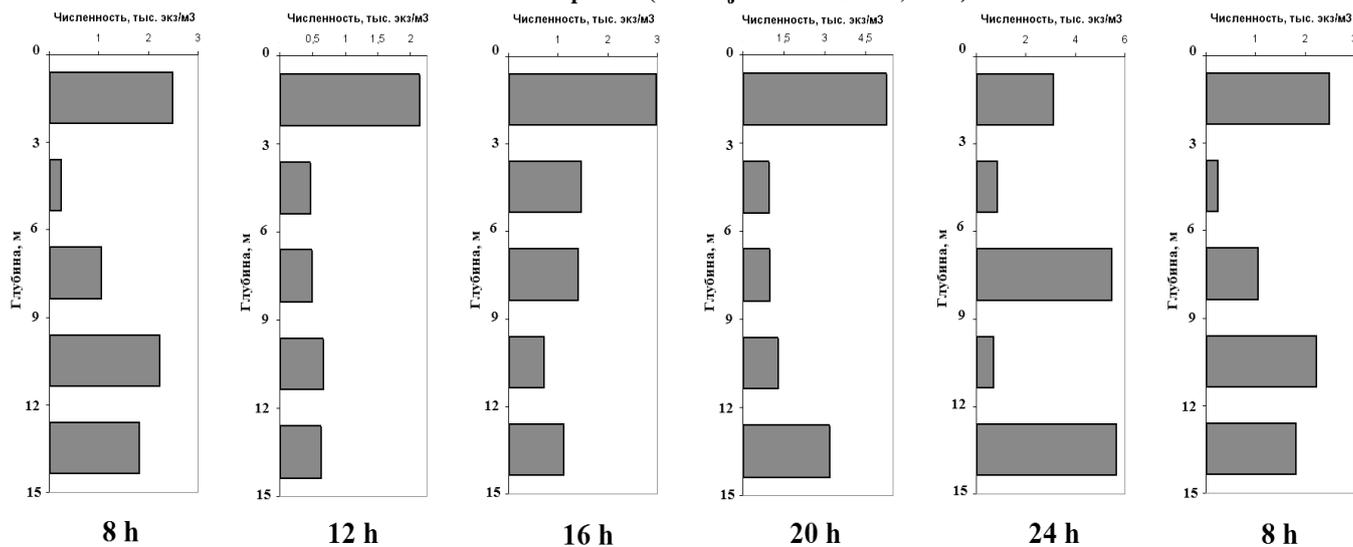
Графики суточной динамики вертикального распределения *Keratella cochlearis* (рис. 9a) и *Keratella quadrata* (рис. 9б) характеризуются определенной разнонаправленностью. *Keratella cochlearis* концентрируется в зоне ниже границы термоклина, что также может быть связано с наличием детрита в данном слое. В дневное время максимум численности фиксируется в верхнем слое. Просматривается определенная закономерность в вертикальном распределении *Keratella quadrata*. Особи данного вида не появляются у поверх-

Filinia longiseta (Ehrenberg, 1834)



а

Trichocerca capucina (Wierzejski et Zacharias, 1993)



б

Рис. 8. Суточное вертикальное распределение зоопланктона:
а — *Filinia longiseta*, б — *Trichocerca capucina*

ности при солнечном и лунном свете, когда могут стать пищевым объектом для молоди копепод. В динамике вертикального распределения выражены 2 опускания и 1 вечерний подъем к поверхности в течение суток. Наиболее высокая плотность отмечается ниже термоклина утром, днём и ночью, выше — в вечернее время. Разнонаправленность миграций некоторых видов коловраток является результатом компенсации конкурентных взаимоотношений.

Daphnia longispina описывается как типичный дневной мигрант с обратным типом миграций. В озере Малый Теренкуль вертикальное распределение *Daphnia longispina* (рис. 10а) на протяжении суток характеризуется максимумом численности в верхних хорошо прогретых слоях, дневным и ночным опусканием в нижние холодноводные горизонты. В условиях низкой прозрачности особи *Daphnia longispina* менее заметны для хищников, что позволяет им спокойно

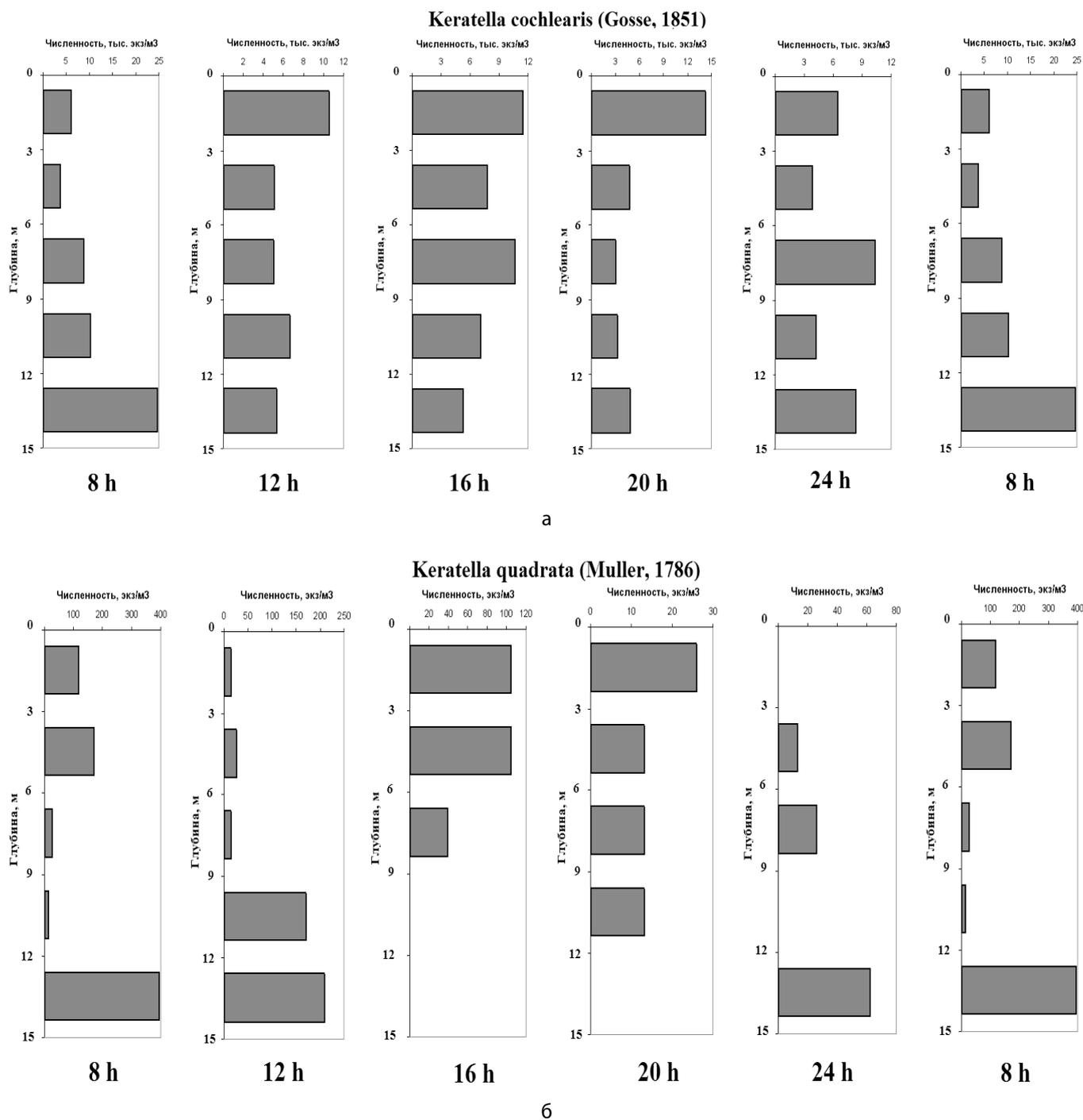
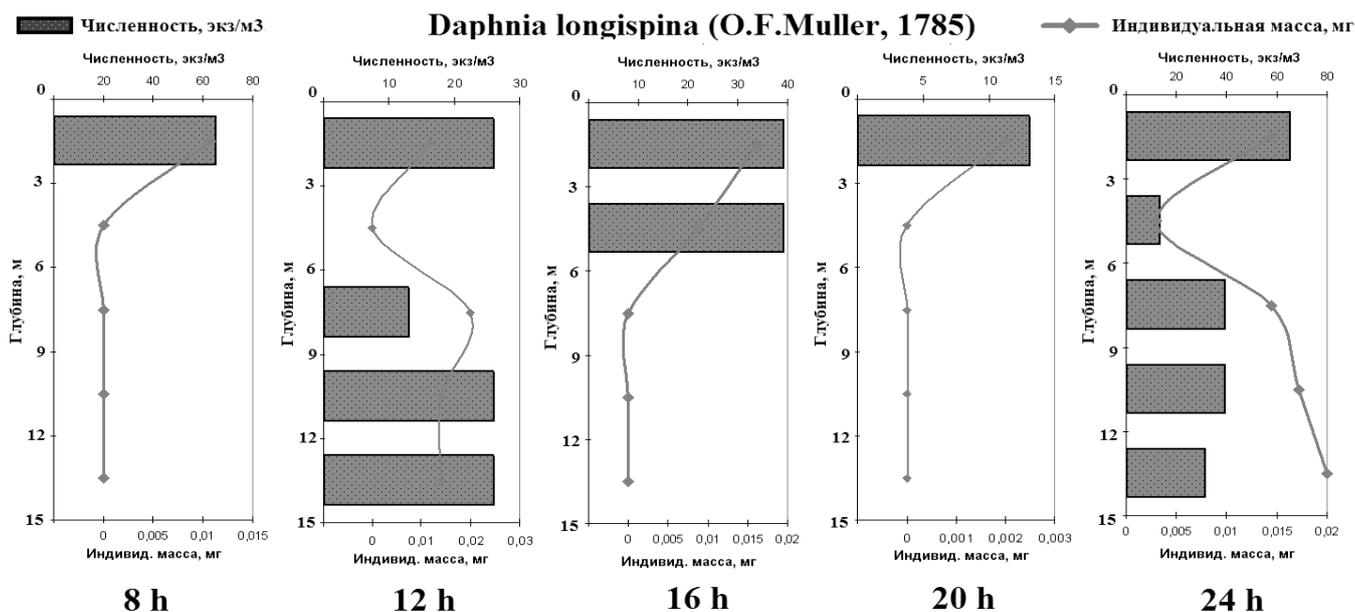


Рис. 9. Суточное вертикальное распределение зоопланктона:
а — *Keratella cochlearis*, б — *Keratella quadrata*

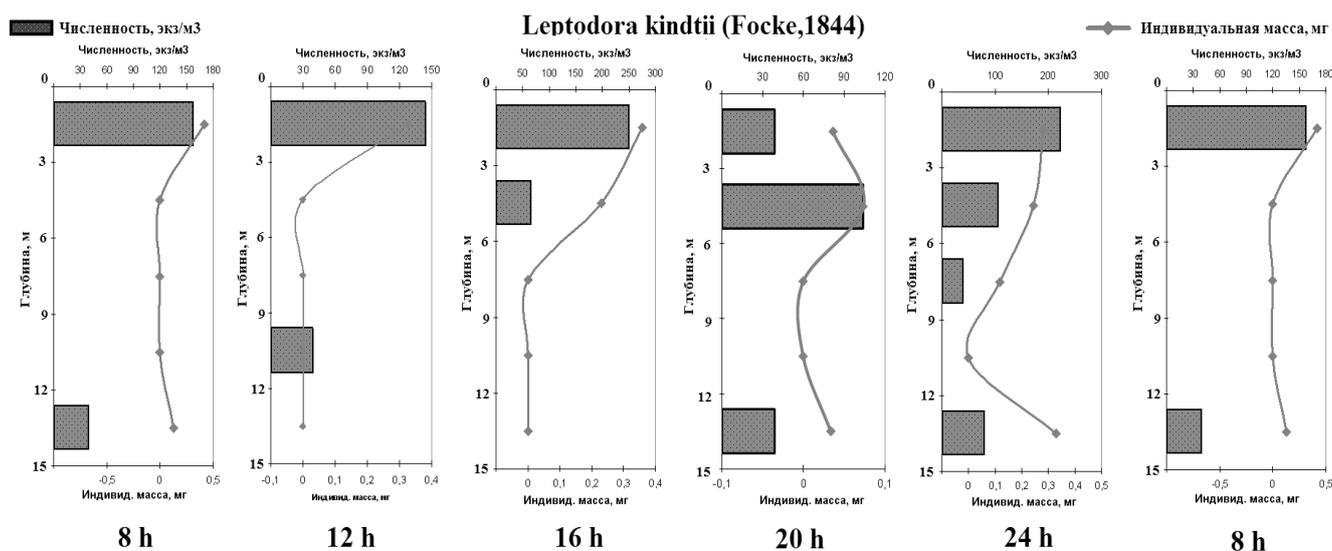
кормиться в дневное время в хорошо прогретых верхних слоях и спускаться в холодноводные горизонты для её переваривания. Высокая плотность хищного рачка *Leptodora kindtii* (рис. 10б) фиксируется в верхних горизонтах, где наблюдается наибольшая концентрация пищи. Мелкие особи сосредоточены в горизонте 12–15 м.

Выводы

Анализ полученных данных показал, что вертикальное распределение зоопланктонного комплекса озера Малый Теренкуль формируется за счёт доминирования копепод и коловраток, совершающих миграции в течение суток. Вертикальные перестройки включают слабовыра-



а



б

Рис. 10. Суточное вертикальное распределение зоопланктона:
 а — *Daphnia longispina*, б — *Leptodora kindtii*;
 диаграммы — численность (экз/м³), графики — индивидуальная биомасса (мг)

женное дневное и ночное опускание, которое сменяется поднятием. Максимум регистрируется в верхних слоях.

По суточной динамике вертикального распределения прослеживаются связи между копеподитными и науплиальными стадиями циклопид и *Keratella quadrata*, взрослыми циклопидами и спектром их потенциальных жертв — коловратками и *Daphnia longispina*, а также между рядом видов типа Rotifera.

Температура как экологический фактор не оказывает существенного влияния на организмы зоопланктона в связи с отсутствием в их составе stenothermic видов. Представители зоопланктона озера Малый Теренкуль в течение суток встречаются по всей водной толще, достигая высокой концентрации в слоях с конкретным температурным диапазоном. *Keratella quadrata* и младшие стадии циклопид избегают зону металимниона. Влияние света как фактора отмечено для крупных

особей семейства Cyclopoida, представителей *Bosmina longirostris*.

В характере миграций отдельных видов зоопланктона имеются расхождения с литературными данными, причина которых кроется в особенностях условий обитания — низкой прозрачности, высокого содержания детрита и дефицита кислорода вплоть до его отсутствия в нижних горизонтах. Низкая прозрачность из-за большого количества взвесей и бурного развития фитопланктона способствует рассеиванию света в поверхностном слое и препятствует его проникновению в более глубокие горизонты, в результате чего особи, чувствитель-

ные к уровню освещенности, находятся в рамках своего светового оптимума и практически не мигрируют. Также происходит снижение визуального риска хищничества. Практически постоянная низкая температура в глубинных слоях в течение года препятствует плотностному перемешиванию вод и способствует сохранению анаэробной зоны в глубинных и придонных слоях и накоплению детрита. Дефицит кислорода приводит к избеганию некоторыми видами зоопланктона нижних горизонтов и концентрированию в этих слоях организмов-детритофагов, устойчивых к бескислородным условиям. Насыщенные кислородом поверхностные слои отличаются высокой плотностью на протяжении суток.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров, С. Г. Современное состояние экосистемы озера Большой Кисегач [Текст] / С. Г. Захаров // Охрана природы Южного Урала. — 2006. — С. 29–30.
2. Захаров, С. Г. Озеро Большой Кисегач [Текст] / С. Г. Захаров. — Челябинск, 2002. — 45 с.
3. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / под ред. Винберга Г. Г. — Л.: ГосНИОРХ, 1984. — 34 с.
4. Мордухай-Болтовский, Ф. Д. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Ф. Д. Мордухай-Болтовской. — М.: Наука, 1975. — С. 171–175.
5. Речкалов В. В. Вертикальное распределение зоопланктона термически стратифицированных озёр Челябинской области [Текст] / Речкалов В. В., Голубок О. В. // Вестник Челябинского государственного университета. — 2011. — № 5 (220) — Экология. Природопользование. Вып. 5. — С. 110–124.
6. Рогозин А. Г. Зоопланктон озера Малый Теренкуль (Южный Урал) [Текст] / А. Г. Рогозин // Известия Челябинского научного центра. — 2009. — Вып.3(45). — С. 29–33.
7. Вербицкий, В. Б. Лекция 13/ Курс лекций по планктологии [Электронный ресурс] / В. Б. Вербицкий. — 30.06.2018.// ИБВВ РАН. — URL: <http://ibiw.ru/edu/30.06.2018.>
8. Вербицкий, В. Б. Лекция 14/ Курс лекций по планктологии [Электронный ресурс] / В. Б. Вербицкий. — 30.06.2018.// ИБВВ РАН. — URL: <http://ibiw.ru/edu/30.06.2018.>
9. Корнеева Л. Г. Лекция 3/ Курс лекций по проблемам эвтрофирования водных экосистем [Электронный ресурс] / Л. Г. Корнеева. — 30.06.2018.// ИБВВ РАН. — URL: <http://ibiw.ru/edu/30.06.2018.>

© Карпещук Екатерина Васильевна (katy23basil@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

