

УДК 582.26.574.5

ФИТОПЛАНКТОН РАВНИННОЙ р. УСА И ЕЁ ПРИТОКОВ (БАССЕЙН КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)

О. Г. Горохова, Т. Д. Зинченко

*Институт экологии Волжского бассейна РАН
Россия, 445003, Тольятти, Комзина, 10
E-mail: o.gorokhova@yandex.ru, zinchenko.tdz@yandex.ru*

Поступила в редакцию 28.05.2018 г., после доработки 17.09.2018 г., принята 24.09.2018 г.

Горохова О. Г., Зинченко Т. Д. Фитопланктон равнинной р. Уса и её притоков (бассейн Куйбышевского водохранилища) // Поволжский экологический журнал. 2018. № 4. С. 391 – 403. DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-4-391-403>

Приводятся данные о состоянии летнего фитопланктона р. Уса и её притоков. В альгофлоре зарегистрировано 184 таксона водорослей рангом ниже рода из 7 отделов с преобладанием в реках Bacillariophyta (43 – 57% состава) и Chlorophyta (23 – 47%). Диапазон численности в альгоценозах составил 0.02 – 5.2 млн кл./л, биомассы – 0.01 – 1.8 мг/л; содержание хлорофилла-а – 0.01 – 3.1 мкг/л. Экологическая неоднородность по длине водотока обуславливает значительную динамику таксономического состава, который характеризуется мозаичностью распределения на разных участках, и изменения количественной структуры планктонных сообществ. Отмечено увеличение видового разнообразия, численности, биомассы, концентрации хлорофилла-а от истока к устью рек. Экотонный эффект в зоне смешения и трансформации вод нижнего течения водотоков и Усинского залива Куйбышевского водохранилища выражен в увеличении разнообразия и количества водорослей, усилении ценотической роли *Suaerprocaragota*, а также планктонных зелёных водорослей порядка Chlorococcales, доминирующих в Усинском заливе. Рассмотрено влияние на формирование альгоценозов гидрологических условий, содержания биогенных веществ, антропогенного воздействия. Таксономический состав, распределение, структурные характеристики альгоценозов в отсутствие биогенного лимитирования зависят от гидрологических факторов, биотопической неоднородности естественного и антропогенного происхождения, тогда как связи их с содержанием биогенов в условиях эвтрофии не выявлено. Индекс видового разнообразия Шеннона изменялся в альгоценозах рек от 0.5 до 2.7 бит/экз. Минимальные значения отмечены на участках верхнего течения рек, усложнение структуры характерно для альгоценозов зон смешения вод верхней части Усинского залива и устьев рек Муранка и Тишерек, а также сообществ участков рек с антропогенным воздействием.

Ключевые слова: фитопланктон, альгоценозы, р. Уса, Куйбышевское водохранилище, бассейн Средней Волги.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-4-391-403>

ВВЕДЕНИЕ

Малые реки – сложный природный объект, находящийся в тесной связи с окружающей средой, реагирующий на естественные и антропогенные изменения её компонентов (Малые реки..., 1998). Необходимость оценки экологического состояния рек для рационального использования их ресурсов и природоохранной дея-

тельности является одной из актуальных задач современной гидробиологии. Результаты мониторинговых исследований позволяют судить о качестве вод, контролировать направленность и скорость изменения процессов, происходящих в самих водотоках и в бассейнах малых рек. Среди немногих публикаций, посвященных оценке экологического состояния равнинных рек Волжского бассейна и статистическому анализу показателей планктонных и донных сообществ, можно привести публикации (Биоиндикация..., 2007; Особенности пресноводных..., 2011; Зинченко и др., 2017). В настоящее время комплексные исследования проводятся на р. Уса и её притоках, которые представляют интерес как пример биотопически разнообразных водотоков в пределах компактного климатического и биогеографического района в условиях умеренного антропогенного воздействия.

Водоросли – важнейший автотрофный компонент водных экосистем, но в отличие от водохранилищ Волги и крупных притоков водоросли малых рек региона менее изучены. Данные о таксономической и количественной структуре альгоценозов дают возможность охарактеризовать особенности водотоков, выявить различия экологических условий, получить представление о факторах, влияющих на фитопланктон рек. Анализ полученной информации и оценка её соответствия гидрофизическим и гидрохимическим параметрам позволяет использовать результаты исследований для выделения характерных речных зон, биоиндикации и оценки трофического состояния гидроекосистем в естественных условиях и при антропогенном воздействии (Охапкин, 1997; 2000; Mischke et al., 2011; Abonyi et al., 2012).

Цель настоящего исследования – изучение особенностей формирования и изменения таксономических и структурных показателей сообществ летнего фитопланктона р. Уса и ее притоков при воздействии абиотических факторов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Характеристика района исследования. Исследованные реки – небольшие по протяженности равнинные водотоки. Река Уса (длина 76 км) – правобережный приток Куйбышевского водохранилища, её притоками первого порядка являются реки Муранка (18 км), Теренгулька (54 км), Тишерек (38 км), воды которых она принимает в среднем течении (рис. 1). Участок нижнего течения р. Уса, затопленный при создании водохранилища и находящийся в подпоре, представляет собой залив протяженностью более 45 км до устья р. Тишерек. В верхней части Усинского залива, в зоне подпора его водами, находятся устья рек Муранка и Тишерек; в отличие от них участок нижнего течения р. Теренгулька подпора не имеет (см. рис. 1). По берегам рек расположено около 30 населенных пунктов, из них с численностью более 1 тысячи жителей – пос. Суринск, Междуреченск, Шигоны (см. рис. 1). Антропогенное воздействие на водотоки обусловлено хозяйственной деятельностью на водосборе и поступлением хозяйственно-бытовых стоков частного сектора жилой застройки.

Водосборный бассейн рек находится в пределах Приволжской возвышенности, лесостепной физико-географической области Русской равнины; источник питания водотоков – атмосферные осадки и грунтовые воды. Уровни воды в период исследований в июле 2017 г. на Куйбышевском водохранилище были выше нормы

на 23 – 26 см, на реках области выше среднемноголетних значений на 25 – 180 см (Экологический бюллетень..., 2017). По химическому составу вода рек относится к гидрокарбонатному классу группы кальция, в июле 2017 г. она имела в основном среднюю минерализацию (табл. 1). Величина pH воды составляла от 6.9 до 7.4. Содержание основных биогенных элементов – азота ($N_{\text{мин}}$) и фосфора ($P_{\text{мин}}$), определяющих продуктивность и процесс эвтрофирования, в исследованных реках изменялось по длине, что обусловлено спецификой формирования стока на разных участках. Концентрация их соответствовала мезо- и эвтрофному типу вод (Бульон, 1993). Содержание $N_{\text{мин}}$ с преобладанием нитратной формы (более 75%) в верхнем течении рек изменялось от 0.7 до 2.2 мг/дм³, в среднем – от 0.2 до 1.1 мг/дм³, в нижнем – от 0.6 до 2.3 мг/дм³, концентрация $N_{\text{мин}}$ более 2 мг/дм³ характерна для р. Теренгулька. Наиболее высокое содержание $P_{\text{мин}}$ отмечено для верхнего и среднего течения р. Уса – 2.6 – 3.6 мг/дм³; тогда как в воде притоков Тишерек и Муранка концентрация $P_{\text{мин}}$ изменялась от 1.0 до 1.8 мг/дм³, а в р. Теренгулька была не выше 0.4 – 0.6 мг/дм³. Некоторые гидролого-гидрохимические данные в местах сбора проб приведены в табл. 1.

Сбор и обработка альгологических проб и определение содержания хлорофилла-а в воде проведены в соответствии с методами, принятыми при гидробиологических исследованиях (SCOR-UNESCO, 1966; Методика изучения..., 1975). Сбор альгологических проб для изучения видового состава водорослей, оценки их численности и биомассы проводили в поверхностном горизонте воды (0 – 0.5 м), а при глубине более 1 м также на дополнительных горизонтах (1.0 м, 1.5 м, 2.0 м, дно). Пробы объемом 0.5 – 1 литр отбирали батометром Рутгнера, фиксировали раствором Люголя в модификации Г. В. Кузьмина (Методика изучения..., 1975), концентрировали фильтрацией через мембранные фильтры с применением вакуумного насоса. Для определения таксономической принадлежности диатомовых водорослей готовили постоянные препараты. Определение, подсчет и измерение водорослей проведены в камере типа «Учинская», объемом 0.01 мл с применением микроскопов «Биолар» (Польша), Leica DM4000B (Германия). За счетную единицу принималась клетка. При подсчете численности проведены измерения линейных размеров клеток водорослей, биомасса вычислена счетно-объемным методом (Методика изучения..., 1975; Федоров, 1979). Учитывали все водоросли, встреченные



Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб в 2015 и 2017 гг.

в толще воды. Одновременно с альгологическими пробами были собраны пробы воды для определения содержания хлорофилла-*a*, концентрация которого определена спектрофотометрически измерением оптической плотности ацетоновых экстрактов (SCOR-UNESCO, 1966; Федоров, 1979).

Таблица 1
Некоторые гидролого-гидрохимические характеристики р. Уса и её притоков

Показатели	Участок	Реки				Усинский залив
		Теренгулька	Тишерек	Муранка	Уса	
Глубина, м	I	0.2	0.8	0.4	0.1–0.9	1.5
	II	0.2–0.6	0.5–0.8	0.3–0.5	0.5–0.8	1.0–9.0
	III	0.5–0.7	2.5	1.1	1.5–2.5	–
Прозрачность, м	I	0.2	0.8	0.2–0.4	0.4–0.8	0.6
	II	0.2–0.6	0.8–2.2	0.3–0.5	0.2–0.8	1.0
	III	0.1–0.3	2.1	1.0	0.7–0.8	–
Скорость течения, м/с	I	0.4	0.6	0.03–0.4	0.4–0.7	0.1
	II	0.6	0.1–0.6	0.5	0.2	0.1
	III	0.1–0.3	0.0	0.0	0.2–0.3	–
Температура, °С	I	9.5	15.8	14.9–15.8	14.5–19.4	23.5–26.3
	II	14.2	18.1–22.9	14.7	15.5–16.0	24.5
	III	14.8–18.8	23.6–24.2	21.3	15.8–16.3	–
Минерализация, мг/л	I	249	375	535	96–401	256
	II	–	489	–	482	–
	III	391	–	417	437	215

Обозначения. Участки рек: I – верхнее течение (ст. 1 – 4, 5д, 5г, 7в, 7г, 8, 8в), II – среднее течение (ст. 5, 6, 5в, 7б, 8б, 9, 10), III – нижнее течение (ст. 5а, 5б, 7, 7а, 8а); гидрохимические параметры определены аккредитованной гидрохимической лабораторией ООО «Центр мониторинга водной и геологической среды», г. Самара; прочерк – нет данных.

Для характеристики альгоценозов использовали показатели: численность (млн кл./л), биомасса (мг/л), удельное видовое богатство (число видов в пробе), частота встречаемости вида (количество проб, в которых вид отмечен в процентах от общего числа проб), видовое разнообразие, оцененное по индексу Шеннона (H_N), концентрация хлорофилла-*a* в sestone (мкг/л). К массовым (субдоминантам и доминантам) отнесены виды, формирующие соответственно 5 – 10% и более 10% суммарной численности или биомассы фитопланктона. Степень сходства видового состава оценена по коэффициенту Серенсена. Кластеризация данных для построения дендрограмм (в программе Statistica) проведена путем сравнения полных списков видов, а для выявления особенностей локальных альгофлор – сравнением состава массовых форм участков рек. Оценка связи показателей фитопланктона с абиотическими параметрами проведена с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика состава и распределения альгофлоры. В планктоне исследованных рек зарегистрировано 184 таксона рангом ниже рода из 7 отделов водорос-

ФИТОПЛАНКТОН РАВНИННОЙ Р. УСА И ЕЁ ПРИТОКОВ

лей (табл. 2). По числу видов в реопланктоне преобладают Bacillariophyta (43 – 57% состава) и Chlorophyta (23 – 47%). По сравнению с реками в лимнопланктоне Усинского залива соотношение отделов в альгофлоре иное благодаря разнообразию Chlorophyta и Cyanoprokaryota (см. табл. 2). Число видов в летней альгофлоре планктона рек сравнимо, исключением является р. Теренгулька (см. табл. 2). Различия связаны с разницей условий в устьевых участках водотоков: в реках, имеющих подпор в устье, «речная» флора обогащается видами планктона Усинского залива.

Таблица 2

Распределение числа видов и внутривидовых таксонов водорослей по систематическим отделам в альгофлоре планктона рек

Отделы водорослей	Реки				Усинский залив
	Теренгулька	Тишерек	Муранка	Уса	
Cyanoprokaryota	2 (6)	3 (6)	6 (11)	2 (4)	9 (16)
Chrysophyta	–	1 (2)	–	–	–
Bacillariophyta	15 (44)	30 (57)	23 (43)	27 (48)	10 (18)
Cryptophyta	–	1 (2)	3 (6)	3 (5)	4 (7)
Dinophyta	–	1 (2)	1 (2)	3 (5)	4 (7)
Euglenophyta	3 (9)	3 (6)	2 (4)	3 (5)	3 (5)
Chlorophyta	14 (41)	14 (26)	17 (32)	18 (32)	27 (47)
Xanthophyta	–	–	1 (2)	–	–
Всего	34	53	53	56	57

Примечание. В скобках – доля отдела в составе альгофлоры, %.

В эколого-географическом отношении фитопланктон рек состоит из широко распространенных пресноводных форм. По отношению к рН воды большинство видов (67%) индифферентны, 30% флоры представлено алкалифилами. К планктонным относится 57% видов; значимую роль в альгофлоре играют обитатели бентоса и обрастаний (24 и 10% таксонов). Характерно увеличение разнообразия планктонных форм вниз по течению и уменьшение числа бентосных и эпифитных видов. В реках, имеющих подпор в устье, увеличение доли планктеров в альгофлоре нижнего течения наиболее выражено. В составе индикаторов органического загрязнения преобладают β -мезосапробы (47%).

Видовой состав водорослей планктона р. Уса и её притоков характеризуется чрезвычайной мозаичностью распределения на разных участках. Так, частота встречаемости отдельных видов в альгоценозах рек низкая: доля видов, отмеченных только на одной из станций, составляет от 68% (р. Тишерек) до 82% (р. Теренгулька). Более чем в 30% проб встречены диатомовые: *Melosira varians* Agardh, *Fragilaria capucina* Desmazières (реки Уса, Тишерек), *Navicula lanceolata* Ehrenberg, *Nitzschia linearis* W. Smith, *Cocconeis placentula* Ehrenberg (р. Уса), *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg (реки Муранка, Теренгулька), а также *Chlamydomonas monadina* (Ehrenberg) Stein. (зелёные водоросли). Встречаемость более 75% отмечена для 6 видов, зарегистрированных во всех водотоках и в Усинском заливе: *M. varians*, *S. ulna*, *C. placentula*, *F. capucina*, *C. monadina*, а также

Peridinium umbonatum Stein (динофитовые). Отметим, что в Усинском заливе повсеместны цианопрокариоты: *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, *Anabaena planctonica* Brunnthaler, *A. flos-aquae* Brébisson ex Bornet & Flauhault и диатомовые водоросли – *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *A. subarctica* (O. Müller) Haworth. Все эти виды характерны для мезотрофно-эвтрофных водотоков и водоёмов и относятся к массовым формам планктона рек Волжского бассейна (Охапкин, 1997; Охапкин, Генкал, 2001; Охапкин и др., 2010).

Сравнение полных списков видов рек показало невысокую степень сходства состава их альгофлор. В р. Уса и её притоках оно было на уровне 15 – 33% с заметным отличием флоры водорослей Усинского залива (рис. 2, а). Кластеризация данных на основе состава групп массовых видов каждого из участков рек (рис. 2, б), выявила особенности локальных альгофлор. Как видно, второй способ группировки отразил относительное сходство гидрологических условий участков рек (верхнего, среднего и нижнего течения), что обусловило таксономическую общность их планктоценозов в разных реках. Кроме того, такой способ кластеризации продемонстрировал гетерогенность экологических условий по длине реки, приводящую к наличию локальных группировок водорослей, таксономический состав которых не сходен с вышележащими участками. К отдельному кластеру можно отнести видовой состав альгоценозов в зоне трансформации водных масс Усинского залива и устьевого участка р. Муранка (см. рис. 2, б), наиболее зависимого от влияния подпора со стороны залива. Результаты же попарного сравнения полного видового состава и состава массовых форм водорослей на каждой из станций выявили мозаичность структуры альгоценозов и показали, что общность между двумя соседними участками реки нередко составляет менее 10 – 15%.

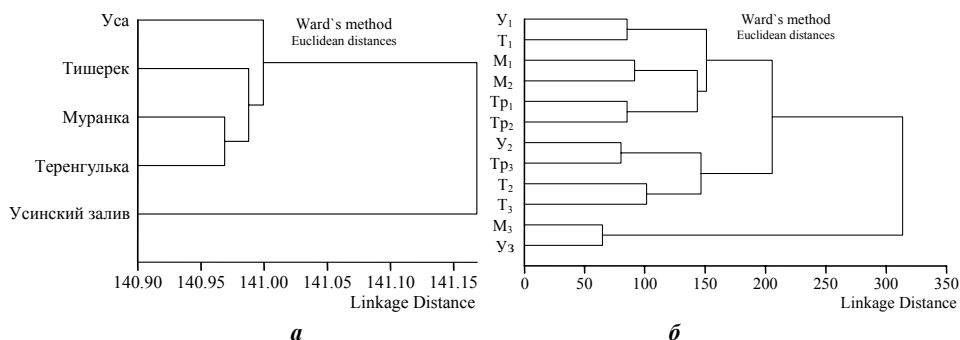


Рис. 2. Дендрограммы флористического сходства фитопланктона рек (а) и сходства локальных альгофлор участков рек (б): Т – Тишерек, М – Муранка, Т – Теренгулька; У_з – Усинский залив; участки течения: 1 – верхнее, 2 – среднее, 3 – нижнее

Количественная структура альгоценозов планктона. Распределение численности, биомассы и показателей разнообразия, как и видовой состав альгоценозов рек, характеризуются неоднородностью (рис. 3, а, б).

Численность водорослей определяли Bacillariophyta и Chlorophyta, в зоне смешения речных вод с водами Усинского залива в планктоне увеличивалось ко-

ФИТОПЛАНКТОН РАВНИННОЙ Р. УСА И ЕЁ ПРИТОКОВ

личество Cyanoprokaryota; по биомассе в реках преобладали в основном Bacillariophyta (см. рис. 3). Диапазон численности в альгоценозах рек составил 0.02 – 5.2 млн кл./л, биомассы – 0.01 – 1.8 мг/л; содержание хлорофилла-а – 0.01 – 3.1 мкг/л; в Усинском заливе эти показатели выше: 6.1 – 14.8 млн кл./л, 2.0 – 5.9 мг/л, 2.0 – 4.9 мкг/л соответственно (см. рис. 3).

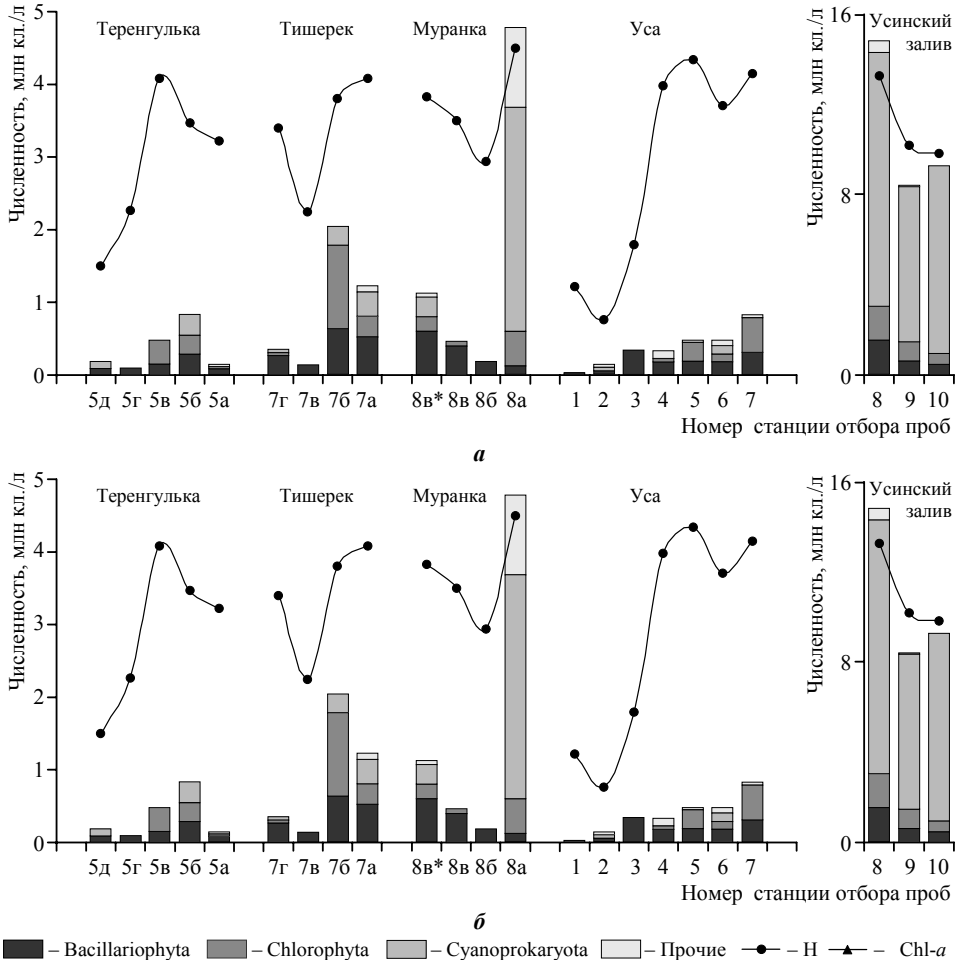


Рис. 3. Количественные и структурные показатели фитопланктона на станциях отбора проб (см. рис.1): **а** – изменение численности основных групп водорослей; **б** – изменение биомассы основных групп водорослей; **H** – индекс Шеннона; **Chl-a** – концентрация хлорофилла-а

В целом низкие количественные показатели характерны для участков верхнего течения, а наиболее высокие отмечены в низовьях рек, испытывающих подпор. Численность и биомасса водорослей Усинского залива выше, чем в реках, причем

ведущую роль в альгоценозах играют *Cyanoprokaryota* (см. рис. 3, а, б), что отражает существенное изменение динамики водных масс. Возрастание ценотической роли цианопрокариот как ответ экосистемы рек на лимнизацию стока при зарегулировании и эвтрофикации характерно для фитопланктона водотоков волжского бассейна (Охапкин, 1997, 2000; Корнева, 2015).

Трофический статус. Несмотря на высокое содержание биогенных веществ, уровень биомассы и концентрация хлорофилла-а, отражающие трофическое состояние водного объекта, в исследованных водотоках невелики. В верховьях и среднем течении рек они соответствуют олиготрофии, в устьевых участках – олиго- и мезотрофии, в Усинском заливе – в основном мезотрофии (см. рис. 3, б). Анализ зависимости показателей фитопланктона от содержания биогенных веществ не выявил их взаимосвязи. Это свидетельствует о действии факторов, ограничивающих развитие водорослей: для исследованных рек характерны участки с низкой освещенностью русла под пологом леса, высокой мутностью, скоростями течения более 0.2 – 0.3 м/с (см. табл. 1). Для рек волжского бассейна показано влияние на продуктивность и биомассу альгоценозов не только трофического фактора, но и морфометрических характеристик и гидрологического режима водотока (Охапкин, 1997, 2000). В подтверждение вышесказанному для планктона исследованных нами рек получена достоверная отрицательная корреляция между скоростью течения и такими показателями как: концентрация хлорофилла-а, удельное число видов, биомасса и численность (соответственно $r = -0.68$, $r = -0.64$, $r = -0.61$; $r = -0.59$, $P \leq 0.05$), что указывает на существенную роль гидрологических факторов для формирования их альгоценозов. В то же время наблюдать отклик фитопланктона на изменение содержания биогенов в целом позволяет сравнение данных разных лет наблюдений. Так, при росте биогенной нагрузки в 2017 г. по сравнению с 2015 г. (когда в р. Уса содержание $N_{\text{мин}}$ и $P_{\text{мин}}$ было в 2 раза ниже) нами отмечено увеличение численности фитопланктона в 2 раза, биомассы в 3. Для Усинского залива, по данным последних лет наблюдений, характерен гораздо более высокий уровень развития фитопланктона, сопровождаемый «цветением» воды в июле – сентябре (Горохова, 2016). Особенностью 2017 г., связанной с климатическими условиями, было более позднее наступление массового развития водорослей в планктоне залива.

Разнообразие альгоценозов. Индекс видового разнообразия Шеннона изменялся в альгоценозах рек от 0.5 до 2.7 бит/экз., в Усинском заливе – от 1.8 до 2.5 бит/экз. (см. рис. 3, а). Для участков верхнего течения, где сообщества потамопланктона не сформированы, характерно низкое удельное число видов (2 – 7) и минимальные значения индекса (0.5 – 0.9 бит/экз.). На участках среднего и нижнего течения рост индекса отражает изменение структуры сообществ водорослей. Например, наиболее высокое видовое разнообразие наблюдается в альгоценозах в зоне смешения вод верхней части Усинского залива (ст. 8) и устьев рек Муранка и Тишерек в зоне его подпора (ст. 7а, 8а). Здесь происходит формирование экотонных сообществ с высоким видовым богатством (удельное число видов – 36 и 18 – 24 соответственно), разнообразием и, как правило, высокими показателями обилия. Кроме того, усложнение структуры сообществ характерно для участков рек с

антропогенным влиянием у населенных пунктов (ст. 5, 5в, 7, 7б), что связано с увеличением разнообразия и количества видов-индикаторов сапробности.

Характеристика участков рек по структуре альгоценозов. Анализ таксономических и структурных особенностей альгоценозов позволяет применить их для выделения характерных участков исследованных рек. Так, в зоне истока (ручья), на фоне крайне низкого количества и почти исключительно диатомового состава водорослей (см. рис. 3), в воде встречаются преимущественно их бентосные формы родов *Navicula* Bory, *Nitzschia* Hassall. Далее по течению наблюдается некоторое увеличение разнообразия и количества водорослей при неоднородном видовом составе в каждой из рек. Преобладают диатомовые класса Pennatophyceae: *S. ulna*, виды рода *Fragilaria*, на некоторых участках единичные виды обрастаний, выносимые в планктон (*Cymbella* Agard., *Achnanthes* Bory), а также бентосно-планктонный вид *M. varians*. В верхнем течении р. Муранка (ст. 8в) в русле отмечены биотопы в виде естественных запруд с развитием лимнофильных видов.

В среднем течении рек наряду с формами бентоса увеличивается численность обитателей обрастаний (*Gomphonema* Ehrenberg, *Cymbella* и *C. placentula*) на погруженной водной растительности. В то же время особенностью среднего течения является постепенное изменение соотношения прикрепленных и планктонных форм водорослей: в толще воды количественно начинают преобладать меропланктонные виды: *M. varians*, *F. capucina* et var., *F. brevistriata* Grunow, *F. pinnata* Ehrenberg, а также *A. granulata* et mt., *A. subarctica*. Для среднего течения рек характерно гораздо большее биотопическое разнообразие, что обуславливает ценотические особенности фитопланктона на каждой из станций. Например, исключительно беден планктон на участках рек с глинистым грунтом, высокой мутностью воды, низкой освещенностью, скоростями течения более 0.1 м/с (ст. 7в, 5а). Развитие водной растительности (ст. 4, 5) способствует обогащению состава планктона видами обрастаний. На каменистых и песчаных субстратах независимо от скорости течения развивается ценоз макрофитобентоса (ст. 3, 8в, 5в) из нитчатых и слоевищных форм родов *Cladophora* Kützing, *Monostroma* Thuret (Chlorophyta), *Vaucheria* De Candolle (Xanthophyta), на них, в свою очередь, формируются диатомовые обрастания разнообразного состава, представители которых поступают в планктон. В местах с замедленным течением или участках рек ниже населенных пунктов отмечено увеличение разнообразия и количества миксотрофных фитофлагеллят – показателей органического загрязнения из порядков Volvocales, Chlamydomonadales, а также Euglenales и Cryptomonadales.

Специфика состава фитопланктона нижнего течения рек определяется гидрологическими характеристиками и типом устья. В целом низовья всех рек характеризуются заметным увеличением разнообразия и количества водорослей, при этом бентосные и эпифитные виды уже не образуют в планктоне заметной численности или совсем выпадают, а типично планктонные формы определяют облик альгоценозов. Это связано с уменьшением скоростей течения, увеличением глубин, а также и влиянием подпора, привносящим в реки виды, свойственные водохранилищу и заливу. Например, в планктоне нижнего участка р. Муранка (ст. 8а) хорошо выражено усиление ценотической роли водорослей Усинского залива: цианопрока-

риот *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek, *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*, а также планктонных зелёных водорослей порядка Chlorococcales из родов *Scenedesmus* Meyen, *Monoraphidium* Kom.-Legn. и др. Река Муранка выделяется и тем, что доля планктонных Cyanoprokaryota в формировании её видового состава достигает 11% (см. табл. 2) за счет их разнообразия именно в нижнем течении при почти полном отсутствии на вышерасположенных участках. Особенностью нижнего течения рек, имеющих подпор, является, кроме того, наличие неравномерного вертикального распределения водорослей в планктоне, чему способствуют низкие скорости течения или его отсутствие. Вертикальное распределение фитопланктона в зоне экотона исследованных рек требует специального изучения. Исключением является р. Теренгулька, имеющая устьевой участок (ст. 5а), не связанный с подпорными водами р. Уса. Планктон нижнего течения р. Теренгулька сходен с таковым самой Усы или, например, р. Тишерек в их среднем течении (см. рис. 2, б). Особенностью низовьев рек, в отличие от выше лежащих участков с неустановившимся составом доминантов диатомовых класса Pennatophyceae, является и то, что большее ценотическое значение в планктоне начинают приобретать диатомовые класса Centrophyceae (родов *Aulacoseira*, *Stephanodiscus* Ehrenberg, *Cyclotella* (Kützing) Brébisson), а также зелёные водоросли порядка Chlorococcales, а не фитофлагелляты этого отдела. Следует отметить, что структурные особенности альгоценозов нижнего течения исследованных рек в целом аналогичны чертам сформировавшегося потамопланктона многих равнинных водотоков волжского бассейна (Охапкин, 1997, 2000).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В планктоне р. Уса и её притоков зарегистрировано 184 таксона водорослей из 7 систематических отделов. Структурно и количественно формируют альгоценозы Bacillariophyta и Chlorophyta. Диапазон численности в альгоценозах рек составил 0.02 – 5.2 млн кл./л, биомассы – 0.01 – 1.8 мг/л; содержание хлорофилла-а – 0.01 – 3.1 мкг/л; в Усинском заливе эти показатели выше: 6.1 – 14.8 млн кл./л, 2.0 – 5.9 мг/л, 2.0 – 4.9 мкг/л соответственно, в планктоне как по численности, так и по биомассе доминируют Cyanoprokaryota. При гетерогенности распределения наблюдается увеличение видового разнообразия, численности, биомассы и концентрации хлорофилла-а от истока к устью рек.

Экологическая неоднородность водотока обуславливает значительную динамику таксономического состава и количественной структуры планктонных сообществ, о чём свидетельствуют низкая частота встречаемости видов, слабая флористическая общность и различия состава доминирующих видов участков рек.

Ценогическая структура фитопланктона исследованных рек зависит от гидрологических факторов и биотопического разнообразия и является информативным показателем изменений экологических условий.

При повышенной водности в июле 2017 г. и высоком содержании биогенных веществ на всем протяжении реки и в притоках зависимость количественных показателей фитопланктона не отражает уровень трофического состояния водотоков.

ФИТОПЛАНКТОН РАВНИННОЙ Р. УСА И ЕЁ ПРИТОКОВ

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 Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-44-630197).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Биоиндикация экологического состояния равнинных рек / под ред. О. В. Бухарина, Г. С. Розенберга. М. : Наука, 2007. 403 с.
- Бульон В. В. Первичная продукция и трофическая классификация водоёмов // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов. СПб. : Гидрометеиздат, 1993. С. 147 – 157.
- Горохова О. Г. Состав и структура сообществ фитопланктона Усинского залива Куйбышевского водохранилища в период «цветения» воды // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2016. Т. 18, № 5-1. С. 122 – 130.
- Зинченко Т. Д., Головатюк Л. В., Шитиков В. К. Особенности пространственного распределения донных сообществ равнинной реки бассейна Средней Волги // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2017. № 40. С. 163 – 180.
- Корнева Л. Г. Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги. Кострома : Костромской печатный дом, 2015. 284 с.
- Малые реки Волжского бассейна / под ред. Н. И. Алексеевского. М. : Изд-во МГУ, 1998. 234 с.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М. : Наука, 1975. 240 с.
- Особенности пресноводных экосистем малых рек Волжского бассейна / под ред. Г. С. Розенберга, Т. Д. Зинченко. Тольятти : Кассандра, 2011. 322 с.
- Охапкин А. Г. Структура и сукцессии фитопланктона при зарегулировании речного стока (на примере р. Волги и её притоков) : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 1997. 48 с.
- Охапкин А. Г. Динамика видовой структуры потоамофитопланктона в водотоках разного типа // Биол. внутр. вод. 2000. № 1. С. 53 – 61.
- Охапкин А. Г., Генкал С. И. Экология массовых видов диатомовых водорослей планктона водотоков бассейна Средней Волги : виды родов *Aulacosira* Thw., *Melosira* Ag., *Cyclotella* Kutz., *Cyclostephanos* Round, *Skeletonema* Grev., пениатные диатомеи // Биол. внутр. вод. 2001. № 1. С. 27 – 35.
- Охапкин А. Г., Горохова О. Г., Генкал С. И., Паутова В. Н. К альгофлоре нижнего течения реки Оки // Бот. журн. 2010. Т. 95, № 10. С. 1422 – 1436.
- Федоров В. Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. М. : Изд-во МГУ, 1979. 167 с.
- Экологический бюллетень. Самарская область, июль 2017 г. / ФГБУ «Приволжское УГМС». Самара, 2017. URL: http://www.pogoda-sv.ru/docs/ecology.../sam_jul_2017 (дата обращения: 12.05.2018).
- Abonyi A., Leitão M., Lançon A. M., Padisák J. Phytoplankton functional groups as indicators of human impacts along the River Loire (France) // Hydrobiologia. 2012. Vol. 698, iss. 5. P. 233 – 249.
- Mischke U., Venohr M., Behrendt H. Using phytoplankton to assess the trophic status of German rivers // International Review of Hydrobiol. 2011. Vol. 96, iss. 5. P. 578 – 598.
- SCOR-UNESCO Working group 17. Determination of photosynthetic pigments in Sea-water // Monographs on Oceanographic Methodology. Paris : UNESCO, 1966. P. 9 – 18.

О. Г. Горохова, Т. Д. Зинченко

**PHYTOPLANKTON OF THE PLAIN RIVER USA
(THE KUIBYSHEV RESERVOIR BASIN)**

Ol'ga G. Gorokhova and Tatyana D. Zinchenko

*Institute of Ecology of the Volga River Basin, Russian Academy of Sciences
10 Komzin Str., Togliatti 445003, Russia*

E-mail: o.gorokhova@yandex.ru, zinchenko.tdz@yandex.ru

Received 28 May 2018, revised 17 September 2018, accepted 24 September 2018

Gorokhova O. G., Zinchenko T. D. Phytoplankton of the Plain River Usa (the Kuibyshev Reservoir Basin). *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2018, no. 4, pp. 391 – 403 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-4-391-403>

Data on the status of summer phytoplankton of the Usa river and its tributaries are given. 184 taxa of algae with a rank lower than the genus from 7 divisions were recorded in algoflora, with Bacillariophyta (43–57% of the composition) and Chlorophyta (23–47%) predominating in the rivers. The abundance range in algal communities was 0.02 – 5.2 mln cells/L, that of biomass was 0.01 – 1.8 mg/L; the content of chlorophyll-*a* was 0.01 – 3.1 µg/L. The ecological heterogeneity along the watercourse causes a significant dynamics of the taxonomic composition, which is characterized by mosaic distribution in different areas, and changes in the quantitative structure of plankton communities. An increase in the specific diversity, abundance, biomass, and chlorophyll-*a* concentration from the source to the mouth of rivers is noted. The ecotone effect in the zone of mixing and transformation of the waters of the lower reaches of the watercourses and the Usinsky Bay of the Kuibyshev Reservoir is expressed in an increase in the diversity and amount of algae, an increase in the coenotic role of Cyanoprokaryota and planktonic green algae of the Chlorococcales order, which are dominant in the Usinsky Bay. The influence of hydrological conditions, the content of biogens, and anthropogenic impact on the formation of algal communities is considered. Taxonomic composition, distribution, structural characteristics of algal communities in the absence of biogenic limiting depend on hydrological factors, biotopic heterogeneity of natural and anthropogenic origin, whereas their relation with the content of biogens in eutrophy conditions has not been revealed. The Shannon species diversity index varied from 0.5 to 2.7 bits/specimen in river algal communities. The minimum values were noted on the upstream sections of the rivers; the complexity of the structure is typical for the algal communities of the mixing zones of the waters of the upper part of the Usinsky Bay and the mouths of the Muranka and Tisherek rivers, as well as for the communities of the sections of rivers with anthropogenic impact.

Key words: phytoplankton, algal communities, Usa river, Kuibyshev reservoir, Middle Volga river basin.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-4-391-403>

Acknowledgments: The work was carried out according to the budget theme “Sustainability and productivity of aquatic ecosystems based on analysis of the diversity of the biotic components of the lotic and lentic ecosystems of the Middle and Lower Volga basins, their ecological, biological and structural changes in natural conditions and under anthropogenic impact” and with financial support from the Russian Foundation for Basic Research (project no. 17-44-630197).

REFERENCES

- Bioindikatsiya ekologicheskogo sostoyaniya ravninnykh rek* [Bioindication of the Ecological State of Lowland Rivers]. O. V. Bukharin, G. S. Rozenberg, eds. Moscow, Nauka Publ., 2007. 403 p. (in Russian).
- Bouillon V. V. Pervichnaya produktsiya i troficheskaya klassifikatsiya vodoyemov [Primary Production and Trophic Classification of Reservoirs]. In: *Metodicheskiye voprosy izucheniya pervichnoy produktzii planktona vnutrennikh vodoyemov* [Methodical Issues of Studying the Primary Production of Plankton of Internal Waters]. Saint Petersburg, Gidrometeoizdat, 1993, pp. 147–157 (in Russian).
- Gorokhova O. G. The Composition and Structure of Phytoplankton Communities of the Usinski Bay Kuibyshev Reservoir During the “Flowering” of Water. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2016, vol. 18, no. 5-1, pp. 122–130 (in Russian).
- Zinchenko T. D., Shitikov V. K., Golovatyuk L. V. Spatial Distribution Features of Bottom Communities of a Plain River in the Middle Volga River Basin. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya*, 2017, no. 40, pp. 163–180 (in Russian).
- Korneva L. G. *Phytoplankton of Volga River basin reservoirs*. Kostroma, Kostromskoy pechatnyy dom, 2015. 284 p. (in Russian).
- Malye reki Volzhskogo basseyna* [Small Rivers of the Volga Basin]. N. I. Alekseevskii, ed. Moscow, Izdatelstvo MGU, 1998. 234 p. (in Russian).
- Method of Studying Biogeocenoses in Inland Water Bodies*. Moscow, Nauka Publ., 1975. 240 p. (in Russian).
- Osobennosti presnovodnykh ekosistem malyykh rek Volzhskogo basseyna* [Features of Freshwater Ecosystems of the Small Rivers of the Volga Basin]. G. S. Rosenberg, T. D. Zinchenko, eds. Togliatti, Kassandra Publ., 2011. 322 p. (in Russian).
- Okhapkin A. G. *Struktura i suksessii fitoplanktona pri zaregulirovanii rechnogo stoka (na primere r. Volgi i eye pritokov)* [The Structure and Succession of Phytoplankton in the Regulation of River flow (on the example of the Volga River and its tributaries)]. Thesis Diss. Dr. Sci. (Biol.). Saint Petersburg, 1997. 48 p. (in Russian).
- Okhapkin A. G. Dynamics of the Species Structure of Potamophytoplankton in Watercourses of Various Types. *Inland Water Biology*, 2000, no. 1, pp. 53–61 (in Russian).
- Okhapkin A. G., Genkal S. I. Ecology of Mass Species of Diatoms in the Plankton of the Watercourses of the Middle Volga Basin: Genera Species *Aulacosira* Thw., *Melosira* Ag., *Cyclotella* Kutz., *Cyclostephanos* Round, *Sceletonema* Grev., Pennate diatoms. *Inland Water Biology*, 2001, no. 1, pp. 27–25 (in Russian).
- Okhapkin A. G., Gorokhova O. G., Genkal S. I., Pautova V. N. On the Algal Flora of the Oka River Lower Reaches. *Botanicheskii Zhurnal*, 2010, vol. 95, iss. 10, pp. 1422–1436 (in Russian).
- Fedorov V. D. *O metodakh izucheniya fitoplanktona i ego aktivnosti* [Methods for Studying Phytoplankton and its Activity]. Moscow, Izdatelstvo MGU, 1979. 167 p. (in Russian).
- Ecological Bulletin*. Samara region, July 2017. Samara, FGBU “Privolzhskoye UGMS”, 2017. Available at: www.pogoda-sv.ru/docs/ecology.../sam_jul_2017 (accessed 12 May 2018) (in Russian).
- Abonyi A., Leitão M., Lançon A. M., Padišák J. Phytoplankton functional groups as indicators of human impacts along the River Loire (France). *Hydrobiologia*, 2012, vol. 698, iss. 5, pp. 233–249.
- Mischke U., Venohr M., Behrendt H. Using phytoplankton to assess the trophic status of German rivers. *International Review of Hydrobiology*, 2011, vol. 96, iss. 5, pp. 578 – 598.
- SCOR-UNESCO Working group 17. Determination of photosynthetic pigments in Seawater. *Monographs on Oceanographic Methodology*. Paris, UNESCO, 1966, pp. 9–18.