

УДК: 556.5

## ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДОХРАНИЛИЩ ВЕРХНЕЙ И СРЕДНЕЙ ВОЛГИ В МЕЖЕННЫЙ ПЕРИОД\*

© 2014 г. А.С. Литвинов, И.Э. Степанова, Э.С. Бикбулатов,  
Е.М. Бикбулатова

ФГБУН «Институт биологии внутренних вод Российской академии наук», пос. Борок,  
Ярославская область

**Ключевые слова:** водохранилище, гидрофизическая характеристика, биогенные элементы, органическое вещество.

Проведены обследования Рыбинского, Горьковского, Чебоксарского и верхней части Куйбышевского водохранилищ по ряду гидрофизических и гидрохимических (биогенные элементы, органическое вещество) параметров в наиболее напряженный в жизни водоемов период летней межени. Показано, что в меженный период различия между озеровидной и речной частью Горьковского водохранилища по содержанию элементов азота и фосфора, наблюдаемые в весенний период, сглаживаются. По мере продвижения вниз по каскаду водохранилищ снижается нагрузка аллохтонным органическим веществом и увеличивается содержание фосфатов, акватории ниже крупных городов можно принять за зоны повышенной экологической опасности.

Водоохранилища Волжского каскада позволяют решать проблемы водоснабжения различных отраслей экономики, обеспечения населения качественной водой. Высокая плотность населения и концентрация предприятий промышленности приводят к антропогенным нагрузкам на экосистемы водохранилищ. Наиболее тяжелое положение в водоемах создается в меженные периоды, когда при сохраняющейся антропогенной нагрузке существенно уменьшается естественный речной сток. В ходе работы ставилась задача оценить сложившееся экологическое состояние водоемов Верхней и Средней Волги. Полученные в меженные периоды гидрологические и гидрохимические данные довольно точно отражают состояние водохранилищ, могут служить информационной базой для выработки программы научно-обоснованных практических мероприятий по улучшению экологической ситуации.

### Материалы и методы исследования

Экспедиционные исследования современного экологического состояния Рыбинского, Горьковского, Чебоксарского и верхней части Куйбышевско-

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-05-00346.

го водохранилищ выполнены за короткий период (с 30 июля по 20 августа 2008 г.). Основное внимание уделялось изучению влияния крупных городов на экосистему водоемов. Точные координаты станций отбора проб установлены с помощью GPS 12 XL.

На каждой станции проводили измерения гидрометеорологических (температура воздуха, облачность, скорость и направление ветра, состояние поверхности водоема), гидрофизических (температура воды, электропроводность, прозрачность) и гидрохимических параметров. Измерения температуры воды и электропроводности осуществляли термокаппетром по вертикали через каждый метр глубины. Пробы воды для химических анализов отбирали батометром с горизонта 1 м. Большинство химических анализов проводили стандартными методами [1] на борту экспедиционного судна и в аттестованном Аналитическом центре Института биологии внутренних вод (ИБВВ) РАН. Органические формы углерода, фосфора и азота переводили в минеральные формы с помощью персульфата калия и определяли соответственно в виде диоксида углерода, ортофосфата и нитрата [2–4]. Расположение станций, их координаты и другие показатели, характеризующие условия отбора проб, приведены в табл. 1 и на рис. 1–3.

### Результаты исследований

*Гидрологические данные.* В питании водохранилищ Верхней Волги главенствующая роль принадлежит поверхностному стоку, более 50 % объема которого приходится на воды весеннего половодья.

По водности в бассейне Верхней и Средней Волги 2008 г. был на 16 % выше нормы. Наполнение водохранилищ закончилось в мае. За март–май поступление воды в Рыбинское водохранилище составило 16,72 км<sup>3</sup>. В конце мая уровень водохранилища достиг проектной отметки. В июне началась сработка водохранилища, объем притока составил 70 % объема сбросов. К началу экспедиции уровень Рыбинского водохранилища понизился на 35 см.

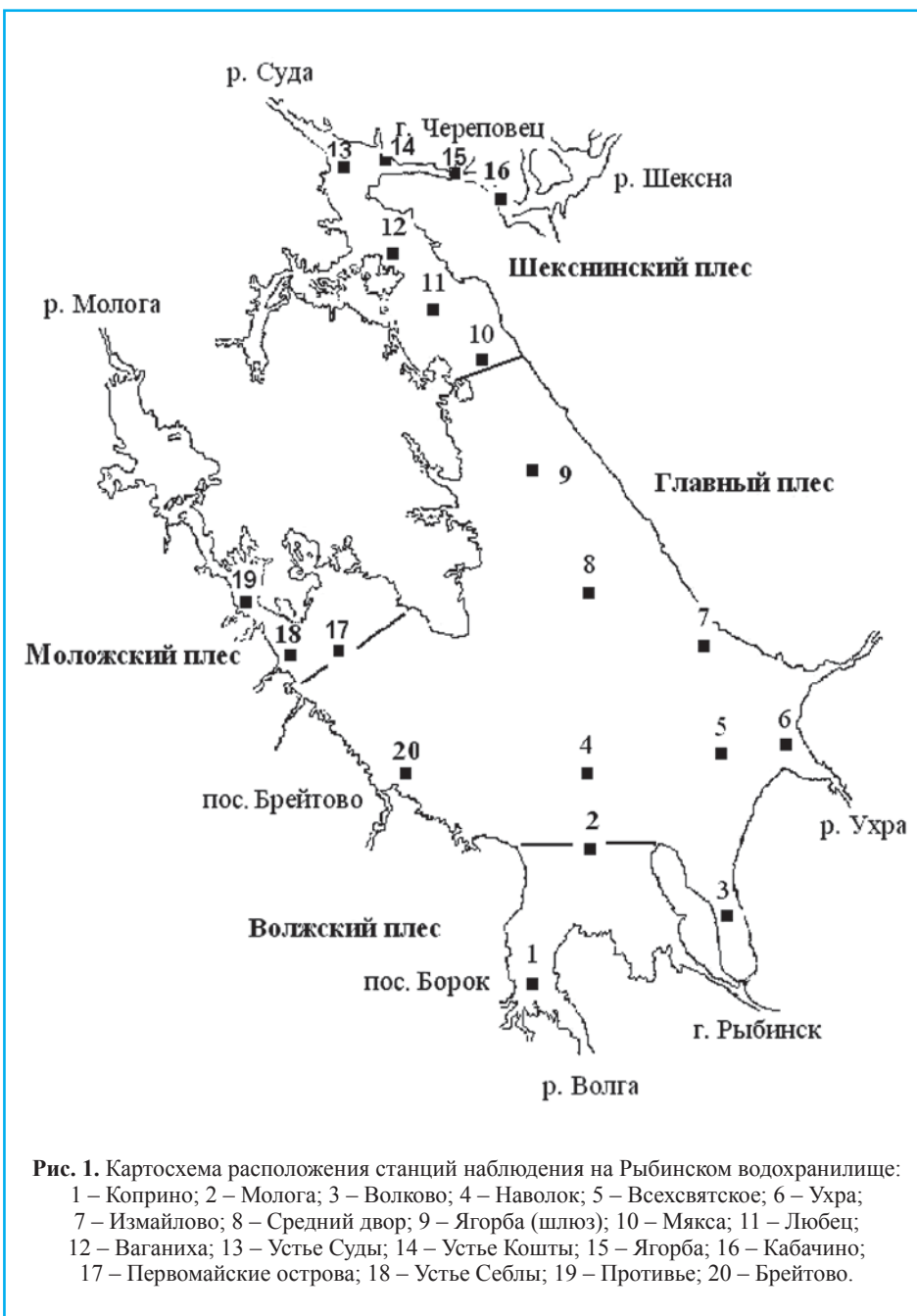
В период проведения экспедиционных работ среднесуточные расходы воды через Рыбинский и Горьковский гидроузлы изменялись от 680 до 1200 м<sup>3</sup>/с, Чебоксарский – до 2000 м<sup>3</sup>/с. Температура воздуха в утренние и вечерние часы находилась в диапазоне от +13 до +18 °С. В дневные часы в отдельные сутки она повышалась до +25 °С, составляя в среднем 18–22 °С. На Рыбинском и Горьковском водохранилищах скорость ветра северной четверти изменялась от штиля до 4–5 м/с, только 6–8 августа в отдельные периоды она увеличилась до 7–10 м/с. При работе на Чебоксарском и Куйбышевском водохранилищах с 10 августа скорость ветра не превышала 3–5 м/с при западном и юго-западном направлениях.

Таблица 1. Местоположение, глубина станций и время отбора проб, июль–август 2008 г.

№ станции	Название станции	Дата, время	Широта, φ	Долгота, λ	Глубина, м
<b>Рыбинское водохранилище</b>					
1	Коприно	30.07; 09–00	58°04'00"	38°18'	13
2	Молога	30.07; 11–00	58°13'00"	38°27'32"	15
3	Волково	01.08; 7–40	58°09'60"	38°47'82"	17
4	Наволоки	30.07; 13–10	58°22'75"	38°23'24"	10
5	Всехсвятское	01.08; 10–55	58°23'25"	38°38'57"	10
6	устье Ухры	01.08; 9–50	58°22'56"	38°52'72"	7
7	Измайлово	30.07; 14–00	58°27'72"	38°29'70"	7
8	Средний Двор	30.07; 14–55	58°31'42"	38°19'79"	10
9	Ягорба (шлюз)	31.07; 19–50	58°43'61"	38°16'12"	13
10	Мякса	31.07; 18–20	58°51'73"	38°07'50"	13
11	Любец	31.07; 16–35	59°00'97"	37°51'20"	11
12	Ваганиха	31.07; 9–20	59°07'08"	37°40'13"	9
13	устье Суды	31.07; 8–40	59°05'91"	37°43'74"	9
14	устье Кошты	31.07; 10–30	59°07'23"	37°56'33"	7
15	р. Ягорба	31.07; 13–20	59°11'40"	37°93'50"	6
16	Кабачино	31.07; 14–10	59°06'19"	38°01'34"	12
17	Первомайские о-ва	30.07; 19–55	58°23'66"	37°45'02"	11
18	устье Себлы	31.08; 9–50	58°22'56"	38°52'72"	7
19	Противье	30.07; 20–30	58°31'40"	37°32'20"	5
20	Брейтово	30.07; 17–10	58°19'36"	37°57'01"	13
<b>Горьковское водохранилище</b>					
1	н/б Рыбинской ГЭС	04.08; 13–10	58°03'58"	38°50'39"	7
2	ниже Рыбинска	04.08; 14–50	58°02'26"	38°56'18"	5
3	выше Ярославля	04.08; 18–50	57°41'76"	39°49'26"	5
4	ниже Ярославля	05.08; 8–10	57°33'70"	40°07'01"	7
5	Красный Профинтерн	05.08; 9–55	57°44'91"	40°27'51"	6
6	выше Костромы	05.08; 11–05	57°46'87"	40°42'30"	7
7	ниже Костромы	05.08; 17–55	57°41'22"	40°59'66"	6
8	ниже Плеса	06.08; 7–30	57°27'20"	41°33'87"	12
9	ниже Кинешмы	06.08; 10–35	57°26'70"	42°14'18"	14
10	Юрьевец (правый берег)	06.08; 14–30	57°18'69"	43°07'20"	13
11	Юрьевец (середина)	06.08; 15–30	57°21'44"	43°11'84"	10
12	Пучеж	06.08; 19–00	56°58'63"	43°11'70"	15
13	в/б Горьковской ГЭС, середина	07.08; 7–20	56°41'25"	43°20'45"	14
14	в/б Горьковской ГЭС, (левый берег)	07.08; 8–00	56°41'64"	43°23'25"	11

Окончание табл. 1

№ станции	Название станции	Дата, время	Широта, φ	Долгота, λ	Глубина, м
<b>Чебоксарское водохранилище</b>					
15	н/б Горьковской ГЭС	07.08; 11–30	56°36'45"	43°29'45"	3
16	Сормово	07.08; 14–00	56°21'08"	43°56'13"	3
17	р. Ока	08.08; 08–06	56°19'46"	43°58'17"	5
18	БОС ПБ (правый берег)	08.08; 9–55	56°16'85"	44°08'34"	5
19	БОС ЛБ (левый берег)	08.08; 10–15	56°16'73"	44°09'10"	5
20	ниже Кстово ПБ	08.08; 11–35	56°09'59"	44°13'99"	8
21	ниже Кстово ЛБ	08.08; 11–55	56°09'75"	44°14'34"	5
22	Безводное ПБ	08.08; 13–12	56°09'05"	44°22'90"	5
23	Безводное ЛБ	08.08; 13–30	56°09'15"	44°23'22"	4
24	Макарьев ПБ	08.08; 17–25	56°04'87"	45°05'41"	4
25	Макарьев ЛБ	08.08; 17–40	56°05'07"	45°04'91"	9
26	р. Сура	09.08; 09–10	56°06'78"	45°59'42"	8
27	Васильсурск ПБ	09.08; 10–15	56°08'18"	46°00'11"	12
28	Васильсурск ЛБ	09.08; 10–45	56°08'36"	45°59'83"	7
29	р. Ветлуга	09.08; 13–20	56°18'88"	46°22'25"	9
30	Козьмодемьянск ПБ	09.08; 16–10	56°20'85"	46°35'95"	4
31	Козьмодемьянск ЛБ	09.08; 16–25	56°21'46"	46°35'55"	15
32	Ильинка	09.08; 19–30	56°11'19"	46°50'00"	16
33	в/б Чебоксарской ГЭС	10.08; 14–50	56°08'44"	47°23'79"	13
<b>Куйбышевское водохранилище</b>					
34	н/б Чебоксарской ГЭС	10.08; 17–25	56°06'91"	47°34'47"	7
35	Звенигово	10.08; 20–10	55°55'94"	48°05'17"	9
36	против Свяги	11.08; 10–05	55°47'29"	48°45'99"	9
37	ниже Казани	11.08; 16–35	55°41'72"	49°00'46"	10
38	Камское устье	12.08; 09–15	55°14'47"	49°14'12"	15
39	гора Лобач	12.08; 10–05	55°11'48"	49°19'23"	17
40	2 станция 1 разреза	12.08. 11–00	55°12'72"	49°22'01"	8
41	3 станция 1 разреза	12.08; 11–45	55°13'35"	49°23'54"	9
42	4 станция 1 разреза	12.08; 12–45	55°15' 30"	49°27'22"	19
43	5 станция 1 разреза	12.08; 14–05	55°19'00"	49°29'20"	17
44	1 станция 2 разреза	13.08; 08–08	55°08'04"	49°11'52"	10
45	2 станция 2 разреза	13.08; 08–40	55°07'21"	49°13'22"	7
46	3 станция 2 разреза	13.08; 09–14	55°06'29"	49°15'32"	10
46а	4 станция 2 разреза	13.08; 09–50	55°05'34"	49°17'52"	12





Температура поверхностного слоя воды в Рыбинском водохранилище изменялась от +18,6 в северной части Моложского и Шекснинского плесов до +20,2 °С в центральной части водохранилища. Разница температуры по вертикали не превышала 0,8 °С. В Горьковском водохранилище она изменялась от +18,5 до 20,1 °С, в Чебоксарском от +117,4 до 19,4 °С, в Куйбышевском от +19,7 до 20,7 °С (табл. 2). В связи с достаточно интенсивным перемешиванием за счет скоростей течения различия по вертикали составляли не более 0,3 °С.

**Таблица 2.** Температура, прозрачность воды и электропроводность в поверхностном слое в водохранилищах Верхней и Средней Волги, июль–август 2008 г.

№ станции	Температура, °С	Электропроводность при 18 °С, мксим/см	Прозрачность, см
<b>Рыбинское водохранилище</b>			
1	19,9	208	150
2	19,9	208	190
3	19,5	210	130
4	19,5	210	130
5	19,9	208	160
6	19,3	214	160
7	20,2	208	140
8	19,8	208	130
9	19,4	194	160
10	19,4	173	130
11	18,9	215	120
12	18,8	280	130
13	18,6	246	110
14	19,8	210	100
15	19,4	240	110
16	19,7	155	120
17	18,9	194	130
18	19,3	191	130
19	19,0	196	130
20	19,6	193	150
<b>Горьковское водохранилище</b>			
1	18,8	201	110
2	18,9	201	110
3	19,0	204	100
4	19,0	203	100
5	19,0	212	100
6	19,0	216	100
7	19,2	222	80
8	19,3	234	110

Окончание табл. 2

№ станции	Температура, °С	Электропроводность при 18 °С, мксим/см	Прозрачность, см
9	20,1	232	130
10	19,2	219	120
11	18,6	220	120
12	18,5	194	150
13	18,9	204	160
14	18,8	203	150
Чебоксарское водохранилище			
15	18,6	202	120
16	18,3	204	150
17	17,4	407	170
18	17,4	405	170
19	17,4	278	150
20	17,4	335	70
21	17,4	239	70
22	17,6	295	110
23	17,5	225	130
24	17,9	328	120
25	17,8	248	130
26	19,0	532	120
27	18,6	317	130
28	18,4	295	120
29	18,2	256	130
30	19,3	316	70
31	19,0	307	150
32	19,0	318	170
33	19,4	313	150
Куйбышевское водохранилище			
34	19,8	315	200
35	19,8	320	180
36	19,6	328	210
37	20,1	325	190
38	19,8	316	150
39	19,9	314	150
40	19,9	314	110
41	19,9	326	130
42	20,5	338	150
43	20,4	335	140
44	19,9	312	130
45	20,7	313	160
46	19,7	315	160
47	21,0	310	100



Распределение температуры воды по поперечным разрезам в Чебоксарском водохранилище ниже устья р. Оки зависит от температуры в его основных притоках. Более низкая температура воды у правого берега в верховьях водохранилища обусловлена меженными водами р. Оки. Как было показано ранее, воды р. Оки, несмотря на значительные скорости течения, на достаточно большом расстоянии распространяются вдоль правого берега водохранилища [5].

Значения электропроводности воды в водохранилищах определяли положением водных масс различного генезиса и их перемешиванием. В Рыбинском водохранилище она изменялась от 185 до 195 мксим/см в Моложском плесе, до 204–245 мксим/см в Волжском, Шекснинском и Главном плесах. В Горьковском водохранилище – от 205 мксим/см в речной части ниже плотины Рыбинской ГЭС до 240 мксим/см в районе городов Плес и Кинешма. Ниже г. Юрьеvec в озерной части электропроводность зафиксирована в диапазоне от 205 до 220 мксим/см. В нижнем бьефе Горьковской ГЭС до устья р. Оки 202–204 мксим/см. Воды р. Оки имели электропроводность 407 мксим/см. В связи с этим ниже устья Оки до устья р. Суры у правого берега водохранилища электропроводность изменялась от 405 до 295 мксим/см, а у левого берега – от 225 до 278 мксим/см. Ниже устья р. Суры за счет ее высоко минерализованных вод вновь наблюдалось повышение электропроводности до 318 мксим/см. В Куйбышевском водохранилище от нижнего бьефа Чебоксарской ГЭС, включая Камское расширение, электропроводность изменялась от 312 до 338 мксим/см (табл. 2).

### Биогенные элементы и органическое вещество

*Биогенные элементы.* В Рыбинском водохранилище содержание всех биогенных элементов варьировало в широких пределах (табл. 3), максимальное отмечалось в Шекснинском плесе. В р. Коште, притоке Шекснинского плеса, куда непосредственно сбрасываются промышленные стоки г. Череповца, зафиксированы повышенные концентрации неорганических форм азота и фосфора. Уровень общего азота и общего фосфора превышал соответствующие величины, характерные не только для водохранилища в целом, но и Шекснинского плеса. В придонных слоях воды р. Кошты количество нитритов в несколько раз превышало ПДК по этому компоненту, что свидетельствует о развитых процессах нитрификации. В нижней части Шекснинского плеса (ст. Ягорба 2, Мяска и Любец) уровень всех исследованных веществ был невысок, как и в Центральном плесе, где содержание нитритов падало до аналитического нуля (на ст. Волково, Ухра, Всехсвятское).

**Таблица 3.** Содержание биогенных элементов в Рыбинском, Горьковском, Чебоксарском и Куйбышевском водохранилищах в начале августа 2008 г., мг N или P на дм<sup>3</sup>

№ станции	Название станции	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N <sub>общ</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	P <sub>общ</sub>
<b>Рыбинское водохранилище</b>						
1	Коприно	0,005	0,07	0,86	0,027	0,059
2	Молога	0,003	0,04	0,83	0,010	0,050
3	Волково	0	0,039	1,03	0,011	0,042
4	Наволоч	0,007	0,07	0,69	0,008	0,031
5	Всехсвятское	0	0,017	0,69	0,002	0,032
6	Ухра	0	0,025	0,47	0,036	0,032
7	Измайлово	0,004	0,06	0,59	0,007	0,029
8	Средний Двор	0,007	0,06	0,69	0,007	0,031
9	Ягорба (шлюз)	0,004	0,028	1,02	0,038	0,042
10	Мякса	0	0,02	0,75	0,043	0,053
11	Любец	0,001	0,029	0,74	0,056	0,061
12	Ваганиха	0,011	0,11	1,01	0,057	0,096
13	устье Суды	0,008	0,09	–	0,020	0,066
14	устье Кошты	0,022	0,163	1,44	0,056	0,100
	Кошта (дно)*	0,246	1,269	3,85	0,058	0,046
	Кошта (пов)*	0,184	0,905	3,81	0,062	0,115
	Промсток (пов)*	0,051	0,565	3,23	0,214	0,500
	Промсток (дно)*	0,015	0,262	1,89	0,220	0,519
15	р. Ягорба	0,002	0,049	0,85	0,056	0,103
16	Кабачино	0	0,003	0,73	0,016	0,060
17	Первомайские о-ва	0	0,018	0,74	0,060	0,073
18	устье Себлы	0	0,015	0,72	0,036	0,067
19	Противье	0	0,013	0,73	0,034	0,070
20	Брейтово	0,006	0,05	0,68	0,011	0,047
	<b>Среднее по водохранилищу</b>	<b>0,006</b>	<b>0,037</b>	<b>0,93</b>	<b>0,030</b>	<b>0,057</b>
<b>Горьковское водохранилище</b>						
1	н/б Рыбинской ГЭС	0	0,004	0,85	0,018	0,048
2	ниже Рыбинска	0	0,007	1,05	0,060	0,096
3	выше Ярославля	0	0,030	1,08	0,026	0,092
4	ниже Ярославля	0	0,012	1,09	0,023	0,080
5	Красный Профинтерн	0	0,036	0,84	0,027	0,052
6	выше Костромы	0	0,046	0,92	0,038	0,113
7	ниже Костромы	0	0,092	0,86	0,068	0,145
8	ниже Плеса	0,003	0,077	1,60	0,059	0,122
9	ниже Кинешмы	0,003	0,087	0,74	0,056	0,108
10	Юрьеvec (ПБ)	0	0,024	1,15	0,046	0,072
11	Юрьеvec (середина)	0	0,033	1,12	0,056	0,155
12	Пучеж	0	0,018	0,92	0,039	0,079

Окончание табл. 3

№ станции	Название станции	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N <sub>общ</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	P <sub>общ</sub>
13	в/б ГГЭС (середина)	0	0,017	0,76	0,032	0,049
14	в/б ГГЭС (ЛБ)	0	0,017	1,23	0,030	0,070
	<b>Среднее по водохранилищу</b>	<b>0</b>	<b>0,035</b>	<b>1,01</b>	<b>0,041</b>	<b>0,091</b>
Чебоксарское водохранилище						
15	н/б ГГЭС	0	0,027	2,03	0,026	0,056
16	Сормово ниже моста	0,003	0,015	1,15	0,028	0,063
17	Ока между мостами	0,003	0,370	1,08	0,068	0,128
18	ниже БОС (ПБ)	0,003	0,331	1,57	0,064	0,125
19	ниже БОС (ЛБ)	0,004	0,216	1,58	0,062	0,110
20	ниже Кстово (ПБ)	0,004	0,200	1,24	0,075	0,168
21	ниже Кстово (ЛБ)	0,003	0,110	1,40	0,065	0,124
22	Безводное (ПБ)	0,004	0,164	1,69	0,070	0,176
23	Безводное (ЛБ)	0,003	0,169	1,49	0,070	0,119
24	Макарьево (ПБ)	0,004	0,061	1,64	0,075	0,137
25	Макарьево (ЛБ)	0,005	0,077	1,56	0,060	0,148
26	р. Сура	0,019	0,048	1,29	0,094	0,260
27	Васильсурск (ПБ)	0,008	0,136	1,32	0,101	0,172
28	Васильсурск (ЛБ)	0,011	0,103	1,14	0,074	0,151
29	р. Ветлуга	0,008	0,125	1,29	0,075	0,140
30	ниже Козмодемьянска (ПБ)	0,009	0,120	1,25	0,070	0,115
31	ниже Козмодемьянска (ЛБ)	0,009	0,118	1,12	0,043	0,110
32	Ильинка	0,012	0,124	1,06	0,062	0,096
33	ниже Чебоксар	0,026	0,166	1,14	0,040	0,087
	<b>Среднее по водохранилищу</b>	<b>0,007</b>	<b>0,142</b>	<b>1,37</b>	<b>0,064</b>	<b>0,130</b>
Куйбышевское водохранилище						
34	н/б Чебоксарской ГЭС	0,026	0,161	1,17	0,069	0,108
35	ниже Звенигово	0,011	0,089	0,96	0,120	0,190
36	против устья Свияги	0,010	0,100	0,84	0,114	0,158
37	ниже Казани	0,014	0,040	1,13	0,115	0,183
38	Камское Устье	0,012	0,089	0,92	0,117	0,184
39	Рынок г. Лобач	0,011	0,102	1,03	0,114	0,180
43	5-я ст. первого разреза	0,002	0,093	0,70	0,084	0,143
45	2-я ст. второго разреза	0,002	0,089	0,84	0,068	0,112
47	4-я ст. второго разреза	0,003	0,093	0,70	0,056	0,094
	<b>Среднее по водохранилищу</b>	<b>0,010</b>	<b>0,126</b>	<b>0,81</b>	<b>0,095</b>	<b>0,150</b>

Примечание: \* – эти станции при расчете средней концентрации по водохранилищу не учитывались.

Уровни азота и фосфора в речном плесе Горьковского водохранилища формируют небогатые биогенными элементами воды, поступающие из Рыбинского водохранилища. Качество его вод в значительной степени определяют сточные воды крупных городов, влияние которых наиболее отчетливо наблюдается весной, когда разбавление стоков снижается вследствие малого сброса воды через Рыбинский гидроузел. Среди соединений азота и фосфора преобладают минеральные формы. Летом при увеличении кратности разбавления сточных вод отмечается слабая тенденция к повышению концентраций азота и фосфора ниже крупных городов [6, 7] – Костромы, Кинешмы, Плеса (см. табл. 3). В бассейн Горьковского водохранилища в последнее десятилетие ежегодно поступает 40–80 тыс. т загрязняющих веществ, в т. ч. 5–10 тыс. т органического вещества (по БПК<sub>5</sub>); 2,0–2,5 тыс. т аммонийного азота; 2–4 тыс. т нитратов; 80–240 т нитритов; 150–300 т фосфатов [8]. В приплотинной зоне концентрации фосфатов и общего фосфора минимальны [6] (см. табл. 3).

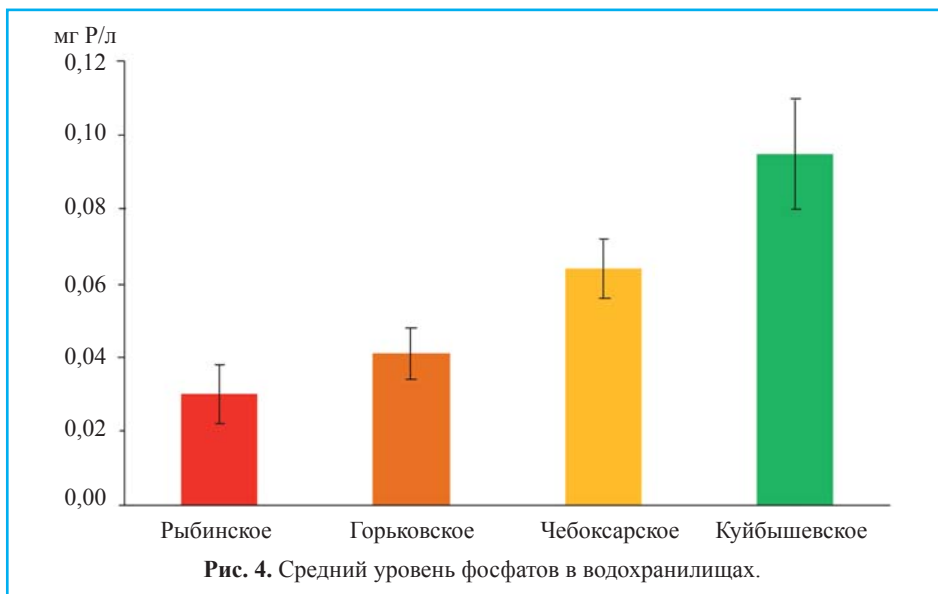
Весной в озерном плесе водохранилища отмечается более низкий уровень содержания биогенных элементов по сравнению с речным [6]. Это обусловлено влиянием крупных боковых притоков, незарегулированный сток которых содержит небольшие количества азота и фосфора из-за невысокой освоенности водосбора. В летний период различия между озерной и речной частью водохранилища по содержанию элементов азота и фосфора сглаживаются (см. табл. 3).

Содержание нитритов в водохранилище в период максимального развития фитопланктона падает до аналитического нуля практически по всей акватории, исключение составляет вода ниже городов Плеса и Кинешма (0,003 мг N/дм<sup>3</sup>), где также отмечается и наибольший уровень нитратов (0,077 и 0,087 мг N/дм<sup>3</sup> соответственно).

В Чебоксарском водохранилище по различному генезису водных масс выделяются два участка: верхний – от плотины Горьковского гидроузла до устья р. Оки и нижний – от устья р. Оки до г. Чебоксары. Первый участок заполнен волжской водной массой, сформированной в Рыбинском и Горьковском водохранилищах. Во втором участке, ниже устья р. Оки, идет взаимодействие волжской и окской вод. При этом окские воды сформированы в условиях, существенно отличающихся от условий Верхней Волги. Главной особенностью состава вод на участке ниже устья р. Оки является ярко выраженная пространственная неоднородность в распределении суммы солей, соотношениях главных ионов, биогенных элементов и органического вещества [9]. Менее минерализованные волжские воды, прижатые к левому берегу, сохраняют свои гидрохимические характеристики до с. Безводное. Более минерализованные воды р. Оки, испытывающей мощную антропогенную нагрузку предприятий г. Дзержинска, содержат заметно большие количества химических компонентов. Содержание нитратов и соединений фосфора

в водах Оки в два и более раз превышает соответствующие концентрации в волжских водах (см. табл. 3). Это является явным признаком неблагополучия экологической ситуации как в самой реке, так и на подверженных ее воздействию участках. Другими источниками, формирующими качество воды второго участка, служат реки Сура и Ветлуга, объем притока которых в среднем составляет 13,5 % от суммарного в водохранилище. Главным компонентом, отличающим химический состав воды Суры от водохранилищных вод, является фосфор как в неорганической, так и органической форме.

Уровень нитратов в водохранилище варьирует от 0,027 в нижнем бьефе ГГЭС до 0,033 ниже биологических очистных сооружений (правый берег), составляя в среднем 0,140 мг N/дм<sup>3</sup>. Уровень фосфатов максимален под Васильсурском (0,101 мг P/дм<sup>3</sup>). В Чебоксарском водохранилище уровни нитритов и нитратов в 3 раза, а фосфатов и общего фосфора в 1,5 раза больше, чем в вышележащем Горьковском (см. табл. 3). Такой высокий уровень неорганических форм азота и фосфора обусловлен тем, что Чебоксарское водохранилище испытывает более высокую антропогенную нагрузку, чем Горьковское. В Чебоксарское водохранилище в течение года в среднем поступает от 10 до 95 тыс. т загрязняющих веществ, в т. ч. 5–12 тыс. т органического вещества; 2,8–5,0 тыс. т аммонийного азота; 2–11 тыс. т нитратов; 60–290 т нитритов; 280–1200 т фосфора [8]. В верхней части Куйбышевского водохранилища – Волжском и Волжско-Камском плесах – содержание неорганических форм биогенных элементов выше, чем в остальных исследуемых водохранилищах (см. табл. 3). Уровень фосфатов и общего фосфора возрастает по мере продвижения вниз по каскаду (рис. 4, 5).



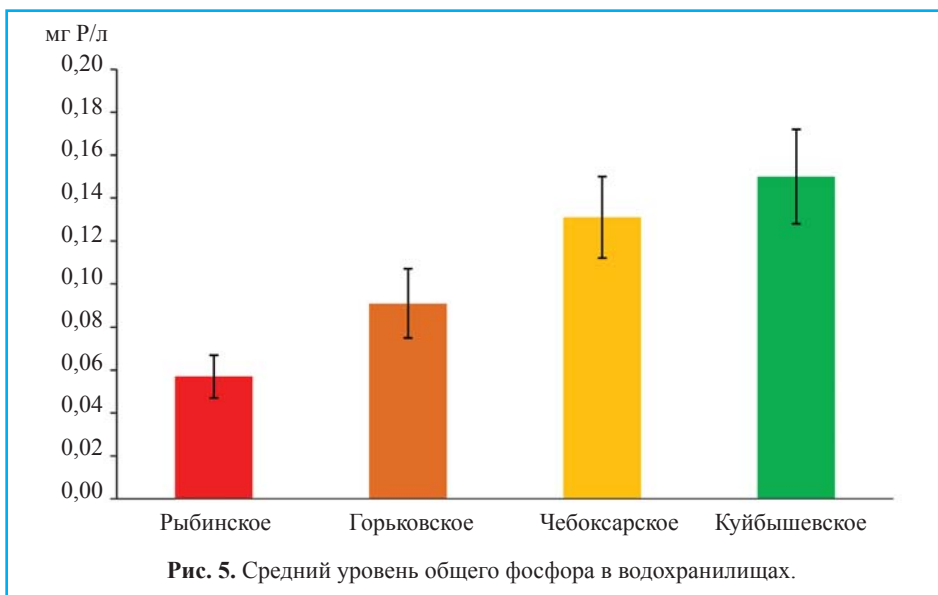


Рис. 5. Средний уровень общего фосфора в водохранилищах.

Исследуемые водохранилища характеризуются довольно высоким содержанием общего азота и фосфора [9, 10] (см. табл. 3), которое должно обеспечивать потребности альгоценозов. Однако этот запас в ряде случаев недоступен для водорослей, что вызывает биогенное лимитирование. В Рыбинском водохранилище фиксировалось лимитирование по фосфору ( $N/P = 18,8$ ). Исходя из соотношения концентраций этих веществ в верхней части Горьковского водохранилища, где еще не трансформированы воды расположенного выше Рыбинского (табл. 1), можно предположить, что фитопланктон также испытывает фосфорное лимитирование ( $N_{\text{общ}}/P_{\text{общ}} > 15$ ). На остальных станциях, где  $N_{\text{общ}}/P_{\text{общ}}$  от 12 до 15, он обеспечен сбалансированным биогенным питанием. В Чебоксарском водохранилище развитие фитопланктона в волжской воде также лимитировано фосфором (среднее  $N_{\text{общ}}/P_{\text{общ}} = 16$ ), в окской – азотом [10].

*Органическое вещество.* Экологически значимая лабильная компонента органического вещества (ЛОВ), определяемая по БПК<sub>5</sub>, в Рыбинском водохранилище варьировала от 0,7 до 8,9 мг О/дм<sup>3</sup> (в местах выпуска промстоков). В основном она не превышала 2 мг О/дм<sup>3</sup>, что характерно для достаточно чистых водоемов. Повышенные величины наблюдались во время массового развития синезеленых водорослей как результат прижизненного выделения легко утилизируемых микрофлорой веществ (табл. 4). На лабильную фракцию приходилось 2,6–14,8 % общего количества ОВ. Наиболее высоким процентное содержание ЛОВ было в

**Таблица 4.** Показатели органического вещества в Рыбинском, Горьковском, Чебоксарском и Куйбышевском водохранилищах, август 2008 г.

№ станции	Название станции	Показатель					
		рН	Цветность, градус цветности	БПК <sub>5</sub> , мгО/дм <sup>3</sup>	ХПК, мгО/дм <sup>3</sup>	Концентрация ОВ во взвеси, мгС/дм <sup>3</sup>	БПК <sub>5</sub> /ХПК, %
<b>Рыбинское водохранилище</b>							
1	Коприно	8,15	50	1,6	31,1	0,9	5,1
2	Молога	8,34	50	2,3	33,9	1,5	6,8
3	Волково	8,54	55	1,6	30,4	1,0	5,3
4	Наволоки	8,24	50	1,3	33,9	1,0	3,8
5	Всехсвятское	8,35	50	1,5	35,0	–	4,3
6	Ухра	8,28	55	1,5	29,2	1,3	5,1
7	Измайлово	8,32	45	1,1	29,6	1,2	3,7
8	Средний Двор	8,32	45	0,9	30,7	1,2	3,0
9	Ягорба (шлюз)	8,20	55	1,3	36,2	1,1	3,6
10	Мякса	8,15	60	1,3	41,3	1,5	3,2
11	Любец	8,30	60	1,1	44,0	1,3	2,5
12	Ваганиха	8,26	60	1,9	38,5	0,9	4,9
13	устье Суды	8,08	130	2,9	51,4	1,0	5,7
14	устье Кошты	8,24	55	2,4	38,9	1,3	6,2
	Кошта (дно)*	8,38	55	5,6	44,4	2,6	12,6
	Кошта (пов)*	8,41	60	5,3	42,8	0,9	12,4
	Промсток (пов)*	7,60	65	8,9	51,7	2,5	17,2
	Промсток (дно)*	7,72	65	5,5	38,5	1,9	14,3
15	р. Ягорба	8,01	60	1,5	38,9	1,4	3,9
16	Кабачино	8,18	60	1,3	34,6	1,4	3,8
17	Первомайские о-ва	8,30	55	2,9	38,5	0,8	7,5
18	устье Себлы	8,24	55	1,9	34,6	0,9	5,5
19	Противье	8,26	55	2,0	34,6	0,9	5,7
20	Брейтово	8,36	45	1,6	34,3	1,2	4,7
	<b>Среднее</b>	<b>8,22</b>	<b>58</b>	<b>2,04</b>	<b>36,8</b>	<b>1,23</b>	<b>5,3</b>
<b>Горьковское водохранилище</b>							
1	н/б Рыбинской ГЭС	8,40	50	3,00	26,8	1,5	11,2
2	ниже Рыбинска	8,42	50	1,6	26,4	1,5	6,1
3	выше Ярославля	8,35	50	1,3	27,5	1,5	4,7
4	ниже Ярославля	8,40	50	2,3	25,7	1,6	9,0
5	Красный Профинтерн	8,20	55	3,7	27,2	1,2	13,6
6	выше Костромы	8,32	55	1,3	32,8	1,6	4,0
7	ниже Костромы	8,24	55	2,9	23,4	1,6	12,4
8	ниже Плеса	8,20	55	1,2	24,9	1,4	4,8
9	ниже Кинешмы	8,10	55	0,8	26,4	0,5	3,8

Продолжение табл. 4

№ станции	Название станции	Показатель					
		рН	Цветность, градус цветности	БПК <sub>5</sub> , мгО/дм <sup>3</sup>	ХПК, мгО/дм <sup>3</sup>	Концентрация ОВ во взвеси, мгС/дм <sup>3</sup>	БПК <sub>5</sub> /ХПК, %
10	Юрьевец (ПБ)	7,95	50	1,2	29,0	1,0	4,2
11	Юрьевец (середина)	8,20	55	1,2	31,3	1,7	3,8
12	Пучеж	8,14	55	1,4	31,3	1,4	4,5
13	в/б ГГЭС (середина)	8,20	50	0,7	26,8	1,1	2,6
14	в/б ГГЭС (ЛБ)	8,15	50	0,7	27,2	1,0	2,6
	<b>Среднее</b>	<b>8,23</b>	<b>53</b>	<b>1,66</b>	<b>27,6</b>	<b>1,33</b>	<b>6,2</b>
Чебоксарское водохранилище							
15	н/б ГГЭС	8,10	50	3,8	27,5	1,2	13,8
16	Сормово, ниже моста	7,92	50	1,0	25,6	1,4	3,9
18	ниже БОС (ПБ)	8,22	60	2,8	30,2	1,9	9,3
19	ниже БОС (ЛБ)	8,25	60	2,2	29,4	2,1	7,5
20	ниже Кстово (ПБ)	8,13	55	2,7	27,5	1,7	9,8
21	ниже Кстово (ЛБ)	8,20	55	1,5	35,8	1,4	4,2
22	Безводное (ПБ)	8,22	55	1,4	40,4	1,3	3,5
23	Безводное (ЛБ)	8,18	55	1,2	35,1	1,2	3,4
24	Макарьево (ПБ)	7,95	55	1,6	39,0	1,2	4,1
25	Макарьево (ЛБ)	8,15	55	1,7	27,5	1,3	6,2
26	р. Сура	8,16	45	2,7	23,4	–	11,5
27	Васильсурск (ПБ)	8,10	50	1,0	30,9	0,8	3,2
28	Васильсурск (ЛБ)	8,10	50	1,0	33,9	0,7	3,0
29	р. Ветлуга	8,05	55	1,1	39,2	0,9	2,8
30	ниже Козмодемьянска (ПБ)	8,15	55	1,5	41,9	0,6	3,6
31	ниже Козмодемьянска (ЛБ)	8,15	55	1,3	24,9	0,7	5,2
32	Ильинка	7,95	50	2,4	24,5	0,6	9,8
33	ниже Чебоксар	8,18	50	1,6	24,1	0,5	6,6
	<b>Среднее</b>	<b>8,12</b>	<b>53</b>	<b>1,80</b>	<b>31,1</b>	<b>1,15</b>	<b>6,2</b>
Куйбышевское водохранилище							
34	н/б ЧГЭС	8,15	50	1,0	27,9	0,5	3,6
35	ниже Звенигово	8,15	50	1,0	24,5	0,4	4,1



Окончание табл. 4

№ станции	Название станции	Показатель					
		рН	Цветность, градус цветности	БПК <sub>5</sub> , мгО/дм <sup>3</sup>	ХПК, мгО/дм <sup>3</sup>	Концентрация ОВ во взвеси, мгС/дм <sup>3</sup>	БПК <sub>5</sub> /ХПК, %
36	против устья Свияги	8,22	45	2,3	23,8	0,5	9,7
37	ниже Казани	8,00	45	1,3	52,8	0,5	2,5
38	Камское Устье	7,92	50	1,9	32,4	0,5	5,9
39	г. Лобач	8,10	45	1,0	38,9	0,5	2,6
43	5-я ст. первого разреза	8,12	45	0,9	27,5	0,4	3,3
45	2-я ст. второго разреза	8,10	45	1,0	–	0,5	–
47	4-я ст. второго разреза	8,12	45	1,2	31,7	0,7	3,8
	<b>Среднее</b>	<b>8,10</b>	<b>47</b>	<b>1,3</b>	<b>32,4</b>	<b>0,50</b>	<b>4,4</b>

Рыбинском водохранилище в Шекснинском плесе, а также в Горьковском ниже Ярославля и Костромы, в Чебоксарском ниже БОС и Кстово и в р. Сура. В летнюю межень различия вод исследованных водохранилищ по цветности сглажены, однако можно отметить тенденцию ее снижения по мере продвижения вниз по каскаду. Наибольшая цветность (58) отмечается в Рыбинском водохранилище, где площадь водосбора наиболее заболочена, минимальная – в Волжском и Волжско-Камском плесах Куйбышевского водохранилища (47). Количество органического углерода во взвеси тоже значительно уменьшалось при движении вниз по Волге с 1,23–1,33 мгС/дм<sup>3</sup> в Рыбинском и Горьковском водохранилищах до 0,5 мгС/дм<sup>3</sup> в Куйбышевском.

Таким образом, совокупность полученных гидрохимических и гидрологических данных по Рыбинскому, Горьковскому, Чебоксарскому и верхней части Куйбышевского водохранилищ позволяет выделить специфичные для меженного периода черты их экосистем.

В летний период 2008 г. на водохранилищах Верхней и Средней Волги установлено увеличение содержания соединений фосфора, уменьшение органического углерода во взвеси и тенденция к снижению цветности по мере продвижения вниз по каскаду. В Чебоксарском водохранилище ниже впадения р. Оки формируется новая водная масса с ростом минерализации, повышенным содержанием соединений фосфора и азота за счет антропогенного воздействия. Локальные акватории в районах выпуска сточных вод и ниже крупных городов можно принять за зоны повышенной экологической опасности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов А.Д. Практическое руководство по химическому анализу вод суши. Гидрометеорологическое издательство, 1977. 540 с.
2. Ганеева М.В., Разгулин С.М., Скопинцев Б.А. Ампульный персульфатный метод определения общего азота в природных водах // Гидрохим. материалы. 1984. Т. 87. С. 67–70.
3. Бикбулатов Э.С. Простой способ окисления органического вещества природных вод для определения органического углерода // Гидрохим. материалы. 1974. Т. 60. С. 174–178.
4. Бикбулатов Э.С. О методе определения общего фосфора в природных водах // Гидрохим. материалы. 1974. Т. 60. С. 167–173.
5. Литвинов А.С., Законнова А.В. Характеристика гидрологических условий в Чебоксарском водохранилище в первые годы заполнения // Водные ресурсы. 1994. Т. 21. № 3. С. 365–373.
6. Былинкина А.А. Гидрохимическая характеристика. В кн.: Экологические проблемы Верхней Волги. Ярославль. 2001. С. 26–36.
7. Былинкина А.А., Трифонова Н.А., Скопинцев Б.А. Гидрохимический режим. В кн.: Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978. С. 55–105.
8. Кочеткова М.Ю. Особенности формирования и трансформация качества воды Горьковского и Чебоксарского водохранилищ: дис. ... канд. геогр. наук, Москва. 2009 г.
9. Литвинов А.С., Бикбулатов Э.С., Бикбулатова Е.М., Степанова И.Э., Кочеткова М.Ю. Гидролого-гидрохимические условия в Горьковском и Чебоксарском водохранилищах в летнюю межень 2001 года // Экологическая химия. 2006. Т. 15. Вып. 2. С. 82–94.
10. Минеева Н.М., Литвинов А.С., Степанова И.Э., Кочеткова М.Ю. Содержание хлорофилла и факторы его пространственного распределения в водохранилищах Средней Волги // Биология внутренних вод. 2008. № 1. С. 68–71.

### Сведения об авторах:

Литвинов Александр Сергеевич, д-р геогр. наук, главный научный сотрудник, лаборатория гидрологии и гидрохимии, ФГБУН «Институт биологии внутренних вод Российской академии наук», 152742, пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский район; e-mail: litvinov@ibiw.yaroslavl.ru

Степанова Ирина Эрнстовна, научный сотрудник, лаборатория гидрологии и гидрохимии, ФГБУН «Институт биологии внутренних вод Российской академии наук», 152742, пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский район; e-mail: iris@ibiw.yaroslavl.ru

[Бикбулатов Эрнст Саяфнурович], канд. хим. наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория гидрологии и гидрохимии, ФГБУН «Институт биологии внутренних вод Российской академии наук»

Бикбулатова Екатерина Максимовна, канд. хим. наук, старший научный сотрудник, лаборатория гидрологии и гидрохимии, ФГБУН «Институт биологии внутренних вод Российской академии наук», 152742, пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский район; e-mail: bem@ibiw.yaroslavl.ru