

**ВЕРТИКАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ПЛАНКТОННОГО
СООБЩЕСТВА СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ОЗЕР
(на примере оз. Рудаково НП «Нарочанский»)**

The article is devoted to the results of investigations the vertical structure of plankton in the stratified lake Rudakovo. The vertical profile of distribution phytoplankton, bacterial plankton, zooplankton and fluorescence of the suspended matter (seston), abundance of chlorophyll *a* were obtained. The maximum values are pronounced for the metalimnion in the field of thermocline almost for all of investigated parameters. The contribution of individual groups of the plankton community is estimated. It is determined that the supreme part in the processes of transformation of organic substance is belongs to the bacterial plankton.

Вертикальное распределение планктона, изменение с глубиной его состава и количества, закономерности этого распределения и определяющие его факторы – все это имеет большой теоретический и практический интерес. С вертикальным распределением планктона связан круговорот веществ в водоеме, передача энергии и транспорт органических веществ от поверхности на глубину, миграция животных – планктофагов (рыб и др.). Им определяются пищевые ресурсы и пищевые взаимоотношения организмов на разных глубинах. Неоднородность распределения планктона обусловлена сочетанием физико-химических факторов водной среды, а также трофическими отношениями отдельных компонентов планктона. Вопросу о вертикальном распределении зоопланктона в стратифицированных озерах посвящен ряд работ [1–4 и др.]. Для адекватной оценки характера вертикального распре-

* Авторы статьи – сотрудники НИЛ гидроэкологии.

деления биотической компоненты необходим отбор проб в градиентных зонах послойно с минимально возможным шагом. Однако используемые в практике гидробиологических исследований приборы (батометры различных типов, планктонные сети) не позволяют обеспечить отбор проб с необходимой детализацией вертикального профиля, в частности проб зоопланктона, для сбора которого требуются значительные объемы воды. Особенностью настоящей работы является то, что с помощью сконструированного нами прибора [5] удалось отобрать пробы планктона послойно с минимальным необходимым шагом в зоне температурного и кислородного скачка для получения детальной структуры вертикального распределения планктона в стратифицированном озере.

Материал и методика

В данной статье приводятся результаты исследований вертикальной структуры планктонного сообщества (бактериопланктона, фитопланктона, зоопланктона), а также содержания sestона, общего хлорофилла, величин флуоресценции воды в мезотрофном оз. Рудаково, расположенном на территории Национального парка «Нарочанский», в сентябре 2009 г. Площадь озера 0,24 км². Площадь водосбора 1,16 км². Озеро относится к числу сравнительно глубоких водоемов: максимальная глубина составляет 28,6 м, средняя – 11,3 м. Имеет округлую котловину эвразийского типа длиной 700 м при ширине 340 м. Длина береговой линии – 2,01 км. Объем водной массы – 2,72 млн м³. На долю мелководий (до 2 м) приходится 12 % площади озера. Небольшие размеры, значительные глубины, хорошая укрытость котловины препятствуют ветровому перемешиванию и способствуют четкой стратификации водной толщи в летний период [6].

Сбор материала осуществлялся при помощи сконструированного нами устройства с использованием погружного мембранного насоса. Устройство состоит из трех взаимодействующих частей: водозаборного блока, блока питания электронасоса и барабана со шлангом, по которому вода подается на поверхность. Для забора воды используется бытовой электронасос «Ручеек». Насос помещается в цилиндрический пластмассовый контейнер объемом 12 л. Сверху контейнер прикрыт крышкой ($d = 30$ см), края которой несколько выступают за края контейнера ($d = 24$ см). Зазор между верхним срезом контейнера и крышкой может изменяться в диапазоне от 1 до 10 см. В контейнер вмонтирован датчик термооксиметра «Марк 302 Э» с кабелем длиной 20 м, который позволяет фиксировать температуру и содержание кислорода на каждом горизонте одновременно с отбором проб. Питание электронасоса осуществляется от автомобильного аккумулятора мощностью 75 а. ч. Так как насос «Ручеек» работает от переменного тока напряжением 220 В, в состав блока питания входит преобразователь напряжения 12/220 В (инвертор Maxertor JA-P13). В целях безопасности при работе с прибором в лодке в сложных метеоусловиях блок питания помещен в закрытый пластмассовый контейнер, а тумблер включения насоса выведен на наружную стенку контейнера, что исключает возможность соприкосновения с находящимися под напряжением деталями устройства.

Пробы отбирали послойно от поверхности к дну. В зоне термоклина отбор проб осуществляли с шагом 25 см, а в зонах эпи- и гипolimниона – через 1 м. Для сбора зоопланктона определенный объем воды (30 л) фильтровали через планктонную сеть с диаметром ячеек 100 мкм. Пробы фиксировали 4 % раствором формалина. Обработка собранного материала проводилась под микроскопом Zeiss AxioStar (при увеличении 100x) на счетной пластинке и бинокуляром МБС-9 (при увеличении 32x) в камере Богорова. Видовой состав зоопланктона устанавливали по соответствующим определителям [7–9 и др.]. Количественные показатели развития зоопланктона (численность, биомасса) определяли по стандартной методике [10]. Потребление кислорода коловратками и рачками рассчитывали на основании зависимостей, приведенных в работах Л.М. Суцени [11] и Г.А. Галковской [12], с учетом поправки на температуру [13]. Для оценки количественного развития фитопланктона использовали пробы осадочного планктона (0,5 л), фиксированные по Утермелю [14]. Количественный учет организмов осуществляли в камере Фукс – Розенталя при увеличении 400x. Величину дыхания фитопланктона принимали равной 20 % от валовой первичной продукции планктона. Численность бактериопланктона определяли методом эпифлуоресцентной микроскопии на ядерных фильтрах «Nucleopore» с диаметром пор 0,2 мкм [15], для чего использовали инвертированный микроскоп «Axiovert 25» с телекамерой AxioCam MRc. Приготовленные препараты просматривали под иммерсионным объективом (увеличение 1400x). Снимки делали в программе Axiovision Rel. 4.4 по 10 параллельных с каждого фильтра. Обработка полученных данных производилась в программе Image-Pro Plus. При расчете дыхания бактерий использовали коэффициент (0,12), который соответствует количеству кислорода (мг O₂/л·сут), потребляемого одной бактериальной клеткой. Величины флуоресценции воды

устанавливали на приборе SPECOLL 11 (Carl Zeiss, Jena), содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрическим методом (на приборе Varian Cary 50 Scan Spectrophotometr) с экстракцией пигментов в 90 % растворе ацетона [16].

Результаты и их обсуждение

Вертикальный профиль нормированных относительно поверхностного слоя величин температуры воды и растворенного кислорода в оз. Рудаково изображен на рис. 1. В сентябре мощность эпилимниона составила 7 м, слой металимниона был ограничен горизонтами 7÷10 м, толщина гиполимниона

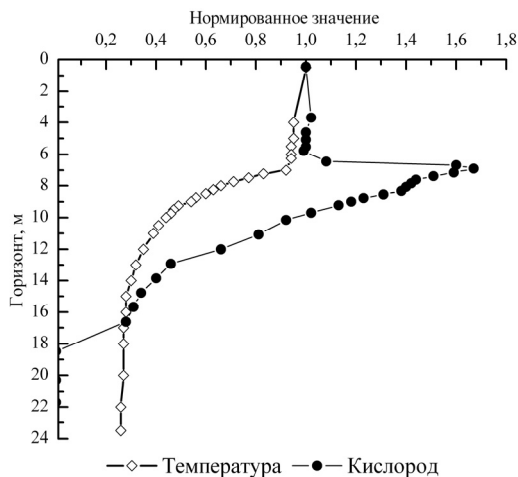


Рис. 1. Динамика нормированных величин температуры и концентрации растворенного кислорода по вертикали в оз. Рудаково (сентябрь, 2009 г.)

составила 13,5 м. В результате проведенных исследований были получены вертикальные профили распределения фито-, бактерио- и зоопланктона, флуоресценции взвешенных веществ, содержания хлорофилла, спектральных характеристик ацетоновых экстрактов в диапазоне волн 800÷200 нм.

В слое термоклина (на 9 м) были выявлены максимумы численности (3,06 млрд кл./л) и биомассы (0,19 мг/л) организмов бактериопланктона. Для фитопланктона эти показатели были зафиксированы в эпилимнионе на горизонте 5,5 м – 3,3 млн орг./л и 1,8 мг/л соответственно. Сходная картина была отмечена и для показателей содержания хлорофилла *a*. Среди организмов фитопланктона были установлены представители 7 отделов – синезеленые (*Cyanophyta*), криптофитовые (*Cryptophyta*), диатомовые (*Bacillariophyta*), золотистые (*Xanthophyta*), зеленые (*Chlorophyta*), динофитовые (*Dinophyta*) и эвгленовые (*Euglenophyta*).

Из всех отделов водорослей в эпилимнионе доминировали золотистые, их доля в суммарной численности и биомассе фитопланктона составила 87 и 76 % соответственно. В металимнионе наибольшая плотность организмов была отмечена для золотистых и зеленых водорослей, вклад которых в общую численность был практически одинаковым и составил 30 и 29 %. Синезеленые водоросли концентрировались главным образом в слое гиполимниона, где их вклад в суммарную численность и биомассу фитопланктона составил 44 и 32 %. Кроме синезеленых, к доминирующим в гиполимнионе видам фитопланктона относились представители отдела *Chlorophyta*, их доля в общей численности составила 27 %.

Максимум суммарной численности зоопланктона был отмечен в зоне металимниона (8,75 м) – 61,4 тыс. экз./м³ при общей биомассе 0,86 г/м³. В нижних границах металимниона были зафиксированы два высоких значения этих показателей – 54,3 (9,25 м) и 55,2 (9,75 м) тыс. экз./м³ при показателях биомассы – 0,74 и 0,72 г/м³, которые соответствовали отмеченным в эпилимнионе – 55,0 (4 м) и 53,5 (5,5 м) тыс. экз./м³ при биомассе 0,88 и 0,89 г/м³.

Для сравнения вертикального распределения перечисленных показателей их значения были нормированы относительно поверхности (0,5 м). Кривые распределения нормированных величин изображены на рис. 2. Максимальным значениям количественного развития планктона, содержания хлорофилла и флуоресценции взвешенных веществ соответствовали максимальные значения нормированных величин этих показателей.

Таким образом, в пределах металимниона выявлен выраженный максимум значений, характерный практически для всех исследованных параметров.

В гиполимнионе (на 16 м) отмечено высокое значение биомассы зоопланктона, что обусловлено скоплением здесь крупного рачка-фильтратора *Daphnia longispina* (O.F. Müller, 1785), вклад которого в общую биомассу составил 85 % при доле в общей численности 50 %.

Процентное соотношение по численности среди основных групп зоопланктона было различным по вертикали. Кладоцеры концентрировались главным образом в эпилимнионе и гиполимнионе, где их доля составила в среднем 25,7 и 17,5 % соответственно. Коловратки в большом количестве были отмечены в гиполимнионе – 18,9 %, а в эпи- и металимнионе – 10,4 и 12,9 % соответственно. Доля копепод в общей численности зоопланктона была наибольшей среди остальных групп в металимнионе – 80,0 % и практически одинаковой в эпи- и гиполимнионе – 63,9 и 63,7 % соответственно. Среди

трофических групп зоопланктона по численности и биомассе преобладали организмы-фильтраторы, их вклад в среднем по вертикали составил $96,2 \pm 2,6$ и $83,7 \pm 11,7$ %, доля хищников равнялась $3,8 \pm 2,6$ и $16,3 \pm 11,7$ % соответственно.

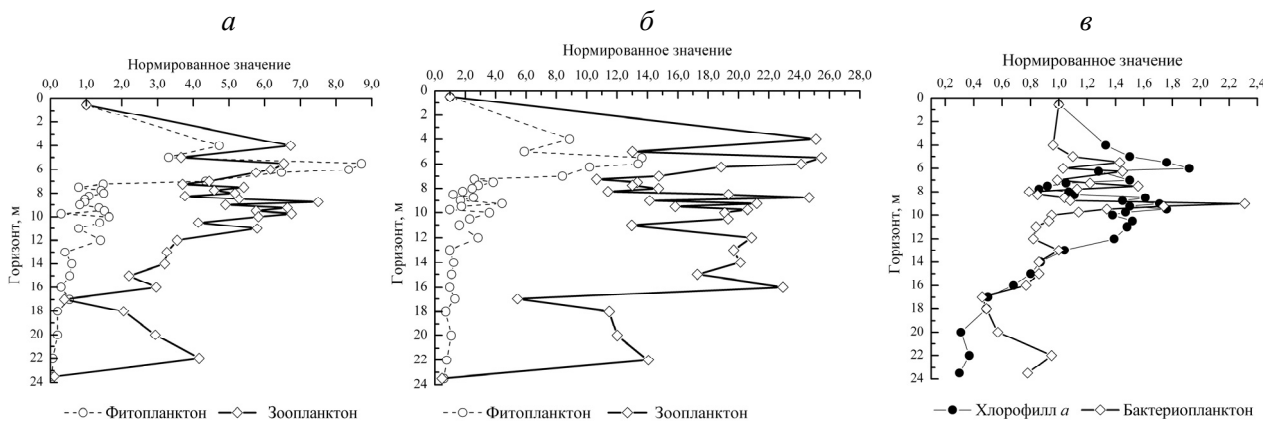


Рис. 2. Динамика нормированных величин численности (а) и биомассы (б) фито- и зоопланктона, содержания хлорофилла а и численности бактериопланктона (в) по вертикали в оз. Рудаково (сентябрь, 2009 г.)

Среди крупных видов *Cladocera* в озере были отмечены два – *Syda crystallina* (O.F. Müller, 1776) и *D. longispina*. Первый вид наблюдался преимущественно в металимнионе и верхних границах гиполимниона ($6 \div 13$ м), второй – в гиполимнионе ($10 \div 22$ м). Интересно, что на горизонтах, где обитала сида, дафнии практически не встречались. Наибольшая численность сиды была установлена на горизонте 9,75 м – 1067 экз./м³ при биомассе $0,10$ г/м³. Для дафнии максимальные величины указанных параметров были на глубине 16 м – 4830 экз./м³ и $0,44$ г/м³ соответственно. Показатели численности и биомассы *S. crystallina* характеризовались сравнительно меньшими величинами, в отличие от таковых для *D. longispina*. Это обуславливается особенностями биологии самих рачков. Сида является типичным фитофильным видом, характерным для литорали. Причины появления литоральных видов рачков в пелагиали широко обсуждаются в литературе [17–20]. Вынос прибрежных видов в пелагиаль можно рассматривать как непрерывный процесс, осуществляющийся благодаря течениям, ветровым волнениям, наличию (иногда в массе) выносимых из литорали плавающих объектов (опавших листьев и т. д.). Н.М. Коровчинский [18] указывает на то, что в открытую часть озера выносятся главным образом ювенильные особи, а взрослые рачки более привязаны к прибрежью. Это подтверждается и нашими данными по размерному составу *S. crystallina*, где доля ювенильных особей составила 96 % от общей выборки рачков.

Был проведен сравнительный анализ вертикального распределения еще нескольких видов ракообразных – *Bosmina longirostris* (O.F. Müller, 1785), *B. crassicornis* (P.E. Müller, 1867), *Daphnia cuculata* (Sars, 1862) и *Eudiaptomus graciloides* (Lilljebord, 1888). Максимумы численности трех видов – *B. crassicornis*, *D. cuculata* и *E. graciloides* были отмечены в эпилимнионе. В металимнионе наибольшая плотность была обнаружена для двух видов кладоцер – *B. longirostris* и *D. cuculata*.

Полученные результаты вертикального распределения отдельных видов зоопланктона в оз. Рудаково согласуются с данными Г.А. Галковской и Д.В. Молоткова, исследовавшими вертикальную структуру зоопланктона в глубоководных стратифицированных озерах Браславской группы [3]. Анализируя видовой состав зоопланктона на различных горизонтах, следует отметить, что максимальное количество видов было отмечено в слое металимниона и в верхних слоях гиполимниона, что подтверждается соответствующими величинами индекса видового разнообразия Шеннона (H, бит), рассчитанного по численности. Диапазон величин индекса здесь изменялся в пределах от 3,1 до 3,5 бит.

Дыхание планктона является одним из важнейших физиологических параметров, на основе которого можно судить об интенсивности протекания обменных процессов в сообществе и его участии в круговороте органического вещества в водоеме. Характер изменения величин суммарного суточного потребления кислорода, дыхания зоо-, фито- и бактериопланктона по вертикали в озере изображен на рис. 3 а. Доля отдельных групп планктонного сообщества в общем потреблении кислорода изображена на рис. 3 б. Наибольший вклад в процессы окисления органического вещества в водоеме отмечен для бактериопланктона (45,7 %), наименьший – для зоопланктона (10,1 %), для фитопланк-

тона он составил 20,0 %. Это подтверждает первостепенную роль бактерий в деструкции органического вещества в водоеме.

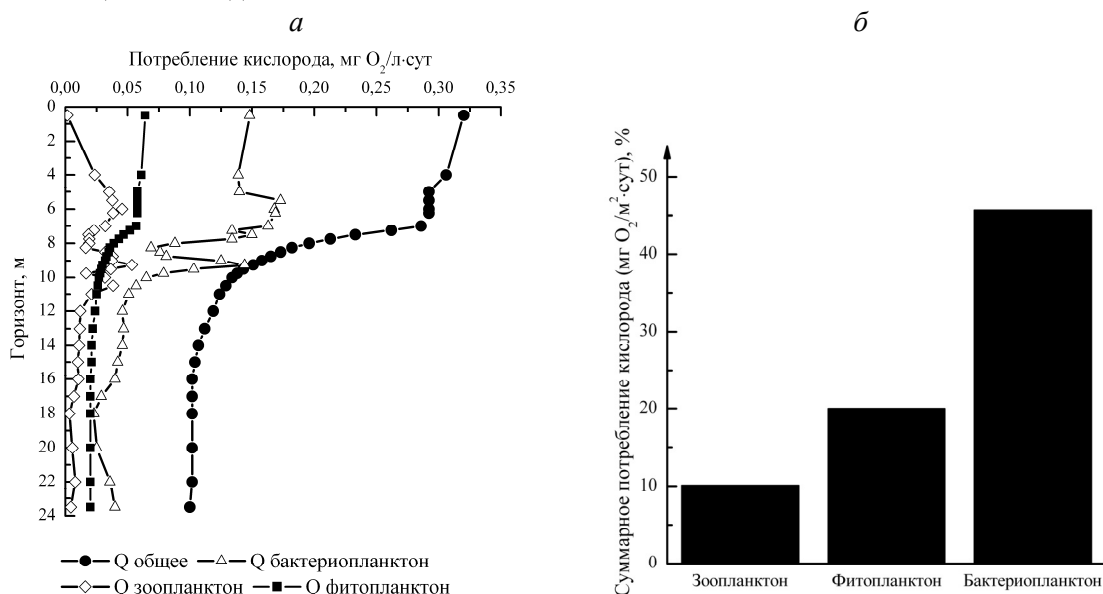


Рис. 3. Вертикальный профиль суточного потребления кислорода, дыхания зоо-, фито- и бактериопланктона (а) и вклад планктонных сообществ в суточное потребление кислорода (б) в оз. Рудаково (сентябрь, 2009 г.)

В целом следует отметить, что зона температурного скачка (термоклин) в водных экосистемах представляет собой участок со специфическими условиями обитания гидробионтов и играет важную роль в формировании пространственной структуры как отдельных видов, так и всего планктонного сообщества. Эти данные важны при расчетах продукционно-деструкционного потенциала планктона для адекватной оценки его роли в функционировании озерных экосистем.

1. Вежновец В. В., Галковская Г. А. // Животный мир Белорусского Полесья, охрана и рациональное использование: V Обл. итог. науч. конф.: в 2 ч. Гомель, 1988. Ч. 1. С. 136.
2. Вежновец В. В. // Итоги и перспективы гидробиологических исследований в Белоруссии. Мн., 1983. С. 83.
3. Галковская Г. А., Молотков Д. В. // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Материалы Междунар. науч. конф. Мн., 2003. С. 419.
4. Ventelä A.-M., Saarikari V., Vuorio K. // Hydrobiologia. 1998. Vol. 363. P. 229.
5. Остапеня А. П., Егиян А. Л. // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов: Тез. докл. X Зоол. науч. конф. Мн., 2009. С. 310.
6. Якушко О. Ф., Мысливец И. А., Рачевский А. Н. и др. Озера Белоруссии / Под общ. ред. О.Ф. Якушко. Мн., 1988.
7. Кутикова Л. А. // Определители по фауне СССР, издаваемые Зоологическим институтом АН СССР. Л., 1970. Вып. 104.
8. Мануйлова Е. Ф. Ветвистоусые рачки фауны СССР. М.; Л., 1964.
9. Монченко В. И. // Фауна Украины. Киев, 1974. Т. 27. Вып. 3.
10. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред. В.А. Абакумова. Л., 1983.
11. Сущенко Л. М. Интенсивность дыхания ракообразных. Киев, 1972.
12. Галковская Г. А. // Изв. АН БССР. Сер. биол. науки. 1980. № 6. С. 114.
13. Винберг Г. Г. // Журн. общ. биол. 1983. Т. 44. № 1. С. 3.
14. Михеева Т. М. // Гидробиол. журн. 1989. Т. 25. № 4. С. 3.
15. SCOR-UNESCO // Monographs on Oceanologic Methodology / UNESCO. Paris, 1966. P. 9.
16. Харламенко В. И. // Микробиология. М., 1985. С. 165.
17. Коровчинский Н. М. // Гидробиол. журн. 1981. Т. 17. № 3. С. 25.
18. Коровчинский Н. М. Ветвистоусые ракообразные отряда *Stenopoda* мировой фауны (морфология, систематика, экология, зоогеография). М., 2004.
19. Szlauer L. // Ecol. Polska. 1973. Vol. 21. № 12. P. 185.
20. Thomas M. P. // Arch. Hydrobiol. 1963. Bd. 59. N. 1-2. P. 103.

Поступила в редакцию 18.05.10.

Александр Павлович Остапеня – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией.

Армен Левоневич Егиян – аспирант. Научный руководитель – А.П. Остапеня.

Тамара Михайловна Михеева – доктор биологических наук, главный научный сотрудник.

Людмила Владимировна Никитина – научный сотрудник.

Елена Васильевна Лукьянова – научный сотрудник.