

УДК 582.26.574.5.

## БИОМАССА ВОДОРΟΣЛЕЙ И СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА «А» В ПЛАНКТОНЕ РЕК БАСЕЙНА КУЙБЫШЕВСКОГО, САРАТОВСКОГО И ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ

© 2018 О.Г. Горохова

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г.Тольятти,

Статья поступила в редакцию 12.11.2018

Приведены данные о величинах биомассы и содержании хлорофилла-а в фитопланктоне некоторых рек-притоков Куйбышевского, Саратовского и Волгоградского водохранилищ. Пределы изменения биомассы в реках составили от 0,01 до 6,40 мг/л, концентрации хлорофилла-а – от 0,01 до 13,71 мкг/л, удельного содержания хлорофилла-а – 0,36-1,48. Уровень биомассы и содержание хлорофилла-а в р. Уса и её притоках, а также в исследованных участках р. Чагра в основном соответствуют олиго- мезотрофии. Трофический статус р. Б. Иргиз, оцененный по показателям фитопланктона, изменяется от олиго - мезотрофии до эвтрофии на некоторых участках. При неоднородности распределения количественных показателей планктона по длине рек, в целом наблюдается увеличение биомассы и концентрации хлорофилла «а» вниз по течению; для устьевых участков большое значение имеет наличие подпора и особенности его влияния на гидрологический режим низовья реки. Для исследованных водотоков динамика биомассы водорослей соответствует изменениям концентрации хлорофилла-а. Анализ изменения состава доминирующих групп водорослей и величин удельного содержания хлорофилла-а в планктоценозах выявил положительную корреляционную связь этих показателей только с биомассой водорослей отдела Chlorophyta. Таксономические и структурные характеристики альгоценозов имеют статистически значимую связь с гидрологическими факторами, тогда как связи их с содержанием биогенных веществ в условиях эвтрофии не выявлено.

Ключевые слова: биомасса фитопланктона, содержание хлорофилла, трофический статус, реки-притоки Куйбышевского, Саратовского и Волгоградского водохранилищ.

*Работа выполнена по бюджетной теме: «Устойчивость и продуктивность водных экосистем на основе анализа разнообразия биотических компонентов лотических и лентических экосистем бассейна Средней и Нижней Волги, их эколого-биологических и структурных изменений в природных условиях и при антропогенном воздействии» и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-44-630197.*

### ВВЕДЕНИЕ

Водоросли планктона, микрофитобентоса и перифитона – важнейшие первичные продуценты в малых и средних водотоках. В мониторинге и экологических исследованиях величины летней биомассы и содержание основного фотосинтетического пигмента хлорофилла-а являются одними из характеристик степени развития фитопланктона и его активности и используются для оценки трофического статуса водных объектов (Винберг, 1960; Бульон, 1983; Трифонова, 1993; Минеева, 2004). Гидробиологические исследования, проводимые на малых реках Поволжья (территории охваченной в промышленном и сельскохозяйственном отношении) актуальны и дают возможность оценки их состояния для рационального использования и охраны водных ресурсов.

Цель настоящей работы – охарактеризовать равнинные реки-притоки волжских водохрани-

лищ по уровню биомассы фитопланктона и содержанию хлорофилла-а; рассмотреть особенности изменения состава массовых групп водорослей в их взаимосвязи с концентрацией хлорофилла-а в планктоценозах исследованных рек.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом послужили данные, полученные в июле 2016 и 2017 гг. при изучении фитопланктона равнинных рек-притоков Куйбышевского, Саратовского и Волгоградского водохранилищ. Исследования проведены на малых и средних (длина от 18 до 675 км) реках: Уса (бассейн Куйбышевского водохранилища) с её притоками первого порядка (Муранка, Теренгулька, Тишерек), а также Чагра (Саратовское водохранилище) и Большой Иргиз (Волгоградское водохранилище). Изучение фитопланктона водотоков проведено от истока до устьевой части, которая в рр. Уса, Чагра, Б. Иргиз находится в разной степени подпора водами водохранилищ и представляет собой их заливы. Число станций в зависимости от длины реки составляло от 4 до 25.

*Горохова Ольга Геннадьевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории экологии малых рек. E-mail: o.gorokhova@yandex.ru*

На р. Чагра исследования проведены только на участке нижнего течения и устьевом. Содержание основных биогенных элементов, определяющих трофические условия, в воде исследованных рек высокое:  $N_{\text{мин}}$  от 0.7 до 2.3 мг/дм<sup>3</sup>,  $P_{\text{мин}}$  от 0.4 до 3.6 мг/дм<sup>3</sup>. В табл. 1 показаны некоторые гидрологические характеристики водотоков измеренные на станциях отбора проб.

Альгологические пробы для изучения видового состава водорослей, оценки их численности и биомассы были собраны одновременно с пробами воды для определения содержания хлорофилла-а с горизонта 0-0,5 м. Сбор и обработка материала проведены в соответствии с методами, принятыми в гидробиологии; биомасса фитопланктона вычислена счетно-объемным методом, концентрация хлорофилла-а определена спектрофотометрически (SCOR-UNESCO, 1966; Макарова, Пичкилы 1970; Методика изучения..., 1975). Оценка связи показателей фитопланктона с абиотическими параметрами проведена с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для исследованных рек характерна продольная экологическая неоднородность. Гидрологи-

ческие особенности и разнообразие биотопов способствует формированию существенных ценологических различий фитопланктона на каждой из станций, обуславливая не только динамику таксономического состава, но и количественной структуры планктонных сообществ водорослей (рис. 1). Такие факторы как скорость течения, прозрачность, а также зарегулированные оказывают значимое влияние на состав и количество водорослей, в планктоне. Например, на р. Уса и её притоках слабым развитием водорослей характеризуются биотопы на участках с глинистым грунтом и высокой мутностью воды, низкой освещенностью под пологом леса, сравнительно высокими скоростями течения (более 0.1 м/с). Обогащению состава альгофлоры способствует наличие водной растительности, в том числе ценозов макрофитобентоса из нитчатых и слоевищных форм родов *Cladophora* Kütz., *Monostroma* Thuret (Chlorophyta), *Vaucheria* De Candolle (Xanthophyta), с развитыми на них диатомовыми обрастаниями, представители которых попадают в планктон.

В реке Б. Иргиз, на участках с замедленным течением или подпруженных дамбами, создаются условия для развития в фитопланктоне большого количества зелёных водорослей из порядков *Volvocales*, *Chlamydomonadales*,

Таблица 1. Некоторые гидрологические характеристики рек в местах сбора проб

Показатели	Реки		
	Уса и её притоки	Чагра	Б.Иргиз
Глубина, м	0.1-2.5	0.9-3.0	0.1-2.7
Прозрачность, м	0.1-1.0	0.9-1.5	0.5-1.5
Скорость течения, м/с	0.02-0.7	0.1-0.3	0.1-0.8
Температура, °С	9.5-24.2	22.8-26.7	24.8-28.5

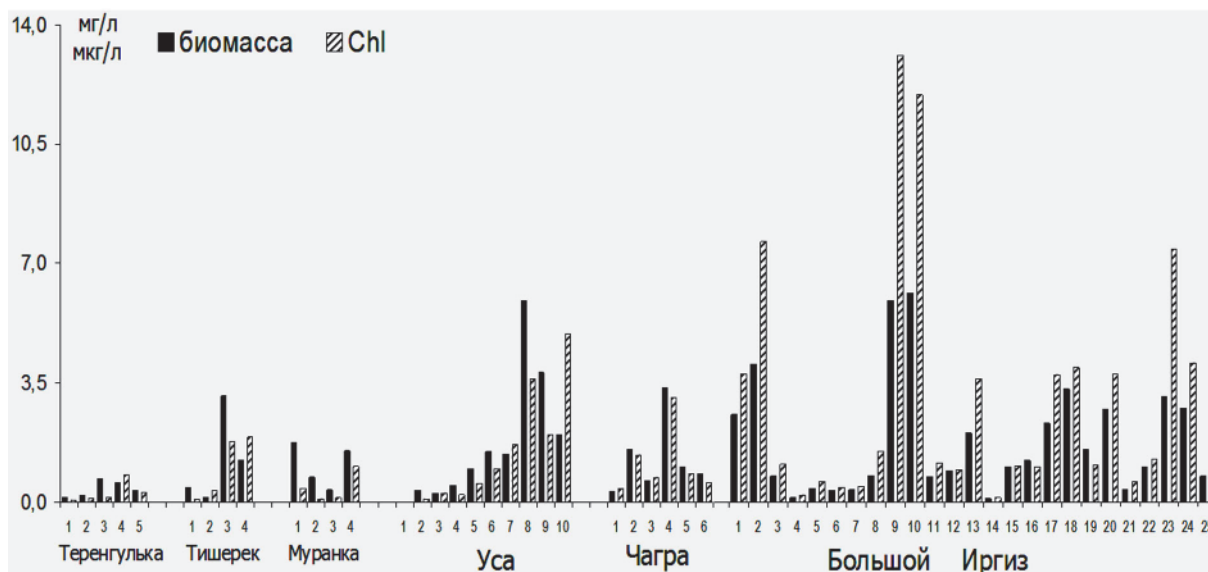


Рис. 1. Изменения биомассы и содержания хлорофилла-а по длине исследованных рек

Chlorococcales, многочисленны и разнообразно могут быть представлены виды порядков Cryptomonadales и Euglenales (ст. 1, 2, 9, 10, 18, 23). Кроме того в среднем и нижнем течении этой реки в местах с замедленным и зарегулированным течением (ст. 9, 10, 18), отмечено доминирование Cyanoprokaryota и небольшое «цветение воды». Подобные структурные особенности фитопланктона отмечены и для других исследованных нами водотоков, в условиях изменения гидродинамического режима, однако для р. Б. Иргиз они оказывают наибольшее влияние на облик планктона: если в целом для верхнего и среднего течения всех рек в условиях проточности характерно преобладание в планктоне Bacillariophyta, то для планктона этой реки Bacillariophyta и Chlorophyta.

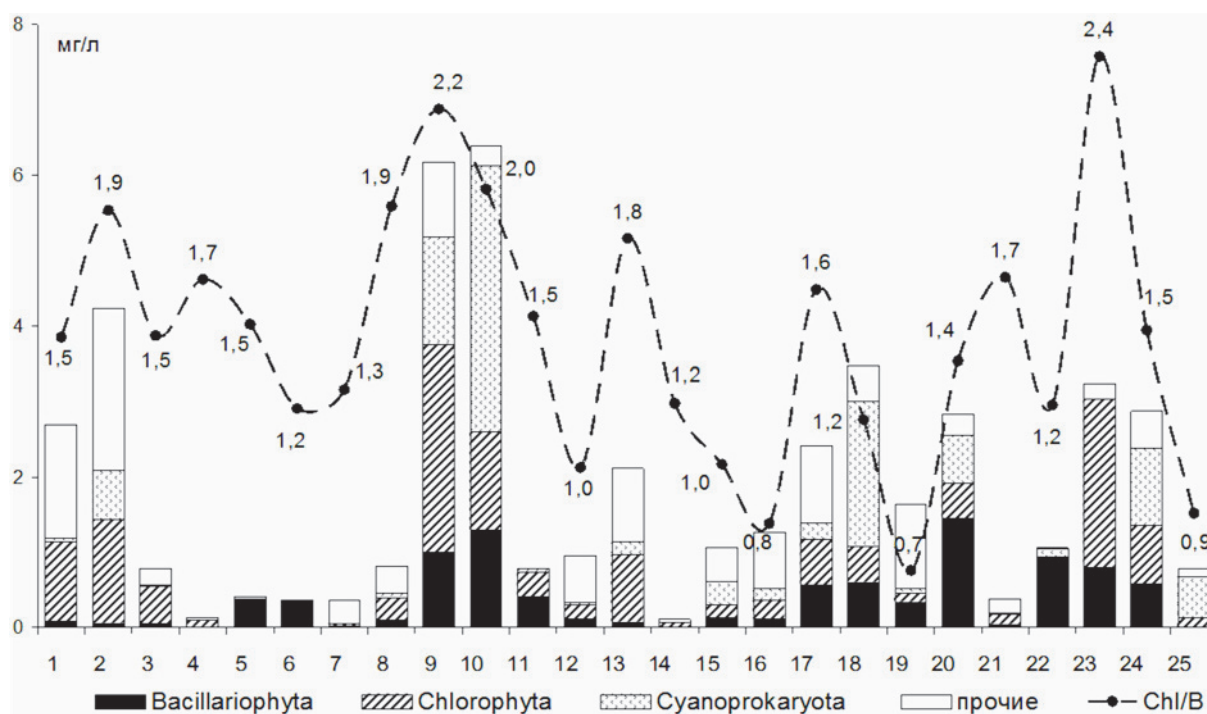
Для устьевых участков рек большое значение имеет наличие подпора, от особенностей влияния которого на гидрологический режим зависит уровень развития фитопланктона и степень его сходства с планктоном водохранилища. Например, биомасса водорослей Усинского залива (ст. 8-10), находящегося в зоне максимального подпора Куйбышевского водохранилища, существенно выше, чем в р. Уса (рис. 1). При этом ведущую роль в альгоценозах играют Cyanoprokaryota, доминирующие в летнем планктоне приплотинного плеса водохранилища, тогда как для самой реки характерен диатомовый планктон. В устьях рек Чагра (ст. 6) и Б. Иргиз (ст. 25) также отмечен планктон, сходный не с вышележащими участками водотоков, а с тем, который развивается в водохранилище. Однако, количество фитопланктона в устьевых участках невелико (рис. 1) и сравнимо с таковым в водохранилищах в местах впадения этих рек. Следует отметить, что в устьевых участках рек состав массовых видов водорослей и его изменения по мере удаления от места соединения реки с водохранилищем являются показателями степени их гидрологического взаимодействия. Количественные же характеристики фитопланктона в зоне смешения и трансформации вод очень изменчивы и отражают сложность формирования структуры альгоценозов экотонных зон. Несмотря на неоднородность состава и динамику количества водорослей в планктоне, для водотоков в целом отмечено увеличение биомассы и концентрации хлорофилла «а» от истока к устью.

Проведенный корреляционный анализ не выявил зависимости изменения продукционных показателей фитопланктона от количества биогенных веществ ( $N_{\text{мин}}$  и  $P_{\text{мин}}$ ). Получена достоверная отрицательная связь концентрации хлорофилла-а, а также величины биомассы со скоростью течения в реках (соответственно  $r = -0.65$ ,  $r = -0.71$ ,  $P \leq 0.05$ ), и содержания

хлорофилла-а с прозрачностью воды ( $r = -0.52$ ,  $P \leq 0.05$ ). Для равнинных водотоков волжского бассейна показано влияние на продуктивность и фотосинтезирующую деятельность фитопланктона таких важнейших факторов как высокая проточность, наличие взвешенного вещества, гидрооптический режим (Экология фитопланктона..., 1989; Охупкин, 1994, 1997).

Таким образом, для исследованных рек характерны значительные изменения состава и количества планктонных водорослей, связанные, прежде всего с гидрологическими особенностями, тогда как зависимости показателей фитопланктона от содержания биогенных веществ в условиях эвтрофии выявить не удалось.

Динамика биомассы фитопланктона в реках соответствует динамике концентрации хлорофилла-а (рис. 1); изменения удельного содержания хлорофилла и величин биомассы имеют значимую корреляционную связь ( $r =$  от 0,67 до 0,97,  $P \leq 0.05$ ). Характер же взаимосвязи биомассы и содержания хлорофилла-а с таксономической структурой альгоценозов в планктоне рассматриваемых водотоков – наиболее изменчивый показатель. Исследованиям, касающимся выявления зависимости продукционных показателей фитопланктона от его таксономического состава, посвящен ряд работ, многие авторы подчеркивают неоднозначный характер связи этих параметров (Елизарова, 1974; Desortova, 1981; Елизарова, 1983; Трифонова, Десортова, 1983; Минеева, Щур, 2012; Минеева и др., 2014). Из исследованных нами водотоков выраженная изменчивость показателей фитопланктона характерна для наиболее протяженной реки Б. Иргиз, что дает возможность рассмотрения их взаимосвязи как между собой, так и с гидрологическими особенностями. Так, диапазон биомассы фитопланктона реки составил от 0,11 до 6,39 мг/л, хлорофилла-а – от 0,22 до 13,71 мкг/л (рис. 1, 2); кроме того по длине водотока наблюдается разнообразие и смена состава преобладающих групп водорослей – ими являются диатомовые, зеленые и цианопрокариоты, которые в различных соотношениях формируют биомассу (рис. 2). Наиболее разнообразен и изменчив состав доминирующих видов Chlorophyta (до 40 таксонов внутривидового ранга), который варьирует от фитофлагеллят этого отдела (ст.1, 2) до планктонных видов порядка Chlorococcales (ст. 8, 13, 18) или их сочетания (ст. 9,10, 23, 24). Для диатомовых водорослей на станциях наиболее близких к водохранилищу (ст. 23-25) характерно преобладание видов класса Centrophyceae (родов Cyclotella, Stephanodiscus). В планктоне же самой реки чаще доминируют виды класса Pennatophyceae (в основном рода Fragilaria), а из Centrophyceae – *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim., на некоторых участках в структуре биомассы



**Рис. 2.** Соотношение основных отделов водорослей в суммарной биомассе фитопланктона и динамика содержания хлорофилла-а по длине р. Б. Иртыш

значимо участие форм обрастаний и бентоса. Доминирование Cyanoprokaryota в основном отмечается, как сказано выше, на участках с замедленным течением, массовые виды состоят из форм, вызывающих «цветение» воды (роды *Microcystis*, *Anabaena*).

Таким образом, таксономическая структура биомассы фитопланктона имеет на разных участках р. Б. Иртыш заметные отличия. Проведенный анализ связи таких параметров как: биомасса групп водорослей, доминирующих в планктоне реки, и удельная концентрация хлорофилла-а выявил статистически значимую зависимость ( $r = 0.75$ ,  $P \leq 0.05$ ), только с биомассой зеленых водорослей. Кроме того, можно отметить увеличение соотношения  $C_{chl}/B$ , при доминировании в альгоценозах как водорослей отдела Chlorophyta так и комплекса Chlorophyta+Bacillariophyta (рис. 2). В остальных исследованных нами реках, наблюдалась положительная корреляционная связь этих показателей также лишь с биомассой Chlorophyta ( $r =$  от 0.58 до 0.72,  $P \leq 0.05$ ), исключение составил Усинский залив Куйбышевского водохранилища, где при доминировании в планктоне цианопрокариот, связи с биомассой зеленых водорослей не отмечено.

Уровень биомассы и содержание хлорофилла-а, отражающие трофическое состояние водного объекта, в р. Уса и её притоках, а также в исследованных участках р. Чагра в основном соответствуют олиго- мезотрофии. В летнем планктоне Усинского залива по данным 2015-2017 гг. биомасса и содержание хлорофилла-а чаще

на порядок-два выше, чем в реке и находятся в пределах эвтрофных значений. Для планктона р. Б. Иртыш, характерно своеобразное чередование участков с различными величинами биомассы и содержания хлорофилла-а (рис. 2), что связано с рассмотренными выше гидрологическими особенностями водотока. Трофический статус реки, оцененный по показателям фитопланктона, изменяется от олиго- мезотрофии до эвтрофии на отдельных участках. Удельное содержание хлорофилла-а в биомассе фитопланктона исследованных рек показано в табл. 2; полученные значения не выходят за пределы, известные из литературы для водоемов и водотоков (Елизарова, 1974; Елизарова, 1983; Экология фитопланктона..., 1989; Минеева, Щур, 2012).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для исследованных рек характерна динамика таксономического состава и количественной структуры планктонных сообществ водорослей, связанная с гидрологическими особенностями водотоков, при этом в целом наблюдается увеличение биомассы и концентрации хлорофилла «а» от истока к устью. Для устьевых участков рек большое значение имеет наличие подпора, от особенностей влияния которого на гидрологический режим зависит уровень развития фитопланктона.

Пределы изменения биомассы фитопланктона в реках составили от 0,01 до 3,36 мг/л, концентрации хлорофилла-а от 0,01 до 3,06 мкг/л. Для р. Б. Иртыш эти показатели выше

**Таблица 2.** Средние величины удельного содержания хлорофилла-а в биомассе фитопланктона исследованных рек

Реки						
Теренгулька	Тишерек	Муранка	Уса	Усинский залив	Чагра	Б. Иргиз
0,76±0,58	1,14±0,93	0,36±0,25	0,66±0,33	1,21±1,11	0,96±0,25	1,48±0,42

(0,10-6,40 мг/л, и 0,13-13,71 соответственно). Удельное содержание хлорофилла-а в биомассе фитопланктона исследованных рек изменяется в следующих пределах: 0,36-1,14 (в р. Б. Иргиз - 1,48). Динамика биомассы фитопланктона в реках соответствует динамике концентрации хлорофилла-а; изменения удельного содержания хлорофилла и величин биомассы имеют значимую корреляционную связь ( $r =$  от 0,67 до 0,97,  $P \leq 0.05$ ).

Количественные показатели фитопланктона в реках не отражают уровень трофического состояния водотоков по содержанию биогенных элементов и в большей степени находятся под влиянием гидрологических факторов.

Уровень биомассы и содержание хлорофилла-а, в р. Уса и её притоках, а также в исследованных участках р. Чагра в основном соответствуют олиго- мезотрофии. Для планктона р. Б. Иргиз, характерно чередование участков с различными величинами биомассы и содержания хлорофилла-а. Трофический статус этой реки, оцененный по показателям фитопланктона, изменяется от олиго- мезотрофии до эвтрофии на отдельных участках, что связано гидрологическими особенностями водотока.

Положительная корреляционная связь биомассы и содержания хлорофилла-а с таксономической структурой альгоценозов в исследованных нами реках наблюдалась только с биомассой водорослей отдела Chlorophyta ( $r =$  от 0,58 до 0,72,  $P \leq 0.05$ ).

Малые реки – часть лотических систем Волжского бассейна. Оценка их экологического состояния требует мониторинговых исследований, которые предполагают накопление и комплексный анализ информации о структурно-функциональных особенностях их биотических компонентов, изучение закономерностей существования и прогноз устойчивости экосистем (Зинченко и др., 2018).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука, 1983. 50 с.
2. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во АН БССР, 1960. 330 с.
3. Трифонова И.С. Оценка трофического статуса во-

доемов по содержанию хлорофилла «а» в планктоне // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов. 1993. СПб: Гидрометеиздат. С. 158-166.

4. Минеева Н.М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. М.: Наука, 2004. 156 с.
5. SCOR-UNESCO Working group № 17. Determination of photosynthetic pigments in sea-water // Monographs on Oceanologic Methodology. Paris. UNESCO. 1966. P. 9-18.
6. Макарова И.В., Пичкилы Л.О. К некоторым вопросам методики вычисления биомассы фитопланктона // Ботанич. журн. 1970. Т. 55, № 10. С. 1488-1494.
7. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.
8. Экология фитопланктона Куйбышевского водохранилища / Под ред. С.М. Коновалова, В.Н. Паутовой. Л.: Наука, 1989. 304 с.
9. Охапкин А.Г. Структура и сукцессия фитопланктона при зарегулировании речного стока (на примере р. Волги и ее притоков): Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. СПб., 1997. 48 с.
10. Охапкин А.Г. Фитопланктон Чебоксарского водохранилища/ ИЭВВ РАН. Тольятти, 1994. 275 с.
11. Елизарова В.А. Содержание фотосинтетических пигментов в единице биомассы фитопланктона Рыбинского водохранилища // Флора, фауна и микроорганизмы Волги. Рыбинск: ИБВВ РАН, 1974. С. 46-66.
12. Desortova B. Relationship between chlorophyll-a concentration and phytoplankton biomass in several reservoir in Czechoslovakia // Intern. Rev. Ges. Hydrobiol. 1981. 66, Hf. 2. P. 153-169.
13. Елизарова В.А. К вопросу о содержании хлорофилла в пресноводном фитопланктоне // Биол. внутр. вод: Информ. бюл. 1983. № 58. С. 17-20.
14. Трифонова И.С., Десортова Б. Хлорофилл как мера биомассы фитопланктона в водоемах разного типа // Гидробиологические процессы в водоемах. Л.: Наука, 1983. С. 58-80.
15. Сиделев С.И., Бабаназарова О.В. Анализ связей пигментных и структурных характеристик фитопланктона высокоэвтрофного озера // Журнал Сибирского Федерального Университета. Биология. 2008. № 2. С. 153-168.
16. Минеева Н.М., Шур Л.А. Содержание хлорофилла-а

- в единице биомассы фитопланктона (Обзор) // Альгология. 2012. Т. 22, № 4. С. 441-456.
17. Минеева Н.М., Корнева Л.Г., Соловьева В.В. Содержание хлорофилла-а в единице биомассы фитопланктона водохранилищ волжского каскада (Россия) // Альгология. 2014. Т. 24, № 4. С. 477-488.
18. Адамович Б.В., Жукова А.А. Связь содержания хлорофилла-а с некоторыми характеристиками фитопланктона в рыбоводческих прудах и связанных с ними водотоках // Гидробиологический журнал. 2014. Т. 50, № 3. С. 30-37.
19. Экологическая характеристика лотической системы на примере малых рек Волжского бассейна: методологические подходы исследований / Т.Д. Зинченко, Е.В. Промахова, Л.В. Головатюк, Э.В. Абросимова, Т.В. Попченко, В.К. Шитиков // Известия СамНЦ РАН. 2018. Т. 20. № 5(2). С. 167-179.

**BIOMASS OF PHYTOPLANKTON AND CONTENT OF CHLOROPHYLL «A»  
IN THE RIVERS OF THE KUIBYSHEVSKOE, SARATOVSKOE  
AND VOLGOGRADSKOE RESERVOIRS**

© 2018 O.G. Gorokhova

Institute of Ecology of the Volga River Basin, Russian Academy of Sciences, Togliatti

Data on the biomass and chlorophyll-a content in the phytoplankton of some river tributaries of the Kuibyshev, Saratov and Volgograd reservoirs are given. The taxonomic and structural characteristics of phytoplankton are dependent on hydrological factors; their connection with the content of nutrients in conditions of eutrophy was not revealed. The limits of the change in the phytoplankton biomass in the rivers were 0.01 to 6.40 mg/l, the chlorophyll-a concentration 0.01 to 13.71 µg/l, the specific chlorophyll-a content in biomass 0.36-1, 48. The level of biomass and the content of chlorophyll-a in the Usa river and its tributaries, as well as in the investigated sections of the Chagra river generally correspond to oligo- mesotrophy. Trophic status of the B.Irgiz river, estimated by phytoplankton indicators, varies from oligo- mesotrophy to eutrophy in some areas. Despite the dynamics of quantitative indicators, there is an increase in the biomass and concentration of chlorophyll «a» downstream. For the estuaries of rivers, the presence of a hydrological backwater and the features of its influence on the regime of the lower course of the river are of great importance. The investigated watercourses are characterized by a positive correlation between the biomass of algae and the concentration of chlorophyll-a. An analysis of the variation in the composition of the dominant algal groups and the specific chlorophyll-a content in the plankton of the rivers revealed a statistically significant dependence of these indices only on the biomass of Chlorophyta algae.

*Keywords:* phytoplankton biomass, chlorophyll-a content, trophic condition, rivers-tributaries of the Kuibyshev, Saratov and Volgograd reservoirs.