

СОВРЕМЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САПРОБНОСТИ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ФИТОПЛАНКТОНУ

По результатам исследований фитопланктона в 2000-2005 гг. дана оценка сапробности и качества вод Рыбинского водохранилища. Показано, что по сравнению с данными предыдущих исследований уровень органического загрязнения водоема продолжал увеличиваться.

Введение

Комплексное использование водохранилищ предполагает определённые требования к качеству их вод. Водоросли – главные продуценты органического вещества и кислорода; благодаря высокой чувствительности к условиям окружающей среды, они одними из первых реагируют на изменения, происходящие в водоёме. Это их свойство используют для оценки степени загрязнения и определения качества поверхностных вод [1-3]. В первой половине прошедшего столетия до строительства плотин р. Волга по индексу сапробности Пантле-Букка, рассчитанному по показателям фитопланктона, относили к олиго-β-мезосапробной зоне. С конца 1960-х годов – β-мезосапробной, но в отдельные периоды на участках около крупных городов – β-мезосапробной [4-7]. Многолетние исследования на Рыбинском водохранилище, третьем в каскаде волжских водохранилищ (площадь акватории при НПУ 4550 км², объём водной массы 25,4 км³), показали увеличение органического загрязнения водоема с конца 50-х годов к началу 80-х гг. прошлого столетия [4-12]. Наиболее представительный ряд данных по сапробности имеется для центрального озеровидного Главного плёса водохранилища [4, 6], составляющего основную часть его акватории. Для остальных речных плесов: Волжского, Моложского и Шекснинского, эти сведения практически отсутству-

В.В. Соловьева*,
научный сотрудник,
ФГБУН Институт
биологии
внутренних вод
им. И.Д. Папанина
Российской
академии наук

Л.Г. Корнева,
доктор биологических
наук, доцент,
заведующая
лабораторией
альгологии, ФГБУН
Институт биологии
внутренних вод
им. И.Д. Папанина
Российской
академии наук



ют. Цель работы – дать характеристику сапробности различных участков Рыбинского водохранилища и оценить качество его вод по фитопланктону в современных условиях.

Материалы и методы исследования

Для этой цели проводился анализ таксономического состава, оценка численности и биомассы фитопланктона Рыбинского водохранилища, собранного на 30 станциях (рис. 1), расположенных в различных плёсах Рыбинского водохранилища с мая по октябрь 2000-2005 гг. (203 пробы). Отбор проб осуществляли пластмассовым метровым батометром системы Элгморка объемом 4 л последовательно с каждого метрового горизонта от поверхности до дна, смешивая затем в одну интегральную. Пробы воды концентрировали путем прямой фильтрации при слабом давлении поочередно через мембранные

* Адрес для корреспонденции: solo@ibiw.yaroslavl.ru

фильтры с диаметром пор 5 и 1,2 мкм. Консервацию живого фитопланктона осуществляли раствором Люголя с добавлением формалина и ледяной уксусной кислоты [13]. Подсчет клеток водорослей для оценки численности осуществляли в счетной камере типа «Учинская-2» объемом 0,02 мл, определение биомассы – счетно-объемным методом [13]. Оценку сапробности вод проводили с помощью индекса Пантле-Букка [2] в модификации Сладечека [3], рассчитанного как по численности (Sn), так и по биомассе фитопланктона (Sb), оценку качества воды – по шкале, предложенной в [1].

Результаты и их обсуждение

В фитопланктоне Рыбинского водохранилища за период нашего исследования выявлено 406 таксонов рангом ниже рода, из которых 206 (51 %) являлись видами-индикаторами сапробности вод. Состав



Рис. 1. Схема расположения станций на Рыбинском водохранилище (2000-2005 гг.). Обозначения: I – Волжский, II – Моложский, III – Шекснинский, IV – Главный.

индикаторных таксонов в основном был представлен зелёными водорослями (Chlorophyta) – 105. В остальных группах их число распределилось следующим образом: диатомовые (Bacillariophyta) – 32, синезелёные (Cyanophyta) – 32, эвгленовые (Euglenophyta) – 13, золотистые (Chrysophyta) – 9, криптофитовые (Cryptophyta) – 6, жёлтозелёные (Xanthophyta) – 3 и динофитовые (Dinophyta) – 6. В Главном плёсе обнаружили 160 видов – индикаторов. Их число уменьшалось в речных участках водоема от 154 (Шекснинский плёс) до 122 (Моложский плёс). Два последних плёса отличались наибольшим относительным количеством индикаторов из эвгленовых водорослей (7 и 5 %) по сравнению с остальными участками водоема (2 %), а Главный плёс – из синезелёных водорослей (18 % против 13-15 %). Основная часть видов – показателей органического загрязнения относилась к β-мезосапробным (56 %) организмам. Их наибольшее относительное число отмечено в Моложском (61 %), а наименьшее – в Главном плёсе (56 %) (табл. 1 и 2).

Второе место принадлежало олиго-β-мезосапробным организмам (23 %). Число водорослей – показателей высокого уровня органического загрязнения (α-мезосапробов и α-мезо-полисапробов) было выше в Волжском и Шекснинском плёсах.

Сравнение наших результатов с данными предыдущих исследований [4] показало, что в последние годы в Главном плёсе Рыбинского водохранилища наблюдалось уменьшение числа водорослей – индикаторов чистых вод (ксеносапробов, ксеноолигосапробов и олигосапробов) с 23 % до 8 % и увеличение доли видов – индикаторов умеренного загрязнения (олиго-β-мезосапробов и β-мезосапробов) с 63 % до 82 % (табл. 2). Виды – показатели сапробности составляли основную часть общей численности (72 % – средняя за 2000-2005 гг.) и биомассы (81 %) фитопланктона водохранилища. Относительные численность и биомасса β-мезосапробов во всех плёсах увеличивались от весны к осени (в среднем от 16 до 79 % и от 19 до 64 %, соответственно), а таковые α-мезосапробов, наоборот, снижались (от 9 до 0 % и от 8 до 0 %), что отражает постепенное самоочищение водоема.

Связь числа индикаторных видов с общей биомассой фитопланктона описывалась экспоненциальной функцией: $y = 30,75 - 13,40 e^{-x}$ ($r = 0,47$), где y – число видов, x – биомасса, e – основание натурального логарифма. При осреднении числа видов по рангам биомассы с интервалом 1 г/м³ эта зависимость аппроксимировалась унимо-

Таблица 1

Изменение числа видов – индикаторов различных зон сапробности в речных плёсах Рыбинского водохранилища в 2000-2005 гг.

Сапробность	Плёсы					
	Волжский		Моложский		Шекснинский	
	Число видов	% от общего числа видов	Число видов	% от общего числа видов	Число видов	% от общего числа видов
χ	1	1	0	0	0	0
ο	8	6	9	7	12	8
ο-β и β-ο	32	25	30	25	36	23
β	75	57	75	61	90	58
β-α и α-β	6	5	1	1	7	5
α	7	5	6	5	7	5
α-ρ	2	1	1	1	2	1
Всего	131	100	122	100	154	100

Примечание: χ – ксеносапробная, ο – олигосапробная, β – β-мезосапробная, α – α-мезосапробная, ρ – полисапробная зоны.

Таблица 2

Изменение числа видов – индикаторов различных зон сапробности в Главном плёсе Рыбинского водохранилища в разные годы

Сапробность	1954-1973 гг.		2000-2005 гг.	
	Число видов	% от общего числа видов	Число видов	% от общего числа видов
χ	14	4	1	0
χ-ο и ο-χ	13	4	1	1
ο	47	15	11	7
ο-β и β-ο	60	19	42	26
β	140	44	89	56
β-α и α-β	19	6	8	5
α	23	7	5	4
α-ρ	5	1	2	1
Всего	321	100	160	100

Примечание: сокращения те же, что в табл. 1, данные за 1954-1973 гг. взяты из работы [4].

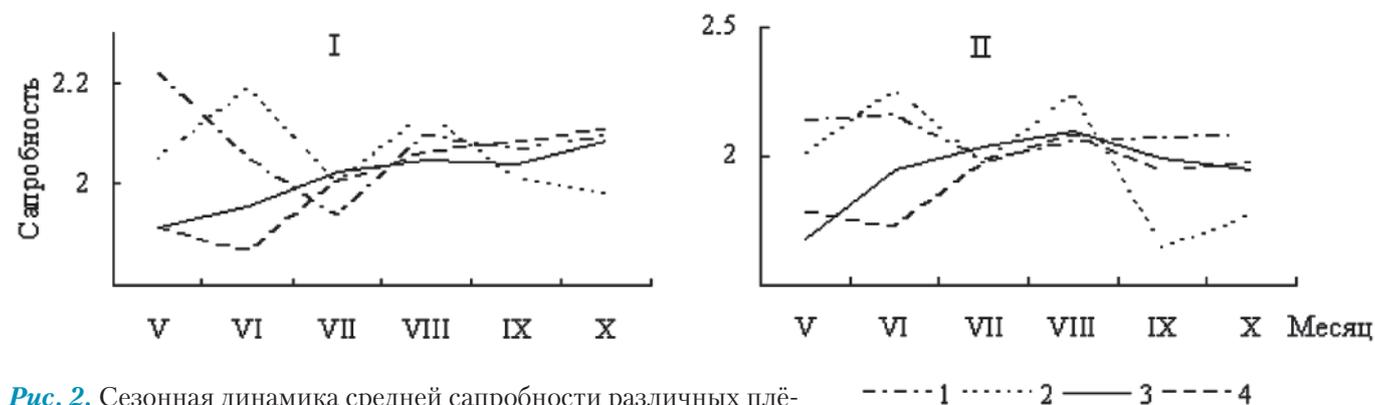


Рис. 2. Сезонная динамика средней сапробности различных плёсов Рыбинского водохранилища (2000-2005 гг.). Обозначения: 1 – Волжский, 2 – Моложский, 3 – Шекснинский, 4 – Главный; I – S_n, II – S_b.

дальной кривой: $y = 21,95 - 0,87x^2 + 0,065x^3 + 8,68x^{0.5}$ ($n = 8$, $r = 0,93$, $F = 9,23$) с максимумом при биомассе 3 г/м³. В диапазоне биомассы ≤ 3 г/м³ число индикаторных таксонов увеличивалось параллельно с ростом биомассы и трофии водоема ($n = 169$, $R = 0,49$, $F = 55,2$, $P < 0,0000$). При биомассе > 3 г/м³ связь между этими двумя параметрами становилась слабо отрицательной ($n = 33$, $R = -0,16$, $F = 0,85$, $P < 0,36$).

Сезонная динамика сапробности отдельных плёсов различалась (рис. 2). В Шекснинском и Главном плёсах прослеживалось ее плавное увеличение от весны к лету–осени. Динамика сапробности Волжского и Моложского плёсов характеризовалась двумя пиками – весенним и летним, максимумом весной, спадом в июле и осенью. Наибольшая сезонная вариабельность S_n и S_b прослеживалась в Моложском (коэффициент вариации 10,1 %), наименьшая (4,5 и 6,6 %) – в Шекснинском плёсе.

В период весеннего максимума сапробности в Волжском плёсе (S_n = 2,22 ± 0,08, S_b = 2,13 ± 0,11) в основном развивались криптофитовые и диатомовые водоросли – индикаторы повышенных зон сапробности. Их вегетацию в этот период обычно связывают с высоким содержанием органических веществ, поступающих с водами весеннего половодья с площади водосбора [4, 6, 8]. Первые были представлены β-α-мезосапробом *Chroomonas acuta* Uterm., β-мезосапробом *Cryptomonas ovata* Ehr. и β-мезосапробом *C. curvata* Ehr.. Из диатомовых водорослей преобладали виды из рода *Stephanodiscus* Ehr. (α-мезосапробы *Stephanodiscus hantzschii* Grun. и *S. minutulus* (Kütz.) Cleve et Müller, β-мезосапроб *S. binderanus* (Kütz.) Krieg.) и *S. invisitatus* Hohn et Hellerman). Наряду с ними в число доминантов входила *Aulacoseira subarctica* (O.F. Müll.) Haworth. – основной компонент планктона Рыбинского водохранилища,

начиная с 1950-х годов [14]. Повышенная сапробность данного участка водохранилища может быть обусловлена поступлением вод из вышележащих Ивановского и Угличского водохранилищ, испытывающих значительное антропогенное воздействие. В Моложском плёсе весной доминировали *Aulacoseira subarctica* и криптофитовые (те же виды, что и в Волжском). В центральную часть водоёма воды весеннего паводка из речных плёсов поступают позднее, как и из расположенного севернее Шекснинского водохранилища в Шекснинский плёс. Поэтому весенние значения сапробности в Главном и Шекснинском плёсах были значительно ниже ($S_n = 1,68 \pm 0,04$, $S_b = 1,92 \pm 0,01$ и $S_n = 1,78 \pm 0,03$, $S_b = 1,92 \pm 0,04$, соответственно), чем Волжском и Моложском, и характеризуют нижнюю границу β -мезосапробной зоны. В конце мая – начале июня в обоих плёсах развивались олиго β -мезосапробы *Aulacoseira islandica* (O.F. Müll.) Sim. и *Stephanodiscus binderanus*.

При последующей сезонной перестройке фитопланктона, на спаде развития весеннего комплекса водорослей и в результате процессов самоочищения, наблюдалось снижение сапробности в Главном плёсе в июне, а в Волжском и Моложском – в июле. Основную биомассу в центральной части водоёма в конце июня и первой половине июля создавали олиго β -мезосапробы *Asterionella formosa* Hass., *Fragilaria crotonensis* Kitt. и *Stephanodiscus neoastraea* (Håk. et Hick.) emend. Casper, Scheff. et Aug.. В Волжском плёсе продолжали вегетировать мелкоклеточные виды из рода *Stephanodiscus*, *Skeletonema subsalsum* (A. Cl.) Bethge, а также зеленые жгу-

Ключевые слова:

фитопланктон,
сапробность,
Рыбинское
водохранилище

тиковые – в верхнем и бесшовные пеннатные диатомовые – в нижнем участке. В Моложском плёсе развивались β -мезосапроб *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim. и *A. subarctica*. Состав доминирующего комплекса водорослей Шекснинского плёса был более разнообразен. Наряду с диатомовыми из родов *Aulacoseira* Thw. и *Stephanodiscus* его верхний участок обогащался зелеными водорослями – α -мезосапробом *Chlamydomonas reinhardtii* Dangeard и β -мезосапробом *Pandorina morum* (O.F. Müll.) Bory.

Повышение индексов сапробности на всей акватории водохранилища к концу июля – началу августа ($S_n = 2,05-2,10$ и $S_b = 2,05-2,23$) связано с массовым развитием синезеленых водорослей. В летний период и до конца осени в водохранилище активно вегетировали синезеленые β -мезосапробы *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs и *Microcystis aeruginosa* Kütz., в меньшем количестве отмечались *M. wesenbergii* Kom. и виды из рода *Anabaena* Bory. В Волжском плёсе вклад *Aphanizomenon flos-aquae* в общую биомассу фитопланктона был наименьшим при их предпочтительной вегетации в нижней расширенной части, прилегающей к акватории Главного. На данном участке отмечалась высокая представленность фитофлагеллат, показателей высокого уровня сапробности: динофитовых из рода *Glenodinium* (Ehr.) Stein и зеленых из рода *Chlamydomonas* Ehr.. Вклад жгутиковых форм снижался от плотины Угличской ГЭС к нижней расширенной части плёса. Сапробность воды плёса соответствовала верхней границе β -мезосапробной зоны. В летний период 1950-60-х гг. на данном участке отмечали увеличение разно-





образия и численности хлорококковых водорослей, а жгутиковые формы водорослей встречались редко [10].

В августе–сентябре на всей акватории водоема совместно с синезелёными продолжали развиваться диатомовые: *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim., *A. subarctica*, *Skeletonema subsalsum*, *Stephanodiscus binderanus*, *S. hantzschii*, *S. neoastraea* и *Aulacoseira islandica* (сентябрь–октябрь). Сапробность различных плёсов продолжала оставаться на высоком уровне. Исключение составил Моложский плёс, где значения индексов были близки к нижней границе β-мезосапробной зоны и в котором преимущественно развивались виды из р. *Aulacoseira*.

В 2000-2005 гг. изменение величин сапробности по всей акватории водоема ($S_n = 1,81-2,27$, $S_b = 1,61-2,54$) соответствовало диапазону их варьирования в пределах β-мезосапробной – β-α-мезосапробной зон. Наибольшая корреляция между S_n и S_b выявлена в Моложском ($R = 0,8$), наименьшая – в Шекснинском плёсе ($R = 0,6$), а для водохранилища в целом коэффициент корреляции составил 0,7. Средние для водоема индексы ($S_n = 2,04 \pm 0,01$ и $S_b = 1,97 \pm 0,01$) характеризуют его как β-мезосапробный. Наиболее низ-

кий уровень сапробности отмечен в Главном ($S_n = 2,00 \pm 0,01$ и $S_b = 1,92 \pm 0,04$) (табл. 3), наиболее высокий – в Волжском ($S_n = 2,09 \pm 0,03$, $S_b = 2,08 \pm 0,03$) и Моложском ($S_n = 2,07 \pm 0,03$, $S_b = 2,03 \pm 0,06$) плёсах. В Шекснинском плёсе он составлял $2,01 \pm 0,02$ и $1,97 \pm 0,04$, соответственно.

Величины сапробности в Волжском и Моложском плёсах были выше значений, полученных в 1970-80-е годы [7-9]. Сравнение с результатами предыдущих исследований указывает на дальнейшее многолетнее увеличение сапробности и в центральной части водоема (табл. 3).

Оценка качества воды Рыбинского водохранилища по эколого-санитарным показателям [1] показала, что в целом по средним величинам сапробности водоем можно отнести к разряду достаточно чистых, 3-му классу качества (удовлетворительной чистоты) воды.

Заключение

В мае–октябре 2000-2005 гг. в фитопланктоне Рыбинского водохранилища обнаружено 206 видов – индикаторов сапробности, представленных, в основном, зелёными водорослями. Их основная часть относилась к β-мезосапробам. Сапробность водохранилища изменялась от величин, характерных для β-мезосапробной, до таковых, свойственных β-α-мезосапробной зоне, при наибольших значениях в Волжском и минимальных в Главном плёсах. Анализ многолетней динамики индексов сапробности показал, что в водохранилище происходило дальнейшее увеличение содержания легкоусвояемого органического вещества. Качество воды в водоеме в целом по средним показателям сапробности соответствовало 3-му классу удовлетворительной чистоты, достаточно чистому разряду качества вод.

Таблица 3

Динамика сапробности Главного плёса Рыбинского водохранилища в разные годы

Годы	Сапробность	
	S_n	S_b
1954-1958	$1,72 \pm 0,007$	$1,72 \pm 0,008$
1959-1963	$1,74 \pm 0,010$	$1,73 \pm 0,010$
1964-1968	$1,76 \pm 0,008$	$1,78 \pm 0,010$
1969-1973	$1,82 \pm 0,010$	$1,83 \pm 0,010$
2000-2005	$2,02 \pm 0,013$	$1,93 \pm 0,017$

Примечание. Данные 1954-1973 взяты из работы [6].

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проект № 11-05-01067-а.

Литература

- Оксиюк О.П. др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О.П. Оксиюк, В.Н. Жукинский, Л.П. Брагинский и др. // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29, № 4. С. 62-77.
- Pantle F. Die Biologische bewachung der Gewasser und die Darstellung der Ergebnisse / Pantle F., Buck H. // Gas- und Wasserfach. 1955. Bd. 96. H. 18. 604 s.

3. Sl de ek V. System of water quality from the biological point of view // Arch. Hydrobiol., Beih. Ergebn. Limnol., 1973. Н. 7. Р. 1-218.
4. Кузьмин Г.В. Фитопланктон как индикатор сапробности вод Главного плёса Рыбинского водохранилища / Г.В. Кузьмин, А.Г. Охапкин, А.Л. Ильинский // Биология низших организмов. 1978. Вып. 40 (43). С. 36-52.
5. Минеева Н.М. Структурные и функциональные характеристики планктонных альгоценозов как показатели экологического состояния водохранилищ Верхней Волги / Н.М. Минеева, И.В. Митропольская // Биол. внутр. вод. 2003. № 1. С. 23-32.
6. Охапкин А.Г. Альгологическая характеристика сапробности водохранилищ Волжского каскада. Автореф. дисс. канд. биол. наук. Киев, 1978. 24 с.
7. Охапкин А.Г. Оценка сапробности волжских водохранилищ по фитопланктону / А.Г. Охапкин, Г.В. Кузьмин // Водные ресурсы. 1978. № 1. С. 187-190.
8. Корнева Л.Г. Изучение некоторых структурных характеристик фитопланктонных сообществ при оценке состояния водохранилищ // Биол. внутр. вод. 1992. № 94. С. 3-9.
9. Охапкин А.Г. Оценка сапробности Волжского плеса Рыбинского водохранилища по фитопланктону / А.Г. Охапкин, Г.В. Кузьмин // Биол. внутр. вод. 1978. № 38. С. 24-28.
10. Рыбинское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1972. 364 с.
11. Экология фитопланктона Рыбинского водохранилища. Тольятти: Самарский науч. центр, 1999. 264 с.
12. Korneva L.G. Phytoplankton composition and pigment concentrations as indicators of water quality in the Rybinsk Reservoir / Korneva L.G., Mineeva N.M. // Hydrobiologia. 1996. V. 322. P. 255-259.
13. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 239 с.
14. Гусева К.А. Фитопланктон Рыбинского водохранилища. (Сезонная динамика и распределение его основных групп) // Тр. биол. ст. «Борок» АН СССР. 1956. Вып. 2. С. 5-23.



V.V. Solovyova, L.G. Korneva

MODERN CHARACTERISTIC OF RYBINSK RESERVOIR SAPROBITY ON PHYTOPLANKTON

According to studies of phytoplankton (2000–2005) saprobity and water quality of Rybinsk Reservoir was assessed. It is

shown that in comparison with previous studies the level of organic pollution of the reservoir continued to rise.

Key words: phytoplankton, saprobity, Rybinsk Reservoir