



УДК 574.633(282.242.413.5) + 571.583(28):581

ХАРАКТЕРИСТИКА САПРОБНОСТИ МЕЛКОВОДИЙ И ПЕЛАГИАЛИ ВОЛЖСКОГО ПЛЁСА РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ФИТОПЛАНКТОНУ

**В.В. Соловьева,
Л.Г. Корнева**

*Институт биологии
внутренних вод РАН, Россия,
152742, Ярославская обл.,
Некоузский р-н, пос. Борок*

*E-mail: solo@ibiv.yaroslavl.ru,
korneva@ibiv.yaroslavl.ru*

По результатам исследования фитопланктона в 1997 г. даётся сравнительная характеристика сапробности разнотипных мелководных и глубоководных участков Волжского плёса Рыбинского водохранилища.

Ключевые слова: фитопланктон, сапробность, Волжский плёс Рыбинского водохранилища.

Введение

Сапробиотический подход в оценке качества вод в России, Австрии, Чешской республике и Германии существует уже более 100 лет. В настоящее время делаются попытки совместить его с методологией европейской оценки экологического состояния водных объектов, принятой рамочной директивой ЕС [1]. Оценка сапробности вод открытой части Рыбинского водохранилища проводилась с 1950-х до 2005 г. [2]. До сих пор без достаточного внимания в этом отношении остается прибрежное мелководье водоёма. Сапробная характеристика различных прибрежных участков водохранилища по индикаторным видам фитопланктона была представлена лишь по летним данным 1989 г. [3].

Качество воды в прибрежной зоне формируется под влиянием водосбора и открытой части водохранилища. Участвуя в трансформации органических и минеральных веществ, поступающих с водосбора, водоросли выполняют основную функцию в самоочищении их вод, способствуя устойчивости водных экосистем. Цель работы – сравнительная характеристика сапробности и оценка качества воды по индикаторным видам фитопланктона прибрежных мелководий разного типа и пелагиали Волжского плёса Рыбинского водохранилища.

Материал и методы исследования

Рыбинское – второе по размерам (4550 км²) в каскаде волжских водохранилищ, относится к категории мелководных (средняя глубина 5.6 м), мезогумозных (средняя цветность ~ 60 град.), среднеминерализованных (средняя сумма ионов 170 мг/л) водоемов мезотрофно-этрофного типа [4]. Волжский плёс – один из речных участков водохранилища общей площадью 550 км². Мелководная зона плёса до изобаты 4 м занимает до 53% от его площади при НПУ [5].

Для анализа использованы данные, собранные с недельным интервалом в июне – октябре 1997 г. на 7 станциях (рис. 1). Участок прибрежья, где располагались станции 1–3, характеризовался как защищённое мелководье и был отделен от открытой части водохранилища Хохотским островом. Станции 4–6 находились в открытом прибрежье, глубоководная ст. 7 – в открытой части водохранилища, на бывшем русле р. Волги. Глубина водной толщи на станциях защищённого мелководья изменялась от 0.4 до 2.8 м, открытого – от 0.5 до 5.5 м, глубоководного участка – от 10.5 до 13.0 м [6]. Пробы на мелководье отбирали утяжелённым ведром путем его протаскивания через всю толщу воды, на глубоководной станции – батометром Рутнера с каждого 0.5-метрового горизонта от поверхности до дна, которые затем смешивали в равных объёмах воды.

Фитопланктон концентрировали путем прямой фильтрации при слабом давлении поочередно через мембранные фильтры с диаметром пор 3–5 мкм, а затем – 1.2–1.5 мкм и фиксировали раствором Люголя с добавлением формалина и ледяной уксусной кислоты. Клетки водорослей учитывали в счётной камере «Учинская» объёмом 0.02 мл, биомассу определяли счётно-объёмным методом [7]. Оценку сапробности проводили с помощью индекса Пантле-Букка [8] в модификации Сладечека [9], рассчитанного как по численности (S_N), так и по биомассе фито-

планктона (S_B), оценку качества воды – по шкале, предложенной в [10]. Для оценки индикаторной значимости отдельных видов использовали списки Вегла [11].

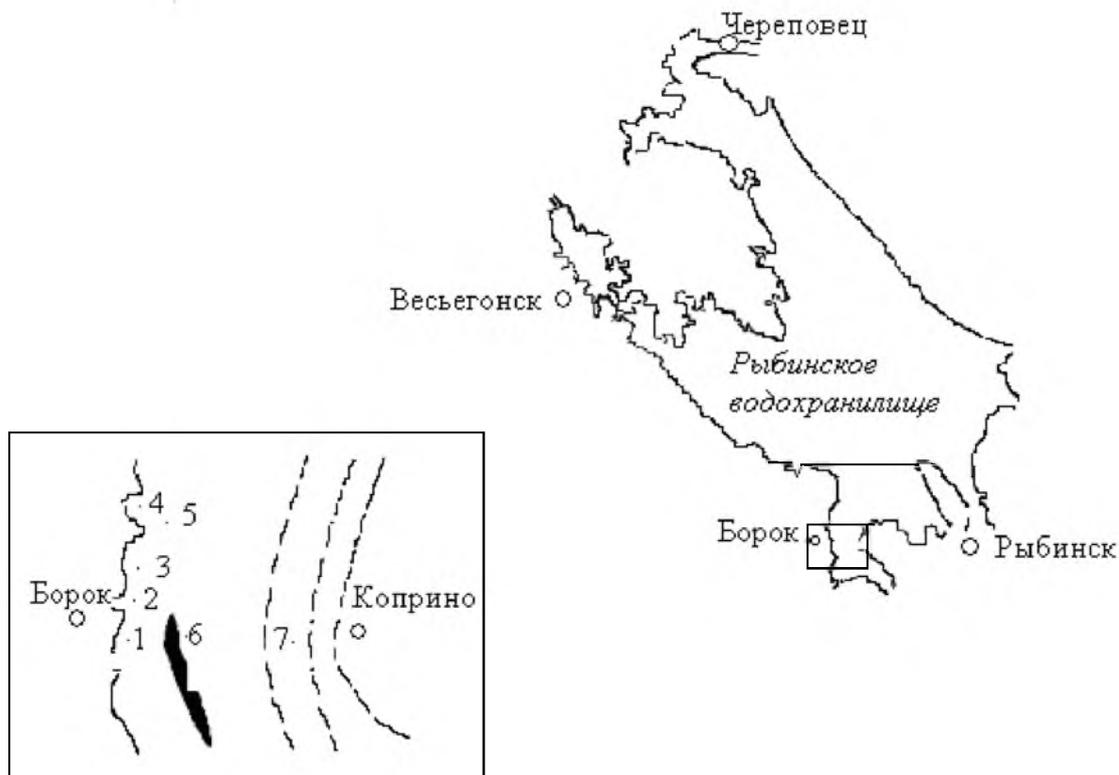


Рис. 1. Схема расположения станций в прибрежье Рыбинского водохранилища. 1–7 – номера станций

Результаты и их обсуждение

Из зарегистрированных в составе фитопланктона 382 таксонов рангом ниже рода [6] выявлено 187 видов – индикаторов сапробности (табл. 1). Наибольшее их число отмечено в защищённом мелководье – 160, затем оно постепенно снижалось по мере приближения к открытой части водоема: 135 и 88. Основная часть индикаторных видов представлена зелёными водорослями (Chlorophyta) – 96 таксонов рангом ниже рода, число которых также убывало в этом же направлении: 61–72 на защищённом, 49–58 – на открытом мелководье и 44 – в пелагиали водохранилища. Аналогично изменялось и количество видов эвгленовых водорослей (Euglenophyta): 12–19, 1–4 и 1 соответственно. Среди остальных таксономических групп водорослей (синезелёных – Cyanophyta, жёлтозелёных – Xanthophyta, криптофитовых – Cryptophyta и динофитовых – Dinophyta)

Таблица 1

Таксономический состав видов индикаторов фитопланктона на разнотипных участках Волжского плёса Рыбинского водохранилища в 1997 г.

Отдел	Участок водохранилища			Всего
	Защищённое мелководье	Открытое мелководье	Глубоководный участок	
Cyanophyta	15	17	10	19
Chrysophyta	9	9	8	11
Bacillariophyta	21	23	20	24
Xanthophyta	6	2	0	6
Cryptophyta	6	5	3	6
Dinophyta	3	2	2	3
Euglenophyta	22	5	1	22
Chlorophyta	78	72	44	96
Всего	160	135	88	187

число индикаторных видов на различных участках слабо варьировало. Однако относительный вклад диатомовых (Bacillariophyta) в таксономический состав видов индикаторов увеличивался от прибрежья к открытой части водоёма (13% → 17% → 23%).



Большинство видов было представлено β -мезосапробами (всего 104 таксона) и олиго- β -мезосапробами (43 таксона, табл. 2). Их относительное число на исследуемых участках изменялось в узких пределах от 53 % до 62 % и 21–25 % соответственно. Суммарное максимальное богатство представителей этих двух индикаторных групп водорослей наблюдалось на участке защищённого мелководья, а минимальное – на глубоководном.

Таблица 2

Распределение числа (n) индикаторных видов водорослей на разнотипных участках Волжского плёса Рыбинского водохранилища по зонам сапробности в 1997 г.

Отдел	Участок водохранилища						Всего	
	Защищённое мелководье		Открытое мелководье		Глубоководный участок			
	n	%	n	%	n	%	n	%
о	11	7	9	7	7	8	17	9
о- m	2	1	2	1	1	1	2	1
о- β	35	22	30	22	20	23	43	23
β	94	59	78	58	51	58	104	56
χ - β	1	1	1	1	0	0	1	1
β - α	9	6	6	4	3	3	10	5
α	6	4	8	6	5	6	8	4
α - p	2	1	1	1	1	1	2	1
Всего	160		135		88		187	

Примечание: χ – ксеносапробная, о – олигосапробная, β – β -мезосапробная, α – α -мезосапробная, p – полисапробная зоны.

Число таксонов, характеризующих условия более низкой (о, о- m) и более высокой степени органического загрязнения (β - α , α , α - p), различалось по участкам незначительно.

Виды-индикаторы сапробности составляли $45 \pm 2\%$ от общей численности и $66 \pm 2\%$ от общей биомассы фитопланктона. Как и по видовому богатству, так и по количественным показателям преобладали β -мезосапробы ($60 \pm 3\%$ от численности и $37 \pm 2\%$ от биомассы индикаторных видов) и олиго- β -мезосапробы ($23 \pm 2\%$ и $28 \pm 2\%$ соответственно).

Средняя относительная численность β -мезосапробов увеличивалась в направлении от защищённого мелководья к открытому побережью и русловой станции $56 \pm 5\% \rightarrow 61 \pm 4\% \rightarrow 63 \pm 8\%$ соответственно (табл. 3). Их относительная биомасса напротив снижалась на глубоководном участке ($42 \pm \% \rightarrow 35 \pm 4\% \rightarrow 31 \pm 6\%$).

Таблица 3

Относительная численность и биомасса (%) видов-индикаторов фитопланктона на разнотипных участках Волжского плёса Рыбинского водохранилища в 1997 г.

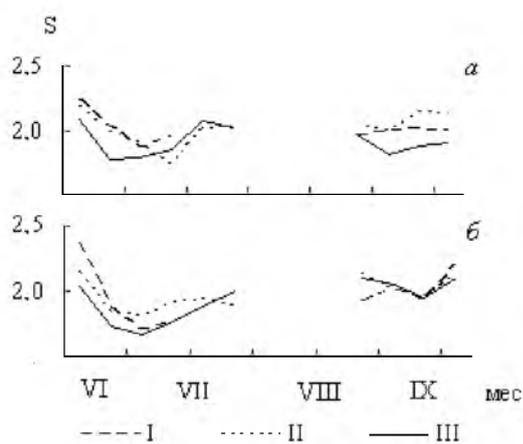
Сапробность	Защищённое мелководье		Открытое мелководье		Глубоководный участок	
	N	B	N	B	N	B
о	4 ± 1	10 ± 1	1 ± 0	6 ± 1	1 ± 1	7 ± 2
о- β	28 ± 3	27 ± 3	22 ± 3	29 ± 4	16 ± 5	25 ± 8
β	56 ± 5	42 ± 2	61 ± 4	35 ± 4	63 ± 8	31 ± 6
β - α	4 ± 1	10 ± 2	5 ± 1	13 ± 2	4 ± 1	20 ± 6
α	9 ± 3	10 ± 2	12 ± 2	16 ± 2	15 ± 5	18 ± 4

Примечание. N – численность, B – биомасса.

Относительный вклад α -мезосапробов и α - β -мезосапробов постепенно увеличивался к открытому мелководью и глубоководному участку водохранилища, а олигосапробов и олиго- β -мезосапробов вод – снижался.

В период исследований уровень сапробности варьировал от значений характерных для олиго- β -мезосапробной зоны до величин нижней границы β - α -мезосапробной зоны ($S_N = 1.73-2.42$, $S_B = 1.6-2.51$). На станциях защищённого побережья (рис. 2) наиболее высокие индексы сапробности отмечались в весенний период: $S_N = 2.09-2.25$ и $S_B = 2.04-2.36$. В это время в альгоценозах доминировал α - p -мезосапроб диатомея *Stephanodiscus hantzschii* Grun. [6]. На спаде развития весеннего комплекса водорослей, сопровождающегося структурной перестройкой фитопланктона (лидируют диатомовые: олиго- β -мезосапробы *Diatoma tenuis* Ag. и золотистые: *Dinobryon divergens* Jmhof, олигосапроб – *D. sociale* Ehr.), в результате процессов самоочищения наблюдалось снижение сапробности к началу июля ($S_N = 1.78$ до 1.91, $S_B = 1.67$ до 1.81). Затем постепенное увеличение индексов сапробности отмечали от первой декады ию-

ля к третьей ($S_N = 2.02-2.09$ и $S_B = 1.88-2.00$). На ст. 1 развивался β -мезосапроб *Ulothrix subtilissima* Rabenh. (зелёные), который входил в состав ведущего комплекса на этом участке в течение всего месяца совместно с олиго- β -мезосапробом *Fragilaria crotonensis* Kitt. (диатомовые) и β -мезосапробом *Pediastrum duplex* Meyen (зелёные). В отличие от ст. 1, на ст. 2 и ст. 3 доминировали β -мезосапробы *Aulacosira granulata* (Ehr.) Sim. (диатомовые), *Pediastrum boryanum* (Turp.) Menegh. var. *boryanum* (ст. 2), *Pandorina morum* (O. F. Mull.) Bory (зелёные) и олиго- β -мезосапроб *Asterionella formosa* Hass. (ст. 3). Из-за снижения уровня воды в водохранилище отбор проб на станциях защищённого мелководья не производился с конца июля до третьей декады августа. С возобновлением исследований уровень сапробности варьировал в пределах: $S_N = 1.92-2.14$, $S_B = 1.95-2.03$. При этом на всех участках в составе фитопланктона преимущественно развивался α -мезосапроб *Cyclotella meneghiniana* Kütz. (диатомовые). Кроме него на ст. 1 лидировали: из десмидиевых водорослей β -мезосапробы *Closteriummoniliferum* (Bory) Ehr. и *Cosmarium obtusatum* Schmidle, а на ст. 2, 3: из эвгленовых олиго- β -мезосапробы *Trachelomonas planctonica* Swir. и *T. volvocina* Ehr.. В сентябре при незначительном колебании уровня сапробности лидировали *Cyclotella meneghiniana*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Trachelomonas volvocina* и *T. planctonica*.



На станциях открытого побережья и глубоководной части водоёма прослеживалось несколько подъёмов уровня сапробности до верхней границы β -мезосапробной зоны (рис 3). В весенний период индексы сапробности изменялись в пределах $S_N = 2.07-2.24$ и $S_B = 1.94-2.18$ при преимущественном развитии диатомовых водорослей *Stephanodiscus hantzschii* и *Diatoma tenuis*.

Рис. 2. Сезонная динамика сапробности на различных станциях защищённого мелководья Волжского плёса Рыбинского водохранилища в 1997 г.

Обозначения: I – ст. 1, II – ст. 2, III – 3; а – S_N , б – S_B .

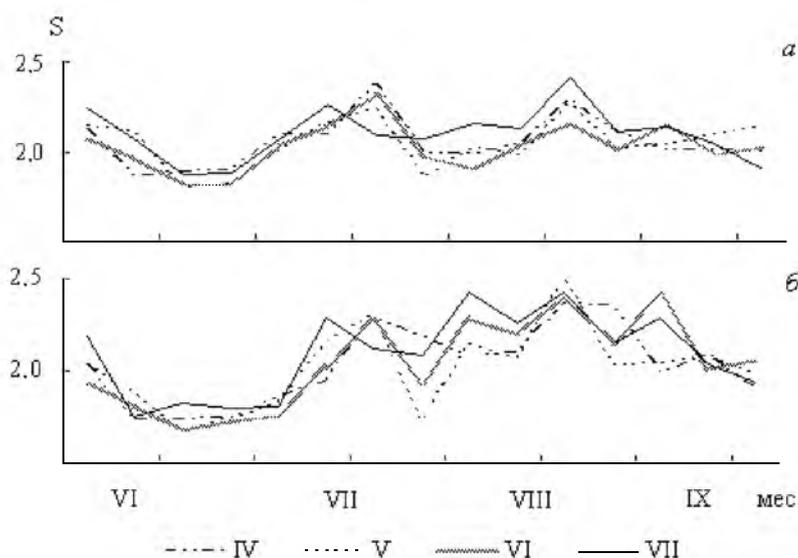


Рис. 3. Сезонная динамика сапробности на различных участках открытого мелководья и глубоководной части Волжского плёса Рыбинского водохранилища в 1997 г. Обозначения: IV – ст. 4, V – ст. 5, VI – ст. 6, VII – ст. 7; а, б – то же, что и на рис. 2.

Последующее понижение сапробности ($S_N = 1.79-1.88$ и $S_B = 1.67-1.82$ соответственно), как и на участках защищённого побережья, отмечали в начале июля. Но в отличие от них в открытом побережье и на русловом участке доминировала *Asterionella formosa*. В конце июля – начале августа отмечали второе увеличение индексов сапробности ($S_N = 2.09-2.38$, $S_B = 1.95-2.31$). В составе фитопланктона ведущее положение занимали диатомовые *Stephanodiscus hantzschii* и *Aulacosira granulata* в сопровождении зелёных водорослей из рода *Pediastrum* и из синезелёных β -мезосапроба *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz.. Максимальные значения индекса са-



пробности были зарегистрированы в конце августа ($S_N = 2.16-2.42$, $S_B = 2.36-2.51$) при доминировании *Cyclotella meneghiniana* и *Stephanodiscus hantzschii*. Последний вид продолжал активно вегетировать наряду с синезелёными водорослями *Microcystis aeruginosa* и *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs. и в сентябре. К октябрю уровень сапробности снижался: $S_N = 1.90-2.14$, $S_B = 1.91-2.05$.

В целом в 1997 г. изменение сапробности на разнотипных участках Волжского плёса ($S_N = 1.73-2.42$, $S_B = 1.67-2.51$) соответствовало диапазону их варьирования в пределах 0- β -мезосапробной – β - α -мезосапробной зон. При этом степень корреляции между S_N и S_B на открытом побережье и глубоководном участке была наиболее высокой ($r = 0.8$) и снижалась в защищённом побережье ($r = 0.6$).

Средние по станциям S_N и S_B различались незначительно (табл. 4). Достоверное различие по критерию Стьюдента (t) получено только между S_N для ст. 3 и 4-6 ($t = 2.20-2.30$, $n = 23$, $p = 0.05$), а также ст. 3 и 7 ($t = 3.18$, $n = 23$, $p = 0.05$).

Станции	Индексы сапробности индикаторных видов	
	S_N	S_B
1	2.02 ± 0.04	1.96 ± 0.07
2	2.01 ± 0.04	1.98 ± 0.04
3	1.92 ± 0.04	1.93 ± 0.05
4	2.05 ± 0.04	2.03 ± 0.05
5	2.05 ± 0.04	2.01 ± 0.06
6	2.03 ± 0.03	2.04 ± 0.06
7	2.10 ± 0.04	2.09 ± 0.06
Среднее	2.04 ± 0.02	2.03 ± 0.04

Средние по участкам величины увеличивались в направлении от защищённого мелководья к открытому побережью, достигая наибольших значений в глубоководной части водоёма ($S_N = 1.98 \pm 0.02 \rightarrow 2.04 \pm 0.02 \rightarrow 2.10 \pm 0.04$ и $S_B = 1.96 \pm 0.03 \rightarrow 2.03 \pm 0.03 \rightarrow 2.09 \pm 0.06$), и характеризуют их как β -мезосапробные.

Качество воды исследуемых участков в соответствии с эколого-санитарными показате-

лями [8] и по средним величинам индекса сапробности можно отнести к 3-му классу качества (удовлетворительной чистоты) воды.

Наиболее высокая сапробность в глубоководной части Волжского плёса объясняется тем, что большая часть легкоусвояемого органического вещества поступает в него не с прибрежных мелководий, а со стоком из выше расположенного руслового участка [2, 12].

Заключение

В июне – октябре 1997 г. в фитопланктоне разнотипных участков Волжского плёса Рыбинского водохранилища обнаружено 187 видов-индикаторов сапробности, представленных в основном зелёными водорослями. Их число постепенно снижалось от защищённого мелководья по направлению к глубоководной части водоёма. По видовому богатству и количественным показателям основная часть таксонов относилась к β -мезосапробам. Сапробность исследованных участков изменялась от значений, характерных для олиго- β -мезосапробной зоны, до таковых, соответствующих уровню β - α -мезосапробной, при минимальных в защищённом мелководье и максимальных в пелагиали водохранилища.

По средним показателям индексов сапробности исследованные участки Волжского плёса Рыбинского водохранилища относились к β -мезосапробной зоне органического загрязнения, а качество воды на них соответствовало 3 классу качества воды (удовлетворительной чистоты).

Список литературы

1. Rolauffs P., Stubauer I., Zahrádková S., Brabec K., Moog O. Integration of the saprobic system into the European union water framework directive – Case studies in Austria, Germany and Czech Republic // Hydrobiologia. – 2004. – Vol. 516, № 1-3. – P. 285-298.
2. Соловьева В.В., Корнева Л.Г. Современная характеристика сапробности Рыбинского водохранилища по фитопланктону // Вода: Химия и экология. – 2012. – №5. – С. 18-23.
3. Корнева Л.Г. Фитопланктон Рыбинского водохранилища: состав, особенности распределения, последствия эвтрофирования // Современное состояние экосистемы Рыбинского водохранилища. – СПб.: Гидрометеоздат, – 1993. – С. 50-113.
4. Корнева Л.Г. Формирование фитопланктона водоёмов бассейна Волги под влиянием природных и антропогенных факторов // Дисс. ... докт. биол. наук. – 2009. – С. 434.
5. Бакастов С.С. Изменение площадей и объемов мелководий Рыбинского водохранилища в зависимости от его наполнения // Гидрологический режим прибрежных мелководий верхневолжских водохранилищ. – Ярославль: Ин-т биологии внутр. вод АН СССР, – 1976. – С. 13-22.

6. Соловьева В.В., Корнева Л.Г. Структура и динамика фитопланктона мелководий пелагиали Волжского плёса Рыбинского водохранилища // Биол. внутр. вод. – 2006. – № 4. – С. 34-41.
7. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975. – 239 с.
8. Оксий О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. – 1993. – Т. 29, № 4. – С. 62-77.
9. Pantle F., Buck H. Die Biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse – Gas- und Wasserfach. –1955. – Bd. 96, H. 18. – 604 s.
10. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view // Arch. Hydrobiol., Beih. Ergebn. Limnol. – 1973. – H. 7. – P. 1-218.
11. Wegl R. Index für die Limnosaprobität // Wasser und Abwasser. –1983. – Band 26. – 175 s.
12. Охашкин А.Г., Кузьмин Г.В. Оценка сапробности Волжского плёса Рыбинского водохранилища по фитопланктону // Биол. внутр. вод. – 1978. – №38. – С. 24-28.

PHYTOPLANKTON CHARACTERISTIC OF SHALLOW WATERS SAPROBITY AND PELAGIAL ZONES IN THE VOLGA REACH OF THE RYBINSK RESERVOIR

V.V. Solovyeva, L.G. Korneva

*Institute of Biology of Inland Waters
RAS., Borok Settl., Nekouzskiy Distr.,
Jaroslavskaia Reg., 152742, Russia*

E-mail: solo@ibiw.yaroslavl.ru, korneva@ibiw.yaroslavl.ru

As a result of phytoplankton studies in 1997 comparison characteristics of saprobity of shallow waters and deep water of different types of the Volga reach of the Rybinsk Reservoir is presented.

Keywords: phytoplankton, saprobity, Volga reach of the Rybinsk Reservoir.