

## ХАРАКТЕРИСТИКА САПРОБНОСТИ МЕЛКОВОДИЙ И ПЕЛАГИАЛИ ВОЛЖСКОГО ПЛЁСА РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ФИТОПЛАНКТОНУ

**В.В. Соловьёва,**

**Л.Г. Корнева**

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

*E-mail: solo@ibiw.yaroslavl.ru, korneva@ibiw.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 км<sup>2</sup>) 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 км<sup>2</sup>. 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 Рутт-нера 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 (SN), так и по биомассе фито

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

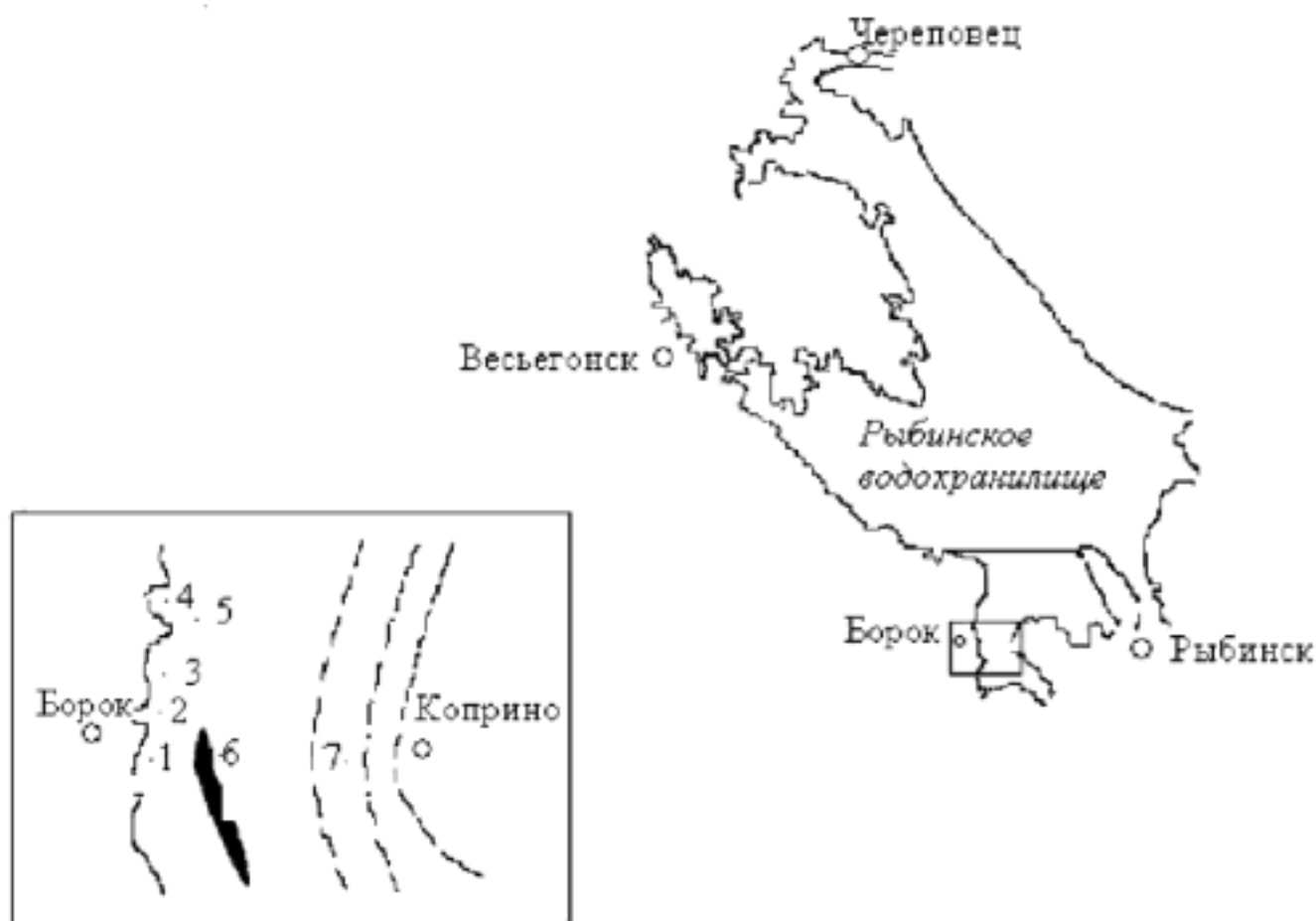


Рис. 1. Схема расположения станций в прибрежье Рыбинского водохранилища. 1-7 - номера станций

### 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 защищенном мелководье - 160, затем оно постепенно снижалось по мере приближения к открытой части водоема: 135 и 88. Основная часть индикаторных видов представлена зелеными водорослями (Chlorophyta) - 96 таксонов рангом ниже рода, число которых также убывало в этом же направлении: 61-72 на защищенном, 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 (синезеленых - Таблица 1 Cyanophyta, желтозеленых Таксономический состав видов индикаторов фитопланктона - Xanthophyta, криптофи- на разнотипных участках Волжского плёса Рыбинского водохранилища в 1997 г. товых - Cryptophyta и динофитовых - Dinophyta) число индикаторных видов на различных участках слабо варьировало. Однако относительный вклад диатомовых (Bacillariophyta) в таксономический состав видов индикаторов увеличивался от прибрежья к открытой части водоема (13% ^ 17% ^ 23%).

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

Большинство видов было представлено р-мезосапробами (всего 104 таксона) и олиго-р-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	%
o	11	7	9	7	7	8	17	9
o-m	2	1	2	1	1	1	2	1
o-p	35	22	30	22	20	23	43	23
p	94	59	78	58	51	58	104	56
%-p	1	1	1	1	0	0	1	1
p-a	9	6	6	4	3	3	10	5
a	6	4	8	6	5	6	8	4
a-p	2	1	1	1	1	1	2	1
Всего	160		135		88		187	

Примечание: % - ксеносапробная, o - олигосапробная, p - р-мезосапробная, a - а-мезосапробная, p - по- лисапробная зоны.

Число таксонов, характеризующих условия более низкой (o, o-m) и более высокой степени органического загрязнения (p-a, a, a-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 р-мезосапробы ( $60 \pm 3\%$  от численности и  $37 \pm 2\%$  от биомассы индикаторных видов) и олиго-р-мезосапробы ( $23 \pm 2\%$  и  $28 \pm 2\%$  соответственно).

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

Таблица 3

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

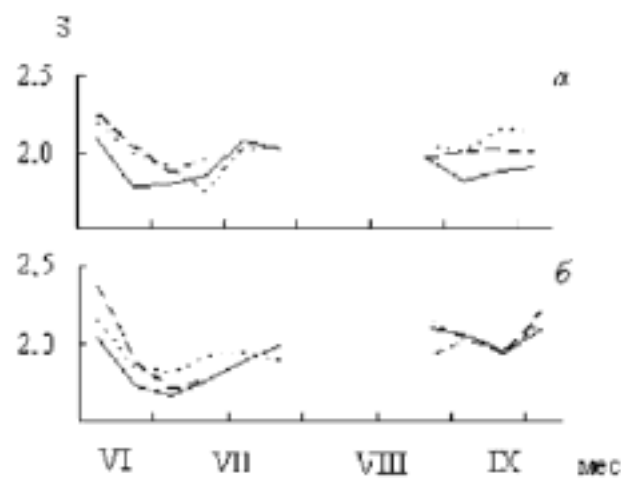
Сапробность	Защищённое мелководье		Открытое мелководье		Глубоководный участок	
	N	B	N	B	N	B
o	4±1	10±1	1±0	6±1	1±1	7±2
o-v	28±3	27±3	22±3	29±4	16±5	25±8
v	56±5	42±2	61±4	35±4	63±8	31±6
v-a	4±1	10±2	5±1	13±2	4±1	20±6
a	9±3	10±2	12±2	16±2	15±5	18±4

Примечание. N - численность, B - биомасса.

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

В период исследований уровень сапробности варьировал от значений характерных для олиго-р-мезосапробной зоны до величин нижней границы в-а-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 а-р-мезосапроб диатомея *Stephanodiscus hantzschii* Grun. [6]. На спаде развития весеннего комплекса водорослей, сопровождающегося структурной перестройкой фитопланктона (лидируют диатомовые: олиго-р-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 р-мезосапроб *Ulothrix subtilissima* Rabenh. (зелёные), который входил в состав ведущего комплекса на этом участке в течение всего месяца совместно с олиго-р-мезосапробом *Fragilaria crotonensis* Kitt. (диатомовые) и р-мезосапробом *Pediastrum duplex* Meyen (зелёные). В отличие от ст. 1, на ст. 2 и ст. 3 доминировали р-мезосапробы *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim. (диатомовые), *Pediastrum boryanum* (Turp.) Menegh. var. *boryanum* (ст. 2), *Pandorina morum* (O. F. Mull.) Bory (зелёные) и олиго-р-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 а-мезосапроб *Cyclotella meneghiniana* Kutz. (диатомовые). Кроме него на ст. 1 лидировали: из десмидиевых водорослей р-мезосапробы *Closteriummoniliferum* (Bory) Ehr. и *Cosmarium obtusatum* Schmidle, а на ст. 2, 3: из эвгленовых олиго-р-мезосапробы *Trachelomonas planctonica* Swirg. 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 р-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 -  $S_B$ .

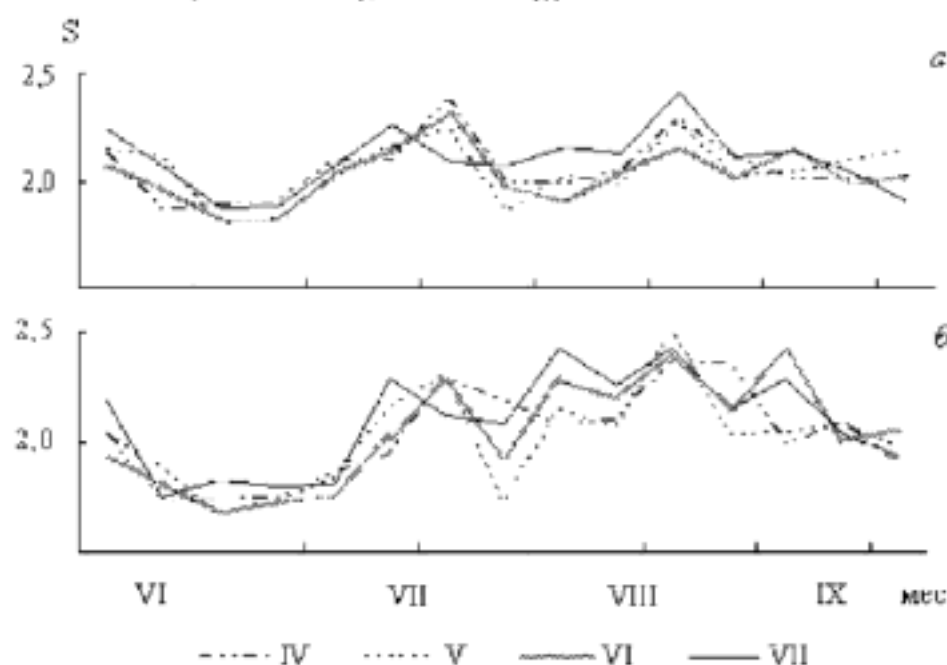


Рис. 3. Сезонная динамика сапробности на различных участках открытого мелководья и глубоководной части Волжского плёса Рыбинского водохранилища в 1997 г. Обозначения: IV - ст. 4, V - ст. 5, VI - ст. 6, VII - ст. 7; а, б - то же, что и на рис. 2.

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 *Aulacoseira granulata* в сопровождении зелёных водорослей из рода *Pediastrum* и из синезелёных р-мезосапроба *Microcystis aeruginosa* (Kutz.) Kutz.. 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 о-р- мезосапробной - р-а-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 ( $t = 3.18$ ,  $n = 23$ ,  $p = 0.05$ ).

Станция	Индексы сапробности индикаторных видов	
	$S_n$	$S_b$
1	$2.02 \pm 0.04$	$1.96 \pm 0.07$
2	$2.01 \pm 0.04$	$1.98 \pm 0.04$
3	$1.92 \pm 0.04$	$1.93 \pm 0.05$
4	$2.05 \pm 0.04$	$2.03 \pm 0.05$
5	$2.05 \pm 0.04$	$2.01 \pm 0.06$
6	$2.03 \pm 0.03$	$2.04 \pm 0.06$
7	$2.10 \pm 0.04$	$2.09 \pm 0.06$
Среднее	$2.04 \pm 0.02$	$2.03 \pm 0.04$

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

Качество воды исследуемых участков в соответствии с эколого-санитарными показателями [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 р-мезосапробам. Сапробность исследованных участков изменялась от значений, характерных для олиго-р-мезосапробной зоны, до таковых, соответствующих уровню р-а-мезосапробной, при минимальных в защищённом мелководье и максимальных в пелагиали водохранилища.

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

### Список литературы

1. Rolauffs P., Stubauer I., Zahradkova 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 объёмов 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. Окснюк 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. Sladecsek 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. Охалкин 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](mailto:solo@ibiw.yaroslavl.ru), [korneva@ibiw.yaroslavl.ru](mailto: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.