

УДК 574.583(285.2):591

В. Н. Столбунова

Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗООПЛАНКТОНА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ШЕКСНИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Приведены результаты исследования зоопланктона, собранного в поверхностном слое на разных участках Шекснинского водохранилища в начале августа 2007 года. Обнаружен 71 вид. По числу видов, численности и биомассе преобладают ракообразные. Зоопланктон в поверхностном слое распределен неравномерно, максимальные плотность и биомасса регистрируются в северо-восточной части оз. Белое (164 тыс. экз./м³ и 1,06 г/м³), в Сизьменском расширении (124 тыс. экз./м³ и 1,60 г/м³) и в Приплотинном плесе (185 тыс. экз./м³ и 1,36 г/м³). Наименьшие величины отмечаются вблизи устьев рек Ковжи Белозерской (17 тыс. экз./м³ и 0,10 г/м³) и Кемы (10 тыс. экз./м³ и 0,06 г/м³). Здесь из-за высокого содержания мелкодисперсной минеральной взвеси значительно снижается прозрачность воды, отмечается загрязнение растворенными нефтепродуктами, в планктоне преобладают коловратки – индикаторы загрязненных вод (из рода *Brachionus*). Зоопланктон поверхностного слоя воды, где концентрируются сине-зеленые водоросли, отличается от нижележащих глубоких горизонтов более низкой численностью и биомассой.

В. Н. Столбунова

Институт біології внутрішніх вод ім. І. Д. Папаніна РАН

РОЗПОДІЛ ЗООПЛАНКТОНУ У ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ВОДИ ШЕКСНИНСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

Наведено результати досліджень зоопланктону, зібраного у поверхневому шарі на різних ділянках Шекснинського водосховища на початку серпня 2007 року. Зареєстровано 71 вид. За кількістю видів, чисельністю та біомасою переважають ракоподібні. Зоопланктон у поверхневому шарі розподілений нерівномірно, максимальні щільність і біомаса реєструються у північно-східній частині оз. Біле (164 тис. екз./м³ і 1,06 г/м³), у Сизьменському розширенні (124 тис. екз./м³ і 1,60 г/м³) й у Приплотинному плесі (185 тис. екз./м³ і 1,36 г/м³). Найменші величини відмічаються поблизу вусть річок Ковжі Білозерської (17 тис. екз./м³ і 0,10 г/м³) та Кемі (10 тис. екз./м³ і 0,06 г/м³). Тут через високий вміст дрібнодисперсних мінеральних компонентів значно знижується прозорість води, відмічається забруднення розчинними нафтопродуктами, у планктоні переважають коловертки – індикатори забруднених вод (із роду *Brachionus*). Зоопланктон поверхневого шару води, де концентруються сине-зелені водорості, відрізняється від глибших горизонтів нижчою чисельністю та біомасою.

V. N. Stolbunova

Institute of Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences

ZOOPLANKTON DISTRIBUTION IN THE SUPERFICIAL LAYER OF THE SHEKSNA RESERVOIR

The results of the studies of zooplankton collected in the superficial layer in different parts of the Sheksna Reservoir at the beginning of the August 2007 are presented. A total of 71 species have been recorded among which crustaceans prevail in the number of species, abundance and biomass. Zooplankton

is distributed unevenly in the surface layer; the maximum density and biomass are recorded in the north-eastern part of the Lake Beloye – 164 000 ind/m³ and 1.06 g/m³, in the Sizma extension – 124 000 ind/m³ and 1.60 g/m³ and in the near-dam reach – 185 000 ind/m³ and 1.36 g/m³, respectively. The minimum values are recorded near the mouths of rivers Kovzha Belozerskaya (17 000 ind/m³ and 0.10 g/m³) and Kema (10 000 ind/m³ and 0.06 g/m³). Because of high concentration of fine-dispersed mineral suspended matter the water transparency decreases significantly. The water is polluted with the oil products and the rotifers of the genus *Brachionus* – indicators of polluted water – are dominated in the plankton. Zooplankton in the surface layer where blue-green algae are in mass differs from deeper horizons in lower abundance and biomass.

Введение

Основная проблема Шекснинского водохранилища, как и всех водохранилищ, – проблема рационального использования его водных ресурсов. Ее решение возможно при планомерном комплексном мониторинге, позволяющем охарактеризовать складывающуюся в водоеме экологическую ситуацию [8; 9; 14; 16].

Сообщество зоопланктона в структуре и функционировании водных экосистем, в том числе водохранилищ, занимает важное место. Общеизвестна роль зоопланктона в процессах самоочищения вод [15; 17]. Его используют в качестве индикатора при биологическом анализе качества воды [10–13]. Отсюда вытекает необходимость изучения таксономического состава зоопланктона, количественного развития групп и отдельных его видов, структуры, динамики и пространственного распределения. Накопленный большой материал по зоопланктону Шекснинского водохранилища можно рассматривать как одно из основных звеньев, используемых при описании и прогнозировании современного состояния водоема.

Наблюдения за зоопланктоном Шекснинского водохранилища начались в первый год его заполнения [2]. Автор отмечает, что главным источником планктона водохранилища служил зоопланктон Белого озера. В 1970-е годы проводились комплексные исследования оз. Белое. Т. С. Смирновой, И. К. Ривьер и Т. С. Пихтовой [5] выполнено наиболее полное и обстоятельное изучение зоопланктона водоема: видовой состав, уровень его развития и продукция, изменение характеристик по сезонам и в различные годы, горизонтальное и вертикальное распределение. В дальнейшем проводили исследования в связи с проблемой переброски части стока северных рек в бассейн Волги. Высказаны соображения о возможных изменениях в составе зоопланктона [3]. Изучение планктона водохранилища регулярно выполняется до настоящего времени [1; 4]. Рассматриваются вопросы функционирования зоопланктонного сообщества, анализируется состояние изменений в его отдельных звеньях, дается оценка количественных показателей. Данная работа дополняет многолетний мониторинг зоопланктона экосистемы водоема.

Цель работы – оценить состояние зоопланктона в поверхностном слое воды различных участков Шекснинского водохранилища в первой половине августа 2007 года.

Материал и методы исследований

Шекснинское водохранилище – самый крупный водоем Вологодской области. Его заполнение происходило в 1963–1964 гг. Площадь водного зеркала составляет 1669 км², длина – 167 км, средняя глубина – 3,9 м, наибольшая – 17,0 м [7]. По морфологии водохранилище разделяется на три характерных участка: речную часть (от плотины до с. Крохино), оз. Белое и Ковжинское расширение. Речной участок включает Сизьменский разлив и Приплотинный плес. После строительства Шекснинского водохранилища уровень оз. Белое поднялся на 2 м. На озеро приходится 73 % общей площади водосбора водохранилища, на речную часть – 27 %. Озеро Белое, основная часть водохранилища, отличается простой конфигурацией берегов, плоским выровненным

дном с глубинами около 6 м. Оно расположено в области повышенных скоростей ветра. Из-за частого ветрового перемешивания вода озера характеризуется высокой мутностью, низкой прозрачностью и благоприятным кислородным режимом. Степень зарастания оз. Белое крайне низкая. Преобладают воздушно-водные растения, в основном тростник. В целом в водохранилище наблюдается несоответствие между слабым его зарастанием (2,5 %) и наличием большой площади мелководий с глубинами до 2 м (20,9 %). Это объясняется географическим положением водоема, а также загрязнением тяжелыми металлами, вымываемыми из шлаковых отвалов, расположенных по его берегам. В водохранилище у г. Белозерск, дер. Нижняя Мондома, р. Ковжа Белозерская, в Сизьменском разливе и у пос. Шексна существуют локальные участки техногенного загрязнения. В целом водоем соответствует β и β - α мезосапробному уровню [6].

В работе использован материал, собранный в Шекснинском водохранилище 8–13 августа 2007 года на 21 станциях, расположенных в Ковжинском участке, в оз. Белое и в речной части водохранилища. Зоопланктон в поверхностном слое (0–1 м) собирали мерным ведром, профильтровывая 50 л воды через планктонную сеть с размером ячеек 64 мкм. Пробы фиксировали 4 % формалином. Обработку материалов производили стандартным методом. Оценивали видовой состав зоопланктона, число видов и доминантов, численность, биомассу, долю таксономических групп, рассчитывали индекс видового разнообразия Шеннона – Уивера по численности (HN) и биомассе (HB).

За исследованный период температура воды в поверхностном слое колебалась: +20,3...+22,7 °С, прозрачность изменялась в зависимости от плотности развития сине-зеленых водорослей в пределах 70–140 см. Снижение ее показателя наблюдалось вблизи устья Ковжи и истоков р. Шексна. Содержание кислорода в поверхностных слоях было относительно высоким у северо-восточного берега оз. Белое (до 10,9 мг/л). В Сизьменском расширении вблизи устья р. Ковжа Шекснинская содержание кислорода снижалось до 7,6 мг/л.

Результаты и их обсуждение

За период исследований в составе зоопланктона разных участков Шекснинского водохранилища в поверхностном слое обнаружен 71 вид, из которых Rotifera – 25, Copepoda – 10, Cladocera – 36. Из всех зарегистрированных организмов зоопланктона наибольшее видовое разнообразие наблюдалось у ветвистоусых ракообразных, за исключением Ковжинского участка, где в общем числе видов значительный процент составляли и коловратки (табл. 1).

Таблица 1

Число видов зоопланктона в поверхностном слое Шекснинского водохранилища

Группа	Участки			Всего
	Ковжинский	Белое озеро	речная часть	
Rotifera	9 (43)	19 (35)	14 (30)	25 (35)
Copepoda	3 (14)	7 (13)	8 (17)	10 (14)
Cladocera	9 (43)	28 (52)	25 (53)	36 (51)
Всего	21	54	47	71

Примечание: в скобках – % от общего количества видов.

Более разнообразный зоопланктон был в оз. Белое с максимумом видов (30) в его северо-восточной части. Здесь наибольшего развития в поверхностном слое достигал *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863) и его науплиальные и копепоидитные стадии. Ветвистоусые были представлены *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin, 1848), *Chydorus*

sphaericus (O. F. Müller, 1785), *C. ovalis* Kurz, 1874, *Bosmina coregoni* (Baird, 1857), *B. longispina* Leydig, 1860, *Daphnia cucullata* Sars, 1862, а также многочисленными прибрежными формами – *Alona rectangularis* Sars, 1862, *A. quadrangularis* (O. F. Müller, 1785), *Acroperus harpae* (Baird, 1837), *Disparalona rostrata* (Koch, 1841), *Rhynchotalona falcata* (Sars, 1862), *Pleuroxus truncatus* (O. F. Müller, 1785), *P. striatus* Schoedler, 1863, *Ceriodaphnia pulchella* Sars, 1862, *Sida crystallina* (O. F. Müller, 1776) и др. Среди коловраток преобладали *Euchlanis dilatata* Ehrenberg, 1832, *Polyarthra major* Burckhardt, 1900, *P. vulgaris* Carlin, 1943, *Synchaeta pectinata* Ehrenberg, 1832 и др.

Наименьшее число видов отмечено в поверхностном слое Ковжинского участка (табл. 1). В зоопланктоне доминировали не отмеченные ранее коловратки – индикаторы повышенной сапробности: *Brachionus diversicornis homoceros* (Wierzejski, 1891), *B. d. diversicornis* (Daday, 1883), *B. quadridentatus brevispinus* Ehrenberg, 1832, *B. angularis bidens* Plate, 1886. Ракообразные состояли в основном из науплиальных и копеподитных стадий *Thermocyclops oithonoides*, присутствовали ветвистоусые *Diaphanosoma brachyurum*, *Bosmina longirostris* (O. F. Müller, 1785), *Alona rectangularis* и *Disparalona rostrata*.

В речной части водохранилища зоопланктон был разнообразным. На проточных участках у сел Горицы и Топорня в поверхностном слое преобладали, главным образом, коловратки *Euchlanis dilatata*, *Polyarthra vulgaris*, *P. major*, науплиальные и копеподитные стадии веслоногого *Thermocyclops oithonoides*. Немногочисленные ветвистоусые ракообразные были представлены в основном мелкими хидоридами из родов *Alona*, *Rhynchotalona*, *Monospilus*, *Acroperus*, *Pleuroxus*, *Chydorus*. В Сизьменском расширении и Приплотинном участке в поверхностном слое зоопланктонное сообщество состояло из одних пелагических коловраток и ракообразных: *Keratella quadrata* (O. F. Müller, 1786), *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850, *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879), *Conochilus unicornis* Rousset, 1892, *Polyarthra vulgaris*, *Eudiaptomus gracilis* (Sars, 1863), *Arctodiptomus laticeps* Sars, 1863, *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857), *Daphnia galeata* Sars, 1864, *D. cucullata*, *Bosmina coregoni*, *B. c. gibbera* (Schoedler, 1866), *Limnospila frontosa* Sars, 1862, *Leptodora kindtii* (Focke, 1844), *Bythotrephes longimanus* Leydig, 1860.

Индекс видового разнообразия Шеннона, рассчитанный по численности и биомассе, в Ковжинском участке изменялся соответственно в пределах 2,93–3,09 и 2,57–3,37, в оз. Белое – 2,66–3,46 и 2,64–3,85, в речной части – 1,86–3,69 и 2,16–3,51. Его низкие величины связаны с доминированием младших возрастных стадий веслоногих ракообразных. В целом средние величины индекса Шеннона в поверхностном слое различных участков Шекснинского водохранилища не отражают степень нарушения сообщества (табл. 2).

Таблица 2

Среднее значение индекса Шеннона – Уивера (H) в поверхностном слое различных участков Шекснинского водохранилища

Показатель	Ковжинский участок	Белое озеро	Речная часть	Среднее по водоему
H_N	3,01 ± 0,08	2,97 ± 0,12	2,84 ± 0,25	2,92 ± 0,11
H_B	2,97 ± 0,40	3,15 ± 0,19	2,83 ± 0,19	3,00 ± 0,12

Примечание: H_N и H_B – рассчитанные по численности и биомассе.

За период наблюдений минимальные величины плотности и биомассы зоопланктона в поверхностном слое и во всей толще воды водохранилища отмечены в Ковжинском участке (табл. 3). Здесь в верхнем горизонте основу численности и биомассы составляли коловратки и веслоногие ракообразные (табл. 4). Из Rotifera самым

многочисленным был вселенец, индикатор повышенной сапробности *Brachionus diversicornis*, представленный двумя формами (*B. d. homoceros* и *B. d. diversicornis*), составляющий 84 % от общей плотности коловраток. Среди Copepoda доминировали науплии и копеподиты рода *Thermocyclops* (до 74 % общей численности Crustacea). Гораздо меньшая численность отмечена у Cladocera, из них встречались ветвистоусые родов *Diaphanosoma*, *Bosmina*, *Disparalona*.

Таблица 3

**Количественные показатели зоопланктона
различных участков Шекснинского водохранилища**

Показатель	Ковжинский участок	Белое озеро	Речная часть	Средняя по водоему
Численность, тыс.экз./м ³	$\frac{13 \pm 4}{63 \pm 5^*}$	$\frac{56 \pm 21}{91 \pm 10^*}$	$\frac{85 \pm 25}{125 \pm 19^*}$	$\frac{62 \pm 15}{101 \pm 10^*}$
Биомасса, г/м ³	$\frac{0,08 \pm 0,02}{0,48 \pm 0,18^*}$	$\frac{0,35 \pm 0,13}{1,69 \pm 0,18^*}$	$\frac{0,75 \pm 0,25}{1,42 \pm 0,21^*}$	$\frac{0,48 \pm 0,13}{1,48 \pm 0,14^*}$

Примечание: среднее с его ошибкой, над чертой – горизонт 0–1 м, под чертой – вся толща воды; * – неопубликованные данные, любезно предоставленные В. И. Лазаревой (ИБВВ РАН).

Таблица 4

**Соотношение (%) основных групп зоопланктона по численности и биомассе
на разных участках Шекснинского водохранилища**

Группа	Ковжинский участок	Белое озеро	Речная часть		
			собственно речная часть	Сизьменское расширение	приплотинный плес
Rotifera	$\frac{43}{40}$	$\frac{27}{10}$	$\frac{16}{4}$	$\frac{21}{2}$	$\frac{23}{8}$
	$\frac{41}{43}$	$\frac{64}{67}$	$\frac{77}{58}$	$\frac{56}{48}$	$\frac{54}{51}$
Copepoda	$\frac{16}{17}$	$\frac{9}{23}$	$\frac{7}{38}$	$\frac{23}{50}$	$\frac{23}{41}$

Примечание: в числителе – % по численности, в знаменателе – % по биомассе.

Наибольшие величины численности и биомассы регистрировались в оз. Белое и речной части водохранилища (см. табл. 3). В оз. Белом значительные показатели численности и биомассы в поверхностном слое отмечались у восточного берега (164 тыс. экз./м³ и 1,06 г/м³). Наиболее многочисленными по количественным величинам были науплиальные и копеподитные стадии *Thermocyclops oithonoides* и *Mesocyclops leuckarti* (86 % общей Crustacea). Взрослых особей Copepoda и ветвистоусых ракообразных было мало. Среди Cladocera заметное развитие получили ракообразные из рода *Chydorus*, связанных своей биологией с сине-зелеными водорослями. Встречались также представители из родов *Diaphanosoma*, *Disparalona*, *Rhynchotalona*, *Ceriodaphnia*, *Alona*, *Daphnia*, *Bosmina*. Их численность была незначительна. Из коловраток интенсивное развитие, непосредственно связанное с большой плотностью колоний сине-зеленых, наблюдалось у *Euchlanis dilatata*.

В речной части водохранилища в поверхностном слое зоопланктон количественно более богатый (см. табл. 3). Сизьменское расширение и Приплотинный плес отличались преобладанием по численности и биомассе представителей Crustacea (табл. 4). Среди Copepoda развивались лимнические *Eudiaptomus gracilis*, *Arctodiaptomus laticeps*, *Mesocyclops leuckarti*, из Cladocera – *Daphnia cucullata*, *D. galeata*, *Bosmina coregoni*, *B. c. gibbera*, *Limnoscida frontosa*, *Leptodora kintii*, *Bythotrephes longimanus*.

Эти виды образовывали основную биомассу зоопланктона. Из коловраток наиболее многочисленными были пелагические виды родов *Conochilus*, *Polyarthra*, *Keratella*, *Kellicottia*, *Asplanchna*. Максимальные величины плотности и биомассы в поверхностном слое речного участка отмечены в Сизьменском расширении напротив устья р. Ковжа Шекнинская (124 тыс. экз./м³ и 1,60 г/м³), у с. Аристово (185 тыс. экз./м³ и 0,71 г/м³) и в Приплотинном участке (87 тыс. экз./м³ и 1,36 г/м³).

По сравнению со средними количественными показателями зоопланктона для всей толщи воды поверхностный слой характеризуется более низкой численностью и биомассой, в 1,6 и 3,0 раза соответственно (см. табл. 3).

Выводы

В составе зоопланктона Шекнинского водохранилища в поверхностном слое воды обнаружен 71 вид из 23 семейств. Наибольшее видовое разнообразие наблюдалось у ракообразных. В 2007 г. впервые за весь период исследования водохранилища у поверхности воды обнаружены скопления южной коловратки *Brachionus diversicornis*. Минимальные численность и биомасса зоопланктона отмечены в Ковжинском участке, максимальные – в Сизьменском расширении и Приплотинном плесе водохранилища. В поверхностном слое оз. Белое в планктоне уровень развития ветвистоусых ракообразных снижен из-за частого ветрового перемешивания и высокой мутности воды. В зоопланктоне преобладали науплиальные и копеподитные стадии веслоногих Crustacea. Поверхностный слой воды, где концентрируются сине-зеленые водоросли, отличается от нижележащих горизонтов более низкой численностью и биомассой зоопланктона.

Библиографические ссылки

1. Думнич Н. В. Зоопланктон / Н. В. Думнич, А. В. Крылов // Современное состояние экосистемы Шекнинского водохранилища. – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2002. – С. 120–146.
2. Луферова Л. А. Формирование зоопланктона Череповецкого водохранилища // Тр. ИБВВ АН СССР. – 1966. – Вып. 12 (15). – С. 68–74.
3. Ривьер И. К. Современное состояние зоопланктона водоемов Волго-Балтийской и Северо-Двинской водных систем // Тр. ИБВВ АН СССР. – 1982. – Вып. 43 (46). – С. 90–103.
4. Ривьер И. К. Сравнительный анализ зоопланктона Шекнинского водохранилища в 1987 и 2001 гг. / И. К. Ривьер, А. С. Литвинов // Вод. ресурсы. – 2006. – Т. 33, № 5. – С. 615–629.
5. Смирнова Т. С. Зоопланктон / Т. С. Смирнова, И. К. Ривьер, Т. С. Пихтова // Антропогенное влияние на крупные озера Северо-Запада СССР. – Л. : Наука, 1981. – Ч. 2. – С. 77–99.
6. Современное состояние экосистемы Шекнинского водохранилища. – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2002. – 368 с.
7. Экологические проблемы Верхней Волги. – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2001. – 427 с.
8. Alfonso G. Does lake age affect zooplankton diversity in Mediterranean lakes and reservoirs? A case study from southern Italy / G. Alfonso, G. Belmonte, F. Marrone // Hydrobiologia. – 2010. – Vol. 653, N 1. – P. 149–164.
9. Apfelebaum S. I. Restoring ecological health to your land / S. I. Apfelebaum, A. W. Haney. – Washington: Island Press, 2010. – 264 p.
10. Biodiversity and community structure of zooplankton in the Subbasin of Rio Poxim, Sergipe, Brazil (doi: 10.4136/ambi-agua. 194) (Portuguese) / A. P. S. Pereira, A. N. do Vasco, F. B. Britto et al. // Ambiente & Agua – An Interdisciplinary Journal of Applied Science. – 2011. – Vol. 6, N 2. – P. 191–205.
11. Brito S. L. Zooplankton as an indicator of trophic conditions in two large reservoirs in Brazil / S. L. Brito, P. M. Maia-Barbosa, R. M. Pinto-Coelho // Lakes & Reservoirs: Research & Management. – 2011. – Vol. 16, is. 4. – P. 253–264.

12. **Edward J. B.** Physico-chemical parameters and plankton community of Egbe reservoir, Ekiti State, Nigeria / J. B. Edward, A. A. A. Ugwumba // Research Journal of Biological Sciences. – 2010. – Vol. 5, is. 5. – P. 356–367.
13. **Gagneten A. M.** Effects of contamination by heavy metals and eutrophication on zooplankton, and their possible effects on the trophic webs of freshwater aquatic ecosystems // Eutrophication: Causes, Consequences and Control. – Springer, Netherlands, 2011. – P. 211–223.
14. **Influence** of anomalous high water temperatures on the development of the plankton community in the Middle Volga reservoirs in summer 2010 / A. I. Kopylov, V. I. Lazareva, N. M. Mineeva et al. // Doklady Biological Sciences. – 2012. – Vol. 442, N. 1. – P. 11–13.
15. **Kryutchkova N. M.** The role of zooplankton on the self-purification in water bodies // Hydrobiologia. – 1968. – Vol. 31, N 3–4. – P. 585–595.
16. **Tilahnn Derib Asfaw** Optimal short-term cascade reservoirs operation using genetic algorithm / Tilahnn Derib Asfaw, Saied Saiedi // Asian Journal of Applied Sciences. – 2011. Vol. 4, N 3. – P. 297–305.
17. **Zooplankton** community structure within various macrophyte stands of a small water body in relation to seasonal changes in water level / N. Kuczynska-Kippen, B. Nagengast, S. Celewicz-Goldyn, M. Klimko // Oceanological and Hydrobiological Studies. – 2009. – Vol. 38, N 3. – P. 125–133.

Надійшла до редколегії 09.03.2012